



Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.) **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN** 2016
Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Ralph Stelzer (Hrsg.)

ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN 2016

Beiträge zur virtuellen Produktentwicklung
und Konstruktionstechnik

Dresden · 30. Juni – 1. Juli 2016

Programmkomitee Virtuelle Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Prof. Dr. Ralph Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr. Michael Abramovici, Ruhr-Universität Bochum

Prof. Dr. Reiner Anderl, TU Darmstadt

Prof. Dr. Martin Eigner, Universität Kaiserslautern

Prof. Dr. Detlef Gerhard, TU Wien

Prof. Dr. Jivka Ovtcharova, KIT Karlsruhe

Prof. Dr. Rainer Stark, TU Berlin

Prof. Dr. Sandor Vajna, Universität Magdeburg

Prof. Dr. Sandro Wartzack, Universität Erlangen

Entwickeln – Entwerfen – Erleben 2016.
Beiträge zur Virtuellen Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
Herausgeber: Ralph Stelzer

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-95908-062-0

© 2016 w.e.b. Universitätsverlag & Buchhandel
Eckhard Richter & Co. OHG
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19
<http://www.tudpress.de>

TUDpress ist ein Imprint von w.e.b.

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.
Layout und Satz: Technische Universität Dresden.
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration © 2016 TU Dresden
Printed in Germany.

Erscheint zugleich auf QUCOSA der SLUB Dresden
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:14-qucosa-203878>





KOMPLEXITÄT DREHT SICH IMMER NUR IM KREIS.



EINFACH TRIFFT ENTSCHEIDUNGEN.

Komplexität bremst Ihr Business aus. Denn je gewaltiger die Informationsflut, desto schwieriger die Entscheidungsfindung. SAP arbeitet daran, Dinge zu vereinfachen. Damit aus Daten Wissen und aus Wissen fundierte Entscheidungen werden, die Ihr Unternehmen weiterbringen. Finden Sie heraus, wie gemeinsam einfach möglich wird auf sap.de/runsimple

Virtuelle und experimentelle Methoden bei der Produktentwicklung einer Handhabungseinheit zur automatisierten Ablage technischer Textilien

Marvin Richrath · Jan Franke · Jan-Hendrik Ohlendorf · Klaus-Dieter Thoben

Inhalt

In diesem Beitrag wird die Kombination von virtuellen und experimentellen Methoden im Produktentwicklungsprozess am Beispiel einer Handhabungseinheit zur automatisierten Ablage technischer Textilien thematisiert. Um das Automatisierungspotenzial in den Fertigungsprozessen zum Aufbau von Faserverbundstrukturen zu erschließen, entwickelt das Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) seit längerem Handhabungseinheiten für technische Textilien. Eine automatisierte Fertigung soll die Reproduzierbarkeit und die Qualität von Bauteilen erhöhen, um z.B. den Beanspruchungen bei größer werdenden Rotorblättern von Windenergieanlagen gerecht zu werden. Ein weiteres Ziel der Automatisierung besteht in der Reduzierung von Prozesszeiten und Fertigungskosten, um den Fertigungsstandort Deutschland in Zukunft attraktiv zu gestalten. Die erfolgreiche Umsetzung der Produktentwicklung erfolgt am BIK unter kombinierter Anwendung von virtuellen und experimentellen Methoden. Insbesondere bei der Handhabung von technischen Textilien, deren biege- und schubweichen Materialeigenschaften nur mit hohem Aufwand in einer virtuellen Umgebung abgebildet werden können, ist das Durchführen von experimentellen Methoden bei komplex ablaufenden dynamischen Prozessen notwendig, um nicht vorhersehbares Materialverhalten zu identifizieren.

1 Einleitung

In Deutschland soll die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2035 auf 60 % steigen, wobei der größte Teil aus Windenergie erzeugt werden soll. Neben den Onshore-Windenergieanlagen, die auf kurz- und mittelfristige Sicht das kostengünstigste Potenzial der erneuerbaren Energien darstellen, gewinnt die Entwicklung von Offshore-Windenergieanlagen

zunehmend an Bedeutung. Durch die höheren und vor allem gleichmäßigen Windgeschwindigkeiten auf See kann bis zu 40 % mehr Strom erzeugt werden. Die Windenergieanlagen müssen allerdings an die höheren Belastungen, die durch Wind und Wellen entstehen, sowie den hohen Salzgehalt der Luft angepasst werden (vgl. BMWi 2016).

