JUBILÄUMSWORKSHOP 5 JAHRE INNOVATIONSCLUSTER KITE HYLITE

19./20. Juni 2013, Pfinztal





1



Fraunhofer-Innovationscluster

Innovationsbeschleunigung durch regionale Schwerpunkte:



© Fraunhofer

Fraunhofer

Regionale Fraunhofer-Innovationscluster

- 1 Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität (AdaM)
- 2 Adaptronische Systeme
- 3 Automotive Quality Saar AQS
- 4 Bioenergy
- 5 Cloud Computing für Logistik
- **6** Digitale Nutzfahrzeugtechnologie
- 7 Digitale Produktion
- 8 Elektronik für nachhaltige Energienutzung
- Intelligente, Energieeffiziente Regionale Wertschöpfungsketten in der Industrie (ER-WIN)
- 10 Future Urban Security
- 11 Green Photonics
- 12 Integrative Produktionstechnik für energieeffiziente Turbomaschinen (TurPro)
- 13 Leistungselektronik für Regenerative Energieversorgung
- 14 Life Cycle Engineering (LCE)
- 15 Maintenance, Repair and Overhaul in Energie und Verkehr (MRO)
- 16 Mechatronischer Maschinenbau
- 17 Multifunktionale Materialien und Technologien (MultiMaT)
- 18 Nano for Production
- 19 Next Generation ID
- 20 Personal Health
- 21 Polymertechnologie
- 22 Regional Eco Mobility 2030 (REM 2030)
- 23 Sichere Identität
- 24 SolarKunststoffe
- **25** Technologien für den hybriden Leichtbau (KITe hyLITE)
- 26 Virtual Development, Engineering and Training (VIDET)







🗾 Fraunhofer

- Institute der Fraunhofer-Gesellschaft
 - Institut f
 ür Chemische Technologie ICT, Pfinztal
 - Institut f
 ür Werkstoffmechanik IWM, Freiburg
 - Institut f
 ür Betriebsfestigkeit und Systemzuverl
 ässigkeit LBF, Darmstadt
- Institute des Karlsruher Institut f
 ür Technologie KIT
 - FAST Institut für Fahrzeugsystemtechnik
 - IAM Institut für Angewandte Materialien
 - Institut für Produktionstechnik
 - Institut für Produktentwicklung
- Unsere Partner
 - Automobilindustrie, Zulieferindustrie, Materialhersteller, Werkzeugbau, Maschinen- und Anlagenbau







- Grundsätze des KITe hyLITE
 - Faserverbundtechnologien f
 ür den hybriden Leichtbau
 - Konsequente Umsetzung eines Multi-Material-Design (MMD) zur intelligenten Kombination verschiedener Werkstoffe (»Join the best«)
 - Ganzheitliche Ansätze und Bewertung des Gesamtsystems
 Methoden – Werkstoffe – Produktion



- Berücksichtigung der Anforderungen an die Produkte von Morgen
 - Gesteigerte Funktionsintegration
 - Maximierung der Ressourcen- und Energieeffizienz
 - Verbesserung der Werkstoffeigenschaften
 - Rechnergestützte Abbildung der Produktentwicklungskette





Die Partner des KITe hyLITe bieten eine ganzheitliche Betrachtung von Werkstoffen, Fertigungsprozessen sowie Methoden zur Auslegung, Simulation und Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen im Kontext der hybriden Bauweisen.







Die Partner des KITe hyLITe bieten eine ganzheitliche Betrachtung von Werkstoffen, Fertigungsprozessen sowie Methoden zur Auslegung, Simulation und Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen im Kontext der hybriden Bauweisen.







Methoden

- Werkstoff- und Prozesssimulation
- Konzeption und Konstruktion
- Bauweisen
- Werkstoffe
 - Langfaserverstärkte Kunststoffe
 LFT-D, SMC, PUR
 - Endlosfaserverstärkte Kunststoffe
 HD-RTM, T-RTM
 - Hybride Werkstoffsysteme

Produktion

- Werkstoffaufbereitung
- Bauteilherstellung
- Automatisierung
- Qualitätssicherung
- Nachbearbeitung und Fügen
- Recycling









KITe hyLITE – Methoden



Schwerpunkt Werkstoff- und Prozesssimulation

Bewertung hybrider Werkstoffe und Gesamtsysteme



Struktur- und Prozessmodellierung



KITe hyLITE – Methoden



 Automatisierungs- und Handhabungstechnik als Beispiele f
ür die interdisziplin
äre Produktentwicklung





KITe hyLITE – Werkstoffe



- Umfangreiches Know-How in der werkstoffgerechten Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen sowie vollständiger Komponenten und Baugruppen
 - Bewertung von Daten und Ableitung von Materialmodellen in Verknüpfung mit den Forschungsarbeiten aus dem Bereich "Methoden"





KITe hyLITE – Produktion



- Verzahnung von Verfahrensentwicklung und Werkstoffcharakterisierung zur Bewertung der betrachteten Prozesse
 - Einsatz und Weiterentwicklung etablierter Faserverbundtechnologien mit Potential für die (Groß-) Serienfertigung
 - Lokale Hybridisierung und Funktionalisierung von Faserverbundbauteilen





KITe hyLITE – Ihre Ansprechpartner



Gesamtprojektleitung

Prof. Dr.-Ing. Frank Henning
 Fraunhofer-Institut f
ür Chemische Technologie ICT
 Tel: +49721/4640420
 Email: frank.henning@ict.fraunhofer.de

- Fraunhofer \rightarrow Benjamin Hangs, +49721/4640792, <u>benjamin.hangs@ict.fraunhofer.de</u>
- Fraunhofer → Dr. Michael Luke, +49761/5412338, michael.luke@iwm.fraunhofer.de
- Fraunhofer → Prof. Dr. Andreas Büter, +496151/705277, andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



- → Timo Müller, +49721/60845387, timo.mueller@kit.edu
- IAM → Dr. Kay Weidenmann, +49721/60844165, <u>kay.weidenmann@kit.edu</u>



→ Henning Wagner, +49721/60847357, <u>henning.wagner@kit.edu</u>



→ Norbert Burkardt, +49721/60842378, norbert.burkardt@kit.edu









INNOVATIONSCLUSTER KITE HYLITE KOOPERATIONSMODELLE





1

19./20. Juni 2013, Pfinztal

Karlsruher Institut für Technologie

© Fraunhofer

Fraunhofer-Innovationscluster

Innovationsbeschleunigung durch regionale Schwerpunkte:





Ergebnisse der Innovationscluster-Evaluation

Innovationscluster überzeugen als Erfolgsmodell

Evaluation durch Experten der Clusterforschung, Vertreter der Wirtschaft und der Zuwendungsgeber

Klare Abgrenzung zu anderen Elementen der öffentlichen Förderung (Spitzencluster, Verbundprojekte)

Gute Abstimmung der unternehmensbezogenen Nachfrage mit der wissenschaftsgetriebenen Technologieentwicklung

Wirkungen gehen deutlich über das Maß der herkömmlich geförderten gemeinschaftlichen Projektarbeit hinaus (3-Säulen Kooperation)

Starke Einbettung in die regionalen Wertschöpfungsketten

Ausbildung einer längerfristigen Partnerschaft zwischen Industrie, Universität und Fraunhofer auf der Basis eines besonderen Vertrauensverhältnis



Bilaterale Projekte



- Auftragsverhältnis zwischen Industriepartner und <u>einem</u> der KITe hyLITE Partner
 - Ggf. Abschluss einer Geheimhaltungsvereinbarung
 - Definition der projektspezifischen Arbeiten entsprechend des Fachgebiets des Partnerinstituts
 - Direkte Angebotserstellung durch ein Partnerinstitut
 - Jeder Auftrag wird individuell verhandelt





Multilaterale Projekte



- Auftragsverhältnis zwischen Industriepartner und <u>mehreren</u> Partnern des KITe hyLITE
 - Ggf. Abschluss einer übergreifenden Geheimhaltungsvereinbarung
 - Gemeinsame Definition der projektspezifischen Arbeiten im Konsortium
 - Optionen zur Angebotserstellung
 - Durch ein Partnerinstitut → Unterbeauftragung der weiteren Partner
 - Individuell durch jeden beteiligten Partner
 - Nutzung des Know-Hows der interdisziplinären Partnerinstitute



Strategische Kooperationen



- Forschungsprojekte mit langfristiger Ausrichtung
 - Abschluss eines übergreifenden Kooperationsvertrags (inkl. IP-Regelung)
 - Bilaterale und multilaterale Projekte sind möglich
 - Laufzeit üblicherweise 2-5 Jahre
 - Definition eines j\u00e4hrlichen Budgets (z.B. 200 T€/a)
 - - Anpassungen im Projektverlauf möglich
 - Möglichkeit zur Vereinbarung fixer Konditionen zur Nutzung technischer Einrichtungen



Strategische Kooperationen Beispielhafte Erfolge



🗾 Fraunhofer

"Etablierung langjähriger, strategischer Forschungskooperation mit führenden Industrieunternehmen zur Überführung der Erkenntnisse aus KITe hyLITE in die Praxis"

7



Die Arbeiten im KITe hyLITE auf dem Themenfeld der Reaktiven Thermoplastverarbeitung legte den Grundstein zum einem FFG-Projekt mit der Firma Engel. Die Arbeiten wurden 2012 mit dem AVK-Award in der Kategorie "Prozess" gewürdigt.

Der KITe hyLITE Ansatz "Material – Produktion – Methoden" führte im Themenfeld SMC zu einer strategischen Forschungskooperation mit KITe-Industriepartnern. Die Überführung der Ergebnisse in die weltweit erste D-SMC Produktionsanlage wurde 2011 mit dem AVK-Award in der Kategorie "Industrie" ausgezeichnet.



Förderprojekte BMBF, LuFo, AiF, EU, etc.



- Forschungsvorhaben unter Nutzung öffentlicher Förderinstrumente
 - Abschluss eines übergreifenden Kooperationsvertrags
 - Laufzeit üblicherweise 2-4 Jahre
 - Gemeinsame Erstellung eines Arbeitsplans in der Antragsphase
 - Verringerter Abstimmungsaufwand durch eingespielte Partner
 - Nutzung von Know-How und Netzwerk der interdisziplinären Partnerinstitute



Karlsruher Institut für Technolog

KITe hyLITE – Ihre Ansprechpartner



Gesamtprojektleitung

Prof. Dr.-Ing. Frank Henning
 Fraunhofer-Institut f
ür Chemische Technologie ICT
 Tel: +49721/4640420
 Email: frank.henning@ict.fraunhofer.de

- Fraunhofer \rightarrow Benjamin Hangs, +49721/4640792, <u>benjamin.hangs@ict.fraunhofer.de</u>
- Fraunhofer → Dr. Michael Luke, +49761/5412338, <u>michael.luke@iwm.fraunhofer.de</u>
- Fraunhofer → Prof. Dr. Andreas Büter, +496151/705277, andreas.bueter@lbf.fraunhofer.de



- → Timo Müller, +49721/60845387, timo.mueller@kit.edu
- IAM → Dr. Kay Weidenmann, +49721/60844165, <u>kay.weidenmann@kit.edu</u>



→ Henning Wagner, +49721/60847357, <u>henning.wagner@kit.edu</u>



→ Norbert Burkardt, +49721/60842378, norbert.burkardt@kit.edu







J. Fleckenstein, C. Keckl, Jubiläumsworkshop, 20.6.2013

Sind Primärbauteile aus Sheet Moulding Compound (SMC) möglich? Fertigung und Werkstoffcharakterisierung von SMC



Agenda



- Einleitung
- Motivation
- Bestimmung der Faservorzugsorientierung in SMC
- Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben
- Lokale Endlosfaserverstärkung von SMC
- Fertigung von Primärbauteilen
 - Wickeltechnik
 - Felgenfertigung
- Zusammenfassung / Ausblick





Einleitung



Überblick faserverstärkter Kunststoffe (FVK)







Einleitung



Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von FVK



Werkstoffauswahl hinsichtlich Komplexität, Festigkeit, Verfahrenstechnik





Motivation



- Einsatzbereich von FKV steigt zunehmend in Primärbauteilen und sicherheitsrelevanten Komponenten
- Einfluss des Fertigungsprozesses auf den Werkstoff (z.B. Faserorientierung) und das Schwingfestigkeitsverhalten
- Weiterentwicklung lokaler Verstärkungen in hochbelasteten Bereichen von Primärbauteilen

Zielsetzung:

- experimentelle Untersuchungen von langfaserverstärktem SMC zur Beschreibung der Schwingfestigkeit und des Versagensverhalten
- Herstellung von Primärbauteilen aus SMC





Bestimmung der Faservorzugsorientierung







Quelle: Polynt GmbH





Bestimmung der Faservorzugsorientierung

Einfluss der Faserorientierung FO(schematisch)



Einlegeart A Einlegeart B Einlegebereich isotrope FO Fließrichtung Einlegebereich Fließbereich 90° 0° 45° Fließrichtung anisotrope FO

Vorzugsorientierung: isotrop (regellos) Vorzugsorientierung abhängig von Probenposition: 0°, 45°, 90°





Bestimmung der Faservorzugsorientierung

Bildanalyse anhand CT-Aufnahmen





Anisotropiemaß d (0: Isotrop; 1: anisotrop)





Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben Versuchsaufbau und Prüfbedingungen







Testprobe mit Probe







Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben



S-N-Linien für SMC-Proben mit unterschiedl. Faserorientierungen



→ Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit





Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben



S-N-Linien für SMC-Proben mit unterschiedl. Fasergehalte hy



Erhöhung des Fasergehalts → Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit





Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben Mittelspannungsempfindlichkeit von Flachproben bei RT





Mittelspannungsempfindlichkeit
$$M_{N=10^6} = \frac{\sigma_{a,N=10^6,R=-1}}{\sigma_{a,N=10^6,R=0}} - 1$$




Schwingfestigkeit von SMC-Flachproben



Dichtespezifischer Vergleich von unterschiedlichen Werkstoffen







Lokale Endlosfaserverstärkung von SMC Motivation



- Verbrauchs- und Emissionsreduzierung im Transportsektor durch Leichtbau
- Verbesserung der passiven und aktiven Sicherheit als auch der Produktattraktivität durch funktionelle Strukturen
- Realisierung innovativer Technologien, Produktionsprozesse und Produkte für Klein-, Mittel- und Großserienanwendungen







Lokale Endlosfaserverstärkung von SMC Motivation

- Konzept f
 ür eine sichere Konstruktion hochbelasteter faserverst
 ärkter Kunststoffen
- Reduzierte Fertigungskosten
- Hochbelastete Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen in Mittel- und Großserie
- Entwicklung von lokalen
 Endlosfaserverstärkungen
 (Tailoring) für SMC
- Numerische Simulation von Betriebs- und Crashbeanspruchungen
- Reduktion der nicht gefederten Massen
- Sicherheitsbauteil mit erhöhter Festigkeit







Imprägnierung der Endlosfasern durch

- UP-Harz
 - MgO-Eindickung der imprägnierten Endlosfasern
 - Bei Druck/Temperatur teils reversible Eindickung
- Turane-HarzB-Stage-SystemIrreversible Eindickung









Imprägnierung der Endlosfasern durch <u>UP-Harz</u>



Unscharfe GrenzflächePositionierung der Endlosfasern







Imprägnierung der Endlosfasern durch <u>Turane-Harz</u>



- Scharfer Übergang EF-Verstärkung/SMC.
- SMC-Harz wurde in die Verstärkung gedrückt, Fasern verschoben
- Scharfe Grenzfläche

























Fertigung von Primärbauteilen

Prozesskette endlosfaserverstärktes Rad









Fertigung von Primärbauteilen – Wickeltechnik



Konzeption und Konstruktion einer Handhabungseinheit







Fertigung von Primärbauteilen – Wickeltechnik











Lagerung bei Raumtemperatur zum vollständigen Erreichen des B-stage-Zustandes





Fertigung von Primärbauteilen – Pressvorgang









Fertigung von Primärbauteilen









Zusammenfassung / Ausblick



Zusammenfassung

- Einfluss des Fließens auf die Faserorientierung (Halbzeug → Probekörper)
- Werkstoffcharakterisierung hinsichtlich Schwingfestigkeit von
 - unterschiedlichen Vorzugsfaserorientierungen, Fasergehalten und Spannungsverhältnisse
- Matrixuntersuchungen mit Endlosfasern
- Imprägnierung und Handhabung der Endlosfasern
- Fertigung von Primärbauteilen aus SMC mit lokaler Endlosfaserverstärkung

Ausblick

- Einfluss auf Schwingfestigkeit bzgl. Endlosfaserverstärkung
- Mittelspannungseinfluss im Druckbereich (R=±∞)
- Bauteilversuche und Übertragbarkeit von Bemessungskonzepten









Prozessabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften glasfaserverstärkter Kunststoffe, hergestellt in neuartigen Resin Transfer Moulding (RTM) - Verfahren

Benedikt Haspel

Institut für Angewandte Materialien – Werkstoffkunde (IAM-WK) Abteilung: Hybride Werkstoffe und Leichtbau

Raman Chaudhari

Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT)





Gliederung



- Arbeitsfeld des IAM WK
- RTM Was ist das?
 - Grundlagen der Prozesstechnik
 - Innovationen in der Prozesstechnik
- Charakterisierungsansatz
- Strukturcharakterisierung von Verbundplatten
- Bestimmen von mechanischen Eigenschaften
 - Quasistatisch
 - Dynamisch
- Schädigungsbetrachtung
- Zusammenfassung





Prozesse – Methoden – Werkstoffe \rightarrow am Beispiel der RTM-Verfahrens- und Werkstoffentwicklung hvL Methoden **Produktion** - Konstruktion - Bauteilherstellung - Simulation - Automatisierung - Verifikation - Qualitätssicherung - Fügetechnologien FAST - Bearbeitung Fraunhofer wbk ICT Abt. Hybride Werk-Werkstoffe stoffe und Leichtbau - Werkstoffmechanik - Werkstoffprüfung - Modellentwicklung (Schädigung) - Prozess-Eigenschafts-Korrelationen - Lebensdauer - Aluminium - Stähle Fraunhofer 🛛 🖉 Fraunhofer - Magnesium - MMC LBF IWM - PMC







Grundlagen der RTM Prozesstechnik

→ Der klassische RTM Prozess

RTM Verfahrenszyklus











Grundlagen der RTM Prozesstechnik

 \rightarrow HP-IRTM Verfahren (Referenzprozess)



- Einlegen der trockenen 3D-Faser Preform in das Werkzeug und vollständiges Schließen des Werkzeugs (Spalt in der Kavität = finale Bauteildicke)
- Vermischen von Harz und Härter mit anschließender Injektion in die Kavität unter sehr hohem Druck
- Imprägnierung des Preforms im Wesentlichen durch das Fließen des Harzes in der xy-Ebene









Innovationen in der Prozesstechnik

CRTM HyLITE

- → HP-CRTM Verfahren
- Einlegen der trockenen 3D Faser Preform in das Werkzeug und schließen des Werkzeugs auf eine definierte Spalthöhe (Spaltbildung)
- Vermischen von Harz und Härter mit anschließender Injektion in den Spalt unter geringem Druck
- Vollständiges Schließen des Werkzeugs mit hohem Kompressionsdruck zur kompletten Imprägnierung des Preforms
- Entnahme des Bauteils nach Aushärtung







Innovationen in der Prozesstechnik



💹 Fraunhofer

- → Thermoplastisches RTM
- Einlegen der trockenen 3D-Faser Preform in das Werkzeug und vollständiges Schließen des Werkzeugs
- Vermischen der Ausgangsstoffe mit anschließender Injektion in die Kavität unter hohem Druck
- Sehr schnelle Imprägnierung des Preforms durch das Fließen in der xy-Ebene → (niederviskose Ausgangsstoffe)
- Entnahme des Bauteils nach Polymerisation



7

Charakterisierungsansatz

 \rightarrow Schaffen von Vergleichbarkeiten



Aufbau einer Fasermatte

- Leinwandgewebe
- Glasfasern (E-Glas)
- 90% der Fasern in 1-Richtung
- 10% der Fasern in 2-Richtung



Aufbau des Gesamtverbunds



Bauteildicke: ca. 2 mm





Charakterisierungsansatz

 \rightarrow Integration der analytischen Modellierung











Strukturcharakterisierung von Verbundplatten

→ Faservolumengehalt und Porositätsbestimmung

Berechnung des Faservolumengehalts

$$\varphi_{Faser} = \frac{Vol_{Faser}}{Vol_{gesamt}} \cdot 100\% = \frac{\frac{m_{ffg} \cdot N}{\rho_{Faser}}}{H} \cdot 100\%$$

Berechnung der Porosität

$$\varphi_{Porosität} = \left(1 - \frac{m_{ges}}{H B L \rho_{Matrix}} - \frac{m_{ffg} N}{H \rho_{Matrix}} - \frac{m_{ffg} N}{H \rho_{Faser}}\right) \cdot 100\%$$

- Zuvor bestimmte Kenngrößen
 - *B,L,H* : Probenabmaße [m]
 - ρ_{Matrix} : Dichte der Matrix [g/m³]
 - ρ_{Faser} : Dichte der Faser [g/m³]
 - *m*_{ffg} : Faserflächengewicht [g/m²]
 - N : Faserlagenanzahl [-]
 - *m_{ges}* : Gesamtmasse [g]



10







Strukturcharakterisierung von Verbundplatten

→ Faservolumengehalt und Porositätsbestimmung



Übersicht der ermittelten Kenngrößen

Fertigungsprozess	KRTM		CRTM		TRTM	
Laminataufbau	6 x [0°]	3 x [0°/90°]	6 x [0°]	3 x [0°/90°]	6 x [0°]	3 x [0°/90°]
Plattendicke [mm]	1,98 ±0,08	2,06 ±0,01	2,10 ±0,03	2,08 ±0,01	1,82 ±0,02	1,84 ±0,02
Fasergehalt [vol-%]	49,6 ±2,00	47,6 ±0,23	46,7 ±0,67	47,2 ±0,23	53,9 ±0,59	53,3 ±0,58
Porosität [vol-%]	1,26 ±1,06		1,31 ±0,68		3,71 ±1,40	









Quasistatische Messverfahren

 \rightarrow Messen der Materialeigenschaften









Quasistatische Eigenschaften \rightarrow Modellierung der elastischen Eigenschaften Berechung eines UD-Rovings nach Mori Tanaka V_{im Roving} = 70 Vol.-% Glasfasern Rotation der Steifigkeitsmatrix entlang der Faserondulation Höhe = Plattendicke / Faserlagen Länge = 3,5 mm (aus Schliffbildern) Rotation der Steifigkeitsmatrix um die Plattennormale Rotationswinkel = 90° Prozentuale Addition der ausgerichteten Steifigkeitsmatrizen hier: 90% in 1-Richtung und 10% in 2-Richtung Addition der restlichen Matrix (unverstärkt) nach Voigt Berücksichtigung der Porosität Anwenden der klassischen Laminattheorie







Quasistatische Eigenschaften

 \rightarrow Ergebnisabgleich – Steifigkeiten









Quasistatische Eigenschaften

→ Ergebnisabgleich – Zugfestigkeiten











Dynamische Eigenschaften

→ Messen der Materialeigenschaften

Schnellzugversuch



KITE

Schlagbiegeversuch dynatup $E_{max} = 1 \text{ kJ}$ $v_{max} = 20 \text{ m/s}$





Dynamische Eigenschaften → Ergebnisauszug Schlagbiegung















 \rightarrow Steifigkeitsdegradation unter Zugbeanspruchung



Fraunhofer

Experimentelles Vorgehen

- E-Modulermittlung in den Entlastungsphasen
- Inkrementelle Steigerung der Totaldehnung







→ Steifigkeitsdegradation unter Zugbeanspruchung

Ableiten einer prozessbezogenen Schädigungskarte











→ Interlaminare Schädigung



Bestimmung der interlaminaren Energiefreisetzungsrate



→ Interlaminare Schädigung

KRTM

CRTM

KRTM mc=1,052

CRTM mc=0,796

40

30

50

GII/G [%]

60

70

80

90

100

Ergebnisübersicht

Empirisches Versagenskriterium nach Benzeggagh und Kenane:

$$G_{C} = G_{IC} + \left(G_{IIC} - G_{IC}\right) \left(\frac{G_{II}}{G}\right)^{mc}$$



Gesamtenergiefreisetzungsrate:

$$G_C = G_{IC} + G_{IIC}$$



Fraunhofer

10

20

1,1 -

1,0

0,9

0,8

0,7

0,6

0,5

0,4

0,3 -

0,2 -

0

GC VIS [kJ/m²]







→ Grenzflächenscherfestigkeit








Zusammenfassung

→ Überblick der Prozesse

Generell



- K- und CRTM: -Nur sehr geringe prozessspezifischen Auswirkungen auf das verwendete Materialsystem -Gute analytische Abbildung der mechanischen Kennwerte
- TRTM: -Aufgrund des Materialsystems grundlegend andere Kennwerte im Veraleich zum K- und CRTM -Analytische Beschreibung meist gut; schwieriger bei matrixdominanter elastischer Belastung

Prozessbewertung bzgl. des Referenzprozess (KRTM)

- CRTM: -Deutlich kürzere Taktzeiten möglich -Die mechanischen Eigenschaften werden durch die Prozesstechnik nur unwesendlich beeinflusst
- TRTM: -Deutlich kürzere Taktzeiten möglich -Die mechanischen Eigenschaften können durch Verbesserung der Grenzflächeneigenschaften weiter optimiert werden









Vielen Dank für die Aufmerksamkeit





KITe hyLITE >> Technologien für den hybriden Leichtbau <<



KITe hyLITE Workshop, 20.6.2013

Die mechanischen Eigenschaften von langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT) in Abhängigkeit von Prozess und Mikrostruktur

Teil I: Prozesseinflüsse (Timo Müller, KIT FAST)

Teil II: Mikrostrukturmodellierung (Sascha Fliegener, Fraunhofer IWM)





LFT Direktprozess







LFT Fließpressen



- Beim Fließpressen wird der LFT-Strang zum Bauteil umgeformt
- Das Schließen des Presswerkzeuges bewirkt das Fließen des Materials







Faserorientierung



Die Umformung beim Flie
ßpressen f
ührt zu einer Orientierung der Fasern in Flie
ßrichtung







Regellose Orientierung

Orientierung mit Vorzugsrichtung

- Welche Materialeigenschaften ergeben sich in der Praxis?
- Welchen Einfluss hat der Prozess?





Versuche



- Zwei Varianten werden mit einem Fließweg von 800mm untersucht:
- Variante 1: Strang quer zur Fließrichtung



Variante 2: Strang in Fließrichtung







Probenentnahme



- Die Platten wurden in 5 Zonen eingeteilt
- Aus jeder Zone wurden 9 bzw. 8 Proben entnommen
- Zugproben nach ISO527 (Typ 1B)







Versuchsergebnisse - Steifigkeiten



- Gemittelte Steifigkeiten der Zonen
- Orientierungsänderung nach Einlegebereich bei Variante 1 sichtbar







Versuchsergebnisse - Anisotropieverhältnisse



- Verhältnis der Steifigkeiten parallel und orthogonal zur Fließrichtung
- Kontinuierlicher Abfall in den letzten 3 Zonen bei beiden Varianten







Versuchsergebnisse - Festigkeiten



- Gemittelte Festigkeiten der Zonen
- Orientierungsänderung nach Einlegebereich bei Variante 1 sichtbar







Versuchsergebnisse - Anisotropieverhältnisse



- Verhältnis der Festigkeiten parallel und orthogonal zur Fließrichtung
- Anisotropie ausgeprägter als bei Steifigkeiten, Verlauf ähnlich







Zusammenfassung



- Die mechanischen Eigenschaften sind außerhalb des Einlegebereiches relativ konstant
- Die Ablegeposition des Stranges beeinflusst die mechanischen Eigenschaften stark
- Genaue Kenntnisse der Herstellbedingungen und die Simulation des Prozesses sind f
 ür die Voraussage der Bauteileigenschaften notwendig





Danksagung



KITe hyLITE PLUS – Technologie- und Netzwerkentwicklung für hybride Leichtbaulösungen in der Automobilindustrie

"Dieses Vorhaben wird durch die Europäische Union - Europäischer Fonds für regionale Entwicklung - sowie das Land Baden-Württemberg gefördert. Verwaltungsbehörde des operationellen Programms RWB-EFRE ist das Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Weitere Informationen unter <u>www.rwb-efre.baden-württemberg.de</u>"



investition in Ihre Zukunft!







KITe hyLITE >> Technologien für den hybriden Leichtbau <<



KITe hyLITE Workshop, 20.6.2013

Die mechanischen Eigenschaften von langfaserverstärkten Thermoplasten (LFT) in Abhängigkeit von Prozess und Mikrostruktur

Teil I: Prozesseinflüsse (Timo Müller, KIT FAST)

Teil II: Mikrostrukturmodellierung (Sascha Fliegener, Fraunhofer IWM)





Motivation LFT-Prozesskette, Werkstoffdesign



Fraunhofer

- Statt experimenteller Ermittlung der mechanischen Effektiveigenschaften nun Modellierung der Mikrostruktur und numerische Homogenisierung
- Anknüpfung an Prozesssimulation für durchgängige Prozesskette
- Gezielte Einflussanalysen (z.B. Faserstruktur, -länge, -gehalt) möglich





Vorgehensweise Übersicht



Homogenisierung mittels representativer Volumenelemente (RVE)

- Analyse der Mikrostruktur: CT-Scans (Faserorientierung), Probenveraschung (-länge), Prozessgrößen (-volumen) ODER Prozesssimulation
- RVE-Erzeugung auf Basis der mikrostrukturellen Kennwerte
- FE-Analyse an RVEs z.B. Fasern elastisch, Matrix viskoelastisch, Grenzflächen







Vorgehensweise FiberGenerator Tool









Vorgehensweise Video FEM Faserkompression











Vorgehensweise Detail FE-Netz









Ergebnisse RVE-Varianten





Simulative Betrachtung verschiedener Längenverteilungen













Ergebnisse Faserlängenverteilungen







Length [µm]





Ergebnisse RVE Kriechsimulationen LFTD PPGF30 0° 50 MPa hyLITE







Ergebnisse RVE Kriechsimulationen LFTD PPGF30 90° 7.5 MPalite







Zusammenfassung Übersicht

Mikrostrukturanalysen oder Prozesssimulation



Nutzen

- Bauteilauslegung unter Berücksichtigung durchgängiger Prozesskette
- Werkstoffdesign (wie muss ich Matrix, Faserlänge, Grenzflächeneigenschaften einstellen?)

Anwendbarkeit

- LFT, Tapes, Gewebe, Hybride, ...
- Vorhersage von Steifigkeit, Festigkeit, zeitabhängigen Eigenschaften

Neuartigkeit der Methode

- LFT: Berücksichtigung hoher Faserlängen
- Implementierung von Grenzflächeneigenschaften







Appetizer Simulation von Bruchphänomenen









KITe hyLITE >> Technologien für den hybriden Leichtbau <<



Methodenentwicklung zur Bewertung von Kunststoff-Metall- und Langfaser-Endlosfaser-Hybridverbunden

Jubiläums-Workshop - 5 Jahre Innovationscluster KITe hyLITE

Pfinztal, 19.-20. Juni 2013 Dipl.-Ing. Hanna Paul, Dipl.-Ing. Benjamin Hangs Dr.-Ing. Michael Luke



Hybridverbunde Einführung







Hybridverbunde Einführung

Klassische Bauteile:

- Spritzgegossene Kunststoff-Metall-Hybridverbunde (Verbindung über Kraft- und Formschluss)
- Ziel: Stabilisierung von dünnwandigen hochfesten Metallen
- Weiterentwicklungen → Größeres Einsatzspektrum
 - Werkstoffsubstitution
 - Kunststoff: Leistungsfähigere Kunststoffe, Langfaserverstärkung
 - Metall: andere Werkstoffe wie Alu, Substitution durch Endlosfasern
 - Verbesserung der Anbindung
 - Stoffschluss (direkte Adhäsion) & Kombinationen mit Kraft- & Formschluss









Inhalte Vortrag



- Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride (Werkstoffsubstitution & Verbesserung der Anbindung)
 Hybridisierung über lokale Endlosfaserverstärkung (Werkstoffsubstitution)
- Ausblick



Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Einführung





- Bauteil entsteht im gleichen Schritt wie der Kunststoff
- Vorteil: Kein separater Fügeschritt notwendig
- Möglichkeiten zur Verbindung
 - Kraftübertragung durch Formschluss (durchflossene Durchbrüche)
 - Kraftübertragung durch Kraftschluss (Eigenspannungen durch Schwindung)
 - Kraftübertragung über Stoffschluss (direkte Adhäsion)
 - Kombinationen









Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Experimentelle Untersuchungen



- Versuchsreihe I: Nutzung der direkten Adhäsion (Stoffschluss)
 Optimierung der Haftung über Anpassung Prozessparameter
- Versuchsreihe II: Untersuchung des Verformungs- und Versagensverhaltens von Hybridverbunden mit unterschiedlichen Konfigurationen -> Bewertungsgrundlage



Materialien:

- LFT: PA6.6 GF40 & PP GF30
- Metall: Stahl (HC420LA)

Variante	Formschluss	Vorbehandlung	Versuchsreihe
1	-	ohne	II
2	-	gestrahlt mit Korund	1&11
3	Ø 6mm	ohne	II
4	Ø 6mm	gestrahlt mit Korund	II





Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Ergebnisse Versuchsreihe I



Variante	9	LFT	Vorwärm- temperatur	Strahlmittel	₹ ¹⁰ -
PP_Basis	5		230 °C	F24	. <mark>=</mark> 8-
PP_Tem	p_1		165 °C	F24	aft
PP_Tem	p_2	PP GF30	45 °C	F24	- <mark>ک</mark> ی 6
PP_Rau_	1		230 °C	F46	őp -
PP_Rau_	2		230 °C	F80	ן 12 4-
PA_Basi	5		265 °C	F24	sn
PA_Tem	p_1	PA6.6 GF40	200 °C	F24	ح ₂-
PA_Tem	p_2		120 °C	F24	-
PA_Rau_	_1		265 °C	F46	0 +
PA_Rau_	_2		265 °C	F80	12-
normierte Auszugskraft in kN	1,0 - 0,8 - 0,6 - 0,4 - 0,2 -	ŀ	Auszugskraft in kN		
	+	50 100	150 200	250 300	0,0 4
		Tem	peratur in °C		



F46

Strahlmittel



F80



F24

Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Ergebnisse Versuchsreihe II - Polyamid






Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Ergebnisse Versuchsreihe II - Polypropylen







Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Verbindungsmechanismen





- Kraftschluss:
 - Bei allen Varianten
 - Eigenspannungen & Haftreibung
- Stoffschluss:
 - Verformung aus Fügepartnerverformung (hauptsächlich LFT)
- Formschluss:
 - Nichtlinear → LFT wird deformiert und versagt



Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride **Numerische Simulation**



Modellierung der einzelnen Verbindungsmechanismen

- Kraftschluss: Eigenspannungen über thermische Ausdehnung & Reibung
- Stoffschluss: Kohäsivzonen an der Grenzfläche zwischen Metall & LFT
- Formschluss: LFT \rightarrow elastisch-plastisch inkl. Versagen

→ Möglichkeit zur numerischen Bewertung des Einsatzpotentials der verschiