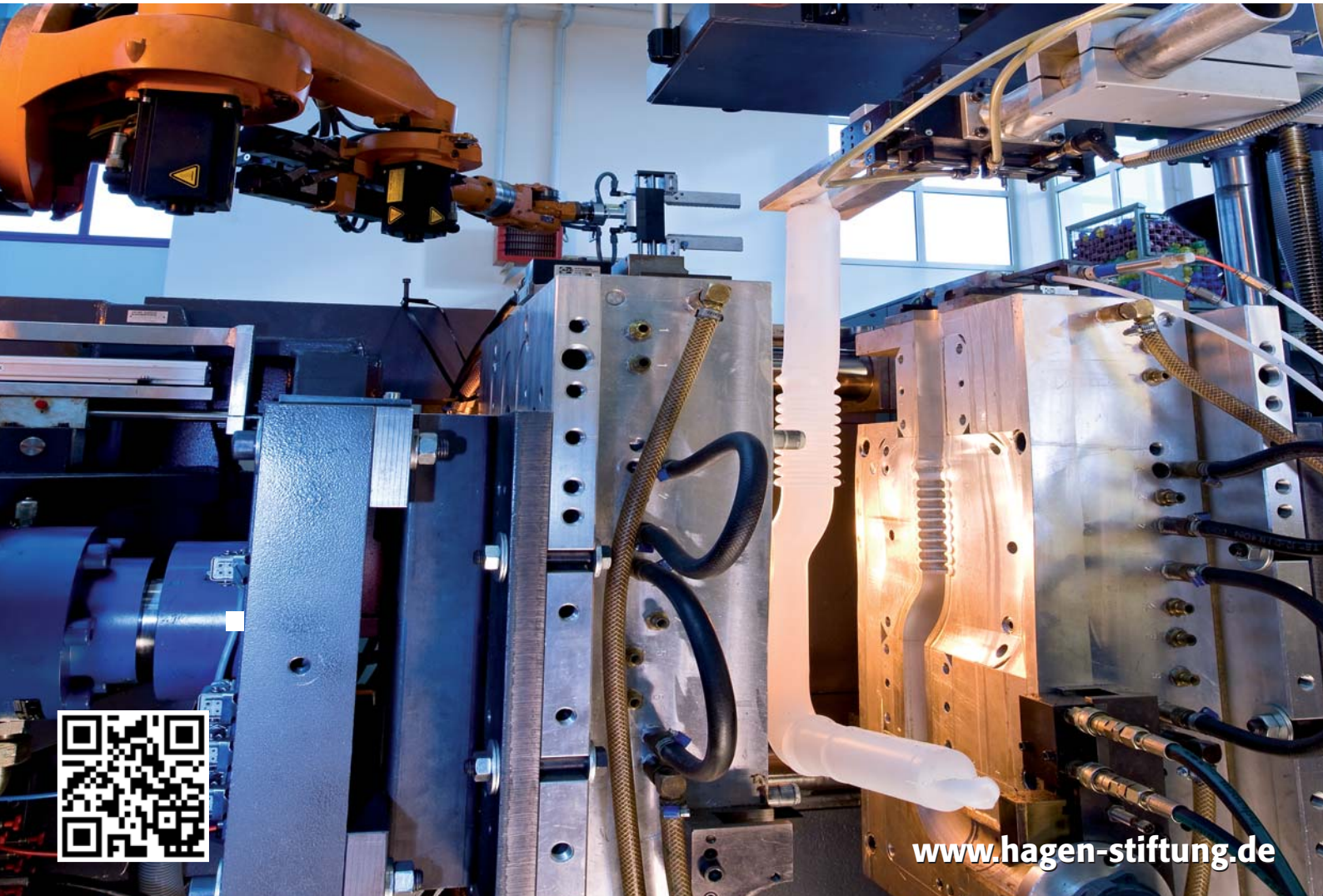
Dr. Reinold
Hagen Stiftung

Engineering für die Blasformtechnik

Anwendungsorientierte Forschung

- Material- und Ressourceneffizienz
- Biopolymere
- Verfahrenstechnik
- Simulationstechnik
- Prüfmethodik



www.hagen-stiftung.de

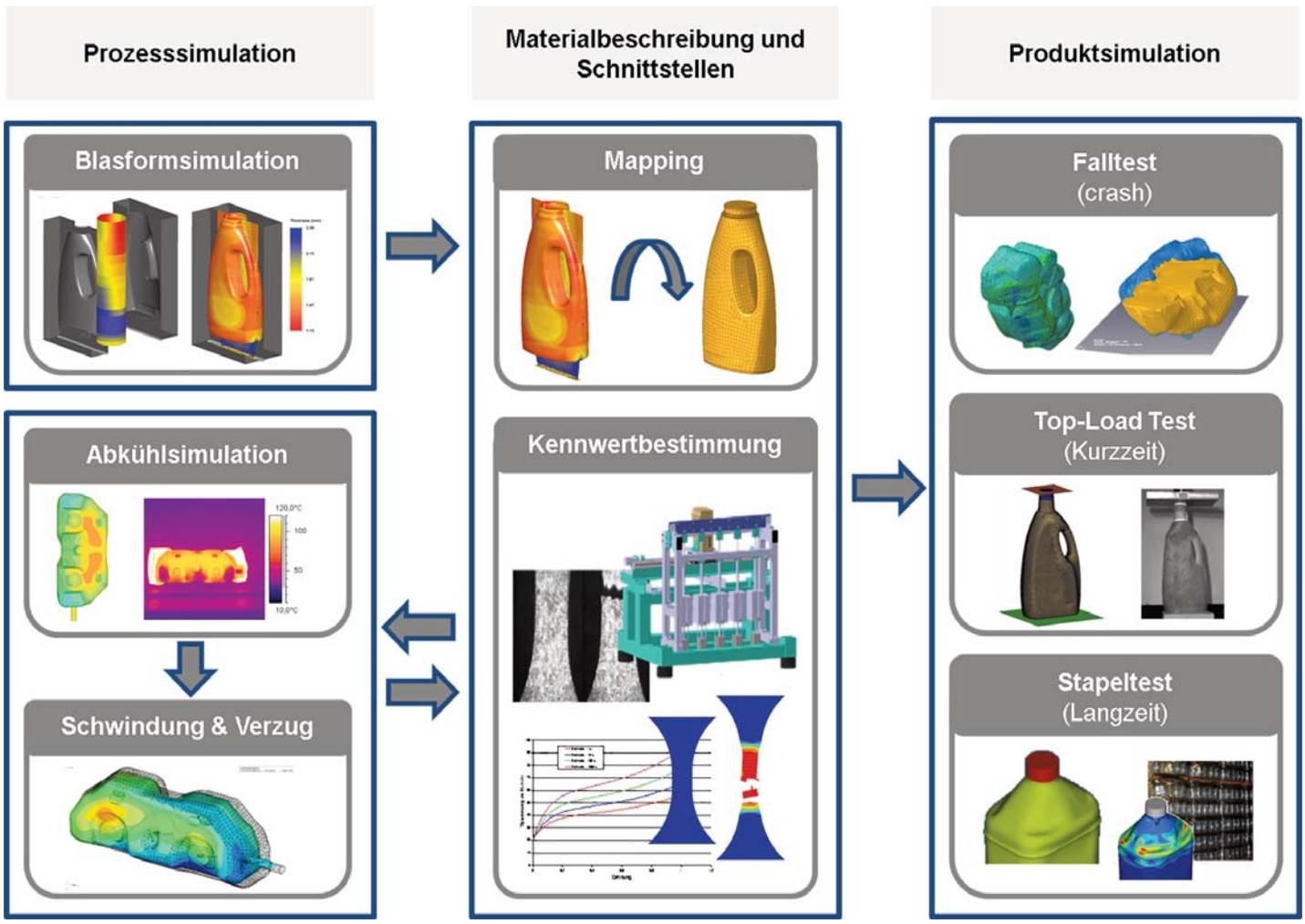
Die Dr. Reinold Hagen Stiftung, gegründet 1988, mit Sitz in Bonn-Holzlar, gehört zu den großen, operativ tätigen Stiftungen in Deutschland. Sie ist eine unabhängige und gemeinnützige Stiftung, die ihre Initiativen in den zwei großen Bereichen „Technik" und „Bildung" betreibt.

Der Technikbereich ist eine privatrechtliche, nicht gewinnorientierte Forschungseinrichtung und versteht sich als Mittler zwischen Unternehmen und Hochschulen. Zum Technikbereich zählt auch die Hagen Engineering GmbH, ein Technologiedienstleister, der die Entwicklung von Kunststoffbauteilen von der Idee bis zum Prototypen oder Serienteil anbietet.

Schwerpunkt unserer industrieorientierten F&E-Aktivitäten ist die **Simulationstechnik** für Kunststoffteile und insbesondere Blasformteile. Schon vor 18 Jahren wurde in Kooperation mit der Universität Siegen die Entwicklung einer der ersten Softwareprogramme zur Prozesssimulation des Extrusionsblasformens begonnen. Wesentliche Ergebnisse dieser Kooperation sind heute fester Bestandteil des kommerziellen Softwaresystems B-SIM der Firma Accuform. Heute ist die **integrative Simulation** eines unserer großen F&E-Themen. In den Ansätzen und Modellen der integrativen Simulation werden über eine erweiterte Kopplung der Simulationsroutinen die für die Produkteigenschaften spezifischen Besonderheiten des jeweiligen Herstellungsprozesses verstärkt berücksichtigt. Ziel dieser erweiterten Betrachtung ist eine zuverlässige und quantitativ genaue Vorhersage der Produkteigenschaften. Der Grundstock dafür wurde bereits in den Forschungsvorhaben RedPro und MatRes (S. 10 und 11) durch Untersuchungen des prozessabhängigen Materialverhaltens gelegt. Im Anschlussvorhaben ReBauVES (S. 8, 9) gelang dann erstmals die Einbindung prozessabhängiger Materialparameter in der Struktursimulation über eine eigens entwickelte Schnittstelle.

Für die Ausarbeitung und Verifizierung neuer Ansätze und Modelle sowie für die Kopplung einzelner Simulationsschritte über geeignete Schnittstellen (Interfaces) besteht weiterhin großer Forschungsbedarf, auch um den steigenden Ansprüchen hinsichtlich einer **Kunststoffindustrie 4.0** Rechnung zu tragen. Im aktuell laufenden Forschungsvorhaben VMAP (S. 4, 5) wird daher intensiv an einer Standardisierung von Materialschnittstellen zwischen verschiedenen Simulationsschritten und Softwareprogrammen gearbeitet.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die **Verfahrenstechnik** für das Extrusionsblasformen. Dabei werden im Technikum und Labor der Dr. Reinold Hagen Stiftung Aufgabenstellungen zum Blasformprozess und der Blasformmaschine mit ihren verschiedenen Komponenten (Extruder, Schlauchkopf, Schließgestell, Werkzeug, etc.) betrachtet. Dazu gehören auch Unterstützungsleistungen im Bereich der Materialentwicklung für das Extrusionsblasformen. Sowohl bezüglich konventioneller Werkstoffe, beispielsweise im Bereich der Hochtemperaturanwendungen, als auch den immer bedeutsamer werdenden Kunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen („Biopolymere") gilt: In der



Integrative Simulation von Blasformartikeln : Kopplung unterschiedlicher Simulationstools und Einbeziehung prozessabhängiger Materialkennwerte

Regel werden die Materialien zunächst für andere Verarbeitungsverfahren entwickelt und müssen später für die speziellen Anforderungen des Blasformens modifiziert werden. Erste Untersuchungen der Verarbeitbarkeit von Biopolymeren im Extrusionsblasformen wurden in dem Gemeinschaftsforschungsvorhaben BioBlow (S. 12) durchgeführt.