Etwa ein Viertel der Kosten einer Windenergieanlage (WEA) entstehen durch die Rotorblätter. Diese werden heutzutage im Vakuuminfusionsverfahren hergestellt. Das Rotorblattformwerkzeug wird zunächst mit Bahnen aus Glas- oder Kohlenstofffasern belegt und anschließend ein Epoxidharz infundiert. Die Belegung des Formwerkzeuges ist z.B. ein manuell geprägter Arbeitsschritt, bei dem Automatisierungspotenzial besteht. Neben den Kosten- und Zeiteinsparungen soll durch die automatisierte Fertigung die Qualität der Rotorblätter gesteigert werden (vgl. Sayer 2016).

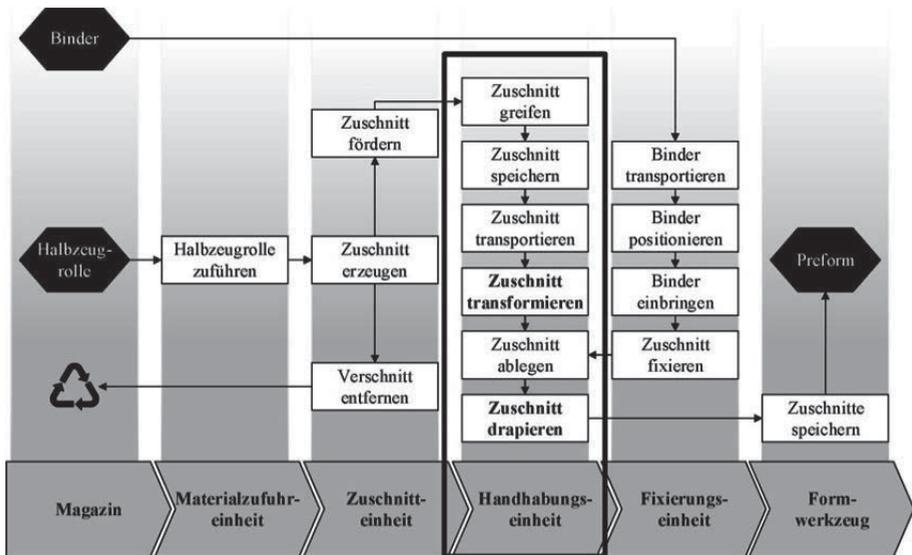


Abbildung 1: Prozessablauf zum Aufbau eines Preforms
(in Anlehnung an Ohlendorf et al. 2015)

Am Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK) liegt der Fokus auf der Handhabung von technischen Textilien und der Entwicklung von technischen Lösungen zum Aufbau von trockenen Faserstrukturen in ein Formwerkzeug (Preforms). Die Prozesskette zum Aufbau eines Preforms ist in Abbildung 1 dargestellt. Die auf Rollen vorhandene Bahnware des technischen Textils wird mit Hilfe einer Zuschnitteinheit abgewickelt, wobei

gleichzeitig ein Zuschnitt erstellt wird. Die Handhabungseinheit übernimmt im Folgenden verschiedenste wichtige Funktionen. Der vorkonfektionierte Zuschnitt wird von der Handhabungseinheit aufgenommen und gespeichert. Im weiteren Verlauf des Prozesses wird der aufgewickelte Zuschnitt zu einem bestimmten Punkt im Rotorblatt-Formwerkzeug transportiert. Anschließend muss das abgewickelte Textil transformiert werden, wobei es aus der Ebene an die Geometrie des zweidimensional gekrümmten Formwerkzeuges angenähert wird. Nach dem Applizieren von Binder erfolgt das Ablegen und Drapieren des Zuschnittes im letzten Schritt.

Die Drapierung des Textils ist der wichtigste Prozessschritt, der die Qualität des späteren Bauteils definiert. Es dürfen keine Handhabungsfehler, wie die Entstehung von Falten auftreten, um eine höhere Qualität als bei einem manuellen Prozess garantieren zu können.

