

VDI

K

KUNSTSTOFFTECHNIK

Particle Foam 2018

KUNSTSTOFFTECHNIK

Particle Foam 2018

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek
(German National Library)**

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2018

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie) und das der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany

ISBN 9783-3-18-234353-0

Inhalt

Keynotes

adidas BOOST – wie es eine Industrie verändert

M. Wucherer, adidas AG, Herzogenaurach

1

EPP Anwendungen im Gesundheitswesen

T. Schall, Praxis Schall, Koblenz;

I. Raskatow, Philippine GmbH & Co. Technische Kunststoffe KG, Lahnstein

3

Aktuelle Trends aus dem Bereich Rohstoffe

Advances in Thermoplastic Particle Foams

I. Fonseca, J. Bräuer, G. Graessel, F. Hennenberger, R. Birlı, P. Gutmann,

F. Rapp, D. Jopp, S. Bangaru, R. Hingmann, BASF SE, Ludwigshafen am Rhein

9

The future is now

F. Tölle, JSP, Grevenbroich

21

E-PHBH, a biodegradable and compostable particle foam

L. Point, P. Van Ravestyn, E. Lepoudre,

Kaneka Belgium NV, Westerlo Oevel, Belgium

31

PLA-basierte Schaumstoffe – Überblick, Einsatzgebiete und Potenziale

A. Dennard, B. Bitzer, Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal

37

EPS / EPP im Fokus der Prozesstechnik

Contracting als innovative Energiedienstleistung für Industrieunternehmen

V. Schulz, P. Hörler, GETEC heat & power GmbH, Magdeburg

49

Neue Verarbeitungsmethoden für EPS mit elektromagnetischen Wellen

V. Romanov, Kurtz GmbH, Kreuzwertheim

51

EPS Steuerungstechnik – Prozesse transparent werden lassen – vom Steuern zum Kontrollieren

G. Schloms, Schloms und Partner, Blumberg

63

PET Schaumstoffe mit besonderem Fokus auf PET Partikelschäumen

M. Petri, Armacell Benelux S.C.S., Thimister-Clermont, Belgien

75

Aktuelles zur Maschinentechnik und Anwendung

| | |
|---|-----|
| Das ATECARMA-Verfahren – Vorhandene Grenzen überschreiten mit dem neuen dampf- und wasserfreien ATECARMA-Verfahren <i>W. Teubert, H. Bouillon, Teubert Maschinenbau GmbH, Blumberg</i> | 87 |
| Schaum trifft auf Kunststoff – Hochzeit von Partikelschaum und Spritzguss <i>C. Kemmer, Kurtz GmbH, Kreuzwertheim</i> | 97 |
| Thermoplastische Sandwichstrukturen mit Partikelschaumkern <i>T. Neumeyer, P. Schreier, M. Mühlbacher, V. Altstädt, Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth</i> | 107 |
| EPP for E-mobility <i>B. Suffis, Industrial Engineer, Estress-St-Denis, Frankreich</i> | 125 |
| Prüfmethodik und morphologiebasierte Simulation des Strukturverhaltens zur Auslegung von Partikelschäumen <i>M. Gude, M. Stegelmann, M. Müller, R. Koschichow, A. Liebsch, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden</i> | 131 |

Industrie 4.0

| | |
|--|-----|
| Digitalisierung des Lebenszyklus von Produktionsmaschinen <i>T. Menzel, W. Eberlein, Siemens AG, Erlangen</i> | 141 |
| Produktionssteuerung – einfach und sexy – Ohne Inseln und Brücken zum Ziel! <i>M. Keuters, GRP GmbH & Co. KG, Aachen</i> | 151 |

adidas BOOST – wie es eine Industrie verändert

M. Wucherer, adidas AG, Herzogenaurach

Intro + wie ist BOOST entstanden

- Mit BASF in Partnerschaft entwickelt
- Schnell unglaubliche Eigenschaft erkannt
- Vom Styropor zum Superhero.

1 min Film von BOOST Vorteil

LAUNCH OF ENERGY BOOST

2013 - der erste Boost Schuh mit dem Versprechen von „Endless Energy“

Das Versprechen gepaart mit dem einzigartigen Design und Look begründet ein neues Industrie Segment und begründet den Erfolg von adidas Boost.

MARATHON WORLD RECORD

Aufgrund der hohen Energie Rückgabe, ermöglicht Boost einen höchst effizienten Laufstil und führt direkt nach Markteinführungen zu einer Reihe von Laufrekorden, unter anderem dem Marathon Weltrekord.

Vom Running Erfolg in alle anderen Kategorien

Beispiel NMD Launch in SS16: 430.000 Paar ausverkauft in wenigen Stunden

Riesen Buzz, Leute haben auf der ganzen Welt auf der Straße kumpiert

Warum hat BOOST die Industrie verändert?

- Zwei sich gegenseitig ausschliessende Vorteile: Dämpfung und Energierückstellung
- Einzigartiges Gefühl (Trampolin), einzigartiges Aussehen, einzigartiges Versprechen

EPP Anwendungen im Gesundheitswesen

T. Schall,

Praxis Schall, Koblenz;

I. Raskatow, M.Sc.,

Philippine GmbH & Co. Technische Kunststoffe KG, Lahnstein

Kurzfassung

Faszien – vor wenigen Jahren war der Begriff noch kaum bekannt. Heute ist aus dem Trend eine komplette Industrie entstanden. Den Durchbruch hatten die Faszienrollen 2015 und damit entstand ein neuer aufstrebender Markt. Im Aufwärmen, während dem Wettkampf und auch für das Abwärmen und die Regeneration kommen die neuartigen Faszienrollen zum Einsatz. Mittlerweile sind sie fest in jedem Trainingsprogramm eines Sportlers etabliert. Auch zur Selbsttherapie im Alltag werden die Schaumstoffroller bei körperlichen Beschwerden verwendet. Um besser zu verstehen, welchen genauen Einfluss das wiederholte druckvolle Rollen auf Faszien und Muskeln hat, wurde der theoretische Hintergrund analysiert und die Wirkungsweise auf Faszienebene beschrieben. Auch Pathologien und Lösungsansätze mit dem Faszienroller wurden erläutert.

1. Faszien

Faszien bilden eine ununterbrochene Gewebseinheit. Direkte Verbindungen kann man von Kopf bis Fuß und auch von außen nach innen finden. Schon lange kennt man das Gewebe unter dem Begriff „Bindegewebe“, jedoch ist man sich seit wenigen Jahren erst über die exakte Anatomie und genaue Funktion bewusst.

Faszien bestehen aus Kollagenfasern, Proteinen und Flüssigkeit und jeder Muskel ist von einer Faszienhülle umgeben, die diesen weiterläufig mit dem nächsten Muskel oder Knochen verbindet. Dadurch ist die Kraftübertragung und -weiterleitung im menschlichen Körper möglich und sorgt für ein effizientes und leistungsfähiges Aktivieren der Muskeln bei Sport und Arbeit.

Außerdem ist das Faszien­system sehr anpassungs­fähig. In Bereichen, wo eine hohe mecha­nische Belastung herrscht, verdickt sich das Gewebe und wird fester, um die Strukturen vor einer Überlastung zu schützen. Auf der anderen Seite wird es bei zu wenig Belastung schwach und nimmt an Volumen ab. Eine adäquate Belastung und Aktivierung ist hier der Schlüssel zu einem optimalen Gleichgewicht.

Des Weiteren übernehmen Faszien eine wichtige Rolle im Bereich des Stoffwechsels und des menschlichen Immunsystems. Forscher gehen davon aus, dass jede Krankheit ihren Ursprung im Faszien­gewebe besitzt, denn noch bevor die allgemeine Immunabwehr einsetzt beginnt der Kampf gegen die Krankheitserreger und Infektionen auf der Ebene der Grundsubstanz. Gesunde Faszien unterstützen das Immunsystem und machen den Menschen widerstandsfähiger gegen Krankheiten.

Aber Faszien spielen nicht nur für die Muskulatur und das Abwehrsystem eine wichtige Rolle. Mittlerweile weiß man, dass eine Großzahl der Schmerzrezeptoren sich im Bindegewebe befindet. Folglich werden viele Schmerzsignale aus den Faszien gesendet und nicht wie vorher angenommen ausschließlich aus der Muskulatur. Bei dauerhafter Über- und Fehlbelastung können auch die Faszien ab einem gewissen Zeitpunkt nicht mehr viel kompensieren. Schmerz­hafte Bewegungen, Verkürzungen, Unbeweglichkeit und auch Entzündungen können die Ursache sein. Mögliche Folgen sind Rückenschmerzen, Nacken- und Kopfschmerzen oder auch Probleme mit den Extremitäten. Hier sind Faszienrollen die perfekte Möglichkeit um frühzeitig zu intervenieren und körperliche Beschwerden zu vermeiden.

2. Faszienrollen

Zum festen Bestandteil eines jeden Leistungssportler zählt mittlerweile die Faszienrolle. Auch in immer mehr Haushalten findet man Hartschaumrollen, um unter anderem mögliche Verspannungen schnell selber lösen zu können. Neben der Selbstmassage kann sie zur Verbesserung der Körperwahrnehmung, Beweglichkeit und Kräftigung eingesetzt werden.

Nicht nur vor, während oder nach dem Sport, sondern auch in der Mittagspause oder nach einem langen Arbeitstag bietet sich an, den Körper durch das druckvolle Rollen zu „behandeln“.

Faszienrollen können die Durchblutung verbessern und somit auch den Stoffwechsel anregen. Sauerstoff gelangt besser in die Muskulatur und Stoffwechsel­endprodukte können leichter abgebaut werden, was zu einer optimierten Regeneration des Körpers beiträgt. Des Weiteren



reagiert das Faszien- und Muskelsystem positiv auf die Selbstmassage. Spannungsdysbalancen, die unter anderem durch Fehlhaltungen und Überbelastungen entstehen, können dadurch reguliert oder sogar beseitigt werden.

Mit den neuesten Erkenntnissen über das Faszien-System können die „Walzen“ noch effektiver eingesetzt werden. Zum Beispiel weiß man mittlerweile, dass Faszien funktionelle Ketten im menschlichen Körper bilden. Das heißt, Beschwerden im unteren Rücken können von einer Faszienproblematik der Plantarfaszie im Fußgewölbe ausgehen. Also empfiehlt es sich nicht nur den Rücken zu rollen, sondern auch mit Druck die Fußsohle zu bearbeiten. Dadurch findet eine Spannungsregulation der hinteren Kette statt, die am Fuß startet und bis zum Kopf ohne Unterbrechung zieht. Im Extremfall können sogar Kopfschmerzen durch eine Problematik in der unteren Extremität entstehen.

Bild 1: Oberflächliche hintere Faszienlinie Unter adäquater Anleitung kann die Faszienrolle ein sehr hilfreiches Tool für die Selbstmassage von Verspannungen sein und die körperliche Fitness steigern.

Auch in Studien sind die positiven Auswirkungen der Hartschaumrollen bewiesen worden. Unter anderem haben Healey et. al bei 26 Probanden herausgefunden, dass die Ermüdung nach körperlicher Belastung bei der Versuchsgruppe, die die Faszienrollen verwendet haben, signifikant geringer war, als bei der Kontrollgruppe.

3. Von der Idee zum Produkt

Als mittelständiges Unternehmen ist die Firma Philippine GmbH & Co. Technische Kunststoffe KG mit Sitz in Lahnstein ein EPP- und Polyurethanverarbeiter, der Formteile für die Automobilindustrie und Spezialkunststoffe produziert. Das Unternehmen ist bestrebt weiter zu wachsen. Als einer der Wachstumstreiber gilt die Erschließung neuer Märkte. In diesem Zuge hat sich die Firma Philippine mit den Faszienrollen beschäftigt.

Seit dessen Entstehung 2007 hat der Begriff Faszien aber erst in den letzten Jahren verstärkt an Marktbedeutung zu genommen. Bei den Faszienrollen handelt es sich bereits um einen hart umkämpften Markt und der Trend zeigt weiterhin eine steigende Nachfrage wie in Bild 2 zu sehen ist.

Interesse im zeitlichen Verlauf

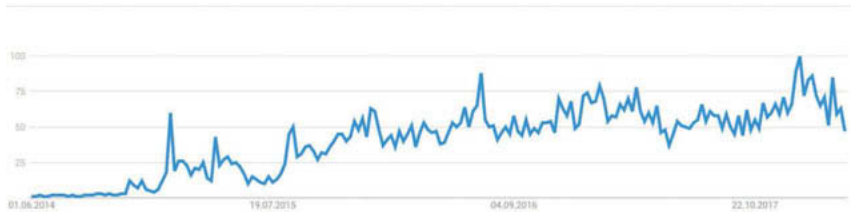


Bild 2: Faszienrolle (Quelle: Google Trends)

Die Firma Philippine hat aus den am Markt bereits etablierten Produkten ein Portfolio zusammengestellt, bestehend aus Big Roll, Achillesfreund (Small Roll), 2 Ball, Big Reflexer (Ball D=10 cm) und Small Reflexer (Ball D=8 cm). Aus dieser Grundpalette wurden spezielle Alleinstellungsmerkmale in Funktionalität und Design erarbeitet. Der Faszienrollenhalter vervollständigt als Neuentwicklung die Produktpalette. Durch die seit 2015 stark ansteigende Nachfrage können die Produkte nur am Markt bestehen, wenn sie sich signifikant vom bestehenden Wettbewerb absetzen.



Bild 3: Philfit Produktset: Big Roll, Achillesfreund (Small Roll), 2 Ball, Big Reflexer (Ball D=10 cm), Small Reflexer (Ball D=8 cm), Small Ball, Philfit Halter mit Achse

4. Konzeptionierung

Um sich im Markt abzuheben, hat die Firma Philippine neben Optimierungen an Bestandsprodukten, Erweiterungen der Anwendungsbereiche, sowie eine Neuentwicklung vorgenommen.

4.1. Oberflächenstruktur

Die Oberfläche der Produkte Achillesfreund (Small Roll), 2 Ball, Big Reflexer (Ball D=10 cm) und Small Reflexer (Ball D=8 cm) wurde durch das Einbringen einer Rautenstruktur optimiert. Diese Art der Oberflächenstruktur hat neben dem gesundheitlich wirksamen Massageeffekt, den Vorteil, dass es sich um eine einfache Umsetzung zur Strukturierung der Oberfläche handelt. Die Struktur bricht die typische EPP Oberflächenoptik. In die innovative Neuentwicklung der Firma Philippine, dem Faszienrollenhalter, wurde das Prinzip mit einer feineren Struktur übernommen.

4.2. Design Highlight

Das neu entworfene Design ist einmalig und so auf dem Markt im Bereich der Faszienrollen noch nicht vorhanden. Das farbige Cover (Ring auf beiden Stirnseiten der Produkte), bietet neben der ansprechenden Optik und dem hohen Wiedererkennungswert, den Vorteil, dass ein Branding schnell und personalisiert umgesetzt werden kann. Zudem wird in der Philfit Produktreihe eine Unterscheidung der Härtegrade anhand der Farben der Cover vorgenommen. Das Cover wird nicht geklebt, es wird durch einen Hinterschnitt verrastet. Zusätzlich ermöglicht eine Arretierung auf der Rückseite des Covers eine Vermeidung von Fehlern bei der Montage, sodass das Markenlogo immer gleich ausgerichtet ist. Eine ansprechende Optik, sowie eine gute Abbildung der Schrift wird durch den Einsatz von Sintermaterial auf der Kernseite der Coverwerkzeuge gewährleistet.

4.3. Neuentwicklung

Die Produkte Achillesfreund (Small Roll) und 2 Ball haben einen Funktionsdurchlass erhalten. Eine Anwendung der Faszienrolle nicht nur als Sportartikel, sondern gleichzeitig als Massagerolle, ist so auf dem Markt noch nicht vorhanden. Durch Zuhilfenahme einer Achse kann jedes der Produkte zur Partner- oder Eigenmassage genutzt werden.



Bild 4: Massage mit einer Faszienrolle mit Achse



Bild 5: Philfit Halter Bodennutzung

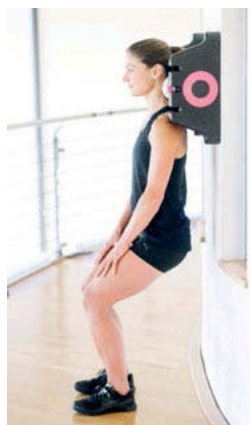


Bild 6: Philfit Halter Wandnutzung

hineinstellungen zum Einrasten der Achse, erweitern den Einsatzbereich an der Wand. Der Halter eignet sich für gezielte Übungen und kontrollierte Belastung einzelner Muskelgruppen. So können auch Einsteiger mit dem Halter leicht Übungen durchführen. Insbesondere bei der Anwendung mit den Doppelbällen und dem Achillesfreund ergeben sich völlig neue Trainingsvarianten auf dem Boden und an der Wand.

Literatur:

- [1] Serge Paoletti, Faszien, 2011
- [2] Thomas Myers, Anatomy Trains, 2011

Studie:

Healey et. al (2014) „The effects of myofascial release with foam rolling on performance“

Advances in Thermoplastic Particle Foams

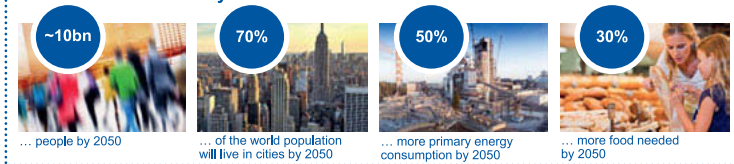
**I. Fonseca, J. Bräuer, G. Graessel, F. Hennenberger, R. Birli,
P. Gutmann, F. Rapp, D. Jopp, S. Bangaru, R. Hingmann,**
BASF SE, Ludwigshafen am Rhein

Chemicals – a growth industry

Global annual growth rate of ~3.4%*



Chemistry as enabler to meet current and future needs



* Average annual real change 2018-2020; BASF Report 2017 p.121

Segmentstruktur der BASF



Chemicals

Petrochemicals
Monomers
Intermediates



Performance Products

Dispersions & Pigments
Care Chemicals
Nutrition & Health
Performance Chemicals



Functional Materials & Solutions

Catalysts
Construction Chemicals
Coatings
Performance Materials



Agricultural Solutions

Crop Protection



Oil & Gas

Oil & Gas

Research and Development at a glance

BASF – Champion in the chemical industry

High R&D expenditures

Over € 9 billion annual sales with innovations

Around 3,000 running research projects,
10,000 employees worldwide in R&D

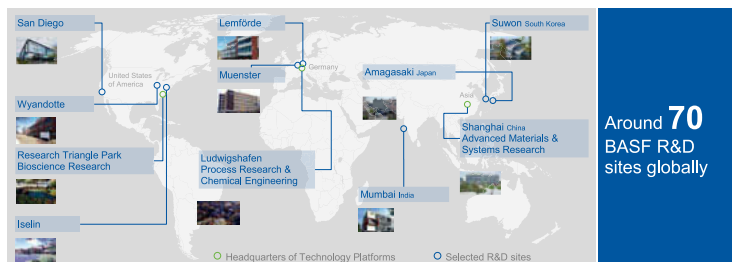
Global Know-how Verbund with external partners



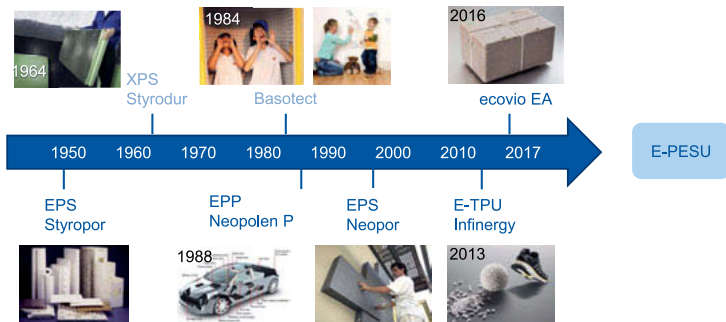
R&D is a major growth driver for BASF.

Global R&D presence in key markets

BASF R&D sites with proximity to customers and markets

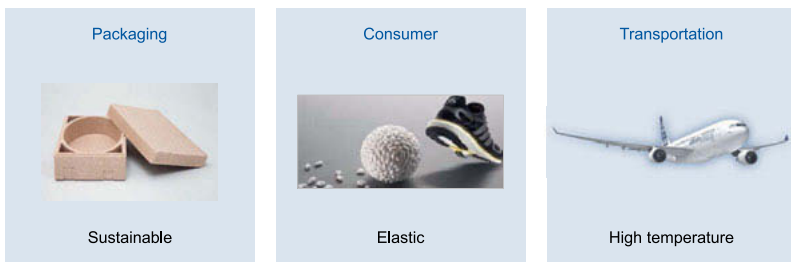


BASF Foam history



- Particle foams combine opportunities from material performance, part design and logistics

3 innovations in particle foams



3 innovations in particle foams

Packaging



Sustainable

Consumer



Elastic

Transportation



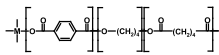
High temperature

ecovio® EA

ecovio® EA is a multi-component blend made out of



Poly(lactic acid) (PLA)
(Tg: ~ 55°C & Tm: ~155°C)



ecoflex® (PBAT)*
(Tg: ~29°C & Tm: 115°C)



➤ contain >70% renewable content
= low carbon foot print

* special grade



Expandable ecovio® EA beads

- Bead density: ~ 700 g/l
- Blowing agent: Pentane
- Bead size/color: 1.05 mm, brown
- Shelf life: >6 months at RT



Expanding ecovio® EA

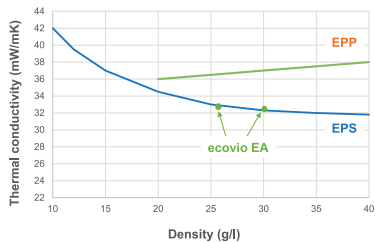
- EPS pre-foamer (with drying bed)
- Min. foam density 25 - 28 g/l



Molding ecovio® EA

- Processable on EPS/EPP machinery
- Min. part density range: 27 - 30 g/l

ecovio®EA – Thermal insulation

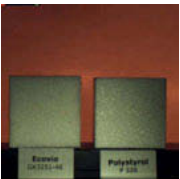
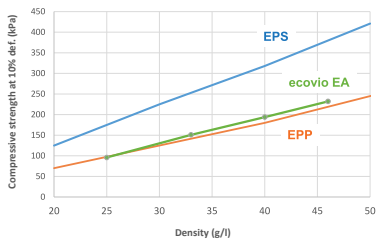


Thermal conductivity
(in mW/mK)

| Temp. | 26 g/l | 30 g/l |
|-------|--------|--------|
| 10°C | 33 | 32 |
| 35°C | 37 | 37 |
| 60°C | 41 | 41 |

- Good heat insulation performance of ecovio EA, similar to EPS at comparable density

ecovio®EA – Compressive strength



Compressive stress (kPa)

| Deform. | 25 g/l | 33 g/l | 40 g/l |
|---------|--------|--------|--------|
| 10% | 96 | 151 | 194 |
| 25% | 127 | 193 | 250 |
| 50% | 180 | 272 | 354 |

- Compressive strength of ecovio EA is in the range of EPP at 10% compression.

ecovio®EA – Thermal and solvent resistance

Thermal stability:

- Good resistance to heat



Heat resistance
~80°C

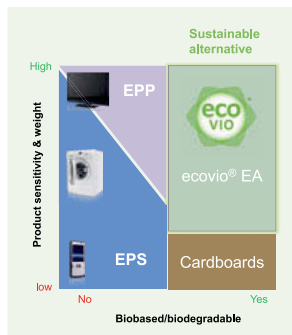
Chemical stability:

- Resistance to range of solvents
(e.g. Acetone, amine, glues,...)

Solvent resistance (Acetone)



ecovio®EA – Applications



Transport packaging applications

Parts produced out of ecovio



ICEE - Foldable box



Jacob - Transport boxes



Fish boxes



cake boxes

ecovio®EA – End of life: Biodegradation or Recycling

Biodegradation

Certified industrial compostable

- 3 necessary factors
- High humidity
 - High temperature
 - Micro-organism



- CO₂
- water
- biomass

ecovio foam sample
density:
28 – 47 g/l
size:
5 x 5 x 5 cm



after 2 weeks



after 3 weeks



after 4 weeks



after 8 weeks



Recycling



3 innovations in particle foams

Packaging



Sustainable

Consumer



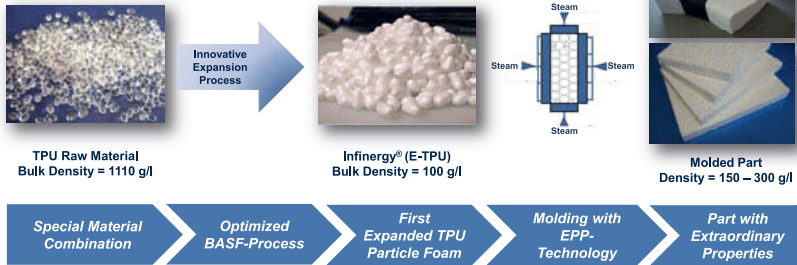
Elastic

Transportation

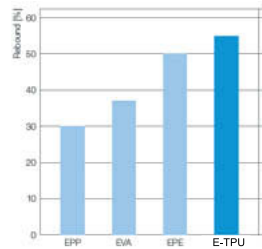
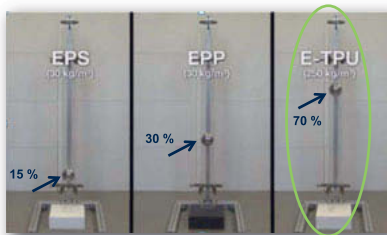


High temperature

Infinergy® – The first expanded TPU particle foam



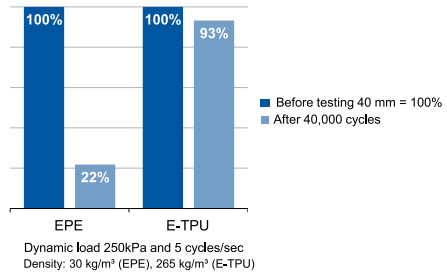
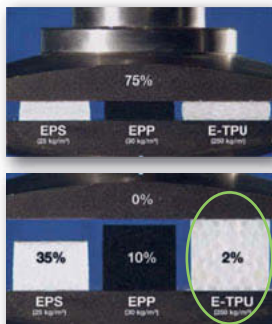
Infinergy® – Rebound



Comparison of different foams
Molding density: 30 kg/m³ or 265 kg/m³ (E-TPU)

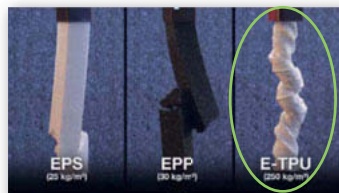
- Infinergy shows excellent rebound properties

Infinergy® – Compression



- Infinergy shows excellent compression recovery even after long term stress

Infinergy® – Torsion



- Infinergy shows excellent torsion properties (no rupture)

Infinergy® – Current & future applications

Innovative Expanded Particle Foam for Innovative Athletic Shoe¹



„Energy Boost“



Pictures kindly provided by: ¹ adidas* Paul Muther, ² BASF, ³ BASF/DLG



SAFETY
SHOES



SPORTS
FLOORING



WHEELS &
TIRES



BIKE SEATS



SEATING IN
TRANSPORT



MARINE
FENDER

3 innovations in particle foams

Packaging



Sustainable

Consumer



Elastic

Transportation



High temperature

Innovative particle foams from high performance polymers

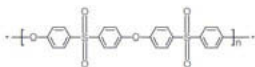


- Combination of BASF's core competences in Engineering plastics and Particle foams to create high performance particle foams

E-PESU – A high temperature particle foam

Polyethersulfone (PESU)

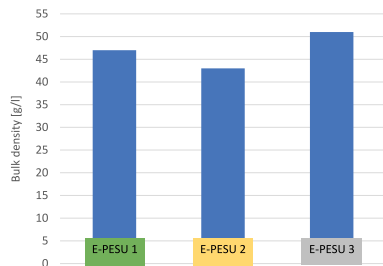
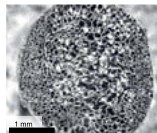
$T_g = 225^\circ\text{C}$



E-PESU Foamed beads



Foamed bead microstructure



E-PESU particle foam – Properties

| Property | Unit | E-PESU | | Standard |
|--|--------|--------|-----|--------------|
| Density | g/l | 85 | 50 | - |
| E-Modulus | MPa | 14 | 7 | ISO 527 |
| Tensile Strength | kPa | 405 | 198 | ISO 527 |
| Elongation at break | % | 4 | 4 | ISO 527 |
| Compressive Modulus | MPa | 12 | 4 | ISO 844 |
| Compressive strength @ 10% deformation | kPa | 387 | 191 | ISO 844 |
| Thermal conductivity (10°C) | mW/m.K | 35 | 24 | DIN EN 12267 |
| Heat deflection temperature | °C | 220 | 215 | DIN 53424 |



Summary

Ecovio® EA

Packaging



The first expandable partially bio-based and compostable particle foam for sustainable packaging applications

Infinergy®

Consumer



The first E-TPU particle foam for advanced sports applications

E-PESU

Transportation



The first E-PESU particle foam for high temperature & high performance applications

The future is now

F. Tölle, JSP, Grevenbroich

Wo stehen wir im Produktlebenszyklus von expandierten Polypropylen Produkten? Der teils extreme Preiswettbewerb in the Vergangenheit würde eigentlich indizieren, daß expandiertes PP im Sättigungsbereich angekommen ist. Jedenfalls hatten dies manche Marktteilnehmer so eingeschätzt. Allerdings hatten sich bisher schon des öfteren viele Marktteilnehmer stark verschätzt, insbesondere bei der Mengenentwicklung.

Mittlerweile ist der Gesamtbedarf an EPP global bei ca. 150 Tsd Jato angekommen. Der europäische Anteil wird von uns auf kanpp 42 Tsd Jato eingeschätzt. Der Hauptanteil der Anwendungen sind nach wie vor Automobil Serienteile. Hierzu hat auch weiterhin die Entwicklung zu mehr Derivaten und Modellen, wie auch der Bedarf nach noch mehr Gewichtseinsparung beigetragen.

Die zukünftige Entwicklung wird davon abhängen, ob die gesamte Branche fähig ist, weiter in neue Innovationen zu investieren. Hier glauben wir, sind wir noch nicht am Ende der Möglichkeiten angekommen. Durch Verbesserungen in der Qualität der Rohstoffe, aber auch durch neue Verfahren in der Oberflächentechnik sowie guten Ideen bei der Integration von Funktionen und Bauteilen sind heute Anwendungsfelder möglich, die vor einigen Jahren in Entwicklungen gescheitert sind.

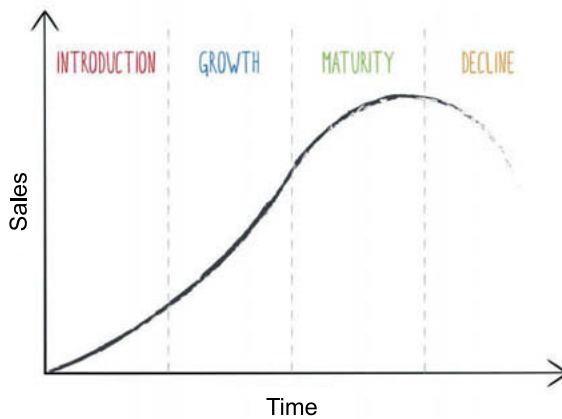
Mit dieser Präsentation möchten wir einige Anwendungsfelder und deren Entwicklung beleuchten, sowie Einschätzungen zur Marktentwicklung geben. Anhand von 2 Beispielen haben wir Stossfänger-Pralldämpfer als sehr alten Bereich und Sitzanlagen als neuere Anwendung in der Autoindustrie beleuchtet. Wir geben Hinweise, wie es gelingen kann, von einfachen Anwendungen simpler Formteile, die hohem Preiswettbewerbsdruck unterliegen, hin zu komplexen, integrierten Anwendungen zu kommen. Dazu braucht man die Kombination von 4 Hauptfaktoren. Es kommt es darauf an, eine Kombination von stabilen neuen Rohstoffen, innovativen Werkzeugen und Schäum-Anlagen, sowie neuen Prozesstechnologien zu entwickeln. Man darf sich bei Innovationen nicht von kurzlebigen niedrig-preisigen Auftragsmöglichkeiten verleiten zu lassen und damit seine Kapazitäten zu füllen. Das kann leicht schief gehen.

Expandierte Polypropylenprodukte haben unserer Meinung nach immer noch massives Entwicklungspotential. Es ist u.E. nicht unmöglich, das sich die Verbrauchsmenge in 10 Jahren fast verdoppeln lässt.

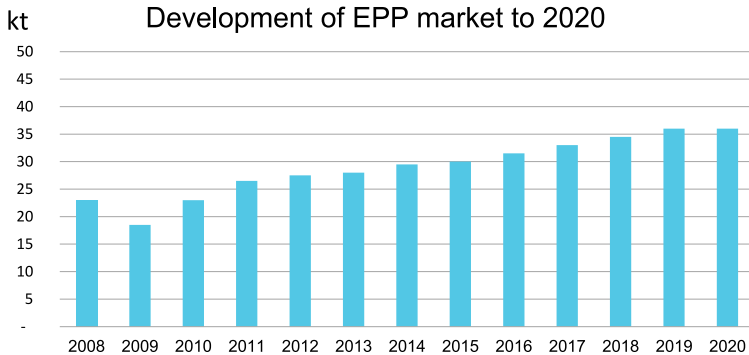
Content

- Produktlebenszyklus
- Mengenentwicklung
 - Application sectors
 - Application trends
- Was müssen wir tun?

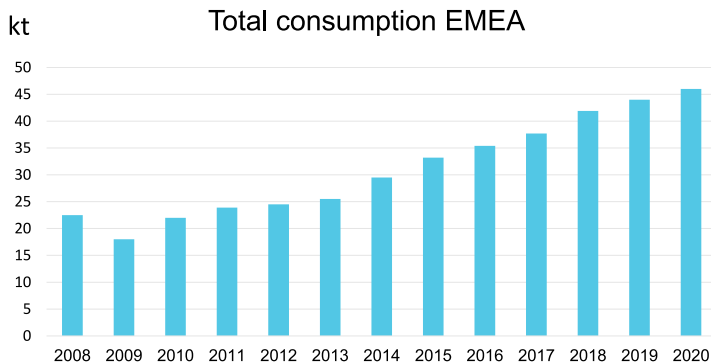
Product life cycle



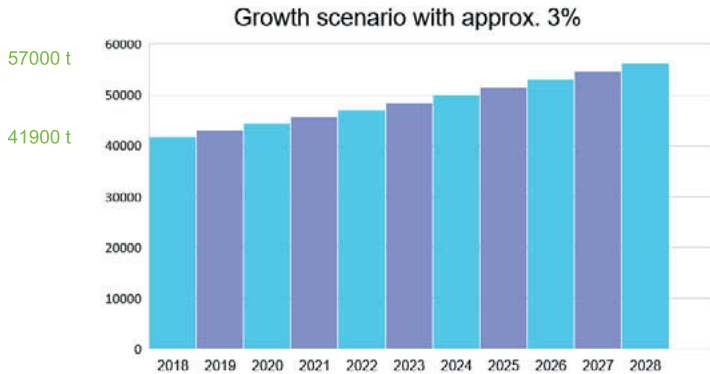
Estimation 2012



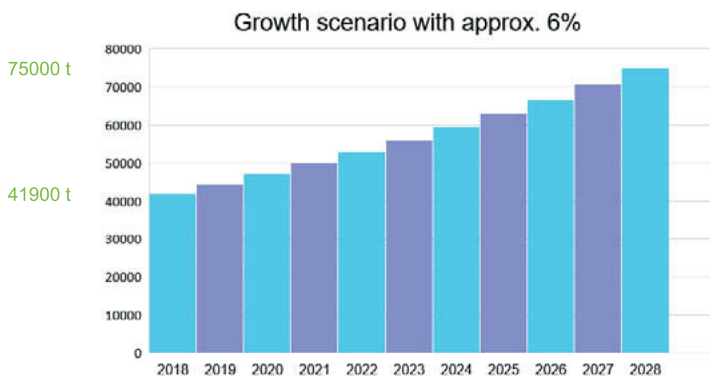
New estimation 2018



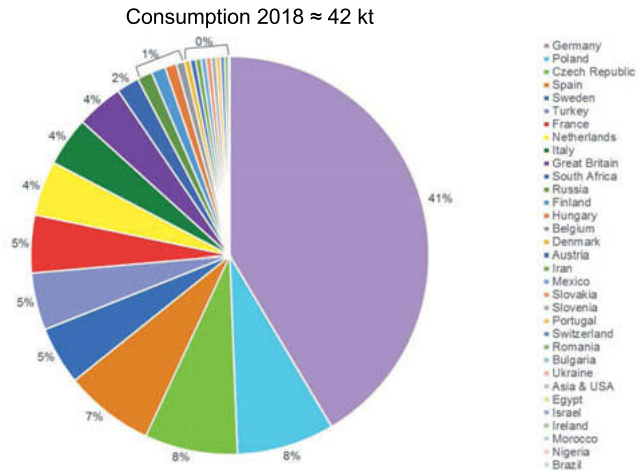
Scenario with 3% growth per year



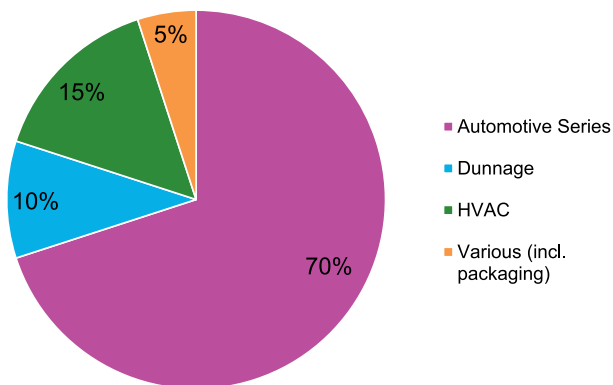
Scenario with 6% growth per year



EPP market EMEA by country



ARPRO application sectors



Application sectors - automotive

- | | | Trend |
|-----------------------------|-----|---|
| • Trunk / Tool-box | 33% |  |
| Trend up – more derivatives | | |
| • Front bumpers | 22% |  |
| Downtrend quantity | | |

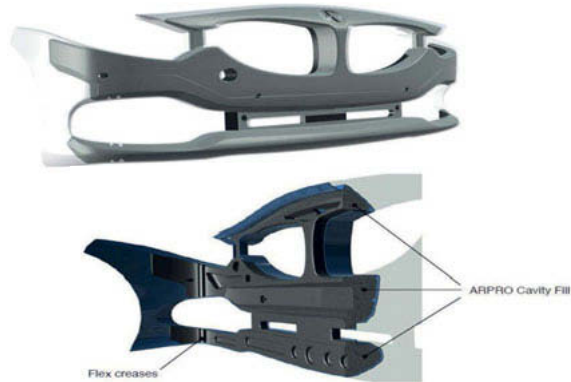
ARPRO innovation front end

Typical conventional design






ARPRO innovation front end

ARPRO concept

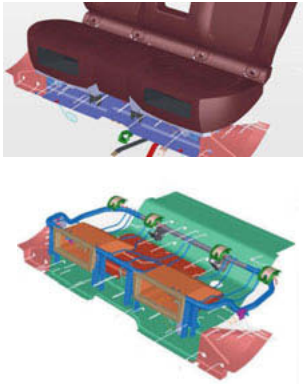


ARPRO application sectors - automotive

- Trunk / Tool-box 33% 
Trend up – more derivatives
- Front bumpers 22% 
Stable but lower densities due to ped. safety
- Seat cores / ramps 16% 
Trend up – late adopters

ARPRO innovation seat ramp

Typical conventional design








ARPRO concept








- Full performance
- Weight saving
- Stowage compartment
- Flocking possible

ARPRO application sectors - automotive

- | | | |
|------------------------------|-----|---|
| • Trunk / Tool-box | 33% |  |
| • Front bumpers | 22% |  |
| • Seat cores / ramps | 16% |  |
| • Interior impact protection | 15% |  |
| • Misc. | 14% |  |

Thermal insulation, acoustic dampening,
EV's, autonomous cars

ARPRO application sectors – non -automotive

| | | |
|------------------------------|------------|---|
| • HVAC | 15% 6000t |  |
| • Furniture | < 2 % |  |
| • Toys | < 1% in EU |  |
| • Other | 5% |  |
| • Misc. | <1% |  |
| Thermal insulation, acoustic | | |

Was nun? Was tun?

Kreativität, Innovationen, Ideen

Mehr Wert verkaufen

Weniger Preiswettbewerb

E-PHBH, a biodegradable and compostable particle foam

L. Point, P. Van Ravestyn, E. Lepoudre,
Kaneka Belgium NV, Westerlo Oevel, Belgium

Kaneka Corporation at a glance

Kaneka Corporation, headquartered in Osaka and Tokyo, Japan, was established in 1949. Kaneka produces chemical intermediates for the production of applications in several domains such as Chemicals, Functional plastics, Expandable plastics & products, Foodstuffs Products, Life-science Products, Electronic Products and Synthetic fibers.

Next to the plant in Belgium (Kaneka Belgium N.V.), Kaneka Corporation has sites in USA, Singapore, Malaysia, China, Vietnam, India, Taiwan, South Korea and Australia. Worldwide Kaneka employs more than 10,000 people (as of March 2018, included consolidated subsidiaries). Kaneka Belgium N.V. was founded in 1970 as a first chemical production site in Europe. Currently, three production units are operational in Westerlo-Oevel. Also, Kaneka Belgium act as a corner stone of the Kaneka global network.

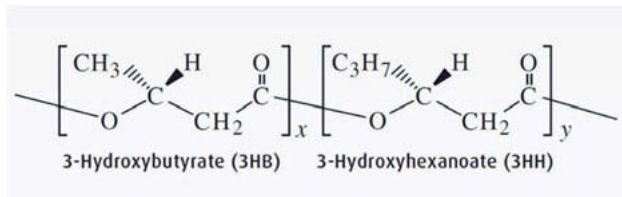


Kaneka's Corporate Philosophy

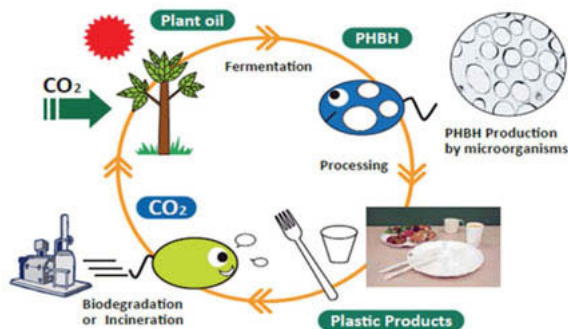
"With people and technology growing together into creative fusion, we will break fresh ground for the future and tie in to explore New Values. **We are also committed to challenge the environmental issues of our planet** and contribute to upgrading the quality of life."

PHBH, a natural polymer

KANEKA BIODEGRADABLE POLYMER PHBH™ is **bio-based and biodegradable** yet strongly resistant to heat and hydrolysis and can act as a barrier to water vapour. It is the first ever 100% plant-based biopolymer to offer both flexibility and heat resistance. It exhibits a range of properties from hardness through to softness as well as a number of key characteristics of polyethylene and polypropylene materials. This allows Kaneka PHBH resin to be usable for both flexible films and injection applications



Its raw materials are biomasses such as plant oils, which are renewable resources. Polymers are accumulated in the bodies of microorganisms through strain development and **fermentation technology**. KANEKA BIODEGRADABLE POLYMER PHBH™ is produced in a clean process whereby the polymers are refined and extracted. There are also prospects for the establishment of manufacturing technology utilizing biomasses not used for food as the primary ingredients.



Kaneka announced at “Our Ocean Conference”, Malta 2017, that **within the coming 3 years** they will support the development of **PHBH based marine biodegradable applications** to reduce the environmental impact of plastic leakage in the ocean. Kaneka will further work-out the industrial scale production of the biodegradable polymer PHBH, which is a natural polymer produced by the metabolism of micro-organisms. It will also further study the biodegradation and eco-toxicity of PHBH related applications which will be used not only in the marine field but also in other industrial and consumer product.

Biodegradability of Kaneka PHBH resin



KANEKA BIODEGRADABLE POLYMER PHBH™ is stable under every day usage conditions. At the same time, it is **biodegradable in either anaerobic, aerobic, soil and marine conditions in the natural environment**. Micro-organisms available in nature, such as in soil, ocean and river waters, convert the polymer PHBH into water and carbon dioxide. PHBH has been certified as (home)- compostable, soil and marine biodegradable by an independent certification body (Tüv Austria)

This opens perspectives for improved waste management systems and for applications whereby the environmental impact due to leakage will be reduced by the biodegradation of the material.

E-PHBH particle foam development



Particle foam was successfully developed from the PHBH resin. We are currently at a final development stage and its introduction is expected to take place step by step during the year 2019.

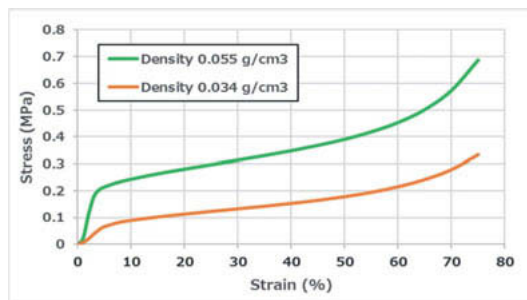
Our several testing's show the following main characteristics:

E-PHBH Molding ability

Several tests were run showing good molding ability of the E-PHBH particle foam on conventional EPP molding machines. No specific equipment is required to operate the product.

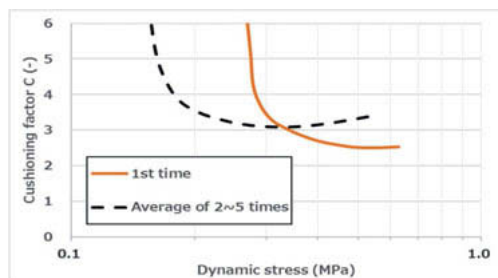
Trials were run for molding densities from 27gr/l up to 60gr/l.

E-PHBH compressive properties



Tests performed are showing compressive properties, which stay within the range of expanded polyolefins. More precisely, the product is positioned in between EPP and EPE values.

E-PHBH cushioning properties



Cushioning properties evaluation confirms that E-PHBH properties stay within E-PO range, making the material suitable for packaging applications. In the above graph, a 35gr/l molded density was used.

E-PHBH heat resistance

| | | Unit | Test sample | | E-PP | | E-PE | |
|------------------------|--------|-------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Base resin | | | PHBH | | PP | | PE | |
| Density | | g/cm ³ | 0.054 | 0.038 | 0.060 | 0.030 | 0.047 | 0.025 |
| Shrinkage ratio (Area) | 80 °C | % | — | — | -0.1 | -0.2 | -0.4 | -1.1 |
| | 100 °C | % | -0.2 | — | -0.4 | -0.8 | — | — |
| | 120 °C | % | -0.5 | -1.4 | — | — | — | — |

E-PHBH was tested according to JIS K 6767B and results demonstrate a high performance. Heat stability is equivalent or better than that of Expanded Polyolefins.

Biodegradability in sea water

Same as for the resin, the biodegradability in sea water was evaluated. The result showed an excellent biodegradation in this environment. After a seven-month evaluation, over 90% of the volume was degraded. The concerned sample had a molded density of 27gr/l.



Conclusion

PHBH natural polymer demonstrates its outstanding properties of biodegradability in a natural environment. The E-PHBH keeps these properties including in a sea environment, which is an important environmental concern. The particle foam, which is today at a final development stage, will propose to the market a material having essentially the E-PO range of mechanical properties, including on the heat resistance aspect. It will be possible to mold parts on currently available EPP machines.

PLA-basierte Schaumstoffe – Überblick, Einsatzgebiete und Potenziale

Dipl.-Ing. (FH) **A. Dennard**, Dipl.-Ing. **B. Bitzer**,
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal

MOTIVATION



Quelle: NOAA, MARINE DEBRIS PROGRAM (Ausschnitt)

Europäische Plastikstrategie 2018



Recycling

- Recyclingfähigkeit von Produkten verbessern
- Anteil von recyceltem Kunststoff auf dem Markt erhöhen
- Verbesserung der Recyclinganlagen
- Standardisierung für Müllsammlung- und sortierung in der EU



Abfälle

- Reduzierung von Einweg-Produkten
- Beschränkung von Mikroplastik in Produkten
- Einführung von Logos für biologisch abbaubare und kompostierbare Kunststoffe



Vermüllung der Meere

- Hafenauffangeinrichtungen für Meeresabfälle
- Bewirtschaftung von Meeresabfällen an Land



Investition und Innovation

- Richtlinien der EU zur Reduzierung von Kunststoffabfällen
- Förderung und Finanzierung von Entwicklungsprojekten für intelligenteren und recyclingfähigere Kunststoffe und Recyclingverfahren

FRAUNHOFER INSTITUT FÜR CHEMISCHE TECHNOLOGIE ICT



- Gegründet: 1959
- Sitz in Pfinztal-Berghausen
- Mitarbeiter: 547
- Gesamthaushalt 2016: 40 Mio €
- Gesamtfläche: 210.000 m²

THERMOPLASTISCHE SCHAUMSTOFFENTWICKLUNG AM FRAUNHOFER ICT



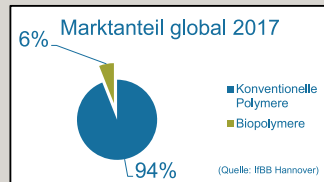
BIOPOLYMERE BEGRIFFSDEFINITION

Definition Biopolymer: (nach H.-J. Endres)

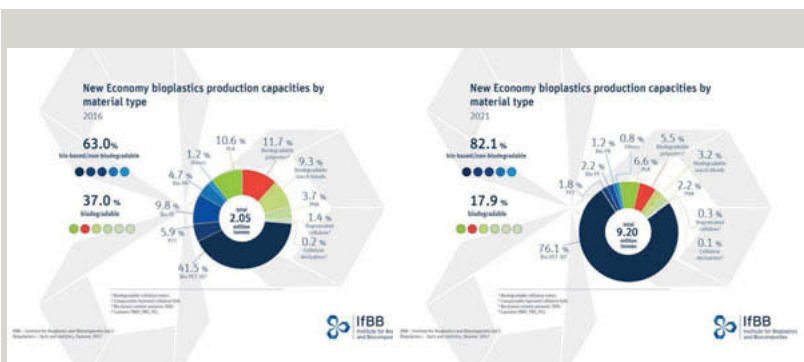
→ Polymer welches biobasiert und / oder biologisch abbaubar ist.

Marktrelevante Biopolymere:

- Biobasierte Polyester (**PLA**, PHB, PBS, PBSA, PTT, Bio-PET)
- Polysaccharide Polymere (Cellulosebasierte Polymere, Stärkebasierte Polymere)
- Biobasierte Polyolefine (Bio-PP, Bio-PE)
- Bio-PUR
- Bio-PA



MARKTÜBERBLICK, MARKTAUSBLICK



PLA 2016: 0,22 Mio. Tonnen



PLA 2021: 0,61 Mio. Tonnen

BIOPOLYMERSCHÄUME AUF DEM MARKT



Quelle: Synbra Technology BV, BioFoam®



Quelle: ZeataFoams®



Quelle: Fraunhofer ICT, Cellulosebasierter Schaum



Quelle: Fraunhofer UMSICHT, Stärkeschaum



Quelle: mypack, Bio Verpackungschiips (Stärke)



Quelle: BASF ecovio® EA

GEWINNUNG VON PLA

- Quelle: Zucker oder Stärke



Foto: CTC

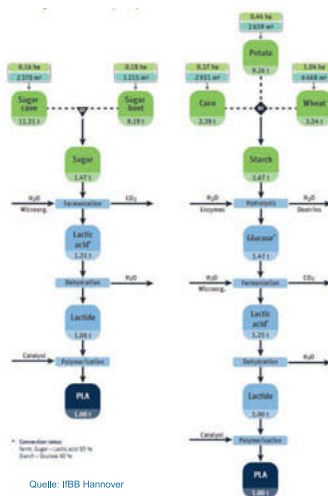


Foto: costas2 - 123rf Stockfoto

→ Zuckerrohr, Zuckerrübe, Mais, Kartoffel, Weizen

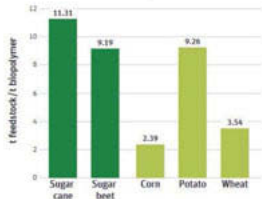
→ 100% biobasiert

- Bakterielle Fermentation
- Bildung von Milchsäure
- Bildung von Lactid durch Dehydratation
- Polymerisation zu Polylactid (PLA)



BIOLOGISCHER FUßABDRUCK PLA

PLA – Feedstock requirements in t (different feedstocks)

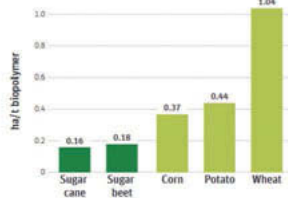


Quelle: IFBB Hannover

Geringste Landflächennutzung bei Gewinnung aus Zuckerrohr

Höchste Ausbeute aus Mais

PLA – Land use in ha (different feedstocks)



Quelle: IFBB Hannover

GLOBAL WARMING POTENTIAL

Global warming potential
European data in CO₂eq./kg polymer

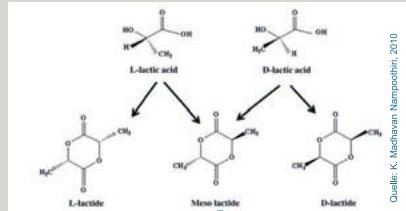


Quelle: Vink, Davies, NatureWorks 2015

EIGENSCHAFTEN VON PLA - STEREOISOMETRIE

Räumliche Anordnung des Polymers hat Einfluss auf:

- Schmelzpunkt
- Kristallinität
- Kristallinitätsrate
- Mechanische Eigenschaften



amorph

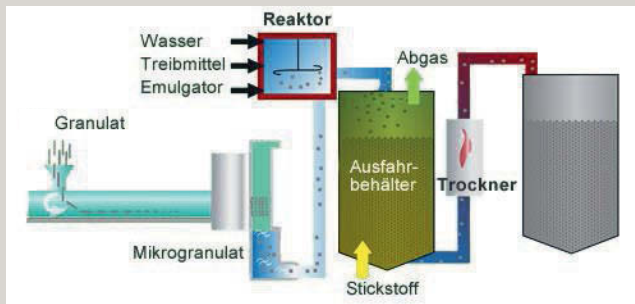
teilkristallin

| Copolymer ratio | Glass transition temperature (°C) | Melting temperature (°C) |
|--------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 100/0 (l/d, l)-PLA | 63 | 178 |
| 95/5 (l/d, l)-PLA | 59 | 164 |
| 90/10 (l/d, l)-PLA | 56 | 150 |
| 85/15 (l/d, l)-PLA | 56 | 140 |
| 80/20 (l/d, l)-PLA | 56 | 125 |

Quelle: L.T.Lim, R. Auras, M.Rubino, 2008

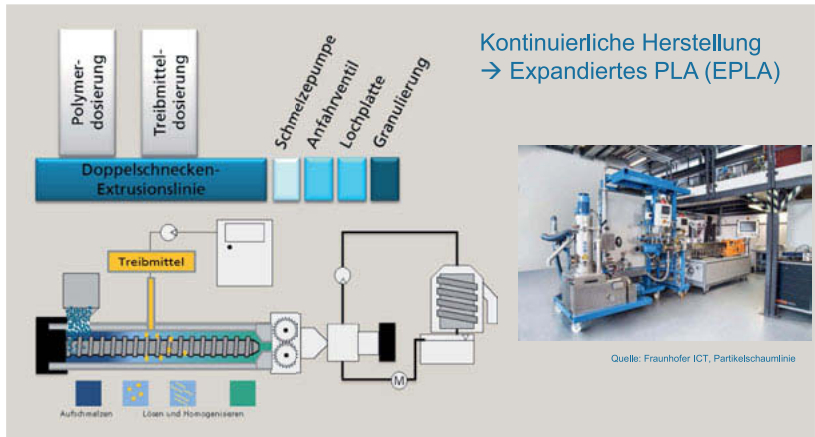
HERSTELLUNG VON PLA-SCHÄUMEN - AUTOKLAVPROZESS

Diskontinuierliche Herstellung
→ Expandierbares PLA (EPLA)

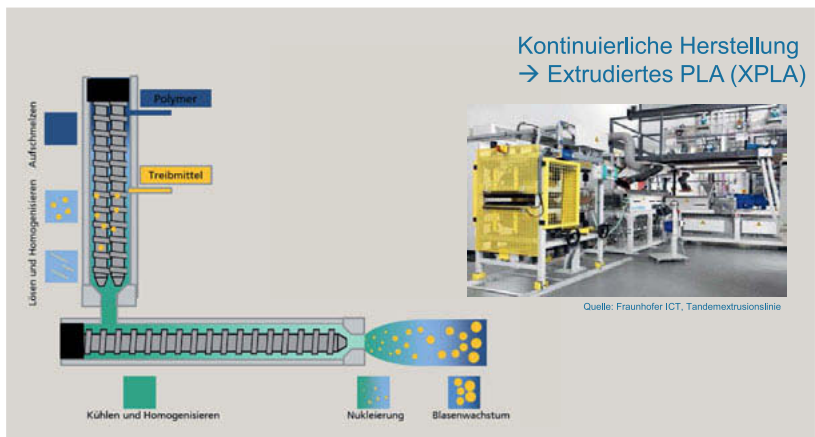


Quelle: EPP-Forum

HERSTELLUNG VON PLA-SCHÄUMEN – PARTEKLETRUSION

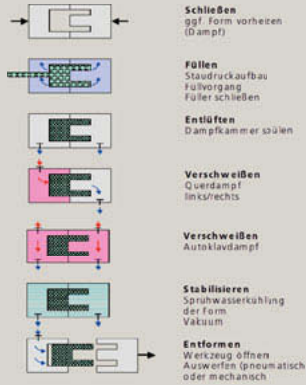


HERSTELLUNG VON PLA-SCHÄUMEN - PROFILEXTRUSION



HERSTELLUNG VON PLA-SCHÄUMEN - FORMTEILHERSTELLUNG

Versinterung der Schaumperlen im Formteilprozess



Quelle: Fraunhofer ICT, Formteilautomat

EIGENSCHAFTSPROFIL PLA-SCHAUMSTOFFE IM VERGLEICH

| | EPS | EPP | BioFoam® | Zeala Foam® |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
| Dichte [kg/m³] | 30 | 30 | 35 | 25 |
| Wärmeleitfähigkeit [mW/mK] | 33 | 35 | 34 | 35 |
| Druckfestigkeit [kPa] | 200 | 220 (bei 50% Stauchung) | 200 (bei Dichte 40 kg/m³) | 70 |
| E-Modul [MPa] | 3,2 (bei Dichte 35 kg/m³) | 2,5 | 3,2 (bei Dichte 25 kg/m³) | --- |

Quelle:
EPS: Synbra
EPP: ARPRO
BioFoam®: Synbra
Zeala Foam®: Zeala Foam BPN

VOR- / NACHTEILE VON PLA-SCHAUMSTOFFEN

Vorteile:

- Biobasiert
- Abbaubar nach DIN EN 13432 (unter speziellen Industriekompostbedingungen)
- Lebensmittelrechtlich zugelassen
- Gute Bedruckbarkeit
- Gute Geruchsbarriereigenschaften / Sauerstoffbarriere

Nachteile:

- Hydrophilie → Beeinflussung der Eigenschaften
- Abbaubarkeit wird derzeit aufgrund der Dauer noch nicht industriell genutzt
- Versinterung von teilkristallinen PLA-Partikelschaumstoffen technisch aufwändig (Coating)

EINSATZGEBIETE VON PLA-SCHAUMSTOFFEN

Derzeit:



Quelle: biofutura



Quelle: greenbox



Quelle: greenchemicalsblog



Quelle: PACKnWood



Quelle: Kretschmar GmbH



Isolation

Transport



Quelle: Alibaba

Zukünftig:

Verpackung



Quelle: DE PACK



Quelle: disposablediscounter

Lebensmittel

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG IM BEREICH BIO-SCHÄUME AM FRAUNHOFER ICT

- **Konzept:**

Thermoplastische Schaumstoffe welche aus nachwachsenden Rohstoffen stammen und / oder biologisch abbaubar sind

- **Materialien:**

Polylactid, Cellulosebasierte Polymere, Bio-Blends, Drop-In-Solutions (Bio-PP, Bio-PE, etc.)

- **Entwicklungsfokus:**

Thermische und mechanische Eigenschaften, Schaummorphologie, umweltfreundliche Additive, halogenfreier Flammschutz

- **Prozesse:**

Partikelschaumtechnologie, Extrusionsschaum

- **Anwendungsbereiche:**

Verpackung, Isolation

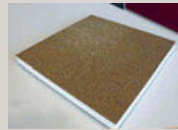
FORSCHUNGSPROJEKT: FNR-PLUS

Biobasiertes Sandwich-Element für den Baubereich

Deckschicht: PLA Matrix mit Naturfasern

Kernmaterial: PLA-Schaum per Extrusion
(XPLA)

Dichte ca. 100 kg/m³



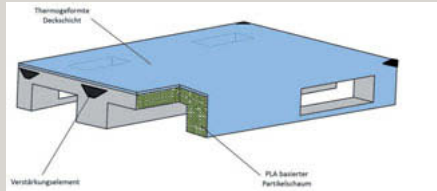
Quelle: Universität Stuttgart

FORSCHUNGSPROJEKT: BIO-FLIP

Biobasierte Schaumleichtpalette

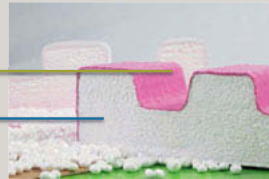


Quelle: Fraunhofer ICT, PLA-Partikelschaum



Deckschicht: Thermogeformtes PLA

Kernmaterial: PLA-Partikelschaum (EPLA)
(hier EPS)



FAZIT

- Marktprognose für PLA steigend
- PLA-basierte Schaumstoffe passen gut in die EU Plastik Strategie 2018
→ Biologische Abbaubarkeit
- PLA-basierte Schaumstoffe haben Potenzial für viele zukünftige Anwendungen
- Derzeit gibt es noch wenig PLA-Schaumprodukte auf dem Markt
- Diskontinuierliche Verfahren zur Herstellung von PLA-Schaumstoffen derzeit teilweise technisch sehr aufwändig
- Forschung & Entwicklung am Fraunhofer ICT: Kontinuierlicher Prozess zur Modifizierung und Herstellung von PLA-Schäumen (EPLA, XPLA)

Contracting als innovative Energiedienstleistung für Industrieunternehmen

Dipl.-Ing. **V. Schulz**, Dipl.-Ing. **P. Hörler**,
GETEC heat & power GmbH, Magdeburg

Kurzfassung

GETEC ist Marktführer im Energie-Contracting und versorgt aus über 6.500 Anlagen unterschiedliche Kunden in der Industrie-, Gewerbe- und Immobilienwirtschaft mit Nutzenergie, wie Wärme, Kälte, Strom und Druckluft aus speziell dafür designten Anlagen. Die Gesamtwärmeleistung beträgt ca. 3,5 GW. Der Umsatz betrug im Jahr 2017 ca. 550 Mio Euro.

Für Industrieunternehmen entwickelt GETEC hocheffiziente und innovative Energieversorgungslösungen und setzt diese im Contracting um. Dies führt für die Unternehmen zu einer nachhaltigen Effizienzsteigerung, zur Schonung von Ressourcen, Senkung des Carbon-Footprints und zur Senkung der Energiekosten. Dabei übernimmt GETEC die Finanzierung Off-Balance für die Kunden im Rahmen eines Outsourcing der Energieversorgung.

1. GETEC - Leistungen

In der Industrie werden jährlich Mio t CO₂ an die Umwelt abgegeben. Im Rahmen eines Energie-Contracting leistet GETEC einen wichtigen Beitrag um die Umweltbilanz Ihres Unternehmens durch Einsparungen von CO₂ deutlich zu verbessern. Die ganzheitliche Energieeffizienzanalyse führt zu einer Optimierung der Energieversorgung.

Wir entwickeln, planen, bauen, betreiben und finanzieren hocheffiziente und innovative Anlagen zur Versorgung Ihres Unternehmens mit Nutzenergie wie z.B. Dampf, Wärme und Strom oder Kälte. Dies wird im Rahmen des Vortrages an ausgewählten Projekten gezeigt.

Wir verfügen über ein hochkarätiges technisches und energierechtliches Know How sowie an großen Erfahrungen aus dem Betrieb unserer Anlagen aus mehreren Jahrzehnten. Dabei besitzen wir große Ressourcen für den Einsatz verschiedener Primärenergieträger.

Es werden deutliche Kosteneinsparungen für Ihr Unternehmen erreicht auch ohne eigene Investitionen als Off-Balance Lösung bis hin zur Übernahme bestehender Heizwerke bzw. Heizkraftwerke durch GETEC.

Der 24/7 Service und die permanente Überwachung der Anlagen durch den GETEC Leitstand sowie unser professionelles Wartungs- und Instandhaltungsmanagement schafft Sicherheit in der kontinuierlichen Energieversorgung und Anlagenverfügbarkeit für Ihr Unternehmen.

2. Ihre Vorteile bei GETEC

- dauerhafte Energiekostensenkung
- deutliche Reduzierung der CO₂-Emissionen
- nachhaltige Umweltentlastung und Ressourcenschonung
- Liquiditätsgewinn und Bilanzentlastung (off balance)
- Konzentration auf Ihre Kernkompetenz

Neue Verarbeitungsmethoden für EPS mit elektromagnetischen Wellen

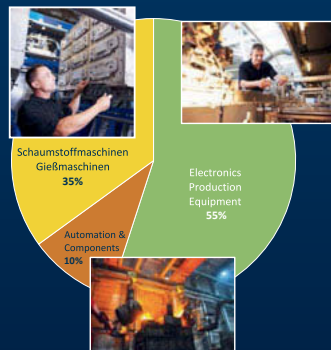
Dipl.-Phys. **V. Romanov**, Kurtz GmbH, Kreuzwertheim

Gliederung

- 1 Konzern Kurtz Ersä
- 2 Grundlagen der dielektrischen Erwärmung
- 3 Radio Frequenz (RF) versus Mikrowelle
- 4 Materialien für RF Verarbeitung
- 5 RF Anwendung im Formteilautomat
- 6 RF Werkzeuge für Verarbeitung von Partikelschaum



| Konzerndaten | 2017 |
|---|-------|
| Konzernumsatz in Mio. € | 266 |
| Mitarbeiter weltweit | 1.400 |
| davon an den Standorten Wertheim / Kreuzwertheim / Haslocher | 1.150 |
| Ausbildungsquote | 10 % |
| Exportanteil | 70 % |
| Unternehmen des Kurtz Ersä Konzerns | 17 |
| davon Produktionsstätten | 8 |
| davon Auslandsniederlassungen | 9 |



Historische Entwicklung

| | |
|------|--|
| 1779 | Hammerschmiede |
| 1852 | Eisengießerei |
| 1860 | Maschinenfabrik |
| 1971 | Bau von Schaumstoffmaschinen |
| 1983 | Bau von Gießmaschinen |
| 1984 | Internationalisierung: USA |
| 1993 | Löttechnologie |
| 1996 | Feinblechtechnologie |
| 1998 | Kurtz Holding |
| 2004 | Jubiläum 225 Jahre / Kurtz Zhuhai: China |
| 2006 | Neubau Feinblechtechnologie Kurtz Ost -Moskau, Russland |
| 2007 | Schablonendrucker |
| 2009 | Entgratpressen |
| 2011 | Neues Erscheinungsbild |
| 2012 | Neubau Pulverbeschichtung |
| 2013 | Neubau Montagehalle |
| 2014 | Jubiläum 235 Jahre / HAMMERMUSEUM |
| 2015 | Eröffnung SMART FOUNDRY |
| 2016 | HAMMER ACADEMY |
| 2017 | Spatenstich Zentrallager, Kurtz Ersä Logistik GmbH |



Wo alles begann:
Hammerschmiede Hasloch

Hier wird gelenkt:
Kurtz Ersä-Hauptverwaltung
Kreuzwertheim



Elektrische Erwärmung

Elektrische Strom = Transport elektrischer Ladungen

Elektrische Widerstand **R** zeigt wie die Bewegung der Ladungsträger vom Material behindert wird

Ladungsträger:

- Elektronen - Metalle, Halbleiter, Vakuum
- Löcher - Halbleiter
- Ionen - Elektrolyten, Gasentladung, Plasma

$$P = \frac{U^2}{R}$$



Dielektrische Erwärmung

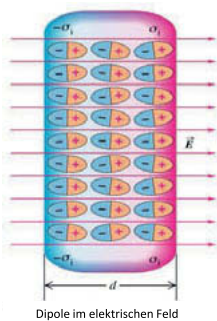
Dielektrikum = Isolator = keine freie Elektronen

Warum wird Dielektrikum im elektrischen Feld warm?

?



Mechanismen der dielektrischen Erwärmung



- Ladungsträger und Moleküle mit induzierten bzw. permanenten Dipolmomenten werden zu Schwingungen angeregt.
- Diese Schwingungen sind je nach Art der Ladungsträger und der Wechselwirkungen mit der umgebenden Materie unterschiedlich stark gedämpft.
- Die Dämpfung führt zu einer Phasenverschiebung zwischen der Anregung und der Orientierung der Dipole.
- Dämpfung bedeutet – [Energie Dissipation](#)
- Um die Erwärmbarkeit und Verschleißbarkeit zu beschreiben, verwendet man die makroskopische Materialeigenschaft **Verlustfaktor $\tan \delta$**
- Der Verlustfaktor ist Temperatur- und Frequenzabhängig.

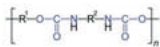
Moleküle und Funktionelle Gruppen mit Dipolmoment



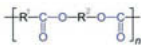
- Wasser



- Amidgruppe

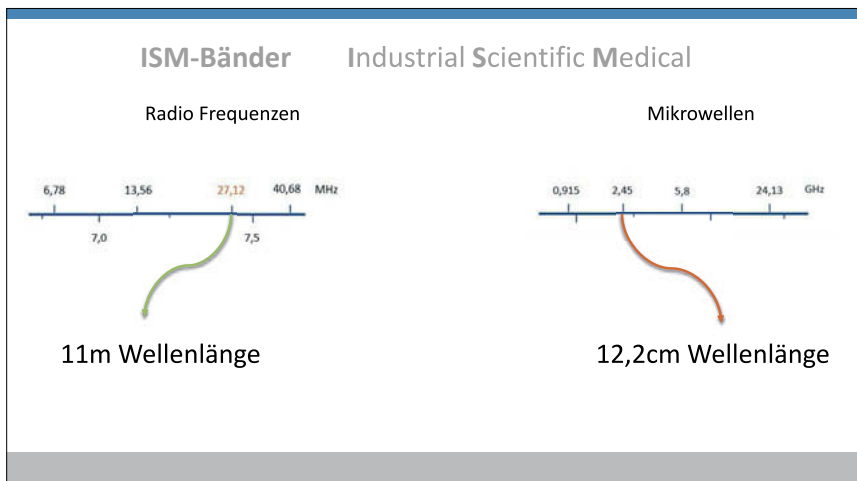
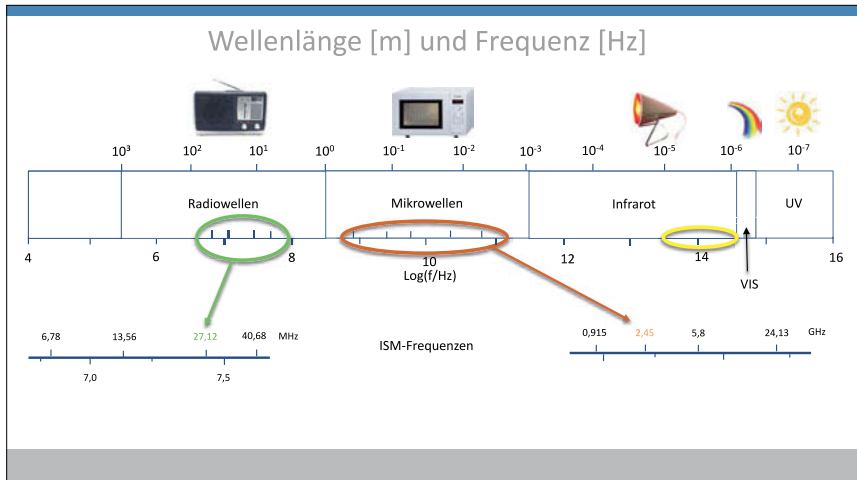


- Urethangruppe



- Estergruppe

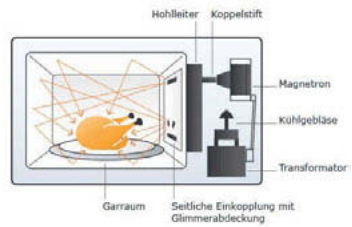
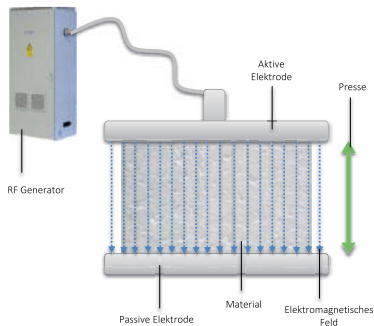
- Um verschweißbar oder erwärmbar zu sein, müssen Kunststoffe auch - auf einer molekularen Ebene „beweglich“ sein.
- „Starre“ Molekülsegmente können nicht/oder nur wenig bewegt werden, der entsprechende Kunststoff wird nicht warm.
- PEEK (=Poly-Ether-Ether-Keton) enthält die polaren funktionellen Gruppen Keton und Ether. Wegen seiner starren Molekülsegmente ist er jedoch nicht „beweglich“ und kann daher schlecht im elektrischen Feld erwärmt werden.



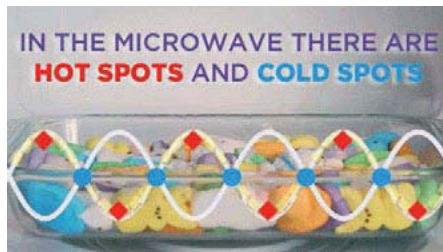
RF Radio Frequenz

versus

Mikrowelle

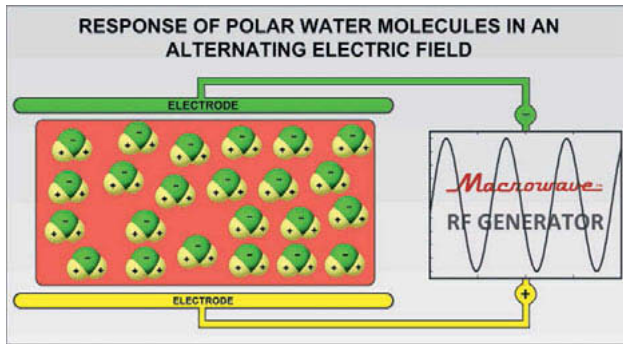


Mikrowelle Stehwellen heiße & kalte Punkte



12,2cm Wellenlänge

Wassermoleküle im RF Feld



27,12 MHz
Wellenlänge
 $\lambda = 11\text{m}$

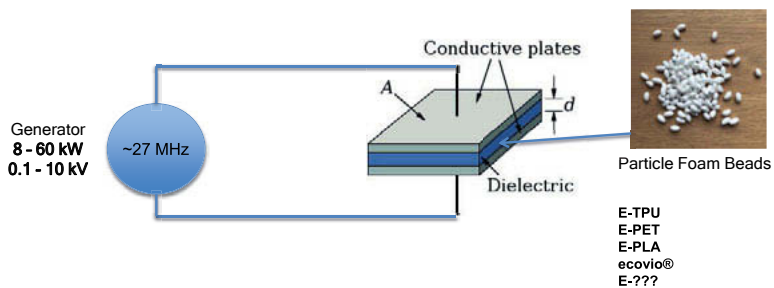
Elektroden
bis 2 x 2 m
 $< \frac{1}{4} * \lambda$

Vorteile der RF Radio Frequenz in Formteilautomaten

- homogenes elektromagnetisches Feld
- keine heißen & kalten Stellen
- schnelle und homogene Erwärmung
- Kombination mit mechanischer Presse möglich
- ähnliche Technik wie herkömmliche Partikelformteilautomaten
- keine Formbewegung notwendig, um das elektrische Feld auszugleichen
- bessere Simulationsmöglichkeiten mit vorhersagbaren Ergebnissen

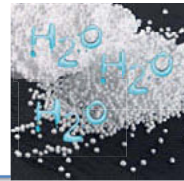
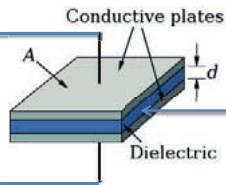
Welche Materialien können mit RF verarbeitet werden?

RF Radio Frequenz – Polare Materialien



RF Radio Frequenz – unpolare Materialien

Generator
8 - 60 kW
0.1 - 10 kV

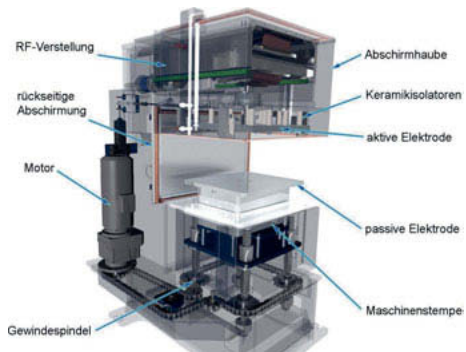


Particle Foam Beads
+H₂O

EPS
EPP
EPE
ecovio®

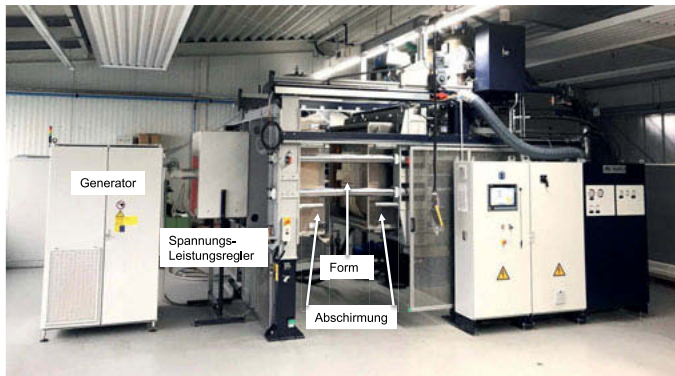
RF Anwendung im Formteilautomat

RF Labor Maschine



- Max RF Foaming area 600 x 600 mm
 - Press Force max. 20 t
 - Electric drive
 - Pressurized filling
 - Mold pressure control
 - Foam pressure sensor
 - Interface to GWK Tempering device
-
- Frequency 27,12 MHz
 - Voltage max. 10 kV
 - Power max. 25 kW
 - Power idle 4 kW
 - Efficiency 75%

RF EPS Formteilautomat



Technical Data RF Foamer

Machine:

- Max RF Foaming area 1200 x 1200mm
- Press Force max. 100 t
- Standard Filling Injectors
- Water injection system

Generator :

- Frequency 27,12 MHz
- Voltage max. 10 kV
- Power max. 25 kW
- Power idle 4 kW
- Efficiency 75%



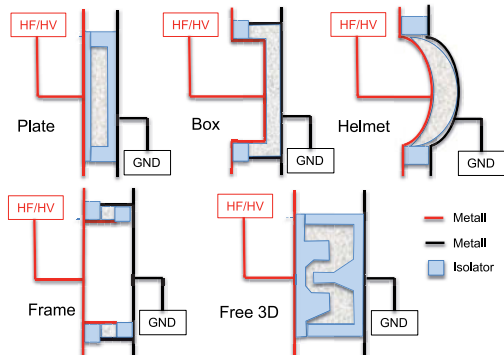
Werkzeuge für RF Verschweißung

Preferable Geometries:

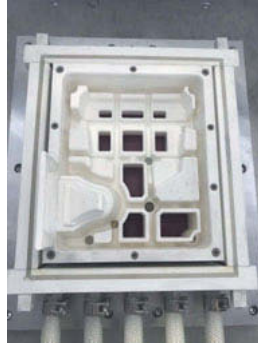
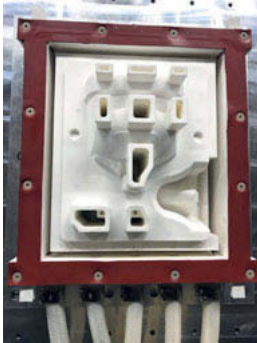
- Plate (Isolation)
- Box (Fish-box)
- Half-Sphere (Helmet)
- Ring / Frame
- Free 3D

Features:

- Foam Thickness max. 200 - 250 mm



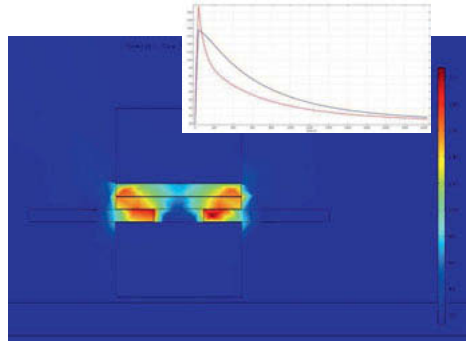
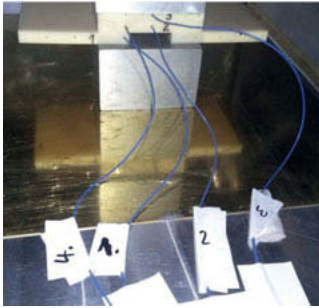
Free 3D RF Werkzeug für EPS Formteile



RF Demonstrator Werkzeug für E-PET Platten



Dielektrische Erwärmung - Theorie und Praxis



Möglichkeiten



EPS Steuerungstechnik – Prozesse transparent werden lassen – vom Steuern zum Kontrollieren

Einsatz von neuer Prozessmesstechnik in der EPS-Großserie Fehler- und Ausschußvermeidung durch Definition von Normalzuständen

Georg Schloms, Schloms und Partner, Blumberg

1. Rück- und Ausblick auf die EPS Verfahrenstechnik

Was hat sich seit der K-Messe 1952 getan, auf der dieses völlig neue Produkt vorgestellt wurde? Der Autor ist selbst seit über 30 Jahre in dieser Branche tätig und hat die Entwicklungsschritte in dieser Phase aus verschiedenen Blickwinkeln begleitet – manche Technologie kam und ging wieder.

Im diesem Beitrag möchte ich auf eine frühe Entwicklung der BASF zu Beginn der 1980er Jahre hinweisen, die dieses Schicksal traf: das „prozessgesteuerte“ Schäumen mit Hilfe der Schaumdruck- oder Blähdruksonde – und deren Renaissance.

Dieser Vorschlag „System BASF“ wurde von einigen Maschinenbauern in die Anlagen mittels zusätzlicher Druckanzeige und eines Kontaktmanometers mit den Schaltpunkten „oberen Schaumdruck erreicht“ zum Abbruch der Bedampfungphase und „unterer Schaumdruck erreicht“ zum Abbruch der Druckabbauphase integriert – hier ein Bild aus dieser Zeit:

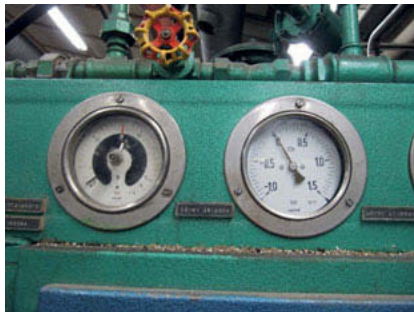


Bild 1: Installation Kontaktmanometer Fa. Heitz ca. 1980

Diese Technik hat sich aber damals nur bei den Blockschäumern zuverlässig durchsetzen können und verschwand aus der Formteilverarbeitung. Der eigentliche Zweck war es, den

Verarbeitern ein Instrument in die Hand zu geben, welches die zwangsläufigen Materialschwankungen aufgrund des je nach Ablagerungszeit variierenden Treibmittelgehalts in gewissen Grenzen kompensieren kann.

Die damals auf dem Markt befindlichen Drucksonden waren von recht einfacher mechanisch/pneumatischer Bauart, nicht als Messinstrument kalibrierbar und auch nicht sehr lange haltbar im rauen Umfeld häufiger Werkzeugwechsel.

Fa. JUMO hatte Ende der 1980er Jahre bereits eine hochwertige elektronische Sonde mit frontbündiger Metallmembran vorgestellt, die mit Erfolg in den Labor- bzw. Materialtestanlagen der Rohstoffhersteller eingesetzt wurde, für den klassischen Verarbeiter aber zu teuer und empfindlich war.

Mit dem Trend zu einzelgeschäumten Dämmplatten auf Formteilautomaten hat sich eine Renaissance der Schaumdrucksteuerung für diese Verarbeiter aus dem Bausektor ergeben; hier gab es auch schon erste Ansätze zum elektronischen Nachregeln, wenn das EPS nach Erreichen des gewünschten Abschaltpunktes noch weiter nachgebläht hat. Der Schaltpunkt wurde solange in kleinen Schritten nach unten geschoben, bis der gewünschte Maximalschaumdruck erreicht wurde. Dies sind aber Ausnahmen geblieben, da es offensichtlich keine Synthese aus diesen Erfahrungen mit den Blockschaumtechnologien und Formteilautomaten gegeben hat.

Der heutige Stand der Steuerungstechnik der Formteilautomaten ist bei den meisten Maschinenherstellern weitgehend ähnlich; SPS-Steuerungen übernehmen den Prozessablauf und die Regelung der jeweiligen Parameter und werden über ein HMI, in der Regel ein Windows basierendes Industrie-PC, bedient. Eine Vielzahl von Parametern (Drücke/Zeiten/Temperaturen) bezüglich Materialfüllung, Bedampfung, Kühlung und Schaumdruckabbau muss für jedes Formteil eingestellt werden; dies bereitet angesichts der zumeist recht gering ausgebildeten Mitarbeiter in der Fertigung Probleme, die in der Regel nach dem Motto „Viel hilft viel“ gelöst werden. Einige Verarbeiter haben sogar feststellen müssen, dass die Ausbringung bei langlaufenden Produkten über die Jahre schlechter werden, weil auf Sicherheit eingestellt wird und sich damit auch noch der spezifische Energieverbrauch erhöht. Erschwerend kommen folgende Faktoren hinzu:

Maschinenpark verschiedener Hersteller mit unterschiedlicher Performance

Wechselnde Rohstofflieferanten

Energieversorgungsanlagen mit mangelnder Stabilität

Mangelnde Kenntnisse der Bediener

Ich möchte hier über ein Fallbeispiel berichten, welches mit Sicherheit nicht verallgemeinert werden kann, aber hoffentlich doch Denkanstöße für zukünftige Anlagen bieten kann.

In der Funktion als Projektmanager beim Bau eines EPS-Werkes in Übersee wurde ich gefragt, ob ich nicht einen EPS-Experten kenne, der für die Betriebsleitung eingestellt werden könne, worauf ich antwortete, dass ich ausgerechnet so einen „Experten“ nicht für geeignet halte. Der typische EPS-Experte ist ein „Knöpfchendreher“ – in gutem US-Ton ein „Knobologist“ – und genau das ist das Problem bei vielen Verarbeitern auf der ganzen Welt. Prozesse werden nicht definiert und wiederholt, sondern quasi aus dem Stand nach der jeweiligen Lage von Maschine, Anlage, Rohstoff, Außentemperatur, Materialtemperatur und Werkzeugzustand eingestellt.

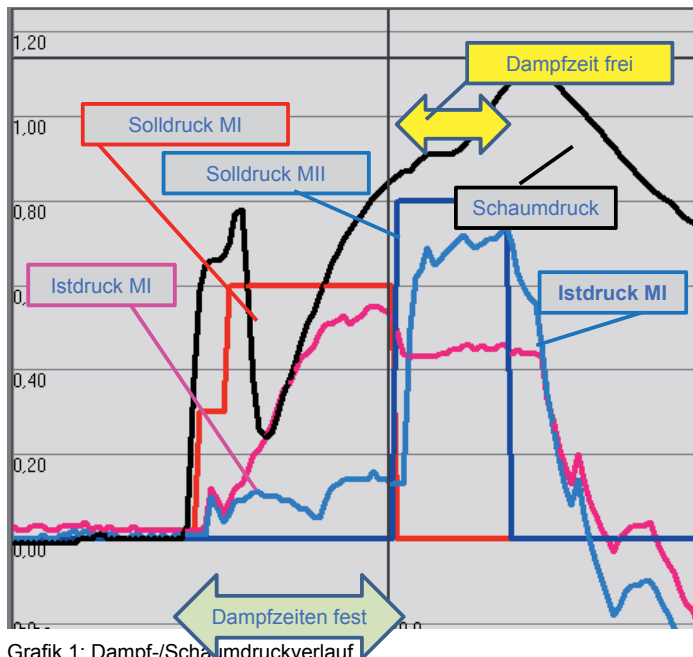
Bei den heutigen Qualitätsvorstellungen der Kunden ist dies zum einen nicht akzeptabel und zum anderen mit der üblichen Mitarbeiterqualifikation fachlich nicht machbar; dies ist ein großes Problem für viele Verarbeiter.

Bei der gegebenen Anlage bot sich die Chance neue Wege zu gehen: Es ging um ein neues Werk für 7 große EPS Maschinen und ca. 40-50 Werkzeuge/Produkte verschiedener Größen, aber alle mit der gleichen Dichte und dem gleichen Rohstoff. Bei der Produktentwicklung konnte der Prozess in seiner ganzen Bandbreite mit Hilfe einer elektronischen Schaumdrucksonde mit integrierter Temperaturmessung (Fabrikat Michel) analysiert werden und die variablen Parameter von den festen separiert werden. Die Maschinen sind mit umfangreicher Sensorik zur Überwachung der Medien inklusive Abwasser und Zentralvakuum ausgestattet.

Jedes Werkzeug wurde abgemustert und der Prozessverlauf mit verschiedenen Rohstoffen und Ablagerungszeiten analysiert, so dass sich ein signifikanter Verlauf der Drücke als Basis für eine Definition der Normalität ergibt, denn nur mit dem Wissen um diese Parameter kann man Plausibilitätsbedingungen und Eingreifgrenzen bei entsprechender Überwachung definieren.

Beispiel Prozessphase Bedampfungsverlauf:

1. Einseitiges Kondensatspülen MI 0,3 bar
feste Zeit 1,5s
2. Querbedampfung MI 0,5 bar mit offenem Abwasserventil auf der Gegenseite
feste Zeit 4s
3. Querbedampfung MI 0,6 bar mit geschlossenem Abwasserventil auf der Gegenseite
feste Zeit 5s
4. Querbedampfung MII 0,8 bar mit geschlossenem Abwasserventil auf der Gegenseite bis zum Erreichen des gewünschten Schaumdrucks von 1,08 bar (Diese Zeit darf je nach Ablagerung und Rohstofftype zwischen 4 und 12s liegen) > Hier findet die finale Verschweißung und damit auch die Einstellung der gewünschten Qualität statt.



Grafik 1: Dampf-/Schäumdruckverlauf

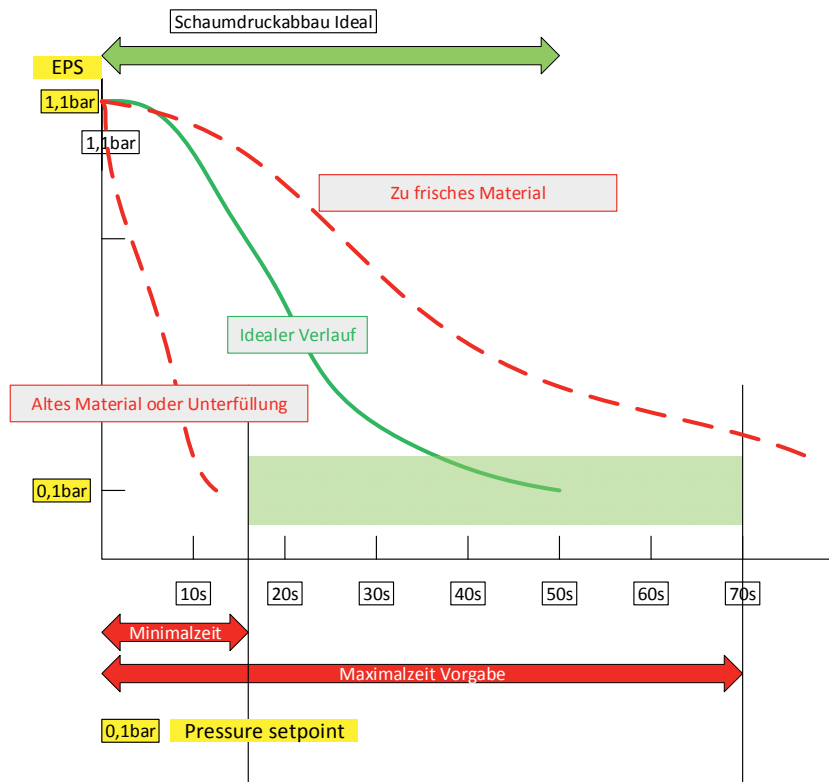
Man sieht hier übrigens auch, dass bei den heutigen Rohstoffen aufgrund langsamer und kontrollierter Expansion des EPS-Rohstoffes die eingestellten Solldrücke der Dampfdruckregelung während der Querbedampfung in der Regel nicht und in der Autoklavphase, wenn überhaupt, nur sehr kurz erreicht werden – die Dampfströmung (Energieeintrag), welche im Wesentlichen durch die Ventilauswahl der Maschine und den Netzvordruck bestimmt wird, ist entscheidend für einen stabilen Prozess. Aus diesem Grunde ist ein möglichst enge Netzdruckfenster (hier 3,5 barÜ +0,2 bar) durch entsprechende Dampfspeicher und Rohrdimensionierung zu gewährleisten.

Insgesamt werden 2 Warnungen zu dieser Prozessphase generiert, nach deren Auftreten die Maschine in den Halbautomatikbetrieb geht und den Bediener bzw. den Leitstand informiert.

Dies ist heute insbesondere von vermehrter Wichtigkeit, da viele Maschinen mit Handlingsystemen ausgestattet sind und Ausschuss gar nicht mehr unmittelbar entdeckt wird – dies zu vermeiden, ist ein Ziel dieser Prozesstechnik.

Beispiel Prozessphase Druckabbau: Wasserkühlung mit fester Zeit und Vakuum bis zum Schaumdruckabbau auf 0,1 bar (hier sehr weites Zeitfenster: je nach Ablagerung und Rohstofftype zwischen 15 und 70 sec)

Da bei der EPS-Verarbeitung ja manchmal starke Materialschwankungen oder Fehler bei der Freigabe vom Silo vorkommen können, muss die Maschine die freien materialabhängigen Parameter auch überwachen.



Grafik 2: Schaumdruckabbauphase

Insgesamt werden 2 Warnungen (Konsequenz: Halbautomatik) zu dieser Prozessphase generiert:

1. Schaumdruck ist bei Start Stabilisierung 1 zu klein (Nach Ablauf der min Zeit ist der Schaumdruck schon kleiner als der eingestellte) = keine Expansion/altes Material; kann auch Füllfehler sein
2. Schaumdruck ist bei Ende der Vakuumzeit noch höher als gewünscht= zu frisches Material

Konsequenz aus der Praxis: Das Verarbeitungsfenster „Ablagerungszeit des Rohstoffes“ ergibt sich auf diese Weise fast von selbst: Man beginnt nach ersten Ablagerung zu Verarbeiten und wartet so lange, bis die Schaumdruckabbauzeit innerhalb der Zielvorgabe ist = minimale Ablagerungszeit

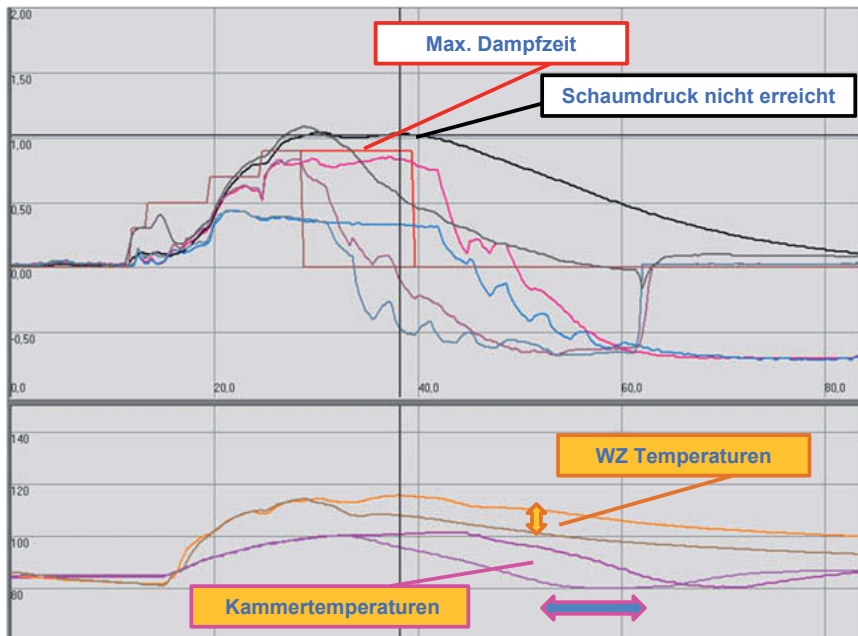
Mit gealtertem Rohstoff kann man feststellen, bis wann das Dampfangebot noch ausreicht, um auf den gewünschten Schaumdruck zu kommen = maximale Ablagerungszeit

Weitere Vorteile ergeben sich im schnellen Erkennen von anderen Problemen bei der Verarbeitung, die bei rein zeitgesteuerten Maschinen oft erst spät entdeckt werden – hier ein

Praxisbeispiel: Sprühleitung Kühlwasser defekt /Lötstelle Kupferbogen abgerissen:



Bild 2: Defekte Lötstelle Sprühleitung > unkontrollierter Wasseraustritt



Grafik 3: Vergleich Standard/defekte Kühlleitung

Was passiert: Durch die defekte Leitung wird mehr Wasser auf das Werkzeug gespritzt > die Temperatur von Werkzeug und Dampfkammer sinkt ab.

Konsequenz: Im nächsten Zyklus reicht das Dampfangebot innerhalb der maximalen Dampfzeit nicht mehr aus, um den gewünschten Schaumdruck zu erreichen.

Die Maschine bleibt nach dem Zyklus stehen; jetzt muss analysiert und der Fehler behoben werden – weiterer Ausschuss wird so vermieden.

Die freien Parameter konnten hier auf ein Minimum beschränkt werden; nur der F llspalt und die Füllzeit kann bei diesen speziellen Produkten innerhalb enger Grenzen variiert werden; sonst kann der Bediener nichts einstellen: alle Maschinen (2 Größen: 2 und 4m² Sch umfl che) werden bei allen Produkten mit dem gleichen Parametersatz gefahren.

Damit so etwas in der Praxis funktioniert, ist natürlich eine umfangreiche Überwachung für aufkommende Problemfälle notwendig, die hier sowohl individuell an jeder Maschine als auch zentral an der Energieversorgungsanlage vorgenommen wird.

Die Maschine überwacht sämtliche ein- und ausgehenden Medien, welche innerhalb definierter Grenzen sein müssen; sollte ein Wert von der Vorgabe abweichen, beendet die Maschine den Zyklus, schaltet in Halbautomatik und bleibt mit Fehlermeldung stehen.

Zur Eigenüberwachung gehört natürlich auch eine zyklische Plausibilitätsprüfung der jeweiligen Messeingänge; z.B. müssen die Druckeingänge von Dampfkammerdruck und Schaumdrucksonde nach Öffnen und Auswerfen des Formteil 0,0 bar mit $\pm 0,05$ bar Toleranz anzeigen – dies kann in jedem Zyklus einfach überprüft werden.

Falls die Energieversorgungsanlage, z.B. Zentralvakuum, Kühlsystem oder Dampfversorgung eine Störung hat, bekommt die Maschine keine Freigabe mehr und bleibt auch stehen.

Beispiel: Zeitparameterliste Grafik 4

Feste Parameter: grün

Variable Parameter: gelb

Max. Werte (Überlaufzeiten für prozessabhängige Schritte): rot

| Prozesszeiten | |
|-----------------------------------|----------|
| Schliessen schnell | 2,0 sec |
| Schliessen langsam | 0,7 sec |
| Schliessen HD / Crack | 0,0 sec |
| Vorheizen | 0,0 sec |
| Ausblasen | 1,0 sec |
| Füllen 1 | 1,0 sec |
| Füllen 2 | 2,0 sec |
| Verzögerung Rückblasen | 0,8 sec |
| Rückblasen | 1,5 sec |
| Crack zu / HD | 0,0 sec |
| Spülen MI | 1,5 sec |
| 1. Querdampf (Zeit) MI | 4,0 sec |
| 2. Querdampf (Zeit) MI | 5,0 sec |
| 3. Querdampf (Zeit) MII | 15,0 sec |
| Verzögerung Dampfdruckabbau | 0,0 sec |
| Wasserkühlen bew.Seite | 2,0 sec |
| Wasserkühlen fest.Seite | 2,0 sec |
| Standzeit Schaumdruckabbau Vacuum | 47,0 sec |
| Verzögerung Vakuum öffnen | 5,0 sec |
| Druckaufbau A Feste S. | 0,0 sec |
| Öffnen A | 0,5 sec |
| Schliessen Z | 0,5 sec |
| Druckaufbau bew. S. | 0,5 sec |
| Öffnen mit Luft | 2,0 sec |
| Öffnen bis Auswerfen/H | 2,0 sec |
| Auswerfen/Entnahme | 6,0 sec |
| Standzeit | 0,0 sec |
| Zykluszeit | 72,0 sec |

Grafik 4: Übersicht Prozesszeiten

Erste Erfahrung mit einem solchermaßen installierten EPS Verarbeitungswerk zeigen, daß sich diese Prozessführung zunächst einmal sehr positiv auf die Ausschussquote auswirkt, da die Anlagen stehen bleiben wenn das jeweilige Prozessfenster verlassen wird. Die so verursachten Stillstände sind zwar zunächst ärgerlich, machen aber die Ursachen für die üblichen Probleme schnell deutlich; z.B. Schwankungen in der Energieversorgung oder unsachgemäß abgelagertes Rohmaterial und man muss sich aktiv entscheiden, entweder an den Ursachen der Probleme zu arbeiten oder die Symptome zu bekämpfen, in dem man die Prozessbandbreite bzw. die Eingreifgrenzen vergrößert. In Zusammenarbeit mit der Qualitätssicherung und Beurteilung der Produkte spielen sich diese Einstellungen schnell ein.

Wichtig ist ein „Systemcockpit“ in dem die Prozesswerte von den Maschinen und der Energieversorgungsanlage zusammen visualisiert und bewertet werden können. So kann eine Normalität definiert werden und frühzeitig Trends abgeleitet werden, wie z.B. Wartungsintervalle von Kühlwasseranlagen

Das gleiche gilt für die Bedieneroberflächen der meisten Maschinen, die größtenteils immer noch die traditionellen Menüstrukturen mit vielen offenen Parametern aufweisen. Hier sollte man meiner Ansicht stärker auf Kurvengrafiken setzen, die die Normalität (Druck-/Temperaturverläufe) für den jeweiligen Prozess hinterlegen und über Hüllkurven die Grenzen definieren und so den Bediener bei kleineren Anpassungen innerhalb limitierter Grenzen unterstützen.

Weiterhin sind die aufgezeichneten Daten der Prozesse extern zu speichern, um im Nachgang:

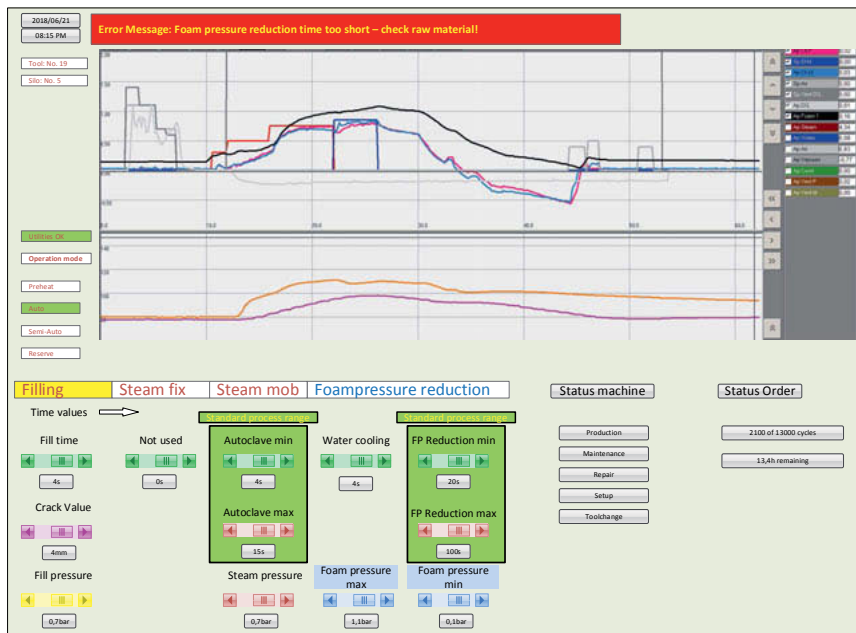
- den Prozessablauf mit seinen Parametern abzubilden
- Ursachen von Prozess-Schwankungen zu analysieren
- zu erkennen, ob die Sollvorgaben wiederholgenau machbar sind
- Optimierungen sichtbar zu machen
- aufzuzeigen, welche Optimierungsmaßnahme nötig ist
- Extremwerte aufzuzeigen
- unregelmäßig auftretende Abweichungen abzubilden

Hier ein Beispiel aus dem Cockpit / Datenauswertung Vorschäumer::

| | | | | | | | |
|----|---------------------|----------------------------|----|------|-------|---|--------|
| 52 | 2018-08-21 17:17:56 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.5 | 12.92 | 5 | 69.4 X |
| 52 | 2018-08-21 17:18:43 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.6 | 12.92 | 5 | 68.8 X |
| 52 | 2018-08-21 17:21:30 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.3 | 12.92 | 5 | 69.4 X |
| 52 | 2018-08-21 17:23:17 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.4 | 12.93 | 5 | 69.6 X |
| 52 | 2018-08-21 17:25:04 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.6 | 12.93 | 5 | 67.9 X |
| 52 | 2018-08-21 17:26:50 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 54.2 | 12.93 | 5 | 67.6 X |
| 52 | 2018-08-21 17:28:35 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 54.6 | 12.92 | 5 | 69.2 X |
| 52 | 2018-08-21 17:30:22 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 54.4 | 12.93 | 5 | 68.7 X |
| 52 | 2018-08-21 17:32:08 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 54.4 | 12.93 | 5 | 67.4 X |
| 52 | 2018-08-21 17:33:53 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 54.3 | 13 | 5 | 67.7 X |
| 53 | 2018-08-22 07:34:35 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52 | 12.92 | 7 | 0 Heu |
| 53 | 2018-08-22 07:37:54 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52 | 12.92 | 7 | 76.8 X |
| 53 | 2018-08-22 07:39:51 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52 | 12.91 | 7 | 77.1 X |
| 53 | 2018-08-22 07:41:46 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.4 | 12.92 | 7 | 81.4 X |
| 53 | 2018-08-22 07:43:45 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.5 | 12.91 | 7 | 82.2 X |
| 53 | 2018-08-22 07:45:46 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.3 | 12.92 | 7 | 83.1 X |
| 53 | 2018-08-22 07:47:47 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.6 | 12.92 | 7 | 82.9 X |
| 53 | 2018-08-22 07:49:49 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.4 | 12.92 | 7 | 82.3 X |
| 53 | 2018-08-22 07:51:49 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.5 | 12.91 | 7 | 78.8 X |
| 53 | 2018-08-22 07:53:46 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.4 | 12.91 | 7 | 78.1 X |
| 53 | 2018-08-22 07:55:42 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 53.3 | 12.92 | 7 | 77.8 X |
| 53 | 2018-08-22 07:57:37 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.9 | 12.92 | 7 | 76.7 X |
| 53 | 2018-08-22 07:59:32 | Approved Recipe 2018-07-30 | 71 | 52.9 | 12.92 | 7 | 76.1 X |

Von einem auf den anderen Tag steigt die Bedampfungszeit von ~ 68s auf 78s bei gleichem Rohstoff und Einwaage an:

Ursache: ein offensichtlich beim morgigen Anfahren verstopfter Kondensatableiter > schlechtere Dampfqualität > längere Dampfzeit > Klumpenbildung



Grafik 5: Vorschlag Standardoberfläche Maschine mit wenigen freien Parametern und Eingriffsgrenzen

Im „Profimodus“ und entsprechender Zugangsberechtigung kann der Fachmann nach wie vor die Grundeinstellungen im Detail beeinflussen.

PET Schaumstoffe mit besonderem Fokus auf PET Partikelschäumen

Dr. **M. Petri**, Armacell Benelux S.C.S., Thimister-Clermont, Belgien

Kurzfassung

PET Partikelschäume (ArmaShape) verbinden auf ideale Weise die Anforderungen an einen nachhaltigen Werkstoff mit der Möglichkeit komplexe 3-D Elemente in einem Schritt zu fertigen. Die Formteilherstellung für Hochtemperaturthermoplaste gelingt mit innovativen Verfahren wie der Radiofrequenztechnologie oder speziellen Hochdruckdampfverfahren. ArmaShape Schaumperlen eröffnen neuartige Anwendungen, die mit herkömmlichen Materialien nicht zugänglich sind. So können beispielsweise im Automobilbau Metalle durch Faserverbundelemente ersetzt werden. Eine Grundvoraussetzung dafür ist die gute thermische Beständigkeit von PET, die den Einsatz schnell härtender Harzsysteme ermöglicht. Mit ArmaShape rücken ökonomisch attraktive Zykluszeiten in greifbare Nähe.

1. Einführung

Armacell ist ein weltweit führender Anbieter von flexiblen Isolierschäumen und technischen Schaumstoffen. Mit derzeit ca. 3.000 Mitarbeitern und 27 Produktionsstätten in 17 Ländern erwirtschaftete das Unternehmen 2017 einen Nettoumsatz von 603,2 Mio. EUR. Armacell betreibt zwei Hauptgeschäftsfelder:

Advanced Insulation entwickelt flexible Schaumstoffe für die Isolierung von

technischen Geräten im Gewerbe und Wohnungsbau. Engineered Foams entwickelt und produziert maßgeschneiderte Hochleistungsschäume für den Einsatz im Transport, Windenergie und Bauwesen. Die Produkte bestehen aus umweltfreundlichen PET Kernschäumen, Elastomer- und Polyethylenschäumen. Bis jetzt sind weltweit bereits über 80 000 Rotorblätter mit PET Schaumkernen gefertigt worden.



Bild 1: PET Schäume sind weltweit in mehr als 80 000 Rotorblättern von Windrädern verbaut.

1.1 Vom Abfall zum technischen Schaum

Plastikabfälle an den Stränden und in den Ozeanen sind weltweit ein wachsendes Problem. In der EU werden jährlich mehr als 25,8 Mio. t Plastikmüll produziert von denen nur 30% recycelt werden. 7 bis 8 Mio. t entstehen allein durch Automobile am Ende ihres Lebenszyklus. Mit Richtlinien wie der End-of-Life Vehicles directive (2000/53/EC) und der Packaging Waste directive (2004/12/EC) wird es der EU gelingen, den Anteil an Kunststoffen, der der Wertschöpfungskette wieder zu geführt wird, signifikant zu erhöhen. Die Nachhaltigkeitsstrategien fortschrittlicher Automobilhersteller enthalten daher konkrete Ziele zum



Bild 2: Plastik Abfall bedroht weltweit unsere Ozeane und Strände.

Einsatz recycelter Materialien. Beispielsweise verpflichtet sich Volvo in 2025 mehr als 25% recycelter Materialien in jedem Auto zu verwenden¹. Renault, Toyota und BMW verwenden heute bis zu 20% recycelter Kunststoffe in ihren Autos².

2. PET Kernschäume

Armacell ist ein Pionier in Sachen Nachhaltigkeit und hat jahrelang in Forschung und Entwicklung investiert. Wir unterstützen unsere Kunden in der Erreichung ihrer Nachhaltigkeits-



Bild 3: Lebenszyklus von der recycelten PET Flasche zum Hochleistungsschaum von Windrädern

ziele und bieten schon heute PET-Schäume³ an, die aus 100% recyceltem Material hergestellt werden.

Unsere Wissenschaftler haben spezielle Rezepturen entwickelt, die die Verwendung von PET aus alten Flaschen ermöglichen. Eine strenge Qualitätskontrolle der Rohmaterialien und eine eigene Granulationsanlage sind die Basis für die Herstellung von Produkten, die keine Abstriche in der Qualität machen.

ArmaForm® Kernschäume sind auch am Ende

des Lebenszyklus vollständig recycelbar und damit ein Beispiel für Nachhaltigkeit. Jedes Kilo

recyceltes PET zur Herstellung von ArmaForm® GR reduziert den CO₂-Ausstoß um 33% im Vergleich zu Standard-PET-Schaumkernen auf dem Markt⁴.

Der Schäumungsprozess ist ebenfalls umweltfreundlich und ressourcenschonend:

- Kein Einsatz von Ozonschicht abbauenden Treibmitteln (HFC /CFC)
- Ausschließlich Verwendung von Halogen-freien Flammschutzmitteln
- PET Abfälle des Schneidprozesses werden wieder aufgeschmolzen.
- Der Energieverbrauch ist 1/3 geringer als bei der PVC Herstellung.



Bild 4: Verschweißte PET Schaumplatten

2.1 Das Sandwich Konzept

Eine Sandwich-Struktur besteht aus zwei relativ dünnen, dennoch starken Verstärkungen auf beiden Seiten eines dicken und idealerweise leichten Kernmaterials. Beispiele für Verstärkungen sind Gewebe aus Glas- oder Kohlefasern, die durch reaktive Harze mit dem Kernmaterial verbunden werden.

Die Verstärkungen nehmen die Spannungen in der Ebene auf und geben der Struktur eine strapazierfähige Oberfläche. Der Verbund absorbiert die Scher- und Zugkräfte und verteilt sie durch die Verstärkungen auf eine größere Fläche. Entscheidend für viele Anwendungen ist die Verbesserung der Biegefestigkeit. Der Kern, hält bei einer Biegung die verstärkenden Elemente auf Abstand und führt somit zu einer deutlichen Verbesserung der Biegefestigkeit und Steifigkeit im Vergleich zu monolithischen Materialien. Beispielsweise wird bei einer Verdopplung der Dicke des Kernmaterials eine Vervierfachung der Biegesteifigkeit erreicht.

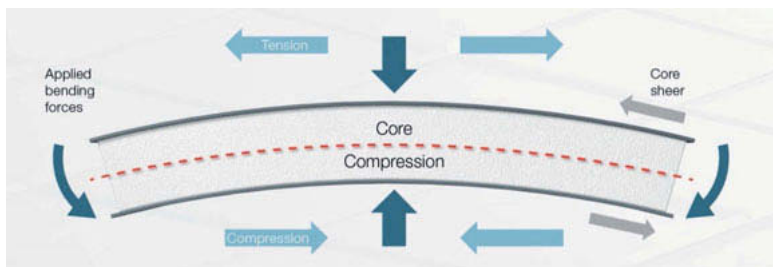


Bild 5: Prinzip von Sandwich Verbundstrukturen

Die wesentlichen Vorteile von PET Kerschäumen sind:

- Außergewöhnlich gute Ermüdungsresistenz im Biegeversuch
- Hohe Temperaturbeständigkeit bis +150°C und kurzfristig bis +180°C
- Geringe Toleranzen der Dichte (<5%)
- Gute Verarbeitbarkeit mit einer Vielzahl von Harzsystemen (Prepreg, Harzinfusion)
- Thermoformbarkeit (3D oder doppelt gekrümmte Sandwich Elemente können durch Erwärmung des Materials in Pressen gefertigt werden.)
- Wiederverwendbarkeit: Das Material ist nach der Verwendung vollständig recycelbar.

2.2 Anwendungsbeispiele

Die guten mechanischen Eigenschaften der ArmaForm® Schaumstoffplatten verbunden mit dem geringen Gewicht haben zu einer Vielzahl von Anwendungen im Leichtbau geführt. Beispiele sind:

3. PET Partikelschäume



Bild 6: ArmaForm® in den Kuppeln der russisch orthodoxen Kirche in Paris



Bild 7: ArmaForm® in Böden von Straßenbahnen



Bild 8: ArmaForm® in Yachten und Katamaranen von Fontaine Pajot



Bild 9: ArmaForm® in Transportern mit Ecofont Seitenwänden von Polyfont

Armaceil hat den ersten formbaren Partikelschaum auf PET Basis entwickelt und diesen 2018 auf der JEC Messe in Paris vorgestellt. Der PET Partikelschaum, ArmaShape, ermöglicht es erstmals 3D Schaum-Elemente in einem Prozess, ohne zusätzliche Arbeitsschritte wie Fräsen und Schneiden, herzustellen.

Vorteile von PET Partikelschäumen sind:

- Schaffung komplexer Strukturen
- Erhalt eines Formteils in einem Schritt
- Kein Fräsen, Zuschneiden
- Kein Materialverlust
- Höhere Dauergebrauchstemperaturen im Vergleich zu EPS und EPP
- Geeignet für die Serienfertigung
- Gefertigt zu 100% aus recyceltem Material
- Ersparnis von Zeit und Geld

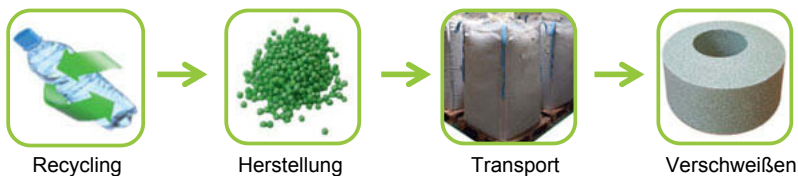


Bild 10: Wertschöpfungskette von der Flasche bis zum fertigen Formteil

ArmaShape wird als teilweise expandiertes Granulat zum Verarbeiter geliefert. Vor Ort wird durch Vorschäumen die gewünschte Dichte für die weitere Verarbeitung erzeugt. Gerade bei niedrigen Bauteildichten ($<100 \text{ kg/m}^3$) empfehlen wir eine mehrtägige Stabilisierungsphase zwischen Vorschäumen und Formschäumen. Diese ist erforderlich, da sich das Treibmittel bei der Erwärmung ausdehnt und zu einem Aufblähen der Kugeln führt. Erkalten diese nach dem Vorschäumen wieder, entsteht innerhalb der Kugeln ein Unterdruck. Während der Stabilisierungszeit findet ein Gasaustausch mit der Umgebungsluft statt und der Druckunterschied wird abgebaut. Beim Verschweißen der Partikel im Formteilautomat steht diesen somit wieder das Potential des in den Kugeln befindlichen Treibmittels zur Verfügung, ohne dass die Expansion durch einen Unterdruck behindert wird.

3.1 Vorschäumen von ArmaShape

Infrarot (IR) Vorschäumer

Die PET Schaumperlen können gut mit IR Anlagen, wie sie zum Beispiel von der Firma Fox Velution⁵ auf den Markt gebracht werden, vorgeschäumt werden. Es ist einerseits möglich



Bild 11: IR Vorschäumer der Neue Materialien Bayreuth GmbH

die Stärke der IR Felder zu regeln und andererseits kann die Bestrahlungsdauer durch die Fließbandgeschwindigkeit genau eingestellt werden. Generell ist zu beachten, dass PET auf Grund der Carboxylgruppen langwellige IR Strahlung besser absorbiert als kurzwellige. Mit der IR Technik können heute PET Partikel bis zu einer minimalen Dichte von 40 kg/m^3 vorgeschäumt werden.

In diesem Falle werden die Perlen als loses

Schüttgut verwenden, um sie beispielsweise als Füllstoffe in Polymerschmelzen einzuarbeiten. Perlen mit Dichten oberhalb von 70 kg/m^3 werden zur Fertigung von Formteilen eingesetzt. Zum Formschäumen sollten die Perlen auf die Bauteildichte vorgeschäumt werden, damit sie im Formteilautomat noch genügend Potential für die spätere Expansion besitzen und ein Schließen der Zwickel möglich ist. Die Zukunft bietet mit Material- und Prozessoptimierungen enormes Potential im Hinblick auf die Realisierung geringerer Dichten.

Dampf Vorschäumer

ArmaShape kann für höhere Dichten auch mit dampfbetriebenen Anlagen vorgeschäumt werden. Bei diesem Verfahren werden mit heißem Wasserdampf und Drücken von 4 bar Schüttdichten oberhalb von 100 kg/m^3 erreicht.

3.2 Formschäumen von ArmaShape

PET benötigt als Konstruktionskunststoff mit einem Erweichungsbereich von $220\text{-}250^\circ\text{C}$ deutlich höhere Temperaturen zum Formschäumen der Partikel als herkömmliche Partikelschaumstoffe wie EPP oder ETPU. Die benötigte Wärme kann durch eine Bestrahlung mit Radiowellen (Kurtz GmbH) oder durch Dampf aus speziellen Hochdruckanlagen (Teubert Maschinenbau GmbH) in das Material eingebracht werden.



Bild 12: Platte aus ArmaShape mit einer Dichte von 110 kg/m^3

Beide Technologien ergeben sehr gute Resultate in Bezug auf die Verschweißung des Partikelschaumstoffes und damit verbunden auf die mechanischen Eigenschaften der Formkörper.

Radiofrequenztechnologie

Auf Grund der besonderen chemischen Struktur von PET, hat sich die Formteilherstellung durch Bestrahlung mit elektromagnetischen Wellen im Radiofrequenzbereich als geeignet herausgestellt. Im elektrischen Feld findet bei allen Stoffen eine elektronische Polarisation statt, die eine Verschiebung von Elektronen relativ zum Kern bewirkt. Dieser Effekt ist generell sehr schwach.

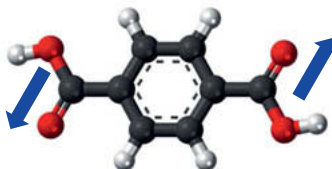


Bild 13: Die Richtung des Dipolmoments ist bei der Terephthalsäure mit dem blauen Pfeil markiert.

Zusätzlich zu der elektronischen Polarisation kann PET auf Grund des permanenten Dipolmoments des polaren Moleküls eine molekulare Polarisation erfahren. Diese ist wesentlich

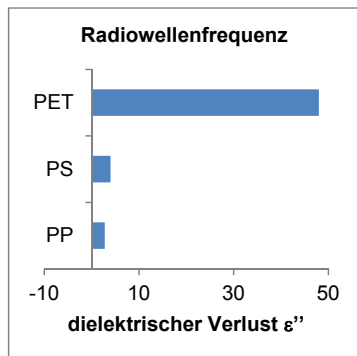


Bild 14: PET hat einen viel höheren dielektrischen Verlust als PS und PP. Aus diesem Grund ist die direkte Verschweißung mit Radiowellen möglich.

stärker als die elektronische Polarisation und entscheidend für die Erhitzung.

Bei Anlegen eines elektrischen Feldes orientieren sich die Dipole in Richtung des Feldes. Unter idealen Bedingungen folgen sie der Wellenbewegung des elektrischen Feldes. In der Realität können sie dieser nur phasenversetzt folgen. Der dielektrische Verlust beschreibt die Unfähigkeit des Materials den Wellenbewegungen des wechselnden elektrischen Feldes zu folgen. Er ist sowohl temperatur- als auch frequenzabhängig⁶. Die absorbierte Energie wird als Wärme abgegeben und führt zur Erhitzung des Materials.

Wie in Bild 14 gezeigt, ist der dielektrische Verlust bei unpolaren Molekülen wie EPP und EPS, die keine molekulare Polarisation erfahren, sehr gering⁷. Diese können somit nicht direkt mit Radiowellen verschweißt werden.

Die innovative Radiofrequenztechnologie ist von der Firma Kurtz entwickelt worden und bietet hinsichtlich der Verarbeitung mehrere Vorteile⁸. Sie kann praktisch an jedem Ort aufgestellt werden und benötigt keine besondere Infrastruktur wie Dampferzeuger.

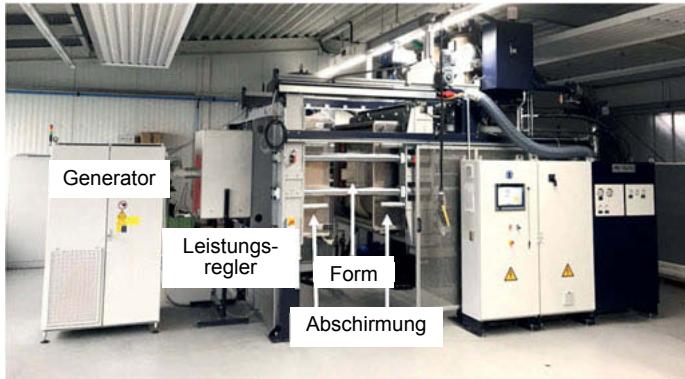
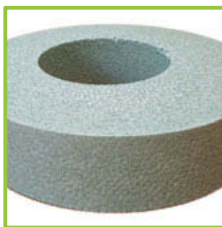


Bild 15: Radio-Frequenz Formteilautomat von der Kurtz GmbH

Vorteile der Radio-Frequenz Technologie sind:

- homogenes elektromagnetisches Feld
- keine heißen & kalten Stellen
- schnelle und homogene Erwärmung
- kommerziell verfügbare Formteilautomaten existieren

Im Formteilautomat durchdringen die Radiowellen die PET Partikel und ermöglichen so eine homogene Verschweißung des Partikelschaums. Formteile mit Dichten von 70 kg/m³ bis 300 kg/m³ können gefertigt werden.



Kreissegment



Querschnitt



Stufenelement

Bild 16: Beispiele von Formteilen, die mit der Radio-Frequenz Technologie hergestellt wurden.

Hochdrucktechnologie

Temperaturen oberhalb von 200°C können mit Wasserdampf unter Drücken, die deutlich über dem Niveau, herkömmlicher Formteilautomaten (bis 8 bar) liegen, erreicht werden. Bestehende Anlagen können möglicherweise umgerüstet werden. Für eine gute Verschweißung wird Wasserdampf mit einem Druck von ca. 18 bar benötigt. In dieser Technologie ist die Neue Materialien Bayreuth GmbH führend und so gelang die Fertigung erster Demonstratoren⁹.



Bild 17: Hochdruck-Formteilautomat der Neue Materialien Bayreuth GmbH

Es versteht sich, dass der Formteilautomat, ebenso wie die Werkzeuge, für diese Drücke ausgelegt sein muss. Die erhaltenen Formteile weisen eine glatte Oberfläche auf und können in Dichten von 70 kg/m³ bis 200 kg/m³ gefertigt werden. Die gute Qualität der Verschweißung wird in Bild 19 gezeigt.



Bild 18: Beispiel eines Formteils welches mit dem Hochdruckverfahren hergestellt wurde.

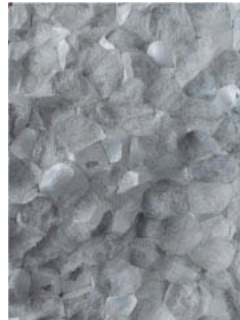


Bild 19: Der Bruch durch die Perle bezeugt die hohe Qualität der Verschweißung.

3.3 Performanz von ArmaShape

Thermische Eigenschaften

PET hat einen Schmelzpunkt von 240 bis 250°C. Untersuchungen haben ergeben, dass PET Schäume langfristig bei Temperaturen von +150°C und kurzzeitig bei +180°C eingesetzt werden können.

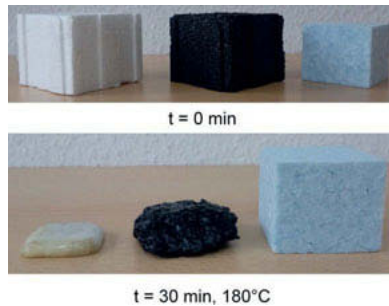
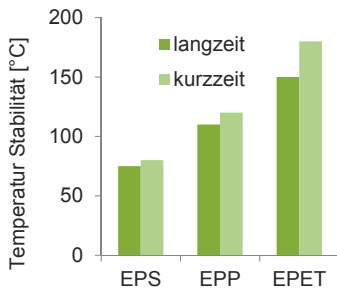
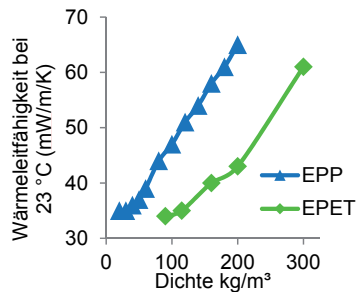


Bild 20: EPS (l), EPP (m) und EPET (r). ArmaShape widersteht Temperaturen von bis zu 180°C und ist für die Weiterverarbeitung mit hocheffizienten Verfahren und kurzen Zykluszeiten geeignet.

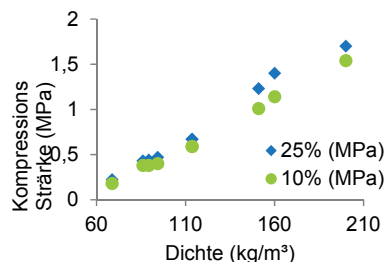
Isolationseigenschaften

Die mikrozelluläre Struktur der ArmaShape Partikel sorgt für gute Isolationseigenschaften des Partikelschaumes. Bei höheren Dichten der Formteile gewinnt der Einfluss der Polymermatrix an Bedeutung und die Wärmeleitfähigkeit steigt erwartungsgemäß an.



Mechanische Eigenschaften

Die mechanische Stabilität von ArmaShape liegt im Bereich derer von EPP. Direkt extrudierte PET Schäume weisen eine sehr gute mechanische Performance auf. Einer der Gründe dafür liegt in dem Produktionsverfahren, welches gezielt eine Anisotropie hervorruft. Folglich ist die Kompressionsstärke in dieser Richtung wesentlich höher, als man sie bei einem Material der gleichen Dichte erwarten würde. ArmaShape hingegen ist isotrop.



3.4 Anwendungen von ArmaShape

Sandwich Composites

Formteile aus PET Partikelschäumen können ebenso wie Elemente aus direkt extrudiertem PET Schaum als Kernmaterial im Leichtbau eingesetzt werden. Dazu werden die Kernschäume mit Carbon- oder Glasfasergeweben in das Werkzeug eingelegt. Anschließend findet die Infusion mit einem Thermoset oder einem thermoplastischen Harz statt. Letztere haben den Vorteil, dass sie bei Erhitzung erweichen und beim Abkühlen aushärten. Unter Verwendung thermoplastischer Deckschichten können somit thermoplastische Sandwich Elemente erhalten werden, die am Ende des Lebenszyklus vollständig recycelbar sind. Die Verbindung der Schichten mit dem Kern kann zweckmäßigerweise in einer beheizbaren Presse unter Druck erfolgen. Sollte der Einsatz von flüssigen Harzen nicht möglich sein, können Prepreg-Verfahren Anwendung finden.



Bild 21: ArmaShape als Kernmaterial für Sandwich Elemente

Die exothermen Reaktionen bei Verwendung schnell aushärtender Harze führen in der Regel zu einer starken Temperaturentwicklung beim Resin Transfer Molding Prozess. Langsam härtende Harze bewirken eine wesentlich geringere Erhitzung des Materials. Auf Grund der damit verbundenen langen Zykluszeiten sind sie jedoch nicht für die industrielle Serienfertigung geeignet. Partikelschaumstoffe aus PET weisen die so dringend benötigte Temperaturstabilität auf und ermöglichen aus diesem Grund den Einsatz schnellhärtender Systeme, was sie prädestiniert für Serienanwendungen macht. Die Reduzierung der Zykluszeit durch Temperaturerhöhung wird an effizienten Harzsystemen besonders deutlich. So beträgt die Zykluszeit bei 140°C etwa 8 min während sie bei 165°C bei 1 min liegt¹⁰.

Sandwich Elemente aus ArmaShape Kernschäumen bieten der Automobilindustrie neue Möglichkeiten Metalle durch Leichtbauelemente zu ersetzen und so die Energieverbräuche der Autos zu senken. PET ist chemisch beständig und widersteht dem wässrigen Bad der kathodischen Tauchlackierung. Die hohe Temperaturbeständigkeit mit einem Schmelzpunkt von 250°C ermöglicht zudem die anschließende Aushärtung in Öfen.

Zusammengefasst sind wesentlichen Vorteile von ArmaShape:

- Hohe Temperaturbeständigkeit bis +150°C und kurzfristig bis +180°C
- Geringe Zykluszeiten durch Einsatz schnellhärtender Harze
- Gute mechanische Eigenschaften
- Designfreiheit durch die Fertigung 3-dimensionaler Strukturen
- Gefertigt aus 100% recyceltem PET und vollständig wiederverwertbar

4 Schlussfolgerung

Die Innovationskraft von Armacell hat direkt extrudierte Schaumstoffe aus vollständig recyceltem PET hervorgebracht, welche in mehr als 80 000 Rotorblättern von Windrädern auf der ganzen Welt zum Einsatz kommen. Sie werden in Anwendungen eingesetzt, bei denen sehr gute mechanische Eigenschaften mit einem möglichst geringen Gewicht gefragt sind.

ArmaShape verbindet auf ideale Weise die Anforderungen an einen nachhaltigen Werkstoff mit der Möglichkeit komplexe 3-D Elemente in einem Schritt zu fertigen. Expandierbare PET Partikel können mit IR Anlagen auf die gewünschte Dichte vorgeschäumt werden. Das Formschaumen gelingt mit innovativen Verfahren wie der Radiofrequenztechnologie oder mit speziellen Hochdruckdampfverfahren. ArmaShape eröffnet neuartige Anwendungen, die mit herkömmlichen Materialien nicht zugänglich sind. Beispielsweise können im Automobilbau Metalle durch Faserverbundelemente ersetzt werden. Der hohe Schmelzpunkt von PET und die gute thermische Beständigkeit sind die Basis für eine effiziente Fertigung von Sandwich Verbundelemente. Sie ermöglichen durch die hohe Temperaturbeständigkeit des Kernschaumes den Einsatz schnell härtender Harzsysteme bei der Weiterverarbeitung und damit verbunden die Realisierung ökonomisch attraktiver Zykluszeiten.

¹ <http://europe.autonews.com/article/20180618/ANE/180619754/volvo-sets-goal-of-25-recycled-plastics-in-cars>

² <http://plasticsindustry.org/sites/default/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf>

³ <http://www.armacell-core-foams.com>

⁴ https://local.armacell.com/fileadmin/cms/pet-foams/Tech_Info/Tech_Info_LCA_.pdf

⁵ <https://fox-velution.de/>

⁶ Direct Evidence of Coexisting Amorphous, Mesomorphic and Crystalline Phases in PEN from Dielectric Spectroscopy, M. Wübbenhorst, Polymeric Materials: Science & Engineering 2007, 97, 829

⁷ Polymers and Electromagnetic Radiation: Fundamentals and Practical Applications, Wolfram Schnabel, 2014 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

⁸ <https://www.ke-mag.de/fileadmin/medien/kurtz-ersa-magazin/ausgabe-46/download/KEM-46-de.pdf>

⁹ <https://www.nmbgmbh.de/werkstoffe/partikelschaumstoffe/>

¹⁰ http://speautomotive.com/wp-content/uploads/2018/03/CC_Jones_Solvay_SolvaLite%E2%84%A2-730-Prepreg_Breaking-the-High-Volume-Barrier-for-Structural-Composites.pdf

Das ATECARMA-Verfahren

Vorhandene Grenzen überschreiten mit dem neuen dampf- und wasserfreien ATECARMA-Verfahren

Dipl.-Betw. **W. Teubert, H. Bouillon** (B. Eng.),
Teubert Maschinenbau GmbH, Blumberg

Kurzfassung

ATECARMA ein neues Verfahren zur Herstellung von Formteilen aus Partikelschäumen ohne den Einsatz von Dampf und Wasser.

Durch seine besonderen Eigenschaften eignet sich das Verfahren vor allem zur Herstellung von Verbund- und/oder Hybridbauteilen. Das Verfahren erweitert die Möglichkeit zur Herstellung von Partikelschäumen und ist nicht als Konkurrenz zu dem herkömmlichen Versintern von Partikelschäumen mit Dampf anzusehen.

1. Ausgangssituation und Marktbedarf

Partikelschaumstoffe werden üblicherweise aus vorgeschäumten, expandierbaren Polystyrol-Partikeln (EPS) oder expandierten Polypropylen-Partikeln (EPP) in geschlossenen Formen mittels Wasserdampf versintert. Die nach dem Stand der Technik bekannten Herstellungsverfahren erfordern jedoch durch die notwendige Handhabung von Wasserdampf und den damit verbundenen hohen Druck aufwendige Anlagen zur Formteilherstellung, die mit hohen Werkzeug- und Maschinenkosten verbunden sind. Aus diesem Grund eignen sich die bekannten Verfahren aus wirtschaftlicher Sicht hauptsächlich für Großserien.

Das ATECARMA-Verfahren kann Partikelschäume effizient, dampf- und wasserfrei verarbeiten. Die innovative und ressourcenschonende Herstellung von Hybridbauteilen in nur einem einzigen Arbeitsgang wird bisher nicht realisierbare Produktentwicklungen ermöglichen. Durch flexible Kombinationen können vorhandene Grenzen überschritten und Neues geschaffen werden. Das ATECARMA-Verfahren soll nicht die herkömmlichen Verarbeitungen ersetzen, sondern zusätzliche und neue Chancen sollen geboten werden.

Das ATECARMA-Verfahren steht für folgendes:

Activator
Temperature
Efficiency
Combination
Automatization
Ressources
Multimaterial
Adaption

2. Das ATECARMA-Verfahren

Beim dampf- und wasserfreien ATECARMA-Verfahren werden die für die Formteilherstellung zu verwendenden Perlen, nasschemisch mit einem Aktivatorengemisch funktionalisiert. Die so funktionalisierten, nach der Trocknung wieder rieselfähigen Perlen können entweder direkt der Formteilherstellung zugeführt oder für eine spätere Verwendung gelagert werden. Die eigentliche chemische Reaktion, bei der die Perlen mittels elektrochemischer Wechselwirkungen fest und dauerhaft miteinander verbunden werden, ist temperaturabhängig und setzt erst ein, wenn die Perlen bei erhöhter Temperatur zusammengepresst werden.

Bei diesem Verfahren handelt es sich nicht um ein Verkleben der Perlen. Durch das Aktivieren der Aktivatorbeschichtung findet eine elektrochemische Wechselwirkung zwischen den einzelnen Perlen statt, was zu einer direkten Verbindung der Perlen untereinander führt. Ist die elektrochemische Wechselwirkung vollzogen und das Bauteil erkaltet, kann die Reaktion nicht erneut durch Wärmeeinwirkung gestartet werden.

Die funktionalisierten Perlen können darüber hinaus auch über elektrochemische Wechselwirkungen mit Fremdmaterialien, wie anderen Kunststoffen, Metallen, Textilien, etc. verbunden

werden. Somit lassen sich sowohl Hybridbauteile, wie z.B. Sandwich-Strukturen, als auch textilkaschierte Elemente mittels „In-Mold-Herstellung“ in einem Arbeitsschritt realisieren.

3. Das Mischen

Die zu verarbeitenden Einzelartikel müssen in einem speziellen Mischer vorbehandelt werden. Durch den Mischprozess soll die für die spätere Verbindung der Einzelartikel („radikalischen Substitution“) notwendige Oberflächenmodifikation erzielt werden. Das verfolgte Grundprinzip ist nachfolgend skizziert:

Das Mischverfahren sollte der Tatsache Rechnung tragen, dass die an ihrer Oberfläche im Mischprozess vollständig mit einer Mischung aus Wasser und Aktivator zu beschichtenden Schaumartikel ein relativ kleines spezifisches Gewicht aufweisen und damit dazu neigen, lediglich auf der Flüssigkeitsoberfläche zu schwimmen. Um eine ausreichende Homogenisierung der Perlen mit einem Aktivator zu erhalten, muss die Einarbeitung des Aktivators durch intensives Unterrühren mit einem Rühr- oder Mischaggregat erfolgen. Das hierzu verwendete Rührwerk muss mit speziellen Rührwerkblättern versehen sein.

Außerdem muss eine Trocknung der beschichteten Schaumperlen unter kontrollierten Bedingungen ermöglicht werden. Dazu dient eine Heißlufteinleitung durch Düsen an der Unterseite.

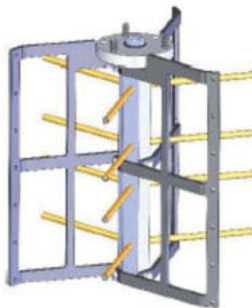


Bild 1: Mögliches Konzept für die Mischereinheit

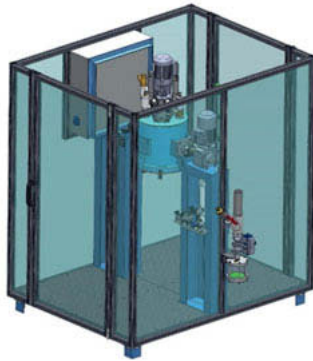


Bild 2: Mögliches Konzept für den Mischer

4. Verarbeitungsprozess

Die Verarbeitung der imprägnierten Partikelschaumperlen zu Formteilen kann auf verschiedene Arten erfolgen. Zur Aktivierung der elektrochemischen Reaktion wird die Einbringung einer bestimmten Wärmemenge benötigt. Diese Einbringung kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen.

Im aktuellen Laborversuch wird die Wärmeeinbringung und Kühlung über ein variotherm-temperiertes Werkzeug geregelt. Diese Art der Verarbeitung kann durch entsprechende Umrüstsätze auf modernen Teubert TVZ Anlagen realisiert werden, wodurch auf den Anlagen sowohl konventionell mittels Dampf als auch mit dem neuen ATECARMA-Verfahren produziert werden kann.

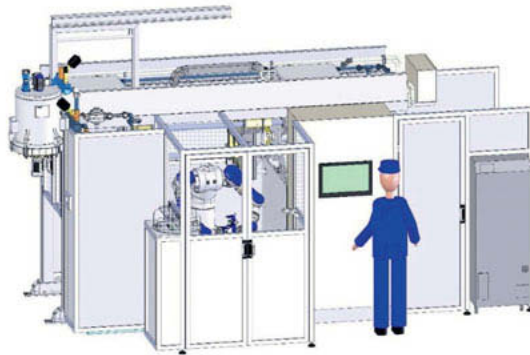


Bild 3: Beispiel TVZ Anlage mit Roboter und variothermer Temperierung

Die ausschließliche Verarbeitung der Partikelschäume durch das ATECARMA-Verfahren kann aber auch auf spezialisierten Anlagen erfolgen. Diese Anlagen können im Aufbau stark von den konventionellen Verarbeitungsmaschinen abweichen und für komplexe Bauteile sowie Hybridbauteile mit Einlegern aus Metall oder anderen Stoffen maßgeschneidert werden.

Denkbar ist hier zum Beispiel eine Rundtischanlage, bei welcher die Werkzeuge durch verschiedene Stationen zum Füllen, Heizen, Kühlen und Entformen geführt werden.

Da die Werkzeuge keinen hohen Innendruck standhalten müssen, werden deren Herstellkosten entsprechend niedriger sein. Auf den Anlagen könnten somit mehrere gleiche oder unterschiedliche Werkzeuge rotieren, wodurch sich ein hohes Maß an Flexibilität ergibt.

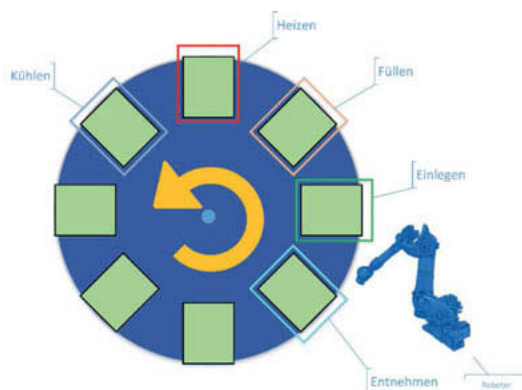


Bild 4: Mögliches Konzept einer Rundtischanlage

Da für die Verarbeitung keine teure und aufwändige Medienversorgung für Dampf notwendig ist, wird die Verarbeitung von Partikelschäumen auch branchenübergreifend für Unternehmen interessant, welche keine reine Partikelschaumproduktion betreiben, somit allerdings einzelne Produkte oder Teilprodukte aus Partikelschaum kosteneffizient im eigenen Betrieb herstellen könnten.

Dies kann insbesondere im Hinblick auf die Verarbeitung neuartiger Hochtemperaturpartikelschäume von besonderem Interesse sein.

5. Formteile

Im Hauptanwendungsbereich Automobilindustrie erfolgt bspw. die Anwendung der EPP-Formteile aufgrund ihrer charakteristischen Oberfläche nicht im direkten Sichtbereich. Auch wird häufig von EPP als Einzelkomponente nicht die in der Automobilindustrie erforderliche Eigensteifigkeit der Bauteile erfüllt. Aus diesem Grund werden hier häufig s. g. Hybridbauteile, das heißt z. B. mit einer Folie nachträglich kaschierte EPP-Formteile eingesetzt. Ein typisches Beispiel hierfür stellt die Instrumententafel oder auch die Mittelkonsole im KFZ dar.

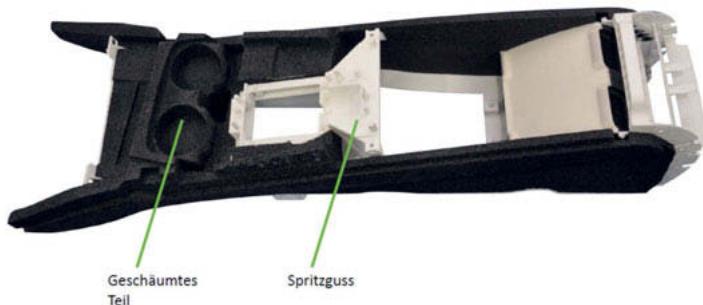


Bild 5: Mittelkonsole als Hybridbauteil

Der EPP-Kern ist hier mit einer Dekorfolie, z. B. einer mit Ledernarb-Effekt versehene Folie kaschiert. Dabei bestehen Grenzen hinsichtlich der erzielbaren glatten Oberfläche bei zugleich dünner Folienstärke. Auch existieren immer wieder Probleme eines punktuellen Ablösens der

Kaschierung vom EPP-Basisformteil, z. B. durch Hitzeeinwirkung (Sonneneinstrahlung auf die Instrumententafel).



Bild 6: Beispiel für ein EPS-Hybridbauteil

Außerdem ist i. d. R. keine feste Verbindung von EPS mit Kunststoff realisierbar, wodurch die evtl. angestrebte aussteifende Wirkung vom EPS-Material im Kunststoffbauteil auch bedingt durch den Dauerschrumpfprozess des EPS nicht realisierbar ist.

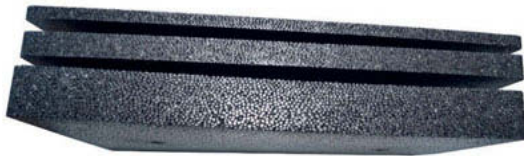


Bild 7: Unterschiedliche Formteildicken

Aktuelle Versuche ergaben, dass momentan mit dem ATECARMA-Verfahren Platten mit einer maximalen Dicke von 40mm hergestellt werden können.



Bild 8: EPS mit galvanisiertem Stahl



Bild 9: EPP mit verchromtem Stahl



Bild 10: EPP mit Stoff



Bild 11: EPP mit Aluminiumfolie



Bild 12: EPP mit Folie

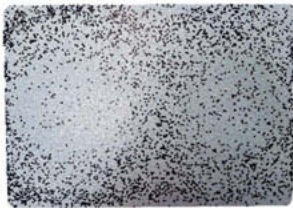


Bild 13: Verbundplatte aus EPET und EPP

5. Zusammenfassung

Das ATECARMA Verfahren wurde mit verschiedensten Partikelschäumen ausprobiert. Dabei kamen unterschiedlichste Aktivatoren zum Einsatz. In den mittlerweile über ein Jahr durchgeführten Versuche wurde für die einzelnen Partikelschäume Aktivatoren und ein entsprechendes Mischungsverhältnis festgelegt. Es kann die klare Aussage getroffen werden, dass das Wissen zum Herstellen von Formteilen aus den verschiedenen Partikelschäumen vorhanden ist.

Was jetzt noch weitgehend untersucht werden muss ist das physische Verhalten der hergestellten Schaumkörper. Des Weiteren muss jetzt eine dem Verfahren angepasste Verarbeitungstechnik entwickelt werden. Hierbei ergibt sich aber unvermeidlich die Frage, welche Produkte sollen mit diesem Verfahren hergestellt werden. Das Verfahren an sich eignet sich sicherlich für die Herstellung von Verbund- bzw. Sandwichapplikationen aller möglichen Variante, zur Herstellung von Dünnwandteilen, zur Verbindung von Partikelschaum mit z. B. Spritzgusselementen und so weiter. Somit wird das Verfahren nicht klassische Schaumteile 1 zu 1 ersetzen, sondern stellt die Möglichkeit dar, neue Anwendungsfelder zu eruieren oder mit bestehenden Produkten Mehrwert zu generieren. Für all diese neuen und verschiedenen Anwendungsfelder muss eine entsprechende Maschinentechnik entwickelt werden. Die Problematik stellt sich somit ähnlich der Situation „Wer war zuerst da, das Ei oder das Huhn?“ dar. Ohne eine konkrete Anwendung wird eine Entwicklung der entsprechenden Maschinentechnik nicht zielführend sein können.

Die berechtigte Frage zu den Kosten lässt sich zum derzeitigen Zeitpunkt auch noch nicht endgültig beantworten. Sicher steht fest, dass keine so aufwendige Infrastruktur wie bei dem normalen Schäumverfahren benötigt wird. Eine abschließende Aussage zu den Energiekosten, Kosten des Aktivators und Kosten für das Mischen der Partikelschaumperlen können hier und heute noch nicht abschließend beantwortet werden.

Schaum trifft auf Kunststoff – Hochzeit von Partikelschaum und Spritzguss

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) **C. Kemmer**, Kurtz GmbH, Kreuzwertheim

Momentane Situation

- Partikelschaumkomponenten werden derzeit nur in einem begrenzten Bereich im Automobilsektor und für technische Anwendungen verwendet
- Trend in der Automobilindustrie:
 - geringes Gewicht
 - hohe Energieabsorption
 - hohe Oberflächenqualität
 - Isolierung
 - hohe Festigkeit/ Integration von Befestigungselementen



Vor- und Nachteile



Source: Kurtz Eka

| | Partikelschaum | | Kunststoff |
|---|------------------------|---|------------------------|
| + | geringes Gewicht | - | geringes Gewicht |
| + | hohe Energieabsorption | - | hohe Energieabsorption |
| + | Isolierung | - | Isolierung |
| - | Oberflächenqualität | + | Oberflächenqualität |
| - | Montagemöglichkeiten | + | Montagemöglichkeiten |



Source: Unipolart



Stoffschlüssige Kombination aus Partikelschaum und Kunststoff



Vorgang

| | Partikelschäumer | Spritzguss |
|------------------|---|----------------------|
| Temperatur | 140 °C | 220 °C |
| Druck | 5 bar | 200 bar |
| Medienversorgung | Elektrizität Wasser Dampf Luft | Elektrizität Luft |



Source: Kurtz Einsa



Source: Krauss Maffei

Maschinenumgebung



Source: Kraftmann

Spritzgießmaschinen

- Temperiergeräte



Source: Kurtz Einsa

Herstellung von Partikelschäummaschinen

- Kesselhaus, Wasserkühlsystem

Partikelschaum verbunden mit Spritzguss

- Das Partikelschaum-Spritzgusskombinationsverfahren ist die grundlegende Technologie, um eine feste Verbindung zwischen Partikelschaum und Thermoplast herzustellen. Die Integration des Schäumprozesses in den Spritzgießprozess wird ermöglicht durch:
 - reduzierten Dampfverbrauch
 - Erstellung einer speziellen EPP-Teilstruktur
 - geschlossenes Kühlsystem



Partikelschäumen und Spritzgießen – Türverkleidung



Lieferantenstruktur

Die Lieferantenstruktur der bestehenden EPP Produzenten ist nur bedingt ausreichend, da der OEM hohe Stückzahlen und Internationalität benötigt.

- Die Fertigungsstruktur der Spritzgießmaschinen ist **nicht für Nassdampfprozesse** (Kesselhaus, zentrale Dampfversorgung etc.) **ausgelegt**
- Die Spritzgießer verfügen über zentrale Kühlsysteme und Temperiergeräte für den Betrieb der Werkzeuge

-> **Thermo Select** Schäummaschine mit kleinem Dampferzeuger und geschlossenem Kühlsystem

Kurtz Thermo Foamer



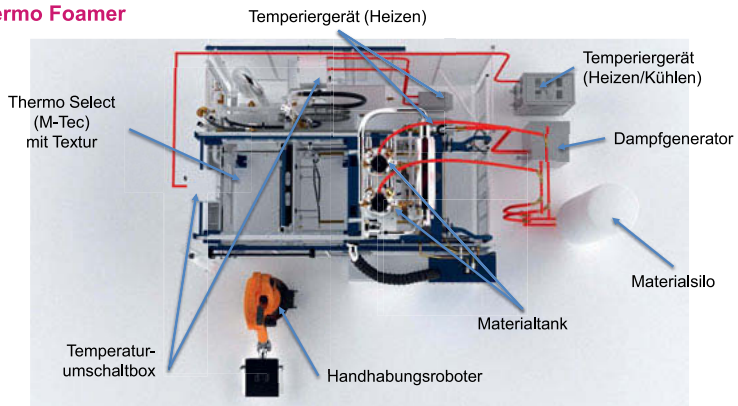
Kurtz Thermo Foamer



Kurtz Thermo Foamer in einer Spritzgussumgebung



Thermo Foamer



Temperaturkontrollsystem

Variotherm Temperaturkontrolle

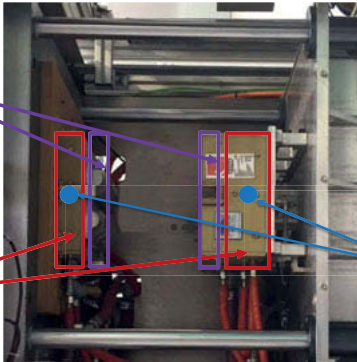


Temperieren von der Werkzeugkavität
Heizen und Kühlen

Konstante Temperaturkontrolle



Die Temperaturregelung der Dampfkammer ist
konstant auf z.B. 160 °C



Drei Temperatursegmente

1. Kavität
2. Dampfkammer
3. Granulate (EPP Perlen)

Heißdampfthermostatsregelung

3



Bedampfen des EPP Granulats

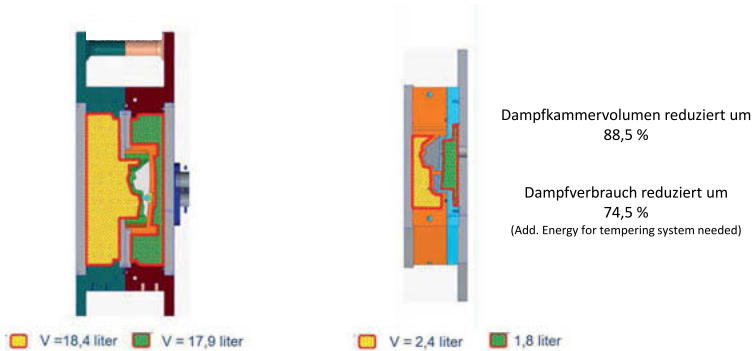
Thermo Foamer mit Thermo Select Prozess

Was ist für den Prozess wichtig?

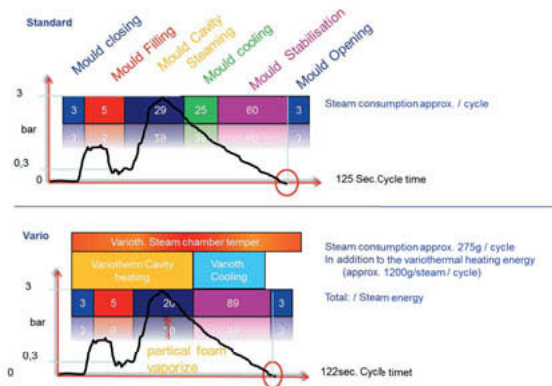
- Spezielles Werkzeug für Thermo Select
- Integrierte Thermo Select Funktionen
- Massive und präzise Maschine
- Präzise digitale Medienregelung
- Regelung des Dampfprozesses für Schaumdruck
- Temperaturregelte Kühlung
- Reproduzierbarer Prozess



Standard vs Thermo Select



Standard vs Thermo Select



Thermo Foamer mit Thermo Select Prozess

- Geringer Dampfverbrauch
 - Präzisionsteile
 - Hohe Oberflächenqualität
 - Geschlossenes Kühlsystem
-
- Teilstruktur vorbereitet zum Überspritzen



Inline Produktion



Produktion in einer Zelle von
Spritzguss und Partikelschäumen

Anwendungen



Lenkrad



Football



Türverkleidung



Befestigungselement



Flaschenhalter



Handschuhfachdeckel

Anwendungen

- Alle EPP Produkte mit hohen Qualitätsanforderungen z.B.



Karosserieteile
(Spoiler, Dachhimmel)



Fahrzeuginnenraum



Medizinische Geräte



Elektronisches Gehäuse

Zusammenfassung

| Partikelschaum und Kunststoff | |
|-------------------------------|------------------------|
| + | geringes Gewicht |
| + | hohe Energieabsorption |
| + | Isolierung |
| + | Oberflächenqualität |
| + | Montagemöglichkeiten |



Stoffschlüssige Kombination aus Partikelschaum und Kunststoff



Thermoplastische Sandwichstrukturen mit Partikelschaumkern

T. Neumeyer, P. Schreier, M. Mühlbacher, V. Altstädt,
Neue Materialien Bayreuth GmbH, Bayreuth

E-MOBILITÄT

Mobilität der Zukunft

Bildquellen: fertigung.de, zeit.de, Toyota, bundesregierung.de, welt.de



Die Zukunft ist elektrisch



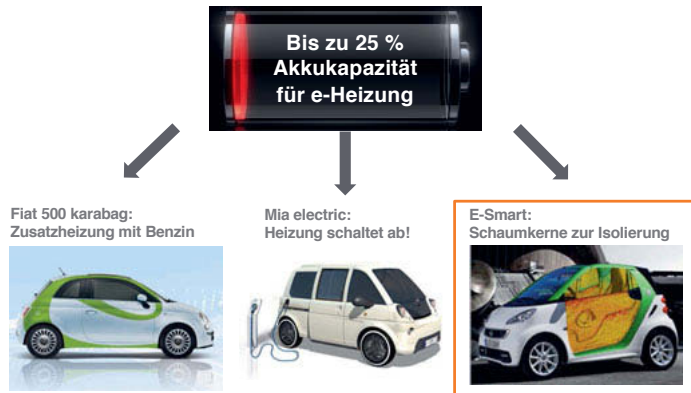
Fahren ist nicht der einzige Aspekt...



E-MOBILITÄT

Bildquellen:
Mia electric, auto motor und sport, Fiat, Daimler

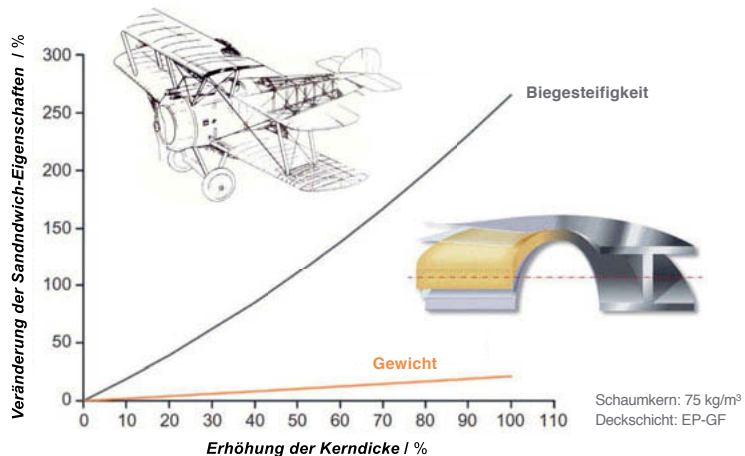
Wollen Sie im Winter frieren?



SANDWICH-BAUWEISE

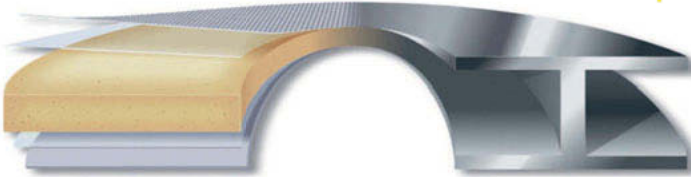
Fathi, A., Altstadt, V. in Multifunctionality of Polymer Composites, 2015,
Image source: <http://aerospaceengineeringblog.com>

Ein bekanntes Prinzip...



SANDWICH-BAUWEISE

Steif und gut isoliert



SANDWICH-BAUWEISE

Pictogramme: JSP / ARPRO

Vorteile thermoplastischer Sandwich-Aufbauten



- Geringes Gewicht



- Hohe Biegesteifigkeit



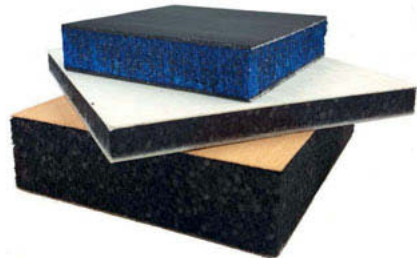
- Hohe Energieaufnahme



- Thermische Isolierung



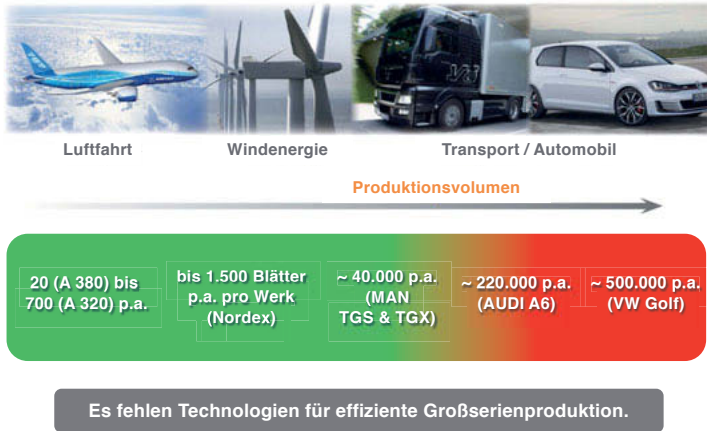
- Recycling



- Funktionalisierung durch Spritzgießen möglich

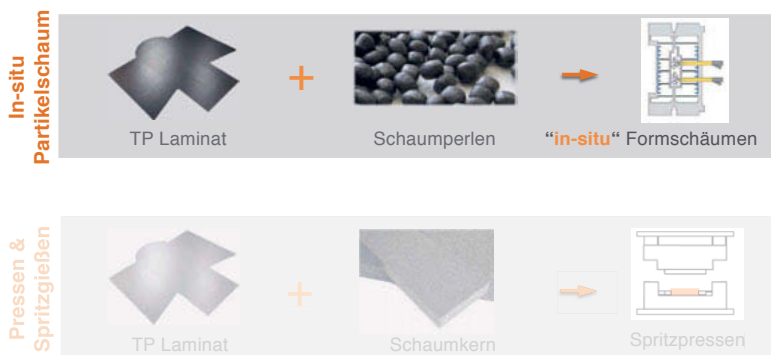
SANDWICH-BAUWEISE

Leichtbau mit Sandwichstrukturen: Was ist heute machbar?



THERMOPLASTISCHES SANDWICH

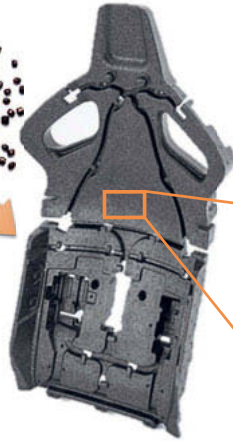
Wege zum thermoplastischen Sandwich



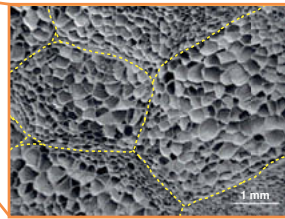
PARTIKELSCHÄUME

Bildquelle: www.philippine.de

Warum Partikelschäume?



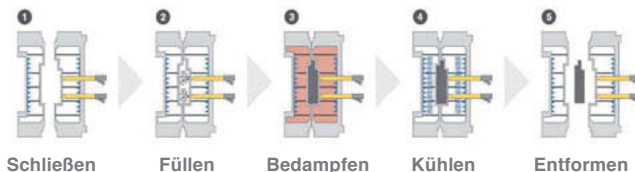
- + Herausragend thermische Isolationseigenschaften
- + Komplexe Geometrien in Endkontur herstellbar
- + Hohe Energieaufnahme
- + Geringe Dichte (20 - 300 kg/m³)



PARTIKELSCHÄUME

EPP-Forum; www.philippine.de

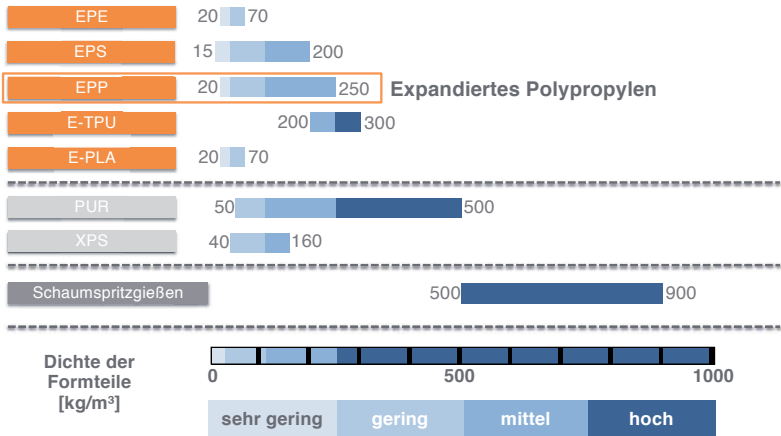
Von der Perle zum Formteil



PARTIKELSCHÄUME

Basis: Datenblätter kommerzieller Materialien

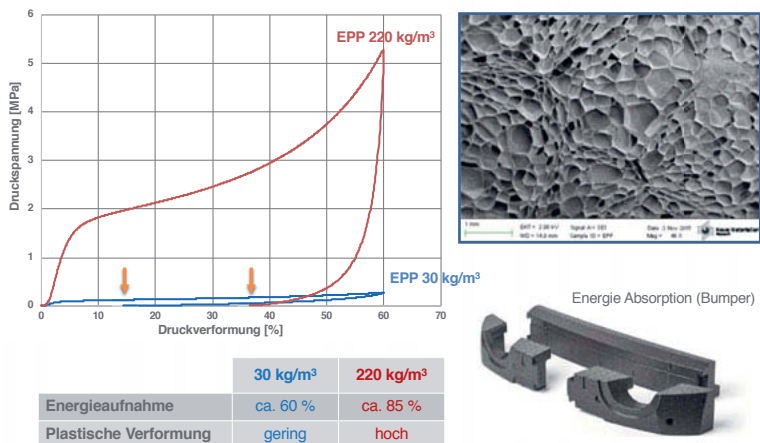
Partikelschaumstoffe



PARTIKELSCHÄUME

DIN EN ISO 1856; compression rate: 2,5 mm / min;
compression range 0 % to 60 %

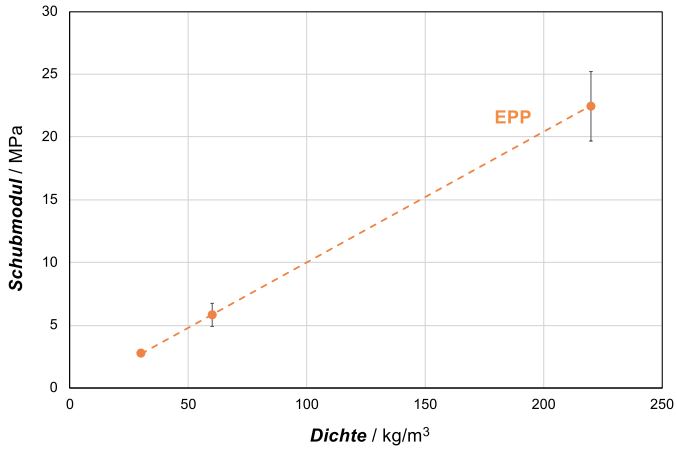
EPP – Quasi-statischer Druckversuch



PARTIKELSCHÄUME

EPP: ASTM C 273; $v = 0,5 \text{ mm/min}$

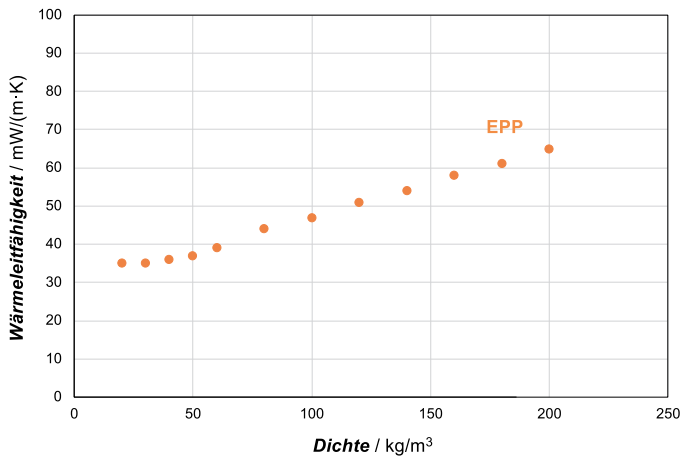
EPP – Schubeigenschaften



PARTIKELSCHÄUME

EPP: ISO 8301-8302, data sheet: www.arpro.com
ARPRO_Typical_Physical_Properties_20-200gI_DE_v31

EPP – Wärmeleitfähigkeit



PARTIKELSCHAUM SANDWICH

Funktionalisierung der Deckschichten



FORCE Molding - ENGEL V-DUO ESP 4400

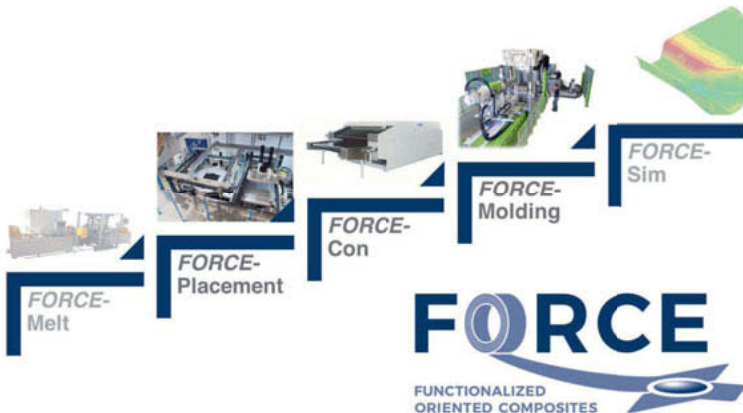


Funktionalisierte Deckschicht



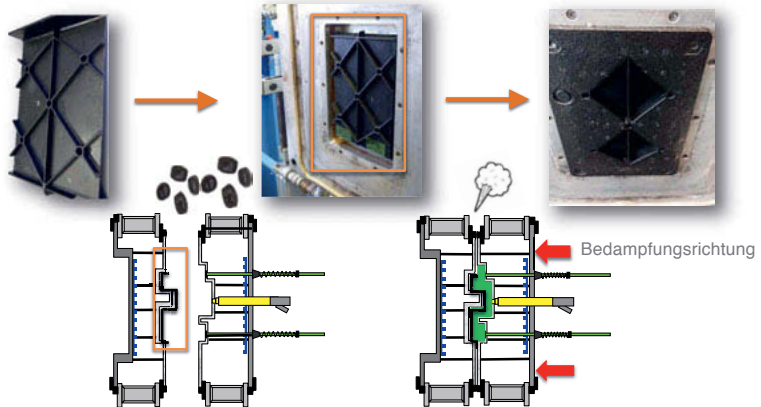
PARTIKELSCHAUM SANDWICH

FORCE - „Functionalized, Oriented Composites“



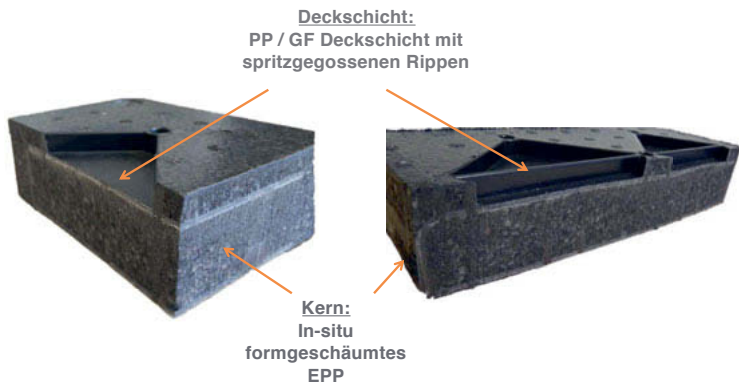
PARTIKELSCHAUM SANDWICH

In-Situ Formschäumen des Kerns



PARTIKELSCHAUM SANDWICH

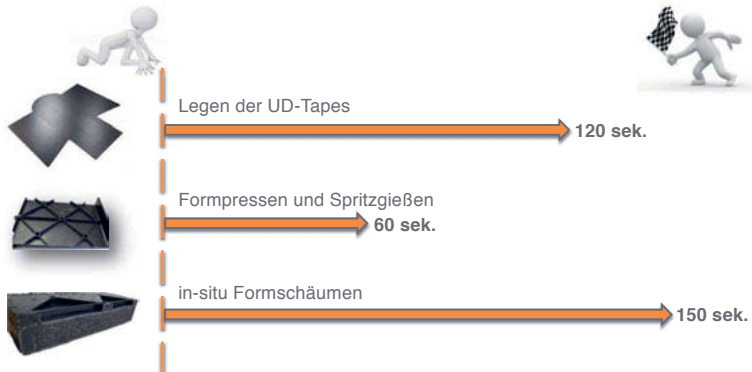
Partikelschaum-Sandwich durch in-situ Formschäumen



Kerndichten zwischen 20 kg/m^3 und 300 kg/m^3 möglich.

PARTIKELSCHAUM SANDWICH

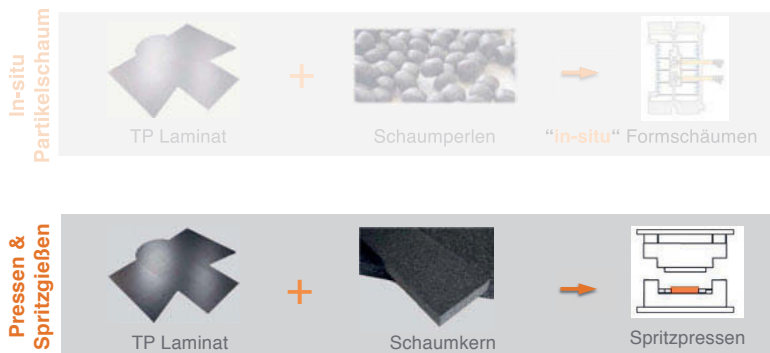
Zykluszeitbetrachtung



Gesamtzykluszeit ca. 150 sek. bei parallelen Prozessen.

THERMOPLASTISCHES SANDWICH

Wege zum thermoplastischen Sandwich

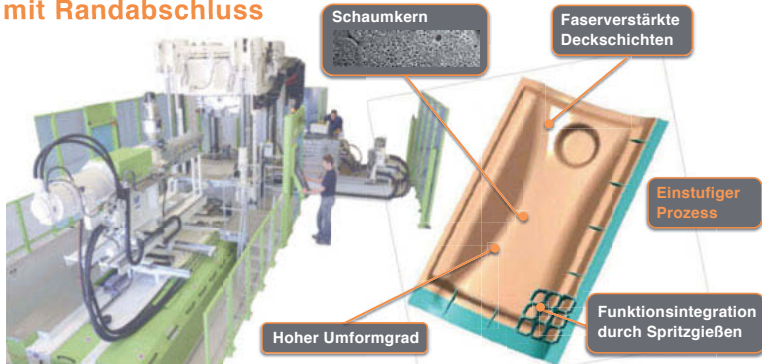


PRESSEN & SPRITZGIESSEN



Förderkennzeichen: 03MAI32A

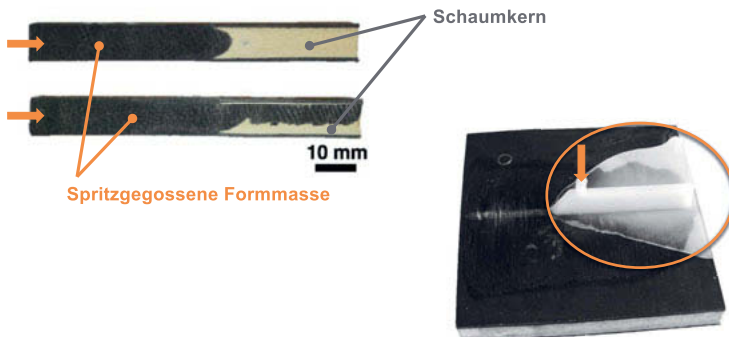
Herausforderung: Komplexe, funktionsintegrierte Sandwichstrukturen mit Randabschluss



PRESSEN & SPRITZGIESSEN

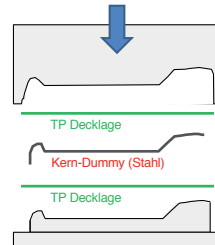
Herausforderung: Sandwich an- / umspritzen

Der Schaumkern hält aufgrund seiner geringen Steifigkeit dem Einspritzdruck nicht stand.



PRESSEN & SPRITZGIESSEN

Neuer Prozessablauf



PRESSEN & SPRITZGIESSEN

FORCE Molding: Formpressen und Spritzgießen



FORCE Molding - ENGEL V-DUO ESP 4400

Prozesstechnik:

- Formpressen
- Spritzgießen
- Kombinationsverfahren
- LFT- Spritzgießen
- Schäumen

Schließeinheit:

- Schließkraft 2500 t
- Parallelitätsregelung

2 Spritzaggregate:

- Ø 70 und 90 mm
- Geeignet für LFT-Granulat
- Massentemperatur bis zu 450°C

Shuttle Tisch:

- Einfacher Zugang zum Werkzeug

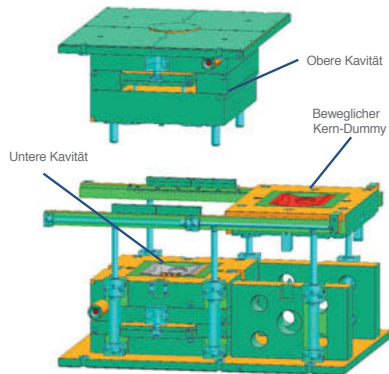
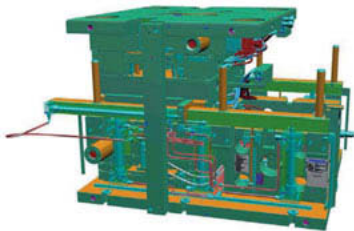
PRESSEN & SPRITZGIESSEN

Werkzeugkonzept



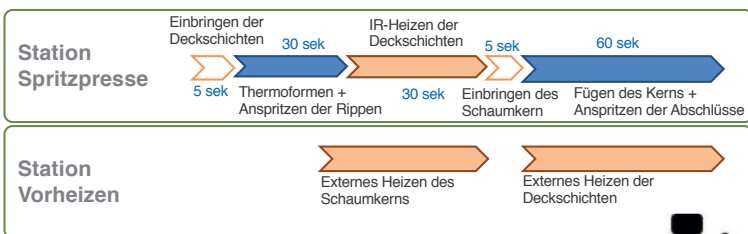
HOFMANN
ZUG DIMPULSOREN

- Hochintegriertes Werkzeug für eine Maschine
- Kompaktes Layout
- Skalierbar für größere Bauteile

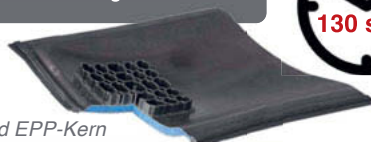


PRESSEN & SPRITZGIESSEN

Zykluszeit



Bauteil in Endkontur – keine Nachbearbeitung erforderlich!



PP-Deckschichten und EPP-Kern

PRESSEN & SPRITZGIESSEN



Project code: 03MAI32A

JEC World Innovation Award, 2018



KERNMATERIALIEN

www.besserlackieren.de; www.porsche.com

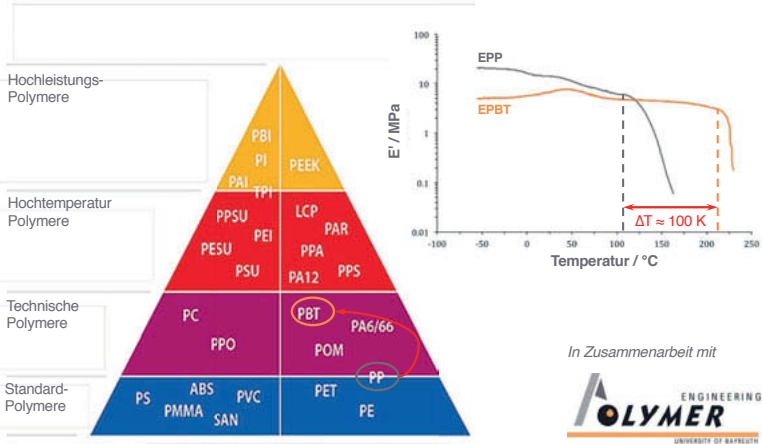
100°C sind nicht genug!



KTL-Lackierung:

Temperaturbelastung von ca. 200 °C für bis zu 20 min.

Neue Materialien für neue Anforderungen

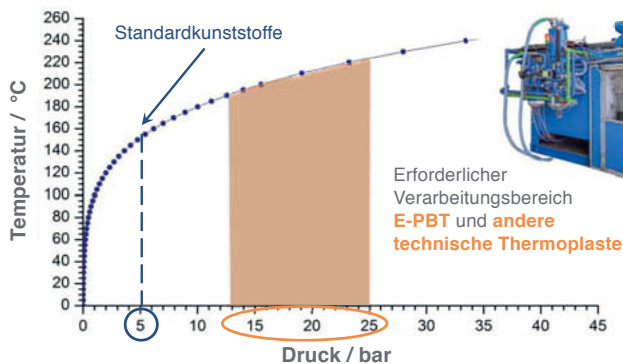


FORMSCHÄUMEN

http://www.physik.uni-jena.de/pafmedia/studium/phys_gp/IV_204.pdf

Technische Thermoplaste erfordern höhere Drücke

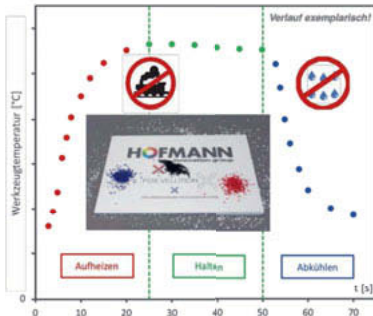
Dampf-Druck-Kurve:



AUSBLICK

Dampflose Prozesstechnik

- vollständig geschlossene Deckschichten realisierbar
- Hydrolyse-empfindliche (Bio-)Polymere verarbeitbar



FOX VELUTION  
CROSS-BORDER ENGINEERING FOR LIGHTWEIGHT APPLICATIONS



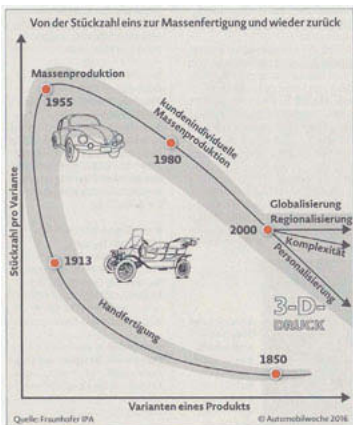
E-PBT-Sandwich
(d = 5 mm, GF/PBT-Tape beidseits)



AUSBLICK

Individualisierung: Additive Fertigung

Bildquelle: Fraunhofer IPA



EPP for E-mobility

B. Suffis M.Sc. Industrial Engineer, Estress-St-Denis, Frankreich

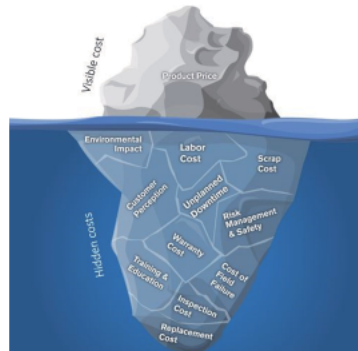
Content

- Challenges & Requirements
- Material solutions
- Opportunities
 - Case-studies
 - Hybrid processes

Solution: Weight



Solution: Total Cost of Ownership



Requirements

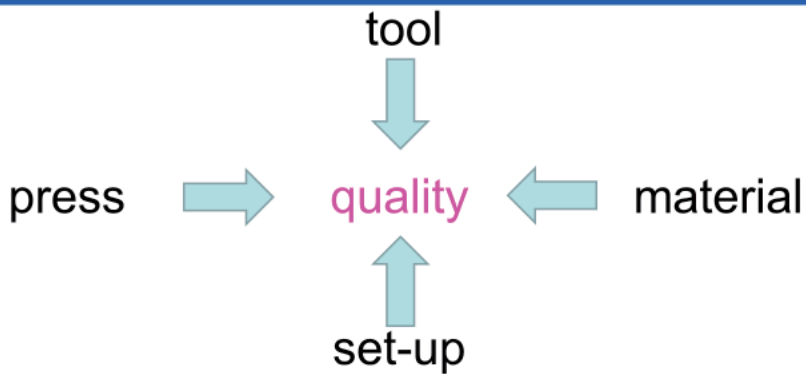
- **Battery module** (ECE/TRANS/WP.29/GRSP/2017/2)
 - Electrical safety
 - Vibration
 - Mechanical impact
 - ...
 - Fire: UN regulation No 34 (fuel tanks)



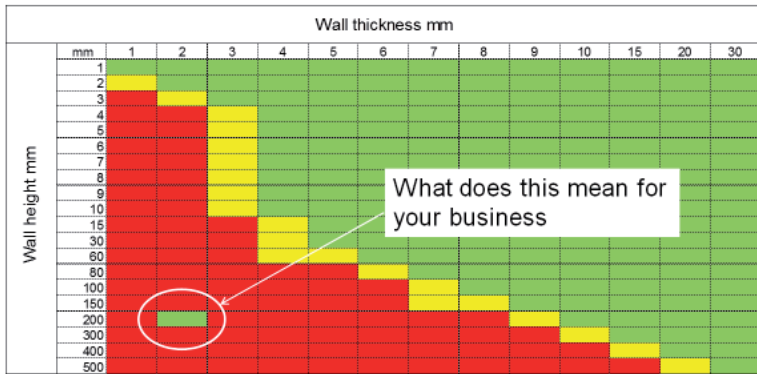
Materials



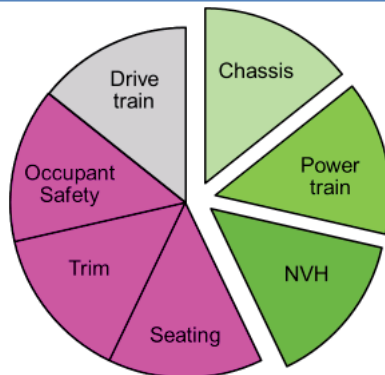
Challenge: Feasibility



Solution: ARPRO 5635-CG

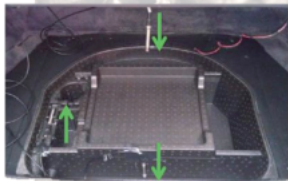


Opportunities



Acoustic

ARPRO Porous vs ARPRO



-2.4dBA
500Hz to 10kHz



- 0,6 to 1dBA
At 500Hz

* Identical moulded part geometry

** Test vehicle: premium UK-based series production car



Prüfmethodik und morphologiebasierte Simulation des Strukturverhaltens zur Auslegung von Partikelschäumen

M. Gude, M. Stegelmann, M. Müller,

R. Koschichow, A. Liebsch,

Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, TU Dresden

Kurzfassung

Partikelschäume sind aufgrund ihrer hohen Struktur- und Prozessvariabilität ein besonders interessanter wirtschaftlicher Leichtbauwerkstoff für technische Anwendungsfelder wie etwa in der Mobilität der Zukunft. Ein zunehmender Einsatz in derartigen Anwendungsgebieten erfordert jedoch eine umfassende Kenntnis der Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, um das mechanische Verhalten von Formteilen aus Partikelschaum mit hoher Prognosegüte vorherzusagen. In diesem Zusammenhang wird ein Ansatz zur Prüfung und numerischen Modellierung von Partikelschäumen vorgestellt. Essentieller Bestandteil ist die Entwicklung einer virtuellen Testumgebung mittels repräsentativer Volumenelemente (RVE) zur Ermittlung von Materialkarten für Partikelschäume unterschiedlicher Dichte. Diese bilden die Basis für Struktursimulationen unter Berücksichtigung lokal unterschiedlicher Dichten.

1. Einleitung

Die Bedeutung des Leichtbaus als Schlüsseltechnologie für die Mobilität der Zukunft ist aktuell ein kontrovers diskutiertes Thema. Fest steht, dass mit dem sich ändernden Mobilitätsverhalten auch veränderte Anforderungen auf Fahrzeugebene etwa bezogen auf den geforderten Leichtbaugrad und auf Bauteilebene hinsichtlich der Ökologie einhergehen. Zudem wird die Flexibilität der Fertigungsprozesse für einen wirtschaftlichen Einsatz zunehmen sowie die ressourceneffiziente und hochautomatisierte Fertigung auch für neue Werkstoffsyste-me und Mischbauweisen künftig stark an Bedeutung gewinnen[GLM18].

Dabei sind insbesondere die Potentiale polymerer Schaumstoffe von Interesse für zukünftige Leichtbaustrukturen. Aufgrund der großen Bandbreite an schäumbaren Materialien sowie der einstellbaren Morphologie sind Schaumstoffe für Anwendungsbereiche in der Mobilität geradezu prädestiniert. Aktuell ist jedoch noch ein höheres Verständnis der Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen notwendig.

Die charakteristischen Merkmale polymerer Schaumstoffe sind neben einer niedrigen Roh-dichte, eine hohe Schlagzähigkeit, ein hohes Energieaufnahmevermögen und eine vermin-derte Wärmeleitung im Vergleich zu kompakten Kunststoffen. Grundsätzlich lassen sich

Schaumstoffe nach dem Grundpolymer, der Zellmorphologie und dem zugrundeliegenden Herstellungsverfahren einteilen. Die Zellen polymerer Schaumstoffe können geschlossen, offen oder teilweise offen sein. Geschäumte Formteile können zudem einen Zellverbund mit einer integralen Struktur aus kompakter Randschicht und gradierter Zellverteilung vornehmlich in Dickenrichtung aufweisen.

Die Fertigung von Schaumstoffen zeichnet sich durch eine hohe Flexibilität aus, in der die Schaumstoff-Morphologie während der Verarbeitung bereits durch geringfügige Parametervariationen stark beeinflusst wird. Deshalb ist eine umfassende Charakterisierung der verschiedenen Ausprägungen der Schaumstoffstruktur in Abhängigkeit der Prozessparameter mit einem enorm hohen Prüfaufwand verbunden. In der hier vorgestellten Arbeit liegt daher besonderer Fokus auf der Analyse der Schaumstoffstrukturen mittels Mikroskopie und Computertomographie, um ein durchgehendes Verständnis der Prozess-Struktur-Eigenschafts-Beziehungen zu gewinnen. Hiermit ist es zukünftig möglich, die Morphologie der Schaumstoffe in Abhängigkeit der Prozesseinstellungen vorherzusagen, um mittels Simulationen an repräsentativen Volumenelementen Materialkarten zu erzeugen. Auf diese Weise kann der enorme Prüfaufwand stark reduziert werden und die Prognosefähigkeit der mechanischen und physikalischen Eigenschaften der Schaumstoffstrukturen erhöht werden.

2. Mechanische und morphologische Eigenschaften von Partikelschäumen

Partikelschäume zeichnen sich durch eine einzigartige Kombination geringer Dichten (i.d.R. 50 – 200 g/l) und gleichzeitig hoher Energieabsorption sowie geringer Wärmeleitung aus. In Folge der Versinterung unter Temperatureinwirkung wird aus einzelnen Schaumpartikeln die Schaumstoffstruktur bzw. das Formteil mit vergleichsweise hoher geometrischer Komplexität erzeugt. Das beschriebene Eigenschaftsprofil eröffnet den Partikelschäumen breite Anwendungsfelder von mechanisch gering beanspruchten Verpackungen über den Sport- und Bekleidungssektor bis hin zu höher beanspruchten Automobilanwendungen, wo sie sowohl im Interieur als auch zur Energieabsorption im Crashfall eingesetzt werden [BBZ15].

Aktuelle Weiterentwicklungen von Partikelschaum haben zum Ziel, das Eigenschaftsniveau weiter zu verbessern. Dazu wird u.a. untersucht, inwieweit das bekannte Spektrum von Partikelschäumen, zu dem vorwiegend expandiertes Polystyrol (EPS), expandiertes Polyethylen (EPE) und expandiertes Polypropylen (EPP) zählen, um weitere Polymere erweitert werden kann. Thermoplastische Polyurethane (TPU) und Polybutylenterephthalat (PBT) sind hier derzeit zwei etablierte Beispiele für höherklassige Polymertypen [RHP15]. Diese erfordern jedoch angepasste Fertigungsmethoden, da die für Polyolefine typischerweise angewandte Bedampfung der Partikel nicht immer für eine ausreichende Versinterung geeignet ist. Weite-

re prozessseitige Innovationen wurden hinsichtlich möglicher Kombinationen unterschiedlicher Verfahren und Werkstoffe untersucht. So erlaubt die Kombination von Partikelschäumen mit hochsteifen FKV-Decklagen die Herstellung ressourceneffizienter Sandwichstrukturen. Hierfür kommen neben endlos-faserverstärkten Thermoplasten (Organobleche oder Tapes) auch kurzfaserverstärkte Spritzgießmassen oder PUR-Kaschierungen infrage [SMF16, SBH13].

Die technologischen Einsatzbereiche von Partikelschäumen sind jedoch aufgrund des derzeit noch unzureichenden Materialverständnisses begrenzt. Insbesondere der Zusammenhang zwischen Prozess, Struktur und resultierenden Eigenschaften ist noch nicht zufriedenstellend beschrieben. In Anbetracht der fertigungsbedingten Schwankungen der Dichte von partikelgeschäumten Formteilen, ist es demnach noch nicht möglich, das Leichtbaupotential von Partikelschäumen vollständig auszuschöpfen. Das unterschiedliche Deformationsverhalten von Partikelschäumen mit Dichten von 60 g/l und 80 g/l ist in Bild 1 anhand des Verhaltens bei Zug- (a) und Druckbeanspruchung (b) dargestellt. Während bei Zugbelastung ein degressiver Verlauf gemessen wird, ist das Druckverhalten in drei Segmente unterteilt. Nach einem linearelastischen Anteil folgt ein Spannungsplateau und anschließend bei Kompaktierung der Schaumstoffzellen ein progressives Verhalten. Eine Änderung der Dichte äußert sich in einer deutlichen Verschiebung der Spannungs-Dehnungs- bzw. Spannungs-Stauchungs-Kurven.

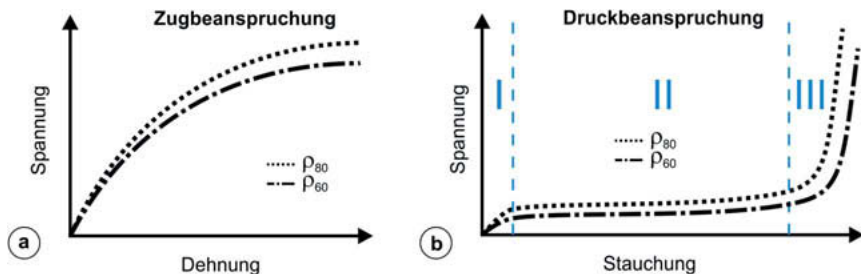


Bild 1: Mechanisches Werkstoffverhalten von EPP-Proben mit den Dichten 80 und 60 g/l bei Zug- (a) und Druckbeanspruchung (b)

Formteile aus Partikelschaum weisen üblicherweise einen Dichteverlauf auf, der von außen nach innen abnimmt. Darüber hinaus ist auch die Mikrostruktur des Werkstoffs von starken Inhomogenitäten geprägt (Bild 2). Die Größen der Poren und Zellwände liegen dabei stets statistisch verteilt vor. Die Zellstruktur von Partikelschaum ist durch einzelne Partikel und

durch Versinterung entstehenden Zwickel geprägt (a). Im Inneren der Partikel befinden sich die eigentlichen Zellen mit Lufteinschlüssen. Sowohl die Zellvolumina als auch die Wanddicken – beim EPP etwa zwischen 1 und 50 μm – sind lokal stark heterogen (b). Typische Zelldurchmesser von EPP liegen im Bereich von 10 bis 400 μm . Diese können sich im un-verarbeiteten und verarbeiteten Zustand deutlich unterscheiden (c). Mittels Computertomographie konnte das tendenzielle Wachstum der Zellen und eine Erhöhung der mittleren Zelldurchmesser aufgrund der Versinterung der EPP-Partikel detektiert werden.

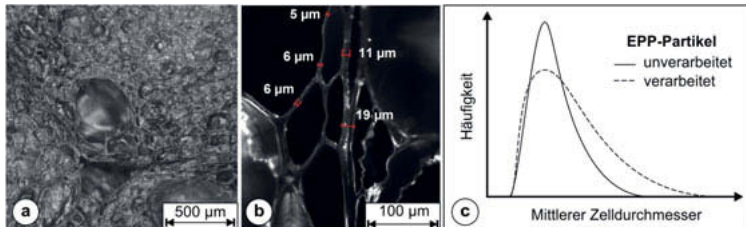


Bild 2: Mikroskopische Aufnahme des EPP in zwei Vergrößerungen (a,b); qualitative Unterscheidung der mittleren Zelldurchmesser bei unverarbeiteten und verarbeiteten EPP-Partikeln (c)

3. Virtuelle Prüfmethode für Partikelschäume

Herkömmliche Modellierungsansätze gehen davon aus, dass das Deformationsverhalten der Partikelschäume als Kontinuum betrachtet werden kann und demzufolge Daten aus Versuchen an Zug- und Druckprüfkörpern für deren vollständige Beschreibung ausreichen. Dabei werden jedoch die in den Prüfkörpern enthaltenen Inhomogenitäten sowie die reale Zellstruktur vernachlässigt. Der am ILK verfolgte Ansatz beginnt daher mit der numerischen Analyse des mechanischen Verhaltens auf meso-struktureller Ebene. Es werden repräsentative Volumenelemente (RVE) herangezogen, die mit den entsprechenden Eigenschaften beaufschlagt werden (Bild 3). Zu den berücksichtigten Einflussfaktoren zählen neben variablen Rohdichten auch verschiedene Zellwandstärken und Zellgrößen sowie im Falle von EPP auch der Kristallisationsgrad des Polymers.

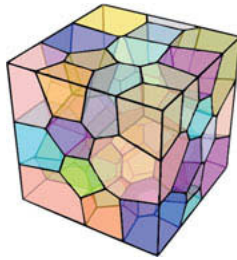


Bild 3: Dreidimensionales RVE mit Voronoi-Mosaiken als Beispiel für geschlossenzellige Schaumstoffe

Nach erfolgreicher Validierung der Methodik können die RVE für zeit- und ressourceneffizientes virtuelles Testen herangezogen werden, wie in Bild 4 anhand eines virtuellen Stauchversuchs exemplarisch dargestellt.

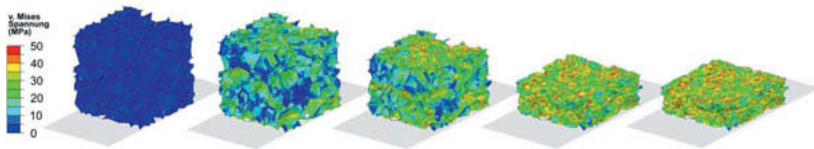


Bild 4: Virtueller Stauchversuch an einem RVE

Im Anschluss an das virtuelle Testen können differenzierte Informationen zum Werkstoffverhalten an die Struktursimulation auf makroskopischer Ebene übergeben werden, um so ein deutlich erhöhtes Maß an Verlässlichkeit und Variabilität zu gewährleisten. Zudem können Empfehlungen für die Einstellung optimierter Zellstrukturen abgeleitet werden.

4. Auslegung von partikelgeschäumten Formteilen

Für eine realitätsnahe Auslegung von Formteilen aus Partikelschaum ist die Berücksichtigung der Dichteverteilung besonders essentiell, da fertigungsbedingt Dichtegradienten entstehen können. Ursachen dafür sind sowohl Schwankungen der Schaumpartikel vor der Verarbeitung als auch lokale Variationen während der Füll- und Bedampfungsphase. Dichtegradienten werden in der Praxis bei der Gestaltung von Bauteilen bereits ausgenutzt, um etwa lokal unterschiedliches Energie-Aufnahmevermögen in Helmen im Kopf- und Genickbereich zu ermöglichen [ZLY15].

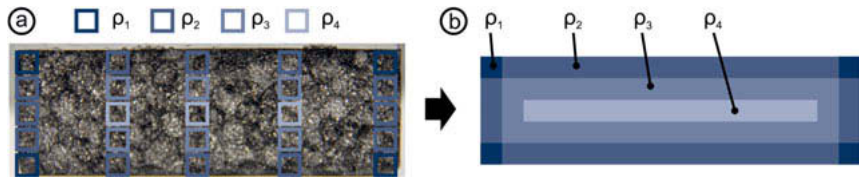


Bild 5: Probenentnahme im Querschnitt zur Dichtebestimmung (a) und daraus abgeleitete Dichteverteilung im gesamten Querschnitt (b)

Um die Effekte von lokal unterschiedlichen Dichten auf die mechanischen Eigenschaften von Formteilen zu untersuchen, sind Vier-Punkt-Biegeversuche durchgeführt und mit verschiedenen Modellansätzen simuliert worden. Ziel war es dabei, durch die Berücksichtigung lokal unterschiedlicher Dichten im Querschnitt die Spannungszustände im Prüfkörper besser abbilden zu können. Zur Dichtebestimmung wurden Proben aus verschiedenen Positionen des Prüfkörperquerschnitts entnommen (Bild 5 a). Dabei zeigte sich, dass in den Ecken die höchste und im Zentrum die niedrigste Dichte vorliegt. Zudem ist ein Dichtegefälle von außen nach innen quantifiziert worden. Ausgehend von einer Solldichte von 80 g/l liegen die gemessenen Dichten in einem Bereich von 100 g/l (ρ_1) bis 70 g/l (ρ_4) und weichen somit um bis zu 25 % von der Solldichte ab. In Bild 5 sind die Orte der Probenentnahme (a) und die abgeleitete Dichteverteilung (b) für den gesamten Querschnitt als Basis für die Simulationsmodelle dargestellt. Basierend auf der beschriebenen virtuellen Prüfmethodik sind für die gemessenen Dichten Materialkarten ermittelt worden und in ein makroskopisches Simulationsmodell eingepflegt worden.

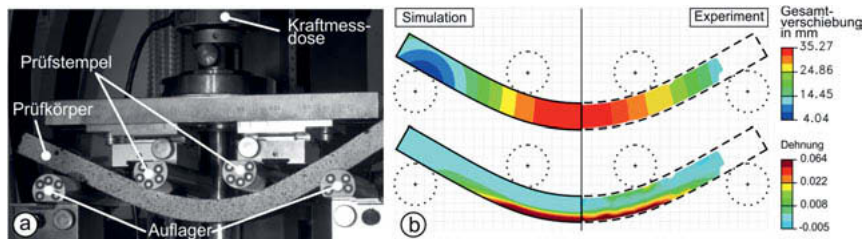


Bild 6: Vier-Punkt-Biegeversuch: Prüfaufbau (a) und Gegenüberstellung von Prüfung und Simulation mit einer mittleren Dichte von 80 g/l (b)

Bild 6 zeigt den Prüfaufbau der Vier-Punkt-Biegeprüfungen, bei denen die Verschiebungen des Prüfkörpers mittels optischer Messungen gemessen werden (a). Auf diese Weise können lokale Dehnungen berechnet und direkt mit den Simulationsergebnissen gegenüberge-

stellt werden (b). Der Vergleich zeigt, dass sich auch bei Annahme einer homogenen Dichte von 80 g/l im vereinfachten Simulationsmodell bereits eine ähnliche Gesamtverschiebung und Dehnung im Biegeprüfkörper einstellt. Bei Betrachtung der Kraft-Weg-Verläufe (Bild 7) ergibt sich jedoch ein differenzierteres Bild. Die Gegenüberstellung der virtuellen Versuche mit homogener bzw. lokal aufgelöster Dichte weisen deutlich unterschiedliche Verläufe auf. Das vereinfachte Simulationsmodell führt zu einem nachgiebigeren Verhalten. Das erweiterte Simulationsmodell erreicht aufgrund der kompakteren Randschichten ein höheres Kraftniveau und weist gleichzeitig eine sehr gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Werten auf.

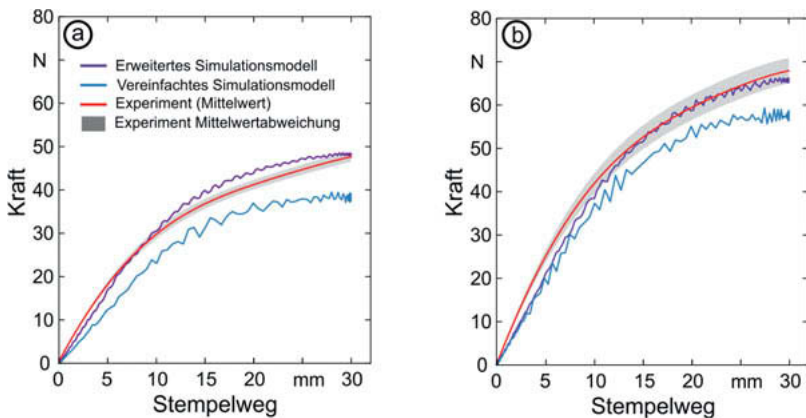


Bild 7: Gegenüberstellung der experimentell und simulativ ermittelten Kraft-Weg-Kurven der Vier-Punkt-Biegeversuche an EPP-Proben mit (Soll-)Dichten von 60 g/l (a) und 80 g/l (b)

5. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend bieten die vorgestellten Ansätze eine gute Möglichkeit, Partikelschäume für einen Einsatz in Hochtechnologie- Anwendungsgebieten zu befähigen. Auf Basis der morphologischen und mechanischen Analysen der Partikelschäume konnte eine virtuelle Testmethodik entwickelt werden, um mit geringem Aufwand Materialkarten für Partikelschäume verschiedener Dichten zu ermitteln. Unter Berücksichtigung der lokal variablen Dichte von Formteilen aus Partikelschaum kann die Prognosegüte von Struktursimulationen damit deutlich gesteigert werden.

Basierend auf den Ergebnissen werden die Simulationsmodelle auf komplexere Geometrien und Belastungen übertragen. Darüber hinaus kann diese Methodik ebenfalls auf alternative Partikelschaumtypen wie zum Beispiel auf Basis von Polystyrol oder thermoplastischen Polyurethan übertragen werden. Zukünftig ist es erstrebenswert, auch ohne die aufwendige Ermittlung der lokalen Dichte von Formteilen schon vor der Fertigung die Dichteverteilung vorherzusagen. In diesem Zusammenhang wird in enger Zusammenarbeit mit den Partnern des SamPa-Projekts der Plattform FOREL eine Prozesssimulation zur Bewertung des Füllverhaltens von den Schaumpartikeln in die Werkzeugkavität mit dem Ziel entwickelt, die lokale Dichte vorherzusagen. Langfristig soll diese Prozess- und Struktursimulation miteinander verbunden werden.

Die Vorgehensweise ermöglicht somit eine gesteigerte Prognosefähigkeit und lässt für die zukünftige Entwicklung von Leichtbaustrukturen mit Partikelschaum ein vergrößertes Anwendungsspektrum erwarten.

6. Danksagung

Die hier vorgestellten Studien sind im Rahmen des FOREL-Technologieprojekts SamPa „Integrale Fertigung von hybriden Leichtbau-Sandwich-Strukturen im Partikelschaum-Verbundspritzgießen für die Großserie“ entstanden.

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen 02P15Z000 – 02P15Z006) und mit Mitteln aus dem Energie- und Klimafonds gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Literatur

- [BBZ15] Brexeler, I.; Bürkle, E.; Zeifang, R.: Luftnummern – Partikelschäume verbünden sich mit Thermoplasten zu Sandwich-Strukturen und montagefähigen Leichtbauteilen. *Kunststoffe* 11 (2015), 67-71
- [GLM18] Gude, M.; Lieberwirth, H.; Meschut, G.; Zäh, M.F.; Tekkaya, E.; et al.: FOREL-Studie 2018 – Ressourceneffizienter Leichtbau für die Mobilität: Wandel - Prognose – Transfer. Plattform FOREL, 2018
- [RHP15] Raps, D.; Hossieny, N.; Park, C.B.; Altstädt, V.: Past and present developments in polymer bead foams and bead foaming technology. *Polymer* 56 (2015), 5-19
- [SBH13] Spitzer, S.; Bürkle, E.; Hufenbach, W.: FKV-Sandwichstrukturen beflügeln den Leichtbau. *Kunststoffe* 9 (2013), 162-165
- [SMF16] Schreier, P.; Mühlbacher, M.; Fafara, M.; Neumeyer, T.; Altstädt, V.: Multi-Materialsysteme Sandwich mit thermoplastischen Partikelschäumen. *emobility tec* 2 (2016), 58-61
- [ZLY15] Zhou, Y.J.; Lu, G.; Yang, J.L.: Finite element study of energy absorption foams for headgear in football (soccer) games. *Materials & Design* 88 (2015). 162-169

Digitalisierung des Lebenszyklus von Produktionsmaschinen

Dr.-Ing. Dipl.-Inf. **T. Menzel**, Dr.-Ing. Dipl.-Inf. **W. Eberlein**,
Siemens AG, Erlangen

Der Beitrag behandelt die Unterstützung des Lebenszyklus von Produktionsmaschinen durch digitale Modelle. Vorgestellt werden Softwarewerkzeuge zur Simulation ganzer Produktionslinien und einzelner Maschinen. Die durchgehende Digitalisierung reicht von der Planung und Konzeption bis zur Instandhaltung und Optimierung. Eine wichtige Rolle spielen dabei sogenannte digitale Zwillinge zur virtuellen Inbetriebnahme, die Optimierungen zulässt noch bevor die reale Maschine oder Anlage existiert. Der Trend geht dahin, isolierte Anwendungen zu vernetzen, sodass Konstrukteure, Elektroingenieure und Automatisierer auf gemeinsamen Softwareplattformen zusammenarbeiten können. Das Ergebnis: Verkürzung der Entwicklungszeit bei gleichzeitiger Steigerung der Produktivität, Qualität und Verfügbarkeit. Für die Überwachung und Optimierung des Anlagenbetriebs entstehen durch Cloud-Applikationen und Edge Computing ganz neue Möglichkeiten.

Schon in der Vergangenheit haben Maschinenbauer zusammen mit Partnern für die Automatisierungstechnik wichtige Innovationen vorangetrieben. Beispiele in der kunststoffverarbeitenden Industrie sind die Migration von hydraulischer zu elektrischer Antriebstechnik, das Ersetzen mechanischer Getriebe durch Direktantriebstechnik (Torquemotoren) oder die Verwendung von Servopumpen anstelle von konventioneller Hydraulik zur Verbesserung der Energieeffizienz.



Bild 1: Innovationen für Kunststoffmaschinen: Höhere Genauigkeit, bessere Prozessstabilität, bessere Energieeffizienz

Aktuell steht ein Innovationsschub an, der alle Bereiche der Produktionstechnologie umfasst und in das Zeitalter von „Industrie 4.0“ führen wird. Eines der zentralen Paradigmen von Industrie 4.0 ist die durchgehende Digitalisierung des Lebenszyklus im Maschinenbau und in der Produktion. Diese beginnt bei Planung und Konzeption, geht über die klassische Mechanik- und Elektrokonstruktion bis hin zur virtuellen Inbetriebnahme und Datenservices im Betrieb. Virtuelle Modelle, neue Methoden der IT und Simulationssysteme unterstützen in allen diesen Phasen. Die Modelle basieren zunehmend nicht mehr auf isolierten Anwendungen, vielmehr gewinnen untereinander vernetzte Softwarewerkzeuge an Bedeutung. Ziel ist es, die Entwicklungszeiten zu verkürzen und zudem Produktivität und Verfügbarkeit zu erhöhen. Davon profitieren sowohl Maschinenbauer als auch Betreiber.



Bild 2: Herausforderungen bei der Optimierung der Wertschöpfungskette im Kunststoffmaschinenbau

Nachfolgend wird die Digitalisierung im Lebenszyklus von Produktionsmaschinen mittels sogenannter digitaler Zwillinge beschrieben. Diese Phasen im Lebenszyklus sind die **Planung und Optimierung einer Produktion**, die **Entwicklung der Maschine** selbst und der **transparente Betrieb im Werk**.



Bild 3: Industrie 4.0 bedeutet die Entwicklung «digitaler Zwillinge» in allen Phasen der Maschinenentwicklung und des Betriebs

Werke optimieren: Simulation von Produktionslinien mit dem Tool „Plant Simulation“

Mit dem Software-Werkzeug **Plant Simulation** können ganze Produktionssysteme und -prozesse modelliert und simuliert werden. Des Weiteren lassen sich der Materialfluss, die Ressourcennutzung und die Logistik für alle Stufen der Anlagenplanung von einzelnen Linien über lokale Fabriken bis hin zu globalen Produktionsstätten optimieren.

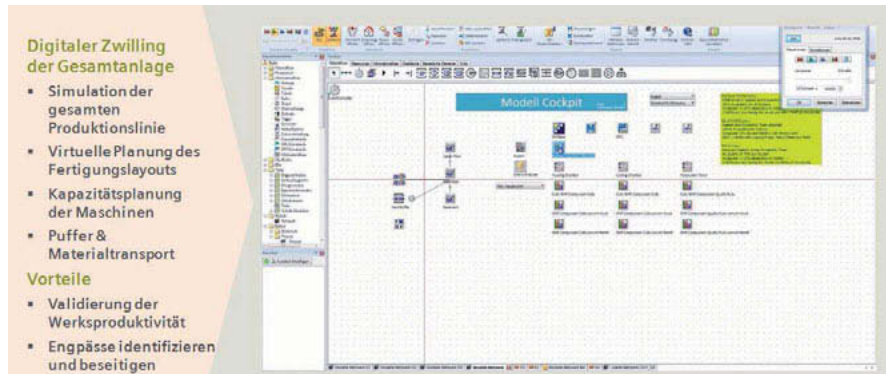


Bild 4: Planung der Produktionslinie: Plant Simulation verifiziert Werksabläufe, identifiziert Engpässe und optimiert die Produktivität des ganzen Werks

Das Tool ist ein diskretes Ereignissimulationswerkzeug, mit dem digitale Modelle logistischer Systeme (z. B. für die Produktion) erstellt werden können. Diese digitalen Modelle ermöglichen die Durchführung von Experimenten und Was-wäre-wenn-Szenarien. Auf die realen Produktionssysteme haben diese Experimente keinen Einfluss, sie werden nicht beeinträchtigt. Die Modelle können auch bereits bei der Planung verwendet werden, also lange bevor die realen Produktionssysteme überhaupt existieren. Umfangreiche Analysewerkzeuge zur Erkennung von Engpässen und zur Erstellung von Statistiken und Diagrammen ermöglichen die Bewertung unterschiedlicher Fertigungsszenarien. Dadurch lassen sich schnell zuverlässige Entscheidungen in frühen Entwicklungsphasen treffen.

Plant Simulation hilft dem Nutzer:

- Produktionssysteme in Bezug auf Layout, Steuerungslogik und Ressourcendimensionierung auszulegen,
- Probleme zu erkennen und zu vermeiden, bevor teure und zeitaufwendige Korrekturmaßnahmen im Produktionsablauf notwendig werden,
- die Anlaufzeit der Produktion zu verkürzen,
- Investitionskosten für Produktionslinien zu minimieren, ohne die Ausbringungsmenge zu gefährden,
- die Leistung vorhandener Systeme zu optimieren, indem Maßnahmen umgesetzt werden, die vor dem Einsatz in einer Simulationsumgebung verifiziert worden sind.

Plant Simulation wird häufig eingesetzt, um den Durchsatz zu optimieren, Engpässe zu beseitigen und Bestände zu minimieren. Simulationsmodelle berücksichtigen interne und externe Lieferketten, Produktionsressourcen und Geschäftsprozesse, um die Auswirkungen unterschiedlicher Produktionsvarianten zu analysieren. So können unterschiedliche Steuerstrategien der Produktionslinien bewertet und die Synchronisierung von Haupt- und Nebenlinien sichergestellt werden. Dies ist besonders dann von Nutzen, wenn eine Vielzahl von Systemparametern und Einschränkungen das Finden des Optimums erschwert. Plant Simulation berücksichtigt dabei eine Vielzahl von Kenngrößen, wie z.B. Durchsatzmenge, Bestände, die Auslastung von Ressourcen, Kosten und Lieferdaten. Diese Kennzahlen werden mit Simulationen ausgewertet, um die benutzerspezifisch optimale Lösung für die jeweilige Fragestellung zu finden.

Wichtige Funktionen des Tools sind:

- Objektorientierte Modelle mit Vererbungshierarchie
- Offene Architektur mit Unterstützung verschiedenster Schnittstellen
- Bibliotheks- und Objektmanagement
- Optimierung durch genetische Algorithmen
- Energieverbrauchssimulation und -analyse
- Automatische Analyse von Simulationsergebnissen
- HTML-basierte Berichterstellung

Daraus ergibt sich eine Reihe von Vorteilen:

- Einsparungen von drei bis sechs Prozent bei Erstinvestitionen
- Steigerung der Produktivität bestehender Systeme um 20 %
- Senkung der Kosten für Neusysteme um 20 %
- Optimierung des Verbrauchs und der Wiederverwendung von Ressourcen
- Verkleinerung des Lagerbestands um bis zu 60 %
- Verkürzung der Durchsatzzeit um bis zu 60 %
- Systemoptimierung für geringeren Energieverbrauch

Maschinen schneller bauen: Mechatronischer Ansatz zur Maschinenkonstruktion mit dem Tool „SIMATIC Machine Simulator“

Das Software-Werkzeug **SIMATIC Machine Simulator** ist eine durchgängige „End-to-End“-Lösung für die Maschinenentwicklung. Es fördert die multi-disziplinäre Zusammenarbeit und hilft Unternehmen, Geschäftsziele wie verkürzte Entwicklungsdauer, gesteigerte Qualität und schnellere Markteinführung zu erreichen. Die Software ermöglicht in der Konzeptphase eine schnelle 3D-Modellierung und Mehrkörper-Simulation inklusive des Automatisierungsverhaltens.

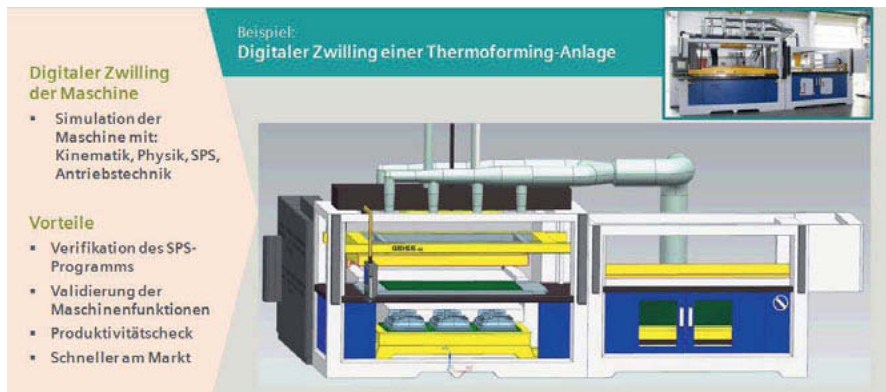


Bild 5: Beispiel: Digitaler Zwilling einer Thermoforming-Anlage

Mit einem funktionalen Entwicklungsansatz integriert SIMATIC Machine Simulator alle Fachbereiche vom Anforderungsmanagement bis zur mechanischen, elektrischen und Softwareentwicklung. Schon während der Konzepterstellung arbeiten alle Disziplinen gemeinsam an einem Projekt:

- Mechanikkonstrukteure erstellen die Konstruktion basierend auf 3D-Modellen und Kinematik.
- Elektroingenieure wählen die nötigen Sensoren und Aktoren aus und platzieren sie in den entsprechenden Plänen.
- Die Programmierer der Automatisierungslösung können das grundlegende logische Verhalten der Maschine festlegen, indem sie mit dem zeitabhängigen Verhalten beginnen und dann die ereignisabhängige Steuerung definieren.

SIMATIC Machine Simulator verkürzt die Entwicklungszeit, indem die Software den Disziplinen Mechanik, Elektronik und Software die notwendigen Informationen zur Verfügung stellt, um parallel zu arbeiten. Außerdem können bereits in einer frühen Phase des Entwicklungszyklus alternative mechatronische Entwicklungskonzepte schnell geprüft werden. SIMATIC Machine Simulator simuliert unterschiedliches physikalisches Verhalten wie Kinematik, Dynamik, Kollisionen, Aktoren, Sensoren, Federn, Bewegungsabläufe (Kurvenscheiben), Materialfluss und vieles mehr.

Diese interaktiven Simulationen ermöglichen eine frühzeitige Prüfung des reibungslosen Betriebs der Maschine. Etwaige Fehler können erkannt und korrigiert werden, wenn die Kosten dafür noch sehr niedrig sind.

Bei der Entwicklung des Maschinenkonzepts werden entweder grundlegende Geometrien erstellt oder bereits vorhandene Komponenten aus einer Bibliothek eingefügt. Für jede Komponente können sehr einfach Gelenke, Starrkörper, Bewegungen, Kollisionsverhalten sowie andere kinematische und dynamische Aspekte festgelegt werden. Durch das Hinzufügen von Sensoren und Aktoren wird das Modell für die Detaillierung in der Elektronik und der Software vorbereitet. Die so erzeugte Sensor- und Aktorliste ist damit ein wichtiges Bindeglied zwischen den Fachabteilungen.

Dieser mechatronischer Ansatz zur Maschinenkonstruktion bringt folgende Vorteile:

- Schnellere Markteinführung – Beschleunigung der Maschinenentwicklung um bis zu 25 %
- Reduzierte Entwicklungskosten
- Schnellere Bewertung von Konzepten in einer virtuellen Umgebung
- Verbesserte Integration und engere Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen Mechanik, Elektrotechnik und Automatisierung
- Beschleunigte fachspezifische Detaillierung
- Weniger physikalische Prototypen
- Einfache Wiederverwendung bewährter Komponenten
- Bessere Qualität

Daten analysieren, Optimierungspotenzial erkennen und nutzen: Cloud-basiert mit „MindSphere“ oder vor Ort mit Edge Computing

Eine zunehmende Anzahl von Maschinen und Systemen wird von intelligenten Geräten angetrieben. Diese erzeugen enorme Mengen von Daten, deren Potenzial bisher meist ungenutzt bleibt. Mit Hilfe leistungsfähiger industrieller Applikationen lassen sich diese Daten in nutzbare Informationen umwandeln.

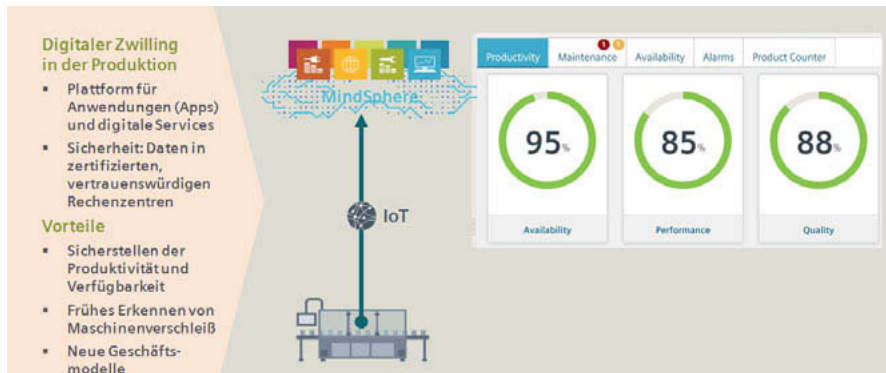


Bild 6: MindSphere: offene Cloud-Plattform zum Anschluss von Produktionsmaschinen unterstützt Maschinenbauer und Betreiber

MindSphere ist ein cloudbasiertes offenes Betriebssystem für das Internet der Dinge. Auf dieser Plattform können Anwendungen (Apps) und digitale Services entwickelt, betrieben und bereitgestellt werden, mit denen die erzeugten Rohdaten analysiert werden. Aus dieser Datenanalyse lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten. Diese können dazu beitragen, die Verfügbarkeit zu erhöhen sowie Produktivität und Effizienz einzelner Maschinen, ganzer Anlagen, Systeme und weltweit verteilter Maschinenparks zu verbessern. Mit Hilfe dieser Handlungsempfehlungen lassen sich fortlaufende Optimierungen, z. B. im Bereich der Ressourcennutzung, erzielen. Im Hinblick auf die vorausschauende Wartung ist es zudem möglich, potenzielle Probleme in einem sehr frühen Stadium zu erkennen. So können die richtigen Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt getroffen werden. Gleichzeitig schafft MindSphere die Voraussetzung für neue digitale Geschäftsmodelle. Es stellt einen globalen Marktplatz für Anwendungen und Services bereit und integriert gleichzeitig Daten aus allen Assets.



Bild 7: Beispiel: MindSphere App für das Monitoring der Produktivität von Spritzgießmaschinen

Für die Nutzung der Cloud brauchen vor Ort keine Server installiert zu werden, die Cloud-Provider übernehmen Management und Wartung und sorgen automatisch für das regelmäßige Rollout von Software- und Sicherheitsupdates. Die Daten sind in vertrauenswürdigen Infrastrukturrechenzentren, die den führenden Cybersicherheitsstandards wie ISO 27001 und IEC 62443 entsprechen und von Cybersicherheitsexperten professionell verwaltet werden, geschützt.

Während sich das Cloud Computing mehr und mehr etabliert, entwickelt sich Edge Computing als logische Ergänzung dazu. Damit lassen sich Produktionsdaten wahlweise dezentral oder zentral verarbeiten. Funktionalität, Intelligenz und Daten liegen nicht mehr ausschließlich auf zentralisierten Serverfarmen in der Cloud, sondern wahlweise auch nahe an der Datenquelle – bei der Automatisierungstechnik am Rande (Edge) des Produktionsnetzwerks. Die Lösung von Siemens – **Siemens Industrial Edge** - basiert auf bewährter Hard- und Software sowie auf Mechanismen der Cloud-Technik und integriert die Vorteile der lokalen und der cloudbasierten Datenverarbeitung.

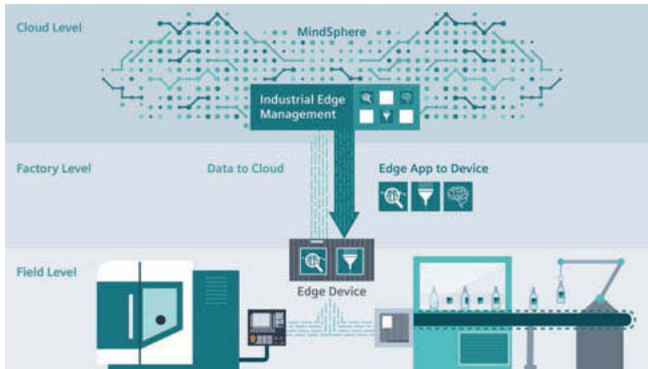


Bild 8: Das Beste zweier Welten: Lokale Verarbeitung und Cloud Computing

Siemens Industrial Edge steht für dezentrale Datenverarbeitung und -analyse auf produktionsnahen Edge-Geräten oder integriert in das Automatisierungsportfolio über spezielle Applikationen, sogenannte Edge Apps. Das bedeutet kurze Wege und auch bei großen Datenmengen minimale Latenzzeiten, was eine performante Datenverarbeitung nahezu in Echtzeit ermöglicht. Die Daten können in der Automatisierung gehalten, dort vorverarbeitet und nur relevante Informationen in die Cloud oder zu IT-Systemen transferiert werden. So lassen sich sensible Rohdaten vor unautorisiertem Zugriff schützen. Weiterhin zentral in der MindSphere angesiedelt bleibt die Verwaltung von Geräten und Apps im sogenannten Edge Management. So besteht die Möglichkeit, System- und Applikationssoftware auf die Geräte zu verteilen und regelmäßig Security-Updates auf Ihren Maschinen einzuspielen. Heutige Herausforderungen nach einerseits offenen und flexiblen Geräten und andererseits hoher IT-Sicherheit lassen sich so in Einklang bringen.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Beispiele zeigen, wie sich der Lebenszyklus von Produktionsmaschinen durch digitale Modelle verändern wird und welche Vorteile daraus resultieren. Die Möglichkeit, einzelne Maschinen oder ganze Anlagen mit Hilfe digitaler Zwillinge zu simulieren, zu validieren und noch vor der Erstellung zu optimieren kann Maschinen- und Anlagenbauern zu einer deutlichen Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit verhelfen. Betreiber profitieren von deutlich mehr Flexibilität bei veränderten Marktanforderungen. Die Auswertung von Anlagen- und Anlagenbauern – sei es in der Cloud oder auf produktionsnahen Edge-Geräten liefert wertvolle Hinweise zur Steigerung der Anlagenverfügbarkeit und einer effizienteren Nutzung von Ressourcen.

Produktionssteuerung – einfach und sexy –

Ohne Inseln und Brücken zum Ziel!

M. Keuters, GRP GmbH & Co. KG, Aachen

Kurzfassung

Zu jeder Zeit entstehen neue „Hypes“ die uns in erster Linie verwirren und eine Unübersichtlichkeit ausstrahlen. Es gilt Ruhe zu bewahren und den Kern und die Essenz zu erkennen und diese in eigene Handlung zu übersetzen. Ob es sich hierbei dann um organisatorische Aspekte oder technische Veränderungen handelt, ist unerheblich. Im Blick des eigenen Handelns steht die Wertschöpfung immer an erster Stelle, egal ob kurz-, mittel- oder langfristig. Wirtschaftlich verantwortliches Handeln unter Berücksichtigung von marktorientierten Gegebenheiten hat historisch noch immer erfolgreiche Unternehmen hervorgebracht und bestätigt. Diese Gegebenheit ist auch in der Zukunft gültig, einzig die Geschwindigkeit in der Unternehmen sich auf Veränderungen einzustellen haben, hat sich bereits spürbar und wird sich weiterhin gravierend wandeln.

1. Produktionssteuerung

Gestern, heute und morgen sind die Fragestellungen in der Produktionssteuerung heutiger Unternehmen unterschiedlicher denn je. Dabei wird es zunehmend unerheblich, wie es gestern gelaufen ist. Aus heutiger Sicht ist die disruptive Neuausrichtung auf die bereits erkennbaren Anforderungen unumgänglich. Der Markt hat hier an signifikanten Stellen bereits gezeigt (Ali Baba, Amazon), mit welcher Kraft hier Veränderungen regelrecht erzwungen werden. Und hier reicht nicht der Blick auf die uns wohlgesinnten Märkte, sondern hier ist der weite Blick in die globalisierten Märkte der Welt notwendig.

Steuern wir in Zukunft die Produktion noch nach erfolgtem Auftragseingang und der dann durchgeführten Planung?

Oder steuern wir die Produktion durch Vertriebs- und Lagerprozesse aufgrund von Zahlen, Daten, Fakten?

Für die Zukunft stehen in ausreichender Ausprägung die nötigen digitalen Informationen bereit. Der Investitionsbedarf liegt klar in der Erhebung und Speicherung der Informationen und entscheidend in der prozessorientierten Nutzung.

Der Aufbau von personellen Ressourcen (Prozessingenieure für die betrieblichen Abläufe) ist derzeit eine der größten Herausforderungen in der Industrie. Hierzu zählt bereits die Erkenntnis und Einsicht, diese personellen Ressourcen als Teil der innerbetrieblichen Wertschöpfung zu benötigen.

In der Vergangenheit und bis in die heutigen Tage haben sich Lean-Manager und Supply-Chain-Manager mit Bruchstücken dieser Thematik beschäftigt und hier zumindest Teilerfolge erzielen können. Dies reicht für die zukünftigen Anforderungen an produzierende Betriebe nicht mehr aus.

Über die Jahre wurden beliebig viele Systeme eingeführt, um spezialisierte Lösungen zu erhalten. Oftmals wurden zudem redundante Systeme eingesetzt. Und wenn dann keine Lösung in Sicht war, wurde mit den gängigen Werkzeugen (z.B. Excel oder Access) nach Abhilfe gesucht und gefunden. Die so gewachsenen Welten sind so stark fragmentiert, dass oft die Übersicht verloren gegangen ist. „Never change a running system“ wird zur Bremse und zum unternehmerischen Risiko, welches sich schleichend nach oben schaukelt. Nach alter Väter Sitte wird dann erstmal Personal eingestellt, was jedoch keine nachhaltige Verbesserung mit sich bringt und zudem die langfristigen Fixkosten in die Höhe treibt.

Valide Datenquellen, seien es ERP-, CAD/CAM-, und MES-Systeme sind in dieser Ausrichtung unerlässlich. Ergänzt um den Prozessmanager oder das Prozessmanagement-Team ergibt sich so der neue Wertschöpfungs-Kern eines Unternehmens, der für den wirtschaftlichen Erfolg von zentraler Bedeutung sein wird. Die Macht der Daten - genutzt von den Managern, die es gelernt haben mit diesen zu arbeiten - werden die Zukunft in den Unternehmen bestimmen. Das Management darf hierbei nicht in unüberschaubarer Komplexität ersticken und einem Manager seine Entscheidungen erschweren. Sinnhafte Digitalisierung und nachvollziehbare und gesteuerte Prozesse sind auch weiterhin die Wegbegleiter des erfolgreichen Managers in der Produktion.

Die Macht der Daten hängt unter anderem von der integrierten Verfügbarkeit in möglichst wenigen Systemen ab. Jede Schnittstelle („Brücke“) stellt hierbei ein latentes Risiko dar. Sollten Datenquellen nicht standardisiert integriert sein („Inseln“), fehlen diese Informationen zwangsläufig in den laufenden Unternehmenssichten und könne wenn überhaupt, nur bedingt zur Optimierung der Wertschöpfung beitragen.

2. Wertschöpfung

Ein kurzer Exkurs in die Wirtschaftswissenschaft zeigt, dass die 3 Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital weiterhin zeitgemäß sind. Hierzu gruppieren wir die Daten des Unternehmens unter den Produktionsfaktor Boden. Somit wird deutlich, dass eine Grundlage für unternehmerische Entscheidungen unabdingbar in einem verlässlichen und von allen Seiten akzeptierten Datenhaushalt liegt.

Genau wie der Boden als solches ein solides Fundament darstellt, ergänzen in Zukunft die verfügbaren und validierten Daten das Fundament für unternehmerische Entscheidungen.

Des Weiteren gruppieren wir den Prozessmanager unter den Produktionsfaktor Arbeit und stellen fest, dass sich der Produktionsfaktor Kapital oder die Investition in Boden (Daten) und Arbeit (Prozessmanager) als 3. Produktionsfaktor nahtlos ergänzt und die betriebswirtschaftliche Betrachtung komplettiert. Es muss bei der Umsetzung (Wertschöpfung) also grundsätzlich eine nachweisliche Gewinnerzielung als Vorgabe gelten.

Somit bleibt ebenfalls festzuhalten, wer sich nicht mit der Digitalisierung seiner Prozesse beschäftigt und hier zu validen Datenhaushalten kommt, der wird die Zukunft nicht gestalten können und keine Erfolge in der Wertschöpfung haben. Wer mit Lean angefangen hat, sich über das Supply-Chain Management weiter entwickelt hat, dem wird es leichter fallen sich der vollständigen Prozesssteuerung seiner Produktion zu widmen und diese wirtschaftlich sinnvoll und ausgewogen zu steuern.

Einfache, verlängerte Werkbänke ohne die Kraft zu einem eigenständigen Marktteilnehmer bis hin zum „ehemaligem“ Marktteilnehmer sind die logischen Konsequenzen zögerlicher und fehlerhafter Entscheidungen.

In dem Zitat von Karl Marx wird auch historisch deutlich, dass zu damaliger Zeit bereit die Erkenntnis ausgebildet war, dass durch Warten kein Mehrwert erzielt werden kann. Wartezeiten oder „time to market“ sind entscheidende Größen bei der unternehmerischen Entscheidungsfindung. Nur durch einfache und vollständige Datenquellen (das neu „Gold“) werde Unternehmen zukünftig zu steuern sein. Das sich in diesem Kontext die alten Strukturen von ERP-Systemen für eher kaufmännische Fragestellungen und Systemen zur Produktionssteuerung und -überwachung auflösen werden, ist die logische, bereits im universitären Bereich erforschten, Konsequenz der heutigen Entwicklung.

Bild1 verdeutlicht hierzu die bereits seit mehreren Jahren auch im VDI diskutierten Ansatz.
Zitat aus der Historie, immer noch gültig. [1]

„Dabei ist $W \dots P \dots W$ die Produktionsperiode, welche die Arbeitszeit umfasst. Während der Arbeitszeit wird der Mehrwert zugesetzt. Dabei bildet $G - W$ und $W' - G'$ die Umlaufs- oder Zirkulationszeit, in welcher Ware W darauf wartet, in Geld G verwandelt zu werden und umgekehrt. Während dieses Wartens wird kein Wert zugesetzt.“

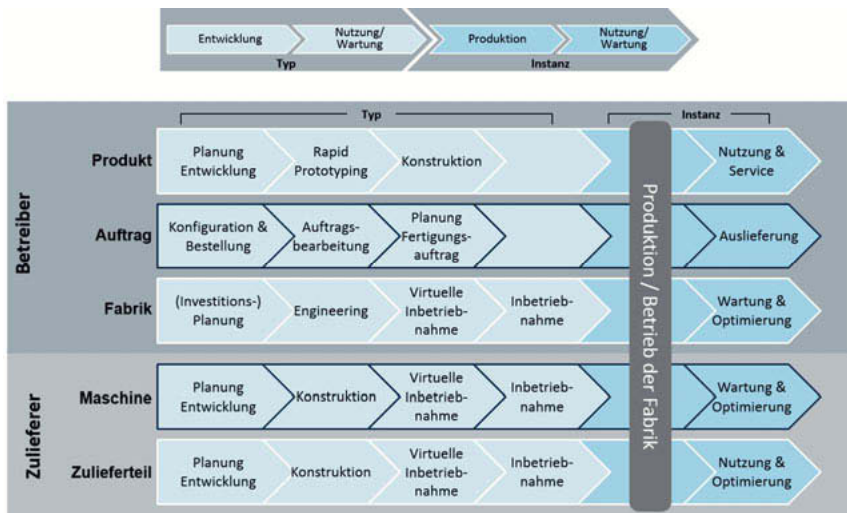


Bild1: Relevante Lebenszyklen für I4.0-Komponenten; Quelle: M. Hankel, Bosch Rexroth.
Basiert auf Plattform Industrie 4.0 AG3. Basiert auf Prof. Bauernhansl, Fraunhofer IPA

[1] Karl Marx, *Das Kapital*, Band II, 13. Kapitel