Neben mehreren Blasformanlagen stehen mit Extrusions– und Tiefziehanlage auch die wesentlichen anderen Verarbeitungsverfahren für Kunststoffe im Technikum zur Verfügung. Die im Rahmen von Forschungsvorhaben benötigten Versuchswerkzeuge und –vorrichtungen werden im hauseigenen Werkzeugbau schnell und kostengünstig gefertigt. Grundsätzlich ermöglicht unsere technische Ausstattung eine Begleitung bis zur Serienreife eines Kunststoffbauteils.

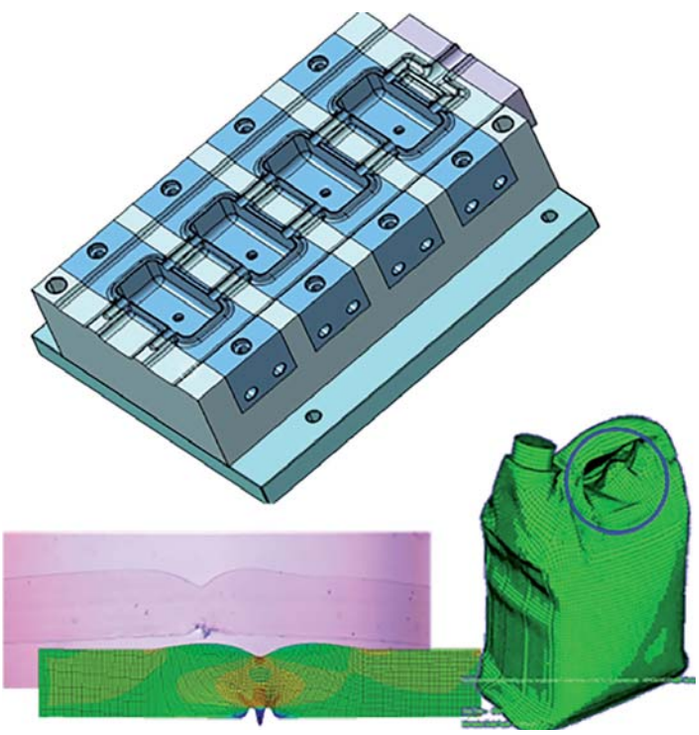
Die Entwicklung geeigneter **Prüfmethodik und Messtechnik** ist ein wesentlicher Bestandteil unserer F&E-Aktivitäten. Trotz der unüberschaubaren Anzahl standardisierter und oft auch genormter Prüfverfahren ergeben sich häufig Aufgabenstellungen, für die die geeignete Versuchstechnik erst zu entwickeln ist. Ein Beispiel ist die Ermittlung der Quetschnahtfestigkeit in Blasformteilen. Die Materialproben müssen notwendigerweise direkt aus einem Blasformteil entnommen werden. Dafür wurde ein spezielles Versuchswerkzeug entwickelt, mit dem es möglich ist, Probenkörper in Abhängigkeit der relevanten Prozessparameter reproduzierbar herzustellen. Auch die Versuchstechnik musste angepasst und weiterentwickelt werden, da in der Praxis die Quetschnaht sowohl auf Zug wie auf Biegung bei unterschiedlichsten Geschwindigkeiten belastet wird. Eine „einfache" Zugprüfung nach DIN EN 527 ist hier alleine nicht aussagekräftig.

Unsere Arbeitsweise.

Damit besonders kleine und mittlere Unternehmen der Kunststoffindustrie Innovationspotentiale besser nutzen können, initiiert die Dr. Reinold Hagen Stiftung Kooperations-Projekte, in denen gemeinsam systematisch an Produktentwicklungen gearbeitet wird. Für interessierte Unternehmen bestehen unterschiedliche Möglichkeiten, sich an den Projekten zu beteiligen oder von den Projektergebnissen zu profitieren.

Innovative Lösungen für die industrielle Praxis stehen im Mittelpunkt unserer F&E-Verbundprojekte. Dabei wird die konkrete Aufgabenstellung eines Unternehmens arbeitsteilig auf Basis einer Kooperationsvereinbarung und i. d. R. in Zusammenarbeit mit Hochschulen bearbeitet. Neben den konkreten Projektergebnissen profitieren die beteiligten Unternehmen vor allem vom Know-how- und Erfahrungsgewinn. Sie verbessern ihren Zugang zu F&E- Einrichtungen und die Zugriffsmöglichkeiten auf Fördermittel.

Aufgabenstellungen eines Unternehmens, z. B. Untersuchungen zur Produktperformance, können auch im Rahmen von betreuten Bachelor- und Masterarbeiten bearbeitet werden. In einer Projektskizze werden die möglichen Ziele und die Vorgehensweise mit dem Unternehmen als „Auftraggeber" vereinbart und in enger Abstimmung umgesetzt. Die Einbettung der Arbeiten in die Forschungsfelder der Hagen Stiftung und die Betreuung durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter unterstützt den zielgerichteten Transfer der Ergebnisse in die betriebliche Praxis.



Messtechnische und simultive Untersuchung der Quetschnahteigenschaften

Dr. Reinold Hagen Foundation

The Dr. Reinold Hagen Foundation, founded in 1988, is a non-profit foundation, which operates in the fields of education and technology.

In the technology sector, the foundation acts as an industry-oriented research institution. Main focus of the R&D activities is the simulation of plastic components, especially blow moulded plastic parts. Therefore, the entire development process from the process simulation to the simulation of several product tests (top-load tests, internal pressure tests, etc.) is considered. Current research activities are especially dealing with the transfer of simulation data between different simulation steps and different software tools. This allows the consideration of the whole process history across the entire simulation chain and also the use of different specialized simulation and optimization tools within the CAE-workflow.

Another focus of the R&D department is the process engineering in relation to the blow moulding process. Therefore the technical centre of Hagen Foundation is equipped with two blow moulding machines, an extruder and a thermoforming machine. Typical applications are the investigation of new materials such as biopolymers with regard to their processability on blow moulding machines. In addition to the processing machines Hagen Foundation has a test laboratory and a toolmaking department. This allows the development of suitable measuring and testing technology for special applications within the R&D activities.

VMAP - A new Interface Standard for Integrated Virtual Material Modelling in Manufacturing Industry

Status: laufend

Projektleitung:
Fraunhofer SCAI

Projektpartner:
Dr. Reinold Hagen Stiftung,
Hagen Engineering GmbH,
Rikutec GmbH,
Kautex Maschinenbau GmbH
insgesamt 29 Partner aus 6 Ländern

Projektförderung
Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des ITEA3 Förderprogrammes

Motivation

Die Auswahl eines geeigneten Materials ist für die Qualität und Funktionalität eines Produktes von immer größerer Bedeutung. Dabei spielt die detaillierte Berücksichtigung der Materialhistorie eine wichtige Rolle. Für eine ganzheitliche Optimierung müssen die Materialeigenschaften, die Herstellprozesse und das Produktdesign so aufeinander abgestimmt werden, dass alle Zielkriterien gleichzeitig erreicht werden können. Für die virtuelle Abbildung der einzelnen Prozessschritte gibt es Simulationswerkzeuge im CAE (Computer Aided Engineering). Ein zentrales Problem für die ganzheitliche Optimierung von Produkten und Prozessen ist die fehlende Standardisierung von Softwareschnittstellen zur Übertragung von Materialinformationen zwischen den Werkzeugen.

Ziele und Inhalt des Projektes

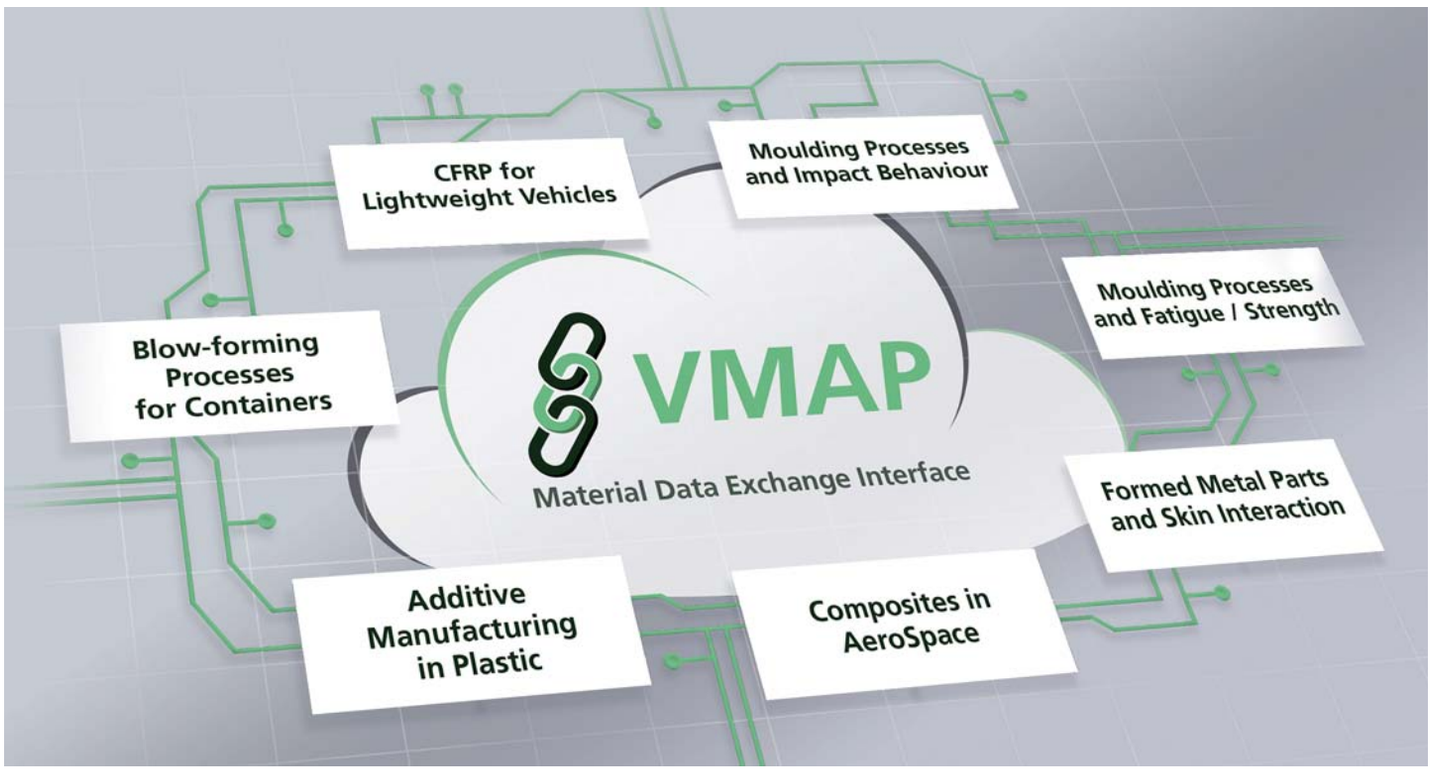
Das zentrale Ziel des Projektes VMAP ist es daher, die bisher in Bezug auf Materialparameter zueinander inkompatiblen Simulationswerkzeuge so zu erweitern, dass ein Austausch der relevanten physikalischen Materialgrößen einfacher möglich wird. Das Projekt VMAP strebt dabei eine offene Standardisierung dieser Materialschnittstellen an, der auch von anderen nicht am Projekt beteiligten Softwareanbietern genutzt werden kann.

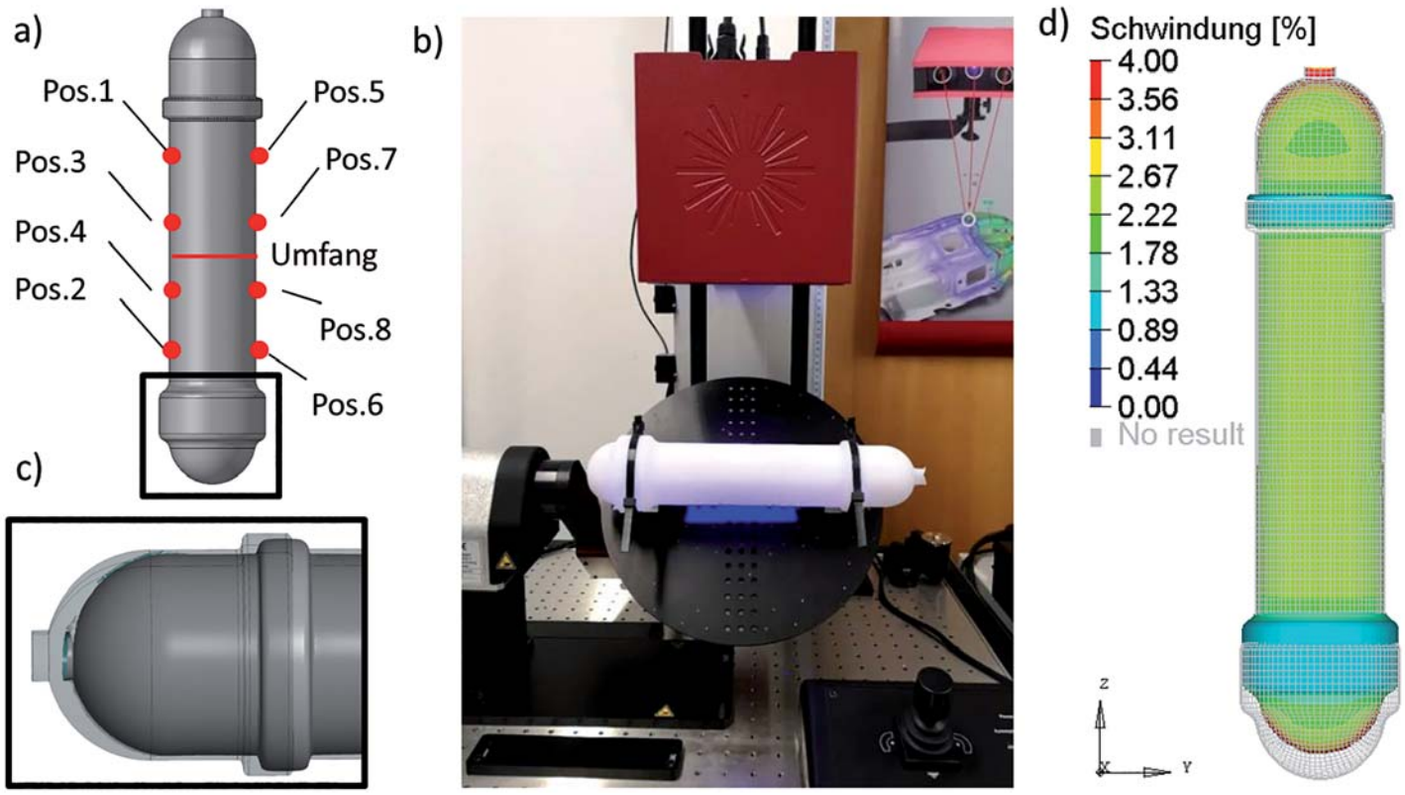
Im Projekt VMAP werden insgesamt sechs Anwendungsszenarien aus unterschiedlichen Marktsegmenten umgesetzt. Jedes dieser Szenarien beschreibt einen repräsentativen Anwendungsfall für eine Materialklasse, für die dazugehörigen Herstell-Simulationsverfahren und den virtuellen Produkteinsatz in einem typischen Industriesegment.

Im Anwendungsszenario Extrusionsblasformen geht es im Wesentlichen um folgende Arbeitspunkte:

- Festlegung des CAE-Workflows für blasgeformte Kunststoff-Hohlkörper
- Identifizierung der relevanten Materialkennwerte
- Entwicklung anwendungsübergreifender Materialmodelle für thermoplastische Werkstoffe
- Entwicklung von Verfahren und Schnittstellen zum Austausch relevanter Materialkennwerte und Zustandsvariablen (z. B. Dehnung, Spannung, Orientierungen, Temperatur, Wanddicke) zwischen unterschiedlichen CAE-Werkzeugen (Prozesssimulation, Strukturanalyse, etc.)

Dabei sollen anwendungsübergreifende Materialmodelle für Thermoplaste entstehen, die alle relevanten Eigenschaften beschreiben (z. B. elastisch, plastisch, viskoelastisch/-plastisch, thermisch, etc.) und einen integrativen CAE-Workflow für blasgeformte Kunststoffbauteile ermöglichen.





Simulative und experimentelle Bestimmung der Bauteilschwindung: a) Prinzipbauteil mit Messmarkierungen zur Validierung der Schwindungssimulation; b) Vollautomatisierte optische Vermessung am 3D-Scanner der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg; c) Vergleich der gemessen Schwindung mit dem CAD-Modell; d) Ergebnisse der Schwindungssimulation

Dieser Workflow soll die Prozesssimulation, thermische Analysen (Abkühlverhalten), Schwindungs– und Verzugsanalysen sowie eine virtuelle Bauteilprüfung umfassen. Der Datentransfer soll dabei über das neue VMAP Interface erfolgen.
Am Ende erfolgt die Evaluierung der Prozesskette am industriellen Anwendungsfall „Vorhersage von Schwindung und Verzug".

Erste Ergebnisse

Im Rahmen des VMAP Vorhabens konnte der Standard CAE-Workflow bzgl. blasgeformter Kunststoffhohlkörper bereits erfolgreich um die Simulation der Abkühlphase, sowie der damit verbundenen Analyse von Schwindung und Verzug erweitert werden. Die zu entwickelnden Schnittstellen ermöglichen es, sowohl Materialparameter als auch die thermische und mechanische Vorgeschichte (Eigenspannungen, Verstreckgrade, etc.) zwischen verschiedenen Simulationsschritten bzw. -Tools zu übertragen.
Außerdem konnten in Zusammenarbeit mit der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg Methoden zur optischen Bauteilvermessung entwickelt werden, welche eine umfangreiche Validierung der Simulationsergebnisse erst ermöglichen (s. Abb. oben). https://www.vmap.eu.com/

Research Project VMAP

One of the biggest challenges regarding the CAE workflow of blow moulded products is the high complexity which involves frequent data transfer between different simulation steps and different software tools. The standard CAE workflow already involves the process simulation of the parison inflation followed by the simulation of several product tests like drop tests, internal pressure tests or top-load tests. More recent research activities additionally take the cooling behaviour and the related simulation of shrinkage and warpage into account.
The aim of the ITEA VMAP project is the generation of specifications for the exchange of material information within CAE workflows. The VMAP standard tools will provide users with a vendor-neutral methodology for transferring material and engineering data between different CAE software along the whole simulation process chain. The development and verification of the VMAP interfaces is based on six independent industrial use cases.
Together with Rikutec Group, Dr. Reinold Hagen foundation represents the blow moulding use case. The current workflow for blow moulded parts already utilizes first prototypes of the VMAP Standard. Thus, the cooling simulation, as well as the simulation of shrinkage and warpage have been successfully integrated in the standard workflow for blow moulded parts.

Ultra-Clean Containers for High Purity Electronic Chemicals

Status: abgeschlossen

Projektpartner:
Dr. Reinold Hagen Stiftung
Hagen Engineering GmbH
Rikutec GmbH
Accuform,
Fraunhofer SCAI
Gompute

Projektförderung
Experiment im Rahmen des Forschungsprogrammes „Factories of the Future Resources, Technology, Infrastructure and Services for Simulation and Modelling 2 - FORTISSIMO 2

Motivation

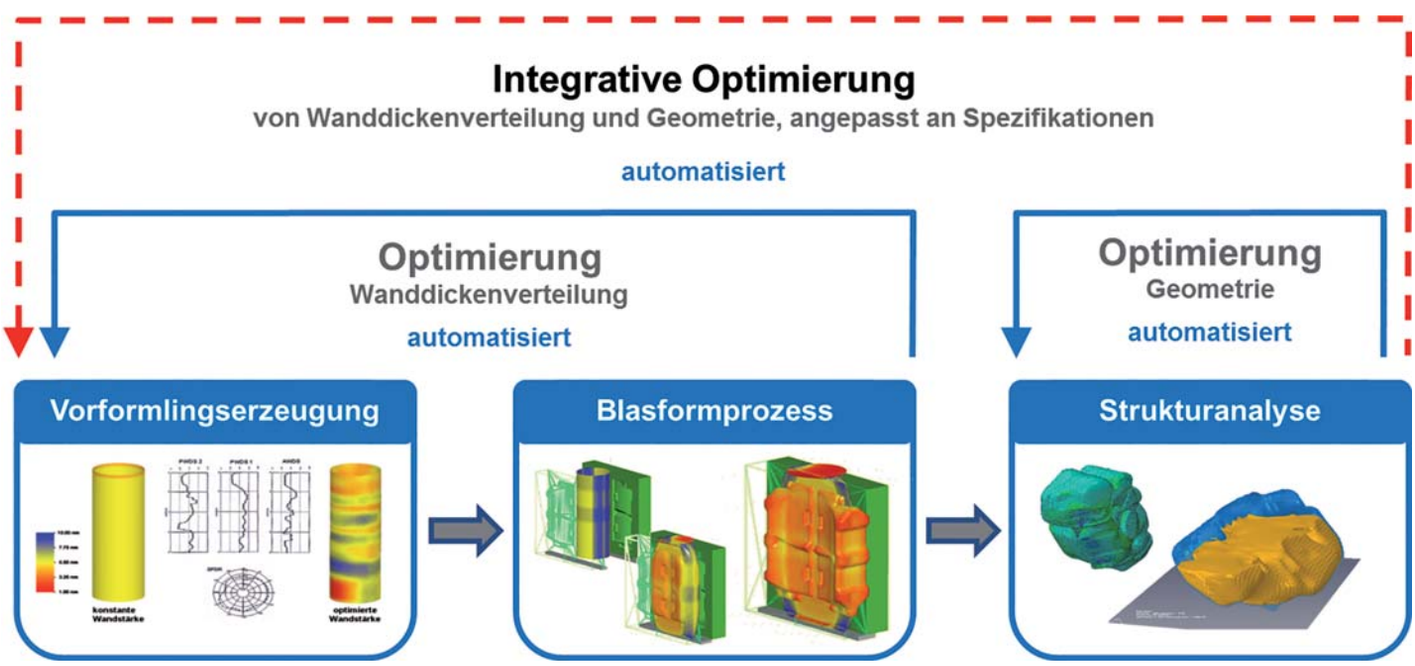
Das aktuelle Entwicklungskonzept von Blasformartikeln besteht aus verschiedenen Design und Entwicklungsschritten, die in der Regel nacheinander und mit relativ großen personellen und zeitlichen Aufwand durchlaufen werden:
Im ersten Schritt erfolgt die Festlegung eines ersten Behälterdesigns aufbauend auf der Erfahrung des Konstrukteurs. Anschließend kann die prinzipielle Machbarkeit bzw. die Blasformfähigkeit des Produktes durch eine Simulation des Herstellprozesses sichergestellt werden. In dieser Phase kann eine manuelle oder semiautomatische Optimierung der Wanddickenverteilung durchgeführt werden. Die geforderten Produkteigenschaften werden in diesem Schritt noch nicht berücksichtigt. Es lassen sich verschiedene Wanddickensteuerungssysteme wie WDS, PWDS, SFDR miteinander vergleichen und Aussagen treffen, welche Wandstärkenverteilung und damit auch welches Artikelgewicht grundsätzlich erreichbar werden kann.
In einem zweiten Schritt werden dann die Artikeleigenschaften in der Strukturanalyse bzw. Produktsimulation überprüft. Standardprüfungen sind hier beispielsweise Stapeltest, Innendruck- oder Fallprüfung.
Werden die geforderten Produkteigenschaften nicht erreicht, müssen Anpassungen der Geometrie und ggf. der Wanddickenverteilung heute in der Regel manuell durchgeführt werden. Aufgrund der Komplexität der Simulationsmodelle sind heutige Standard-Workstations nicht in der Lage, die für eine automatische Optimierung geforderte Vielzahl an Rechenläufen in einem akzeptablen Zeitraum durchzuführen.

Ziele und Inhalt des Projektes

Ziel des Vorhabens ist – unter Nutzung und Erweiterung der bereits vorhandenen Simulationswerkzeuge – die Entwicklung eines integrativen Design- und Optimierungsprozesses am Beispiel von Gefahrgutbehältern umzusetzen.
Unter Nutzung von H(igh)P(erformance)C(omputing)-Rechenclustern sollen im Rahmen einer automatischen Optimierung die Geometrie, aber auch die Wanddickenverteilung gleichzeitig betrachtet und optimiert werden. Grundlage sind die jeweiligen Anforderungen an das Produkt. Dies bedeutet beispielsweise, dass die Wanddicke in kritischen Bereichen gezielt erhöht, in anderen Bereichen aber reduziert wird.
Simulationsprozesse auf Basis von HPC-Systemen werden damit den Produktentwicklungsprozess insgesamt effizienter machen und bessere Produktqualitäten (Designs) zu niedrigeren Kosten ermöglichen.

Ergebnisse

Im Rahmen der Projektlaufzeit konnten erste automatisierte Verfahren zur Optimierung von Wanddickenverteilung und Geometrie erfolgreich entwickelt werden.
Insbesondere die Optimierung der Wanddickenverteilung gestaltet sich als schwierig, da diese aus der Prozessführung resultiert und nur in gewissen Grenzen durch den Maschinenbediener variiert werden

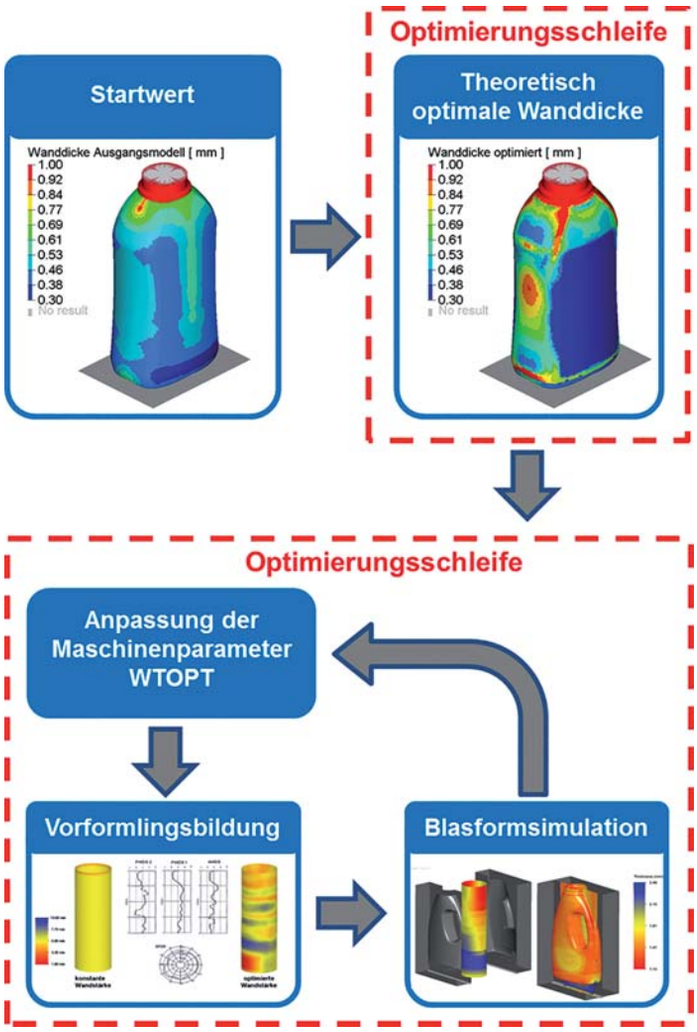


Integrative Optimierung von Blasformartikeln

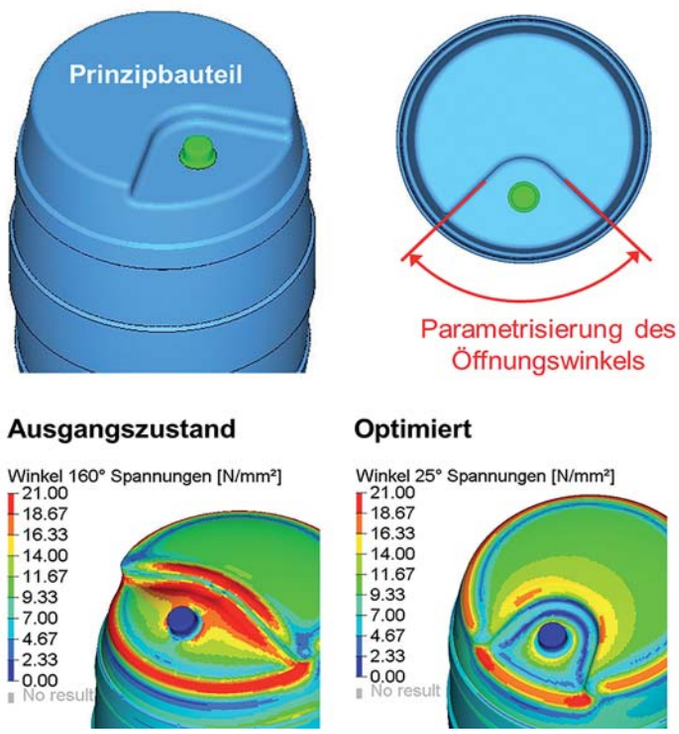
kann. Ziel muss es daher sein, innerhalb der Möglichkeiten der eingesetzten Wanddickensteuersysteme (AWDS, PWDS, SFDR) möglichst nah an eine theoretisch optimale Wanddickenverteilung heranzukommen. Daher erfolgt die Optimierung der Wanddickenverteilung in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird eine theoretisch optimale Wanddickenverteilung in Bezug auf die Produktspezifikationen (Stauchverhalten, Innendruck, etc.) berechnet. Diese dient dann wiederrum als Startwert für eine weitere Optimierungsschleife, in die Parameter der Vorformlingsbildung (AWDS, PWDS, SFDR), welche auch die Eingangsparameter für die Blasformsimulation darstellen, optimiert werden. Ein erster Prototyp für eine solche Optimierungsschleife konnte bereits entwickelt werden.

Neben der Wanddickenverteilung konnten auch erste Optimierungen auf Geometrieebene realisiert werden. Dafür werden bestimmte Geometrieelemente, wie z.B. Radien, Winkel oder Fasen parametrisiert und einer automatisierten Parameteroptimierung unterzogen.

Sowohl die Wanddickenoptimierung, als auch die Optimierung der Geometrie konnten bereits in einen automatisierten Workflow eingebunden werden. Die dafür notwendigen Schnittstellen wurden während der Projektlaufzeit entwickelt bzw. erweitert. Die automatisierte Optimierung kann dann sowohl auf einer konventionellen Workstation, als auch auf HPC-Rechenclustern durchgeführt werden.



Wanddickenoptimierung von Blasformartikeln



Formoptimierung eines Prinzipbauteils

Research Project Fortissimo

The engineering workflow of a blow moulded part consists of several steps. The starting point is always a first draft of the product design. Then a process simulation of the blow moulding process is carried out, which gives information about the feasibility and the thickness distribution which is used all following analysis steps. This blow moulding simulation is followed by virtual- (structural analysis) and/or physical-testing of the product. Once the first design has passed the workflow an optimization regarding the shape and/or the wall thickness distribution might take place.

Before the Fortissimo project an automatized optimization was not possible. Moreover the single design and simulation steps had to be carried out manually. No automatic interfaces between the individual software tools were available and the simulations were performed on standard workstation systems, which was very time consuming.

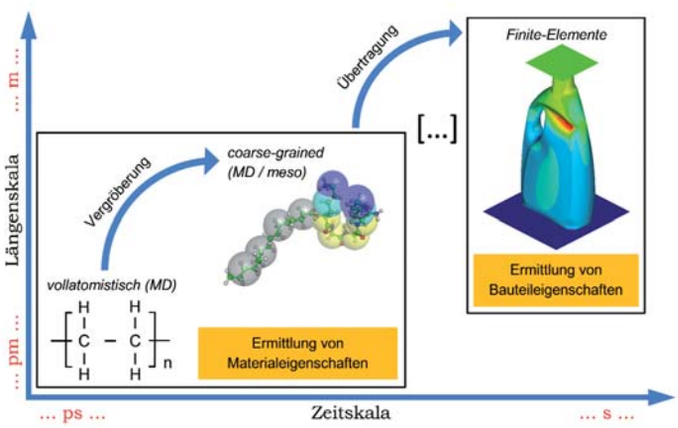
During the project a standardized and automated workflow for the simulation of blow moulded products has been developed. In addition, the computation time could be reduced significantly through the utilization of HPC-Cluster and parallelization. In combination an automatized optimization of blow moulded parts is possible for the first time.

ReBauVes - Ressourcenoptimierte Bauteilentwicklung durch systematische Verzahnung von Experiment und multiskaligen Simulationsansätzen

Status: Abgeschlossen
Antragssteller:
Hochschule-Bonn-Rhein-Sieg/ Institut für Technik, Ressourcenschonung und Energieeffizienz (TREE)
Projektpartner:
Dr. Reinold Hagen Stiftung,
Fraunhofer SCAI,
Kautex Maschinenbau GmbH
Projektförderung
Förderprogramm FHprofUnt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Motivation

Im Entwicklungsprozess extrusionsblasgeformter Bauteile ist der Einsatz der FEM-Strukturanalyse heute Stand der Technik. Produkteigenschaften wie die Stapelfähigkeit können mit guter Genauigkeit vorhergesagt werden. Jedoch ist es sehr aufwendig, die für eine aussagefähige Simulation notwendigen Materialkennwerte zu ermitteln. Aufgrund der Verstreckung des Materials im Blasformprozess in Verbindung mit hohen Abkühlgeschwindigkeiten werden die Eigenschaften thermoplastischer Werkstoffe durch den Verarbeitungsprozess signifikant beeinflusst. Es ist daher nicht möglich, auf Standardkennwerte aus Datenblättern und Datenbanken zurückzugreifen. Stattdessen müssen für jeden Werkstoff alle Parameter an aus dem blasgeformten Bauteil entnommenen Probekörpern mit großem finanziellen und zeitlichen Aufwand experimentell bestimmt werden. Eine Übertragung auf andere Materialien oder andere Prozessbedingungen ist in der Regel nicht möglich, auch weil in vielen Fällen das Grundverständnis der Zusammenhänge auf molekularer Ebene fehlt.



Multiscale Modeling - Vom Partikel zum Kontinuum

Einen Ansatz bietet hier die Kopplung bestehender makroskopischer Modelle mit Simulationsmethoden auf der Mikroskala. Einflüsse des Verarbeitungsprozesses auf Polymere und die resultierenden Änderungen von Materialeigenschaften werden nach eingehendem Studium der molekularen Details verständlich. Durch Computersimulationen kann dieses mikroskopische Basiswissen in makroskopische Informationen überführt werden.

Ziele und Inhalt des Projektes

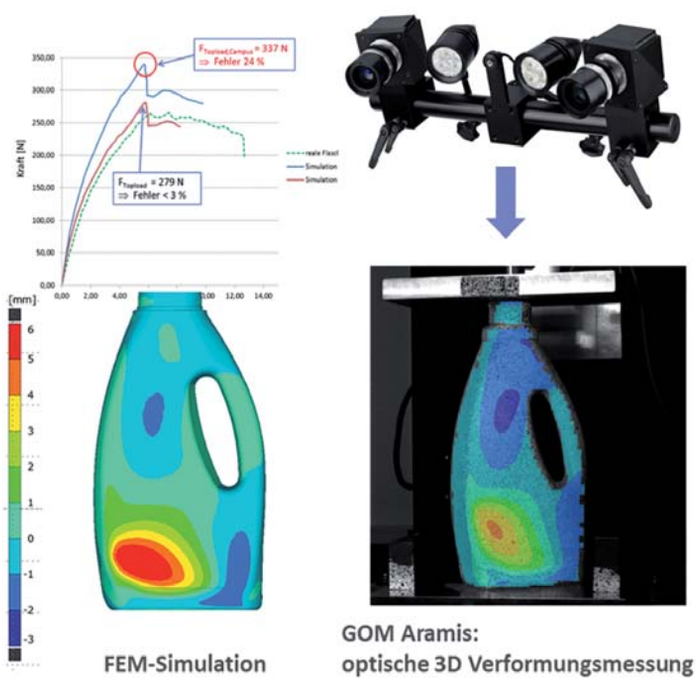
Übergeordnetes Ziel des Projektes ist es, Ressourcen bei der Bauteilentwicklung einzusparen. Weiterentwickelte physikalische Modelle und eine daraus folgende verbesserte Vorhersagegenauigkeit der wesentlichen Produkteigenschaften sollen dies ermöglichen. Hierzu wird aufbauend auf den Simulationsmodellen auf Mikroskala sowie umfangreichen experimentellen Untersuchungen ein vollständiges prozessabhängiges Materialmodell entwickelt, welches zumindest in Teilbereichen auch eine Übertragung auf andere Werkstoffe zulässt.

Die Ziele lassen sicher folgendermaßen zusammenfassen:

- Entwicklung (blasform-)prozessabhängiger Materialmodelle und Implementierung in die FEM-Bauteilanalyse,
- Entwicklung von Standardmethoden zur Ermittlung prozessabhängiger Materialkennwerte,
- Einsatz der Molekulardynamiksimulation und damit eine Reduzierung des Versuchsaufwandes bei der Kennwertermittlung,
- Erweitertes Verständnis der Einflussgrößen auf die lokalen Materialeigenschaften, insbesondere unter Berücksichtigung von Schlauchextrusion und Aufblasprozess.

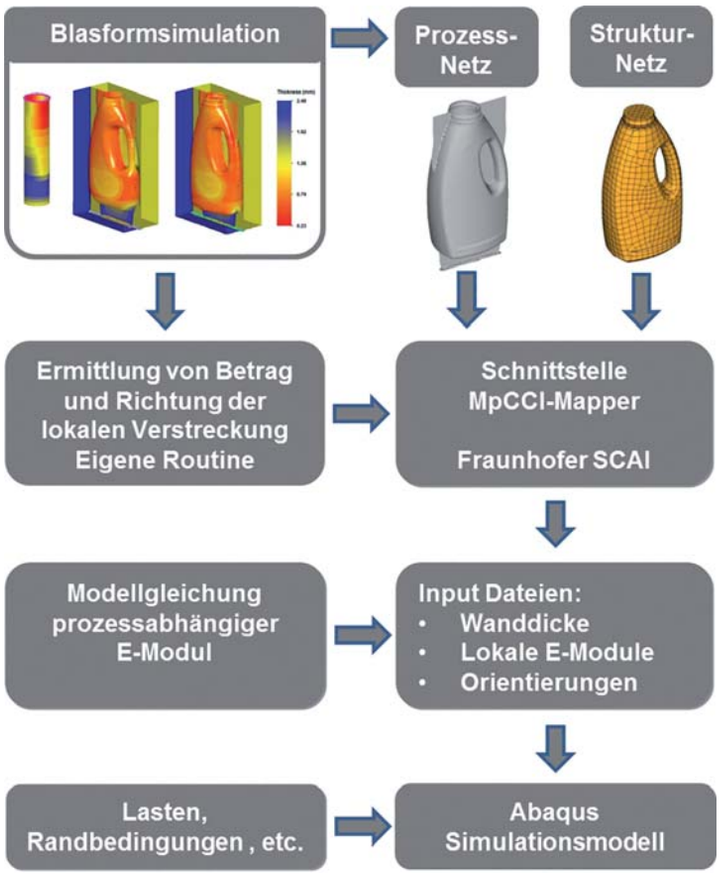
Ergebnisse

Neben experimentellen Grundlagenuntersuchungen zur morphologischen Struktur in extrusionsblasgeformten Hohlkörpern wurde in der ersten Projektphase eine Entwicklungsumgebung zur Berücksichtigung orthotroper prozessabhängiger Materialparameter in der Struktursimulation erstellt. Die Wanddicken sowie die lokalen Verstreckgrade mitsamt Orientierungszustand werden über eine neuentwickelte Schnittstelle aus der vorgelagerten Prozesssimulation des Blasfor-



Stauchprüfung an Kunststoffbehältern – Vergleich von Simulation und Messung

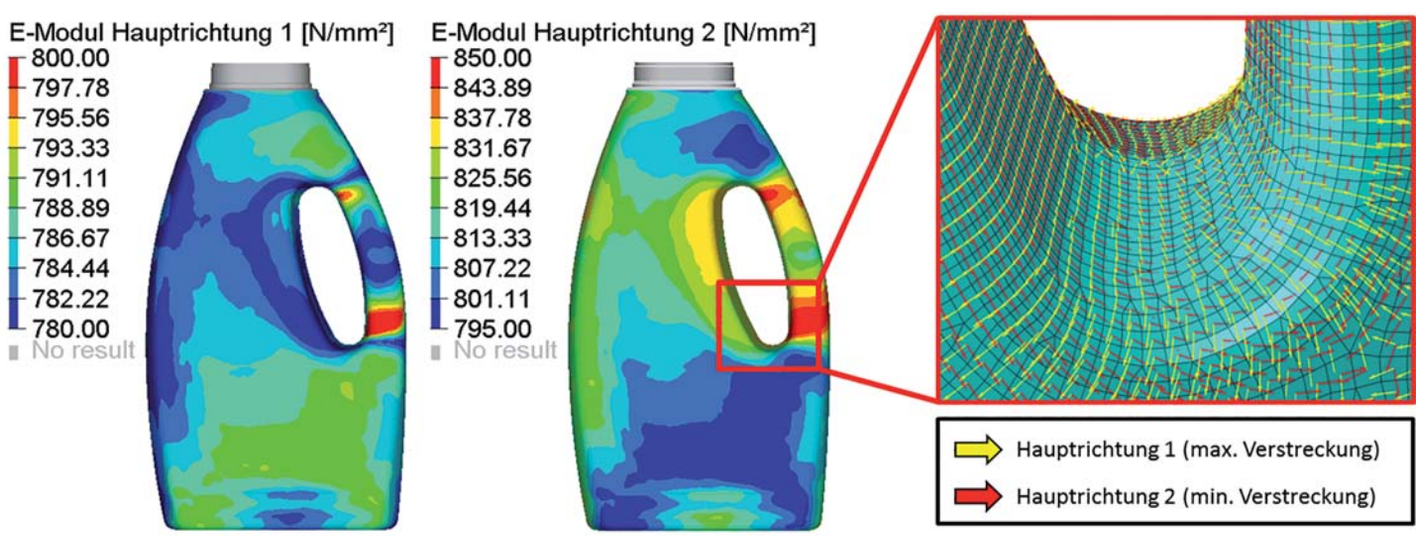
mens ermittelt. Mithilfe des MpCCI Mappers des Fraunhofer Institut SCAI werden die Parameter Wanddicke, Verstreckgrad und Orientierung auf das FE-Netz der Struktursimulation übertragen und mit experimentell ermittelten, prozessabhängigen Materialdaten korreliert.
Der Vergleich mit experimentellen Untersuchungen zeigt bereits jetzt deutlich geringere Abweichungen zwischen Simulation und realem Produktverhalten.
erfolgreich verifiziert werden. Gleichzeitig ergaben sich auch neue Forschungsaufgaben, die in Nachfolgeprojekten (MatRes, ReBauVes) weiter untersucht werden.



Werkzeug mit Kühlkanälen

Research Project ReBauVES

For the optimization of the product performance of blow moulded plastic products the utilization of simulation-methods becomes more and more important. Several product test, like top-load test, internal pressure tests or drop-tests are already state of the art. However, the simulation reaches its limits if specific values like the maximum top load has to be determined with high accuracy. One of the major difficulties is that the material behaviour of blow moulded parts strongly depends on the process conditions. The process dependence of the material parameters has already been extensively investigated in the projects MatRes (p. 10) and RedPro (p. 11). However, a direct transfer to other materials or process conditions is usually not possible as in many cases the basic understanding of the relationships at the molecular level is missing. One approach is the coupling of existing macroscopic models with simulation methods on the microscale (molecular dynamic simulations).
The aim of the project ReBauVES was to save resources in the development of blow moulded products by the use of process dependent material models in the structural analysis. The process specific material behaviour has been investigated on microscopic and macroscopic level by molecular dynamic (MD) simulations and experiments. Major influencing factors on material parameters, e.g. the elastic modulus, are the cooling conditions and the degrees of stretching. Furthermore orthotropic material behaviour was observed. During the project an integrative simulation concept has been developed, which takes the process history of plastic parts into account. An interface developed at Dr. Reinold Hagen Foundation allows the identification of the degrees of stretching and their orientation using the results of the blow moulding simulation. These data as well as the thickness distribution is then mapped to the structural analysis mesh and correlated with process dependent material data.
The prediction accuracy of the simulation models has been drastically increased by the use of those process dependent material models.



Darstellung der E-Modulverteilung in Richtung der biaxialen Verstreckung einer typischen blasgeformten Griffflasche

MatRes - Material– und Ressourceneffizienz für blasgeformte Kunststoffhohlkörper

Gemeinschaftsforschungsprojekt (abgeschlossen)

Projektpartner
Ingenieurbüro Feuerherm
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg

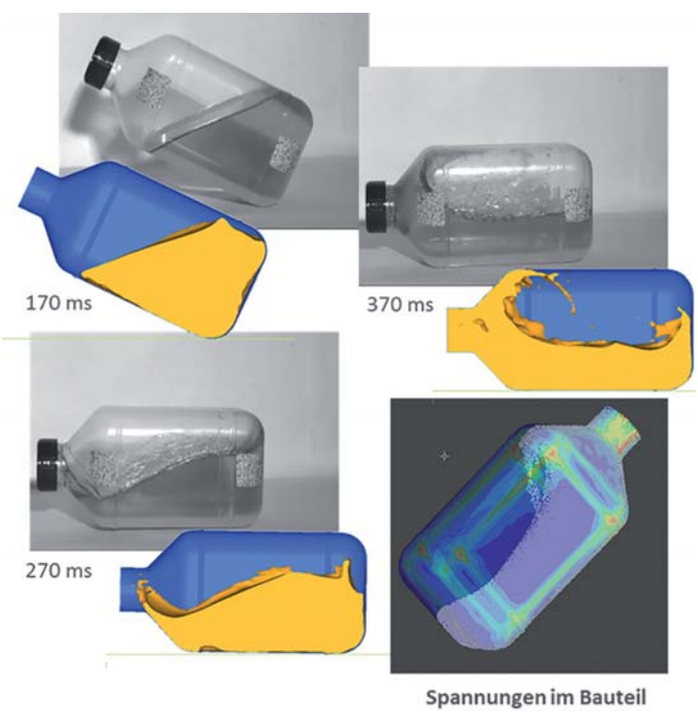
Projektförderung
NRW Ziel 2-Programm 2007-2013 (EFRE)

Motivation

Steigende Energie- und Rohstoffpreise verändern das Anforderungsprofil von Blasformartikeln signifikant. Einwegverpackungen, z. B. PET-Flaschen, werden kontinuierlich dünner und leichter. Ein mögliches Einsparpotenzial lässt sich exemplarisch an einem einzelnen Verpackungsartikel von 70 Gramm aufzeigen: Bei nur drei Gramm weniger lassen sich bei einer durchaus realistischen Stückzahl von 10 Millionen Artikeln pro Jahr 30 Tonnen Polymer und knapp € 30.000,- an Kosten sparen. Nach Addition der Herstellkosten entsteht so eine Kosteneinsparung von ca. € 42.400. Wird darüber hinaus die im Blasformprozess, aber auch bei der Herstellung des Materials benötigte Energie betrachtet, ergibt sich für den genannten Artikel beim heutigen Strommix in Deutschland eine Gesamt-CO2-Reduzierung von 387 Tonnen. Das gesamte Einsparpotenzial für die Blasformbranche wird bei einem Blick auf ein Supermarktregal (Wasch- und Reinigungsmittel, Kosmetik, u.v.m.) deutlich.

Ziele

Ziel des Forschungsprojektes MatRes ist eine verbesserte Material- und Ressourceneffizienz für dünnwandige blasgeformte Verpackungsartikel. Erreicht werden soll dies einerseits durch die Weiterentwicklung von theoretischen Ansätzen wie der FEM-Strukturanalyse. Wesentliche Produkteigenschaften können damit schon in der Entwicklungsphase vorhergesagt werden. Anderseits ist es notwendig, die Maschinentechnik weiter zu entwickeln, um die theoretisch errechneten und optimierten Wanddickenverteilungen überhaupt fertigen zu können.



FE-Simulation der Fallprüfung flüssigkeitsgefüllter Blasformteile

Ergebnisse

Neue Simulationstechniken für Blasformartikel

Neben der Entwicklung neuer Simulationsmethoden für beispielsweise die Flüssigkeitsfüllung oder die Quetschnaht stand die Berücksichtigung prozessabhängiger Materialkennwerte im Mittelpunkt der Untersuchungen. Der Einfluss von Prozessparametern wie

- Wanddicke
- Verstreckgrad und Orientierungszustand
- Abkühlgeschwindigkeit

wurden ermittelt und in die Simulationsmodelle implementiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei Verwendung prozessabhängiger Materialkennwerte die Abweichungen zwischen Simulation und Versuch deutlich geringer ausfallen, als wenn auf Standardkennwerte aus Materialdatenblättern oder -datenbanken zurückgegriffen wird.

PWDS für kleine Blasformartikel

Im Rahmen des Projektes wurde durch den Projektpartner „Ingenieurbüro Feuerherm" erstmals eine partielle Wanddickensteuerung (PWDS) für Artikel unter zwei Liter Volumen entwickelt und im Technikum der Dr. Reinold Hagen Stiftung erfolgreich in Betrieb genommen. Durch eine gezielte Anpassung der Wanddickenverteilung ließ sich beispielsweise für einen asymmetrischen Verpackungsartikel eine Gewichtsreduzierung im zweistelligen Bereich realisieren, ohne dass wesentliche Produkteigenschaften negativ beeinflusst wurden.

Research Project MatRes

The aim of the research project MatRes was an improved material and resource efficiency for thin-walled blow-moulded packaging products. In order to optimize product performance at minimal weight, simulation methods are becoming increasingly important. However, the simulation must describe the real component behaviour as precise as possible in order to avoid costly prototype series. Therefore, the existing simulation approaches were further developed within the project. The main focus was on a better material description. In extensive experiments a process dependence of the material behaviour was determined. The necessary testing tools and devices for the production of blow-molded samples have already been developed in the predecessor project RedPro (p. 10). By using process-specific material parameters, the predictive accuracy of the simulation has been significantly increased.

In addition to the improvement of the simulation accuracy, the project partner Feuerherm was able to develop a partial wall thickness control system (PWDS) for blown containers under 2 litres in volume. By the use of that system, further reduction of material usage becomes possible.

RedPro - Reduzierung von Prototypen in der Produktion von Blasformkörpern

Status: abgeschlossen

Projektpartner:
Dr. Reinold Hagen Stiftung,
Ingenieurbüro Feuerherm,
Kautex Maschinenbau GmbH

Projektförderung
Förderprogramm FHprofUnt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Motivation

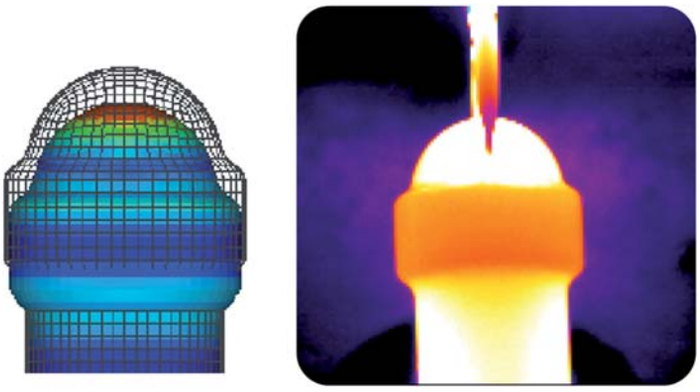
Für Artikel, die im Extrusionsblasformen hergestellt werden, existieren keine Prototypentechniken im eigentlichen Sinne. Prototypenverfahren wie die Stereolithographie (STL), das Selektive Laser Sintern (SLS) oder das Vakuumgießen geben die Eigenschaften eines blasgeformten Artikels nur unzureichend wieder. Neben der Frage nach einem seriennahen Material ist es vor allem die aus dem Blasformprozess resultierende Wanddickenverteilung, die unberücksichtigt bleibt. Die Herstellung von Prototypen erfordert hier immer ein Blasformwerkzeug, dessen Herstellung einen erheblichen Kosten- und Zeitaufwand bedeutet.

Ziele

Ziel des Projektes ist es, die Anzahl der Prototypen im Entwicklungsprozess von technischen Blasformartikeln zu reduzieren. Hierdurch wird ein kritischer Pfad in den Entwicklungsplänen beseitigt, denn die Herstellung des Blasformwerkzeuges kann direkt als Serienwerkzeug erfolgen. Erreicht werden soll dieses Ziel durch die Neu- und Weiterentwicklung von Simulationstechniken, mit denen das Produktverhalten auch ohne physikalische Prototypen mit hinreichender Genauigkeit vorhergesagt werden kann.

Ergebnisse

Die Möglichkeiten der Simulationstechniken wurden während der Projektlaufzeit von drei Jahren durch eine verbesserte und prozessabhängige Materialbeschreibung erweitert und abgesichert. Hierzu wurden ergänzend zu den Standardmaterialprüfungen an gespritzten Normprobekörpern zusätzliche Tests an Probekörpern durchgeführt, die aus einem speziell entwickelnden Prinzip-Blasformbauteil entnommen wurden. Mit diesen zusätzlichen Prüfungen wurde untersucht, wie sich die Materialkennwerte in Abhängigkeit von beispielsweise der Wandstärke, dem Verstreckungs– und/oder Kristallisationsgrad ändern und als Basis für die Erweiterung vorhandener oder neu entwickelter Materialbeschreibungen eignen.
Während des Projektes wurden darüber hinaus erste Ansätze zur Simulation von Schrumpf- und Verzugsvorgängen entwickelt. Ursache für Schrumpf und Verzug sind zum einen Unterschiede der Kettenorientierungen auf Molekülebene. Daneben führt der Abkühlvorgang im und außerhalb des Werkzeuges aufgrund von thermischen Volumenänderungen, lokal variierenden Abkühlgeschwindigkeiten und Kristallisationsgraden zu teilweise beträchtlichen Schwindungs- und Verzugsneigungen. Diese haben große Auswirkungen auf die endgültige Geometrie des Blasformteils und können gerade bei technischen Teilen zu schwerwiegenden Einbauproblemen führen. Neben der Form ändern sich aber auch die mechanischen Eigenschaften des Bauteils unter Last aufgrund einer ungünstigen Vorverformung.
Die theoretischen Ansätze und Simulationsmodelle konnte an Praxisbeispielen erfolgreich verifiziert werden. Gleichzeitig ergaben sich auch neue Forschungsaufgaben, die in Nachfolgeprojekten (MatRes, ReBauVes) weiter untersucht werden.



Thermographieaufnahme und Schrumpfsimulation

Research Project RedPro

The main focus of the research project was to reduce the need for prototypes in extrusion blow moulding. To achieve this goal the simulation methods of blow moulded products have been extended.
During the project period special methods and tools have been developed for the production of blow-moulded material samples. These were mainly used to investigate the process-dependent material behaviour. The process-dependent material behaviour as well as its integration in the structure simulation were further investigated in the following research projects MatRes and ReBauVES.
Basing on the results of the CoolBlow research project (p. 13), first simulation models for the prediction of shrinkage and warpage were developed and validated. Again, the main focus was on the consideration of the process specific material behaviour. In this context, the use of an orthotropic thermal expansion coefficient significantly improved the shrinkage prediction.

Forschungsprojekt BioBlow Extrusionsblasformen von Biopolymeren und Ermittlung spezifischer Kennwerte

Auftragsforschung im Rahmen des Verbundvorhabens „Verarbeitung von biobasierten Kunststoffen"
*(IAP, IfBB, SLK, SKZ)**

Auftraggeber:
IfBB - Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe, Hochschule Hannover

Motivation

Im Jahr 2015 überschritten die weltweiten Produktionskapazitäten von Biopolymeren erstmals die Marke von 2 Millionen Tonnen. Auch die durchschnittlichen Wachstumsraten der letzten Jahre von 20 % und mehr belegen die zunehmende Bedeutung dieser Werkstoffe.
Trotz eines großen möglichen Einsatzfeldes für Biokunststoffe auch im Blasformen liegen für ihren Einsatz bisher nur wenige Erfahrungen vor. Eine einfache Substitution eines konventionellen Materials durch einen Biokunststoff ist in der Regel nicht möglich, da eine spezifische Anpassung von Maschinen- und Prozessparametern (Temperaturführung, etc.) notwendig ist. Die dafür notwendigen Grundsatzuntersuchungen sind für die oft mittelständischen Verarbeiter mit großem Aufwand und damit auch Risiko verbunden.

Ziele

Im Rahmen des Forschungsprojektes BioBlow wird für eine breitgefächerte Materialauswahl die Verarbeitung von Biopolymeren im Extrusionsblasformen untersucht. Ziel ist die Ermittlung relevanter Prozesseinstellungen, wie den optimalen Verarbeitungsbedingungen (Temperatur, Zeit), sowie der notwendigen Maschinenausstattung (kontinuierliche oder diskontinuierliche Extrusion, etc.). Darüber hinaus werden Aussagen zu spezifischen Eigenschaften wie Schwindung- und Verzug, Quetschnahtbildung oder der Rezyklierbarkeit getroffen. Die Ergebnisse werden in Form von Verarbeitungsempfehlungen und Datenblättern zur Verfügung gestellt.

Vorgehen

Im Rahmen des Projektes wurde ein zweistufiges Verfahren entwickelt, mit dem sich die Blasformeigenschaften biobasierter – aber ebenso konventioneller – Kunststoffe systematisch untersuchen lassen.

Grundsätzliche Eignung eines Werkstoffes für das Blasformverfahren
Eine Bewertung der grundlegenden Eigenschaften und eine Einstu-

Bio-PE

gut geeignet *FBF = 0,98*

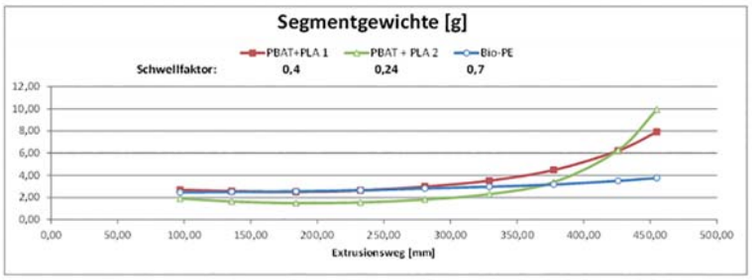
PLA-Blend

geeignet *FBF = 0,62*

TPS-Blend
Thermoplastische Stärke

Wenig geeignet *FBF = 0,22*

Untersuchung der Vorformlingsbildung in Extrusionsversuchen



Massenverteilung über Länge und Schwellfaktor:
Vergleich zweier „PBAT + PLA"-Blends (Folientyp) mit einem Polyethylen

„PBAT + PLA 2" zeigt ein deutliches (Wanddicken-)Schwellen in Verbindung mit einem dünner werden aufgrund des Eigengewichts.
Die Wanddickenunterschiede sind durch die maschinelle Wanddickensteuerung nicht mehr auszugleichen; das Material ist daher nur bedingt blasformgeeignet.

*
IAP – Fraunhofer Institut für Angewandte Polymerforschung
IfBB – Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe, Hochschule Hannover
SKZ, Das Kunststoff-Zentrum
SLK, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung, Technische Universität Chemnitz

fung, ob ein Material grundsätzlich für das Blasformen geeignet ist, erfolgt anhand von standardisierten Vorversuchen auf einer Blasformmaschine im Laborformat sowie an einem Extruder kleiner Baugröße. Im Mittelpunkt steht die Bildung des Vorformlings. Dieser ist die wesentliche Eingangsgröße für den Aufblasvorgang und damit entscheidend für die Eigenschaften des ausgeformten Artikels. Die wichtigsten Eigenschaften sind die Schmelzesteifigkeit (Dehnviskosität) sowie das Schwell- und Auslängverhalten. Viele niedrigviskose Werkstoffe erfordern den Einsatz eines Speicherkopfes, da damit die Verarbeitungszeiten deutlich kürzer als bei der kontinuierlichen Extrusion sind.

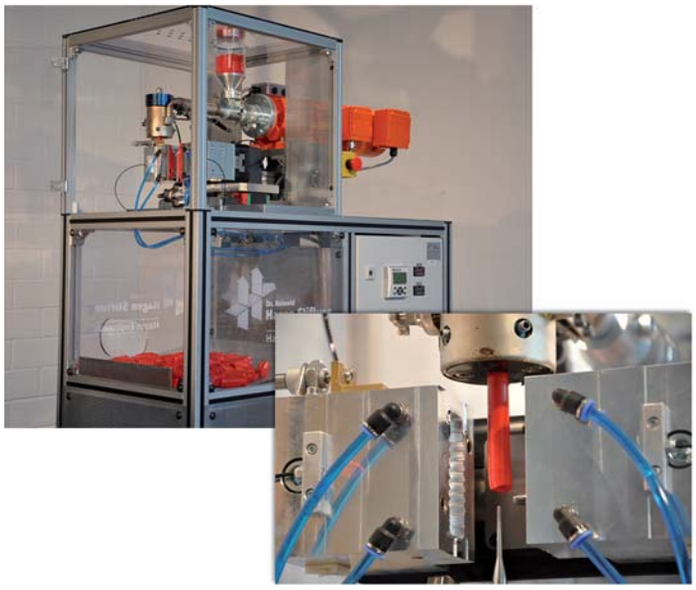
Produktionsversuche

Für geeignete Materialien werden weitergehende Produktversuche auf einer Serien-Produktionsanlage durchgeführt. Marktnahe Produkte werden mit dem Ziel gleicher Eigenschaften auf Basis von Biopolymeren produziert. Erst am realen Bauteil kann beurteilt werden, in welchen Bereichen die Biokunststoffe noch Nachteile aufweisen und in welchen Gebieten sie sogar vorteilhafte Eigenschaften gegenüber dem vergleichbaren konventionellen Kunststoff haben können.
In diesem Schritt werden darüber hinaus weitere für den Blasformprozess wesentliche Eigenschaften untersucht. Hierzu gehören:

- Rezyklierbarkeit
- Kristallisationsgrad / Kristallisationsverhalten
- Schwindungs- und Verzugsverhalten
- Oberflächenqualität
- Quetschnahtqualität

Ergebnisse

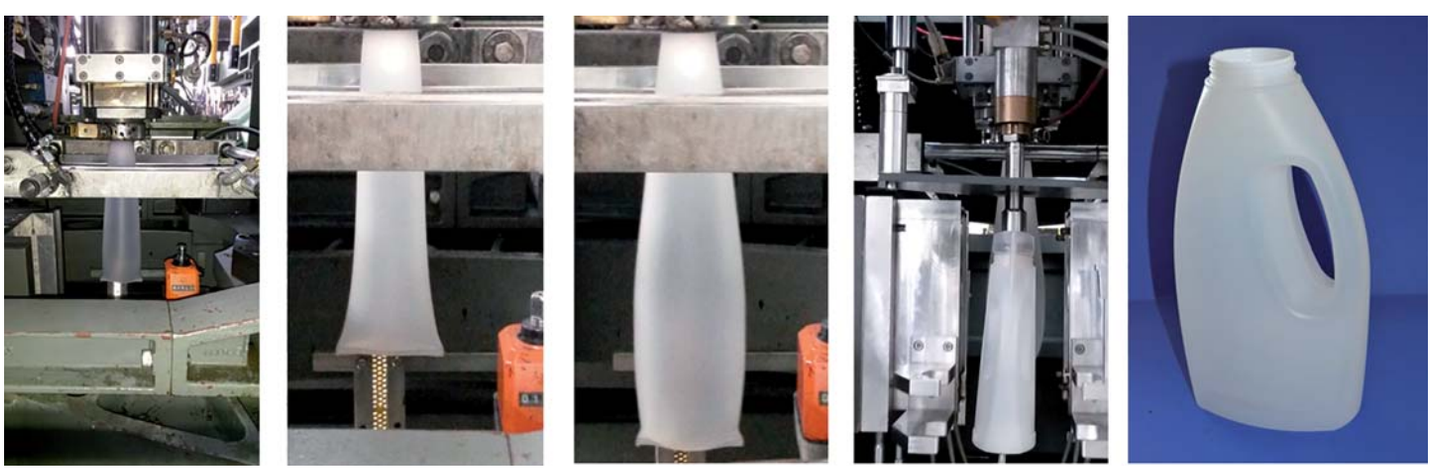
Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass sich die Verarbeitungsparameter und auch notwendigen Anpassungen des Blasformprozesses im Rahmen dessen bewegen, wie sie auch für konventionelle Kunststoffe notwendig wären (z.B. Substitution eines Polyolefins durch einen Copolyester). Allerdings gibt es in der Gruppe der Biokunststoffe wenig Materialtypen, die bzgl. des Blasformprozesses optimiert wurden. Bei fast allen untersuchten Materialien handelt es sich um Folien- oder Extrusionstypen. Hier sind die Materialhersteller gefordert, notwendige Modifikationen durchzuführen.



Laborblasformmaschine (Eigenentwicklung)

Research Project BioBlow

Within the BioBlow research project, the processing of biopolymers in extrusion blow moulding was investigated for a wide range of materials. The aim was to determine relevant process settings, such as the optimal processing conditions (temperature, time), as well as the identification of the necessary machine equipment (continuous or discontinuous extrusion, etc.).
In addition, specific properties such as shrinkage and warpage, pinch seam quality or recycability have been investigated.
In principle, it can be stated that the processing parameters and also the necessary adjustments of the blow moulding process are within the scope of what would be necessary for conventional plastics. However, only few types of biopolymers have been optimized with regard to the blow moulding process. Almost all investigated materials are film or extrusion types. Material manufacturers are still demanded to perform necessary modifications.



Produktion eines Verpackungsartikels aus Bio-PE

Thermomechanische Analyse des Abkühlvorgang von extrudierten Kunststoffhohlkörpern COOLBLOW

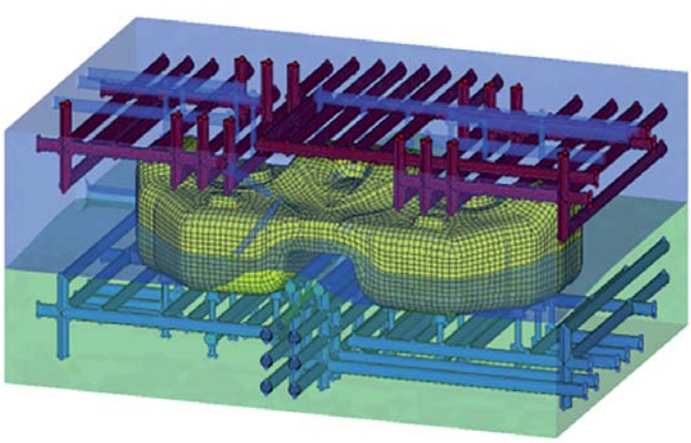
Gemeinschaftsforschungsprojekt (abgeschlossen)

Projektpartner
Universität Siegen
Kautex Maschinenbau GmbH
Meissner AG
TI Automotive Technology GmbH

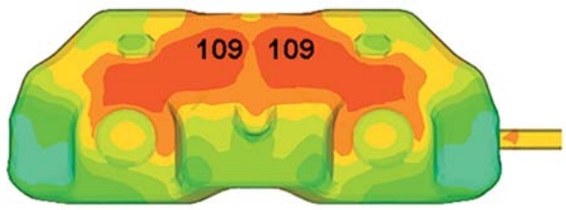
Inhaltsbeschreibung / Ergebnisse

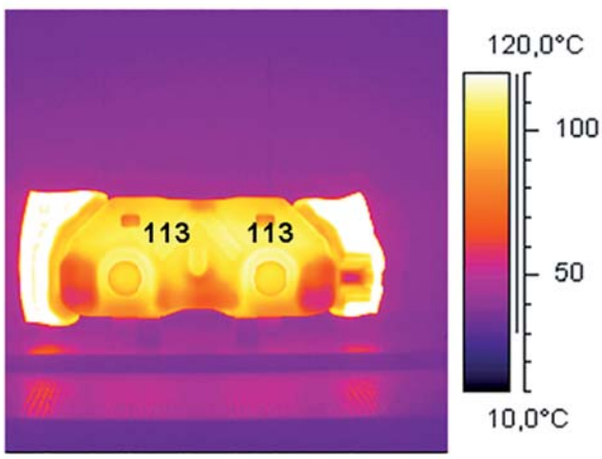
In mehreren Projektabschnitten wurden verschiedene theoretische Ansätze entwickelt, die das Abkühlverhalten von Blasformartikeln im Werkzeug und außerhalb des Werkzeugs an der freien Luft beschreiben können. Der umfangreichste Ansatz beschreibt auch das zeitliche und örtliche Abheben einzelner Geometriebereiche des Artikels von der Werkzeugoberfläche. An verschiedenen Praxisbeispielen, vom einfachen Verpackungsartikel bis hin zum komplexen Kunststoffkraftstoffbehälter (KKB), sind die theoretischen Ergebnisse validiert worden. In allen Anwendungsfällen konnte aufgezeigt werden, dass es grundsätzlich möglich ist, den vollständigen Abkühlvorgang eines Blasformartikels zu simulieren. Die verschiedenen Ansätze zeigen eine gute qualitative und auch quantitative Übereinstimmung zwischen den Simulationsergebnissen und experimentellen Resultaten. Mit den entwickelten Verfahren ist es daher heute möglich, das Kühl system eines Blasformwerkzeuges gezielt auszulegen.

Im letzten Projektabschnitt wurden aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen verschiedene Kühlkanalkonzepte entwickelt, simulativ untersucht und miteinander verglichen. Dieser Vergleich zeigt, dass die heutige Werkzeugkühlung in vielen Bereichen oft überdimensioniert ist. Der Wärmeübergang zwischen dem abzukühlenden Artikel und der Werkzeugoberfläche stellt eine „natürliche" Barriere im Wärmetransport dar. Es ist daher nicht immer möglich, eine „beste" Kühlung im Sinne von einer niedrigeren und gleichmäßig mittleren Temperatur zu erzielen. Qualitativ gleich gute Ergebnisse lassen sich aber in vielen Fällen mit erheblich einfacheren Kühlkonzepten, beispielsweise einer sogenannten Plattenkühlung, erreichen. Ein Kühlkonzept, das sich insbesondere in Prototypen– und Versuchswerkzeugen sehr bewährt hat. Denn bei sehr komplexen Formteilen benötigt die Fertigung der Kühlbohrungen bei einem herkömmlich hergestellten Werkzeug die längste Zeit. Zeit, die in der Prototypenphase und somit auch in der Gesamtentwicklung des Blasformartikels für weitere Optimierungen fehlt.



Werkzeug mit Kühlkanälen





Exemplarische Ergebnisse einer Abkühlsimulation: Vergleich Simulation—Messung

Research Project CoolBlow

The main focus of the CoolBlow project was the investigation of the cooling process of blow moulded parts inside the mould and at ambient air after demoulding. With a fully coupled thermal stress analysis, the influence of a shrinkage-induced local gap between the part and the mould was considered.

The simulation results have been validated on various examples, from simple packaging products to complex plastic fuel tanks (PFT). Furthermore different cooling concepts have been investigated and compared. This comparison shows that today's tool cooling is often oversized in many areas. In many cases qualitatively equally good results can be achieved with considerably simpler cooling concepts.

By the use of the developed methods it is possible to design the cooling system of a blow moulding tool as exactly needed, which reduces not only the development times, but also the costs.

Forschen für die Zukunft

Das Institut für Technik, Ressourcenschonung und Energieeffizienz (TREE) an der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg bringt Wissenschaftler verschiedener Disziplinen zusammen

Nach zahlreichen langjährigen Einzelprojekten, in denen die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg mit dem Forschungsbereich der Dr. Reinold Hagen Stiftung sehr erfolgreich kooperiert hat, erfolgt nun eine Institutionalisierung der Zusammenarbeit. Das breite Kompetenzspektrum des in 2016 gegründeten Instituts, basiert auf einer intensiven Kooperation mit hochschulinternen und externen Institutionen. Neben der Dr. Reinold Hagen Stiftung sind beispielsweise auch das Fraunhofer-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen SCAI und das Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT fester Partner von TREE. In diesem Hochschulinstitut forschen rund 25 Wissenschaftler interdisziplinär zu technisch-naturwissenschaftlichen Themen und bieten ihre Expertise für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben an. Wesentlicher Leitgedanke ist der schonende und effiziente Umgang mit Ressourcen und Energie, d.h. das Institut widmet sich technologischen Aspekten der Nachhaltigkeit.

Von der großen Bandbreite der konkreten Forschungsthemen des TREE – Ressourcenschonende Produkte und Prozesse, Nachhaltige Materialien, Digitalisierung & Industrie 4.0, E-Mobilität u.v.m. – können gerade mittelständische Unternehmen, die sich keine eigene Forschungsabteilung leisten können, profitieren. Deshalb ist das TREE ausdrücklich offen für Kooperationen mit Firmen.
Auch die Partner des Netzwerkes profitieren von der Zusammenarbeit im TREE, da sie ihr Leistungsspektrum und ihre Forschungsmöglichkeiten im Verbund ausbauen können. Die Dr. Reinold Hagen Stiftung ist weiterhin durch ihren Geschäftsführer im Beirat des Instituts vertreten.

TREE

Institut für Technik, Ressourcenschonung und Energieeffizienz

Mit Innovationen zum Erfolg

Als Entwicklungspartner von Unternehmen begleitet die Hagen Engineering GmbH den Prozess von der Idee zum fertigen Produkt

Die Hagen Engineering GmbH - eine Tochtergesellschaft der Dr. Reinold Hagen Stiftung - bietet ihren Kunden als Entwicklungspartner Engineering Know-How und Kunststoffkompetenz. Das breite Leistungsspektrum reicht von Fahrzeugtechnik, Konsum– und Industriegütern bis hin zu Maschinen– und Formenbau.
Sie übernimmt alle Fertigungsschritte bei der Entwicklung neuer Produkte, von der Umsetzung der Idee in eine verfahrensgerechte Konstruktion bis hin zur Produktion von Prototypen, Werkzeugen und Vorrichtungen.
Die technische Ausstattung der Hagen Stiftung ermöglicht es der Hagen Engineering GmbH Materialabmusterungen und Kleinserien für Kunststoffprodukte, insbesondere im Bereich der Blasformtechnik anzubieten.
Aufgrund der engen Kooperation mit dem Forschungsbereich der Dr. Reinold Hagen Stiftung ist die Hagen Engineering GmbH in der Lage, auch besondere Fragestellungen, die über eine gewöhnliche Dienstleistung hinausgehen, aufzugreifen und zu lösen. Hierbei arbeiten sie eng mit bewährten Partnern aus dem Hochschulbereich und der Industrie zusammen.

Hagen GmbH Engineering

Dr. Reinold
Hagen Stiftung

Ansprechpartner

Leiter Forschung & Entwicklung

Dr.-Ing. Olaf Bruch
Tel.: +49 228 9769-315 · Fax: +49 228 9769-500
E-Mail: o.bruch@hagen-stiftung.de

IMPRESSUM

Herausgeber:
Dr. Reinold Hagen Stiftung
Kautexstraße 53, 53229 Bonn
Telefon +49 228 97690 · Telefax +49 228 9769500
info@hagen-stiftung.de · www.hagen-stiftung.de

Verantwortlich für den Inhalt:
Karl-Friedrich Linder

Redaktionsteam:
Dr.-Ing. Olaf Bruch
Dirk Grommes
Matthias Stender

Grafische Herstellung:
Wolfgang Wiemar Werbeagentur, Hennef

Stand 10 / 2019