2 Problemstellung

Im Produktentwicklungsprozess besteht das Problem in dem nicht vollständig vorherzusehenden Verhalten von Bauteilen und Baugruppen. Eine Konstruktion aus Faser-Kunststoff-Verbunden macht eine Vorhersage dieses Verhaltens durch die orthotropen Eigenschaften umso komplexer. Die Entwicklung von Handhabungseinheiten für technische Textilien stellt den Produktentwickler außerdem vor die Herausforderung, dass Materialeigenschaften der eingesetzten technischen Textilien nicht vollständig in einem CAE-System abgebildet werden können. Die wesentlichen Materialeigenschaften in Bezug auf die Handhabung sind die Biege- und Schubsteifigkeit, die Zug- und Druckfestigkeit sowie die Drapierbarkeit, die vom Aufbau des technischen Textils abhängig sind (vgl. Rolbiecki et al. 2014).

In der Rotorblattfertigung werden vorwiegend multiaxiale Glasfasergelege eingesetzt. Sie bestehen aus parallel zueinander angeordneten gestreckten Faserbündeln (Rovings), die durch Nähfäden fixiert werden und je nach Anzahl und Ausrichtung der Faserlagen in unidirektionale, biaxiale, triaxiale und quadriaxiale Gelege unterteilt werden. Gelege bieten den Vorteil, dass durch die gestreckt vorliegenden Fasern sehr hohe Zugkräfte aufgenommen werden können. Durch den Aufbau mehrerer Faserlagen mit verschiedener Faserorientierung (z.B. biaxiales Gelege mit $\pm 45^\circ$) kann die Ausrichtung der Fasern an die auftretenden Belastungen im Anwendungsfall angepasst werden. Neben dem Aufbau der Fasergelege hat die Bindungsart der Nähfäden einen großen Einfluss auf die Materialeigenschaften des Textils. Durch die Art der Bindung und die Stichlänge der Nähfäden kann das Drapierverhalten und der Grad der Faserondulation, d.h. die Auslenkung der Fasern, reguliert werden. Die Vielfalt der Variationsmöglichkeiten bedingt,

dass jedes technische Textil unterschiedliche Eigenschaften besitzt (vgl. Neitzel et al. 2014).

Im Konstruktionsprozess müssen diese textilen Materialverhalten und die mechanischen Baugruppen miteinander verknüpft werden. Da die Nachbildung der technischen Textilien in einem CAD-System nur schwer umsetzbar ist, müssen andere Lösungen gefunden werden. Eine Möglichkeit ist die Simulation der technischen Textilien z.B. in einer FEM-Umgebung. Dies erfordert jedoch die Kenntnis über die aus Versuchen ermittelten Kennwerte der Materialeigenschaften und den Aufbau von Datenbanken mit einer Vielzahl von Materialvariationen. Durch die Simulation der technischen Textilien können Erkenntnisse gewonnen werden, die bei der Entwicklung und Konstruktion der Handhabungseinheit in der CAD-Umgebung berücksichtigt werden müssen.

Eine zweite Möglichkeit bieten die experimentellen Methoden, durch die fehlende Informationen gewonnen und in den Produktentwicklungsprozess einbezogen werden können. Die experimentellen Methoden bieten den Vorteil, dass die wesentlichen Materialcharakteristiken der technischen Textilien nicht ermittelt werden und die Simulationen des Materialverhaltens nicht durchgeführt werden müssen. Die erfolgreiche Umsetzung experimenteller Methoden erfordern jedoch den Aufbau von Prototypen entwickelter Konzepte und Versuchsaufbauten, die an den Prozessmaßstab angenähert werden.

Da der gezeigte Gesamtprozess durch eine Vielzahl simultan ablaufender Prozessschritte bestimmt ist, gestaltet sich die Simulation der Fasergelege auf virtueller Ebene besonders kompliziert. Dies wird am Beispiel des Drapierens deutlich (siehe Abbildung 2). Die Handhabungseinheit wird über ein Roboterportalsystem auf einer nicht-linearen Bahnkurve längs zum Rotorblattformwerkzeug geführt. Bei gleichzeitiger Neigung der Handhabungseinheit, muss eine Drapiereinheit das Textil verformen und drapieren.

Die Anzahl an Bewegungen verschiedener Bauteilen sowie die Geometrie des Formwerkzeuges haben Einfluss auf das technische Textil, wodurch es zu Abweichungen der Textillage im Formwerkzeug, aber auch zu ungewollten Effekten im Textil kommen kann. Die durch den Prozess entstehenden Fehler sind schwer zu ermitteln, was die Durchführung von experimentellen Methoden innerhalb des Produktentwicklungsprozesses von Handhabungseinheiten unumgänglich macht.



Abbildung 2: Prozess des Ablegens und Drapierens mit der entwickelten Handhabungseinheit

3 Kombination der Methoden

Aufgrund der beschriebenen Problematik ist die Produktentwicklung von Handhabungseinheiten für technische Textilien auf rein virtueller Ebene momentan nicht zielführend. Der Mehraufwand für die Erstellung von detaillierten Datenblättern mit Materialeigenschaften von technischen Textilien, die für die Simulation benötigt werden, steht in keinem Verhältnis zu dem Aufwand der experimentellen Methoden. Außerdem erfordert eine verlässliche Aussage von Berechnungsergebnissen der Simulationssoftware immer auch die Durchführung von Versuchen zur Verifikation (vgl. Feldhusen & Grote 2013).

Am BIK werden im Produktentwicklungsprozess auf virtueller Ebene Konzepte entwickelt, aus denen Prototypen entstehen, die genutzt werden, um orientierende Versuche in guter Näherung zum realen Maßstab durchzuführen. Die Anpassung des Versuches an die Dimensionen des späteren Prozesses ist besonders wichtig, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Ehrlenspiel (vgl. Ehrlenspiel & Meerkamm 2013) beschreibt dieses Vorgehen als „rekursive Anwendung des Vorgehenszyklus“ mit dem Wechsel zwischen strategischer und operationaler Ebene. Die theoretische Entwurfsebene wird verlassen, um durch den Aufbau einer Messvorrichtung und der Versuchsdurchführung unbekanntes Materialverhalten zu bestimmen. Die Durchführung der orientierenden Versuche zielt dabei allerdings

auf die Qualität und nicht auf die Quantität der Messergebnisse ab, da das grundsätzliche Materialverhalten identifiziert werden soll. Die Versuche geben Aufschluss über die grundlegenden Funktionen von Prototypen und zeigen an welchen Stellen Anpassungen an der Gestalt und an geometrischen Abmessungen erforderlich sind.

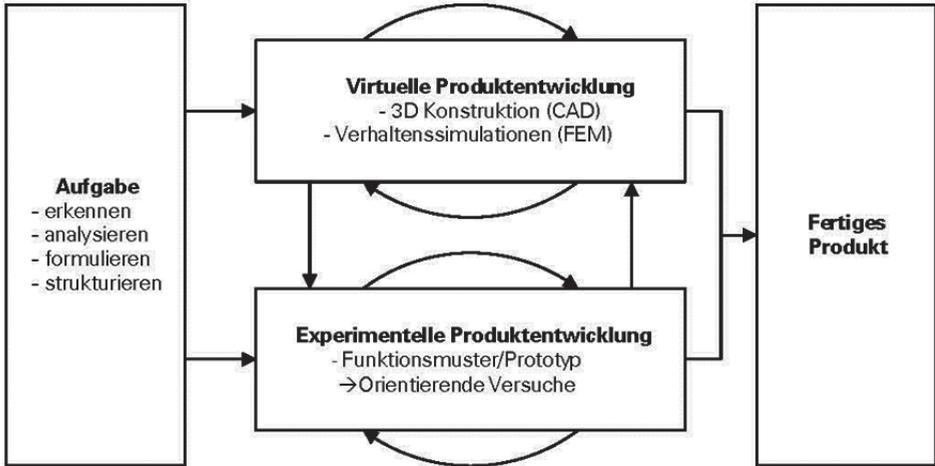


Abbildung 3: Kombination von virtueller und experimenteller Produktentwicklung

Abbildung 3 zeigt die Kombination virtueller und experimenteller Methoden im Produktentwicklungsprozess. Das Erstellen der Aufgabe erfolgt in Zusammenarbeit mit dem Kunden. Im Anschluss muss die Aufgabe analysiert und in Teilaufgaben gegliedert werden. Die Teilaufgaben können im Folgenden auf virtueller und experimenteller Ebene bearbeitet werden, wobei die Entwicklung iterativ und rekursiv verläuft. Die Ergebnisse beider Ebenen sind voneinander abhängig, sodass ein Wechsel zwischen theoretischer und praktischer Ebene mehrfach vollzogen wird. Die experimentellen Methoden unterstützen den Produktentwickler bei der Entscheidungsfindung durch das Einbeziehen der Ergebnisse in der Entwurfsebene. Das Ausarbeiten von optimierten Lösungen ist wiederum ein Prozess der auf virtueller Ebene bearbeitet wird. Iterationsschleifen ergeben sich z.B. durch die Anpassung der Gestalt auf der virtuellen Ebene.

Besonders für komplexere Baugruppen, wie einer Handhabungseinheit zur Ablage technischer Textilien wird dieses Vorgehen für mehrere Baugruppen durchlaufen, ehe die Gesamtbaugruppe zusammengeführt und realitätsnah getestet werden kann.

3.1 Einsatz virtueller Methoden

Die virtuelle Produktentwicklung umfasst die Produktentwicklungsprozesse durch die gängigen rechnergestützten Programmiersysteme. Das Produkt sowie seine Eigenschaften werden mit Hilfe von CAE-Methoden, wie beispielsweise CAD, FEM oder MKS, rechnerintern dargestellt (vgl. Feldhusen & Grote 2013).

Auf virtueller Ebene werden am BIK innerhalb des Produktentwicklungsprozesses CAD-Systeme verwendet, um die konstruktiven Entwürfe zu erarbeiten sowie numerische Berechnungsprogramme genutzt, mit denen unter Zuhilfenahme von FE-Methoden Berechnungen zur Bauteilauslegung durchgeführt, als auch das Materialverhalten simulativ umgesetzt werden.

Am Beispiel eines Drapiermoduls der Drapiereinheit, die eine wichtige Baugruppe bei der Entwicklung der Handhabungseinheit darstellt, wird der Einsatz der virtuellen Methoden verdeutlicht. Im Zuge einer Anforderungsanalyse werden zunächst die ersten beiden Konstruktionsphasen, das „Klären der Aufgabenstellung“ sowie das „Konzipieren“, des Konstruktionsprozesses nach VDI-Richtlinie 2221 durchgeführt (vgl. VDI 1993). Die anschließende Bewertung der theoretischen Konzepte stellt das beste Konzept heraus, welches als Grobkonzept im 3D-CAD-System umgesetzt wird. Mit Hilfe von Geometrie- und Krümmungsanalysen werden die Stellen im Formwerkzeug identifiziert, die für den Prozess die größten Herausforderungen darstellen. Die Erarbeitung des Feinkonzeptes erfolgt auf Basis des Grobkonzeptes und der durchgeführten Analysen und beinhaltet z.B. die Anpassung der geometrischen Abmessungen und Gestaltänderung von Bauteilen. Durch Prozesssimulationen können im Anschluss Kollisionsanalysen und Prozesszeiten berechnet werden.

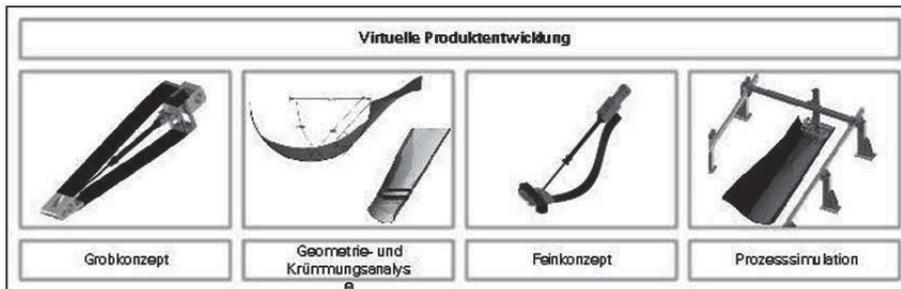


Abbildung 4: Virtuelle Produktentwicklung am Beispiel eines Drapiermoduls für Handhabungseinheiten zur Ablage technischer Textilien

Neben den in Abbildung 4 dargestellten virtuellen Entwicklungsphasen, werden am BIK Verhaltenssimulationen von technischen Textilien durchgeführt, die auf langfristige Sicht in den Entwicklungsprozess einbezogen werden, um Entwicklungszeit einzusparen.

3.2 Einsatz experimenteller Methoden

Das Vorgehen der experimentellen Produktentwicklung wird am Beispiel des Drapiermoduls deutlich (siehe Abbildung 5). Das entwickelte Grobkonzept wird als Prototyp umgesetzt. Orientierende Drapierversuche, bei dem das Drapiermodul, an einem Roboterportalsystem installiert, automatisch über die Form verfährt und das Fasergelege drapiert, zeigen das grundlegende Funktionieren des Prototypen. Es ergeben sich Vor- und Nachteile des Konzeptes, die durch die Weiterentwicklung beibehalten bzw. optimiert werden. Die Drapierversuche werden an einer zweidimensional gekrümmten Form, die annähernd dem Wurzelbereich eines Rotorblattes entspricht, durchgeführt. Als Weiterentwicklung des ersten Konzeptes ergibt sich z.B. die Anpassung der Drapierspitze aufgrund entstehender Beschädigungen im Textil durch scharfe Kanten. Im weiteren Verlauf der experimentellen Produktentwicklung werden Versuchsvorrichtungen aufgebaut und Versuchsreihen entwickelt mit denen weiteres Materialverhalten und die Funktionen der Prototypen verifiziert werden. Die dargestellten Kraft- und Greifversuche (siehe Abbildung 5, rechts) können für weitere Konzeptvergleiche mit unterschiedlichen Prototypen durchgeführt werden. Die Versuchsreihe zum Greifen des Textils ist auf den Prozessschritt „Zuschnitt transformieren“ (vgl. Abbildung 1) abgestimmt und beinhaltet nicht nur das Materialverhalten des Prototypen, sondern ebenso das Materialverhalten des technischen Textils. An diesem Versuch wird deutlich, dass das Materialverhalten der Fasergelege nur schwer in ein CAE-System zu überführen ist. Zum einen muss die Masse bzw. die daraus resultierende Gewichtskraft bestimmt werden. Durch den Kraftangriffspunkt der Greifer, der in diesem Fall nicht im Schwerpunkt der resultierenden Gewichtskraft liegt, entsteht eine Kraftkomponente zwischen Greiffläche und Textil in Richtung Schwerpunkt, sodass zum anderen die Reibung berücksichtigt werden muss. Die Reibkoeffizienten von technischen Textilien sind wiederum von ihrem Aufbau und der eingesetzten Imprägnierflüssigkeit (Schlichte) abhängig. Hinzu kommen die unbekanntenen, meist irreversiblen, Materialfehler, die durch Transport und Lagerung entstehen. Dies können z.B. Druckstellen von übereinander gelagerten Textilrollen sein (vgl. Ohlendorf et al. 2013).

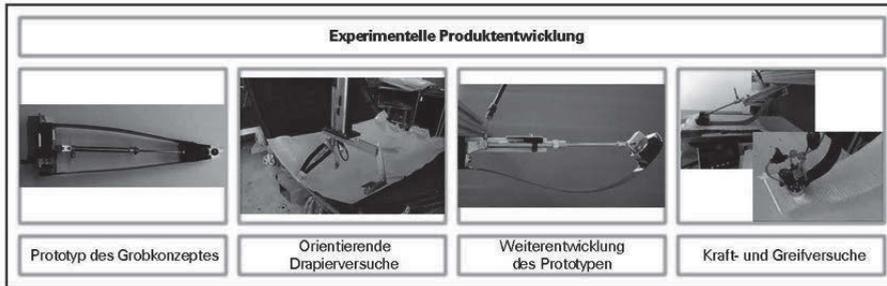


Abbildung 5: Experimentelle Produktentwicklung am Beispiel des Drapiermoduls

Neben der qualitativen Aussage aus orientierenden Versuchen, können durch die Versuchsreihen quantitative Messreihen generiert werden, die beispielsweise die eingesetzte Greiftechnologie in Frage stellen. Dies gilt allerdings auch für die genutzten technischen Textilien, die aufgrund ihres Aufbaus unterschiedliche Materialeigenschaften besitzen und somit nicht für jegliche Prozesse geeignet sind.

4 Fazit/Ausblick

Die Kombination aus virtueller und experimenteller Produktentwicklung ermöglicht eine erfolgreiche Entwicklung von Handhabungseinheiten für technische Textilien. Beispiele für die Umsetzung sind die Handhabungseinheiten aus den Projekten „LAR“ (vgl. Rolbiecki et al. 2011) sowie „maprectec“ (vgl. Ohlendorf et al. 2015), mit denen technische Textilien eben bzw. auf leicht gekrümmte Oberflächen abgelegt werden können.

In diesem Beitrag wird das Vorgehen zur Anwendung von virtuellen und experimentellen Methoden am Beispiel eines Drapiermoduls beschrieben. Die aus mehreren Drapiermodulen bestehende Drapiereinheit stellt eine wichtige Baugruppe der Handhabungseinheit zum Ablegen von technischen Textilien dar, die am BIK im Teilprojekt „Direct-Textile-Placement“ im Rahmen des Forschungsprojektes „BladeMaker“ entwickelt wird. Das Projekt „BladeMaker“ verfolgt den Ansatz einer vollautomatisierten Fertigung von Rotorblättern für Windenergieanlagen. Das Ziel der neu entwickelten Handhabungseinheit ist, anders als bei den bisher entwickelten Handhabungseinheiten, die Drapierung von Fasergelegen in die komplexe Geometrie des zweidimensional gekrümmten Formwerkzeuges.

Ähnlich der Vorgehensweise zur Entwicklung des Drapiermoduls, erfolgt die Durchführung von experimentellen Methoden mit dem Prototypen der Handhabungseinheit zur Verifikation der Funktionen. Das Zusammenwirken

von mehreren Drapiermodulen und Baugruppen, wie z.B. dem Wickelkern, beim Ablegen und Drapieren stehen dabei im Vordergrund.

Die experimentellen Methoden stellen eine gute Alternative zur Implementierung von Materialcharakteristiken, vor allem für die schub- und biegeweichen technischen Textilien, in einer Simulationsebene dar. Durch die aufwendige Entwicklung von Versuchsständen und die Durchführung von Versuchsreihen wird in den nächsten Jahren das Ziel sein, die verwendeten technischen Textilien durch die wesentlichen Materialeigenschaften zu charakterisieren, um darauf aufbauend Verhaltenssimulationen durchführen zu können. Eine Produktentwicklung auf virtueller Basis wird den Versuch jedoch nicht vollkommen ersetzen können.

Literaturverzeichnis

- BMWi Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2016: Windenergie an Land.
<http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/windenergie.html>,
 29.03.16
- Sayer, F. 2013 BladeMaker – Industrieproduktion statt Rotorblattmanufaktur
<http://www.windenergie.iwes.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/strukturkomponenten/blademaker.html>, 29.03.16
- Ohlendorf, J.-H. & Rolbiecki, M. & Schmohl, T. & Franke, J & Ischtschuk, L. 2015: Bremer Schriften zur integrierten Produkt- und Prozessentwicklung, mapretec – ein Verfahren zur preform-Herstellung durch ebene Ablage für ein räumliches Bauteil als Basis einer automatisierten Prozesskette zur Rotorblattfertigung. Aachen: Verlagsgruppe Mainz GmbH
- Rolbiecki, M & Ohlendorf, J.-H. & Thoben, K.-D. 2014: Einsatz virtueller und experimenteller Methoden im Produktentwicklungsprozess von Effektoren für technische Textilien. In: Brökel, K & Feldhusen, J & Grote, K.-H. & Rieg, F & Stelzer, R: 12. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2104, Methoden in der Produktentwicklung: Kopplung von Strategien und Werkzeugen im Produktentwicklungsprozess, 23-32, Bayreuth.
- Neitzel M. & Mitschang, P. & Breuer, U. 2014: Handbuch Verbundwerkstoffe, Werkstoffe, Verarbeitung, Anwendung. München, Carl Hanser Verlag
- Feldhusen, J. & Grote, K.-H. 2013: Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Berlin Heidelberg, Springer Verlag
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. 2013: Integrierte Produktentwicklung, Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. München Wien, Carl Hanser Verlag
- VDI – Verein deutscher Ingenieure 1993: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Düsseldorf: Beuth Verlag

- Ohlendorf, J.-H. & Rolbiecki, M & Schmohl, T. & Franke, J & Thoben, K.-D. & Ischtschuk, L
2013: Innovationen in der Handhabungs- und Textiltechnik zur Rotorblattfertigung. In:
Lightweight Design: 6 (5), 50-57
- Rolbiecki, M. & Worthmann, F. & Maass, R. & Müller D. H. & Thoben, K.-D. 2011: Large Area
Robot (LAR) – Flexibel automatisierte Produktion großflächiger
Faserverbundstrukturen durch mobile Fertigungseinrichtung (02PK2052).
Abschlussbericht, Institut für integrierte Produktentwicklung.

Kontakt

Marvin Richrath, M. Sc.
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben
Universität Bremen
Institut für integrierte Produktentwicklung (BIK)
28359 Bremen
www.bik.uni-bremen.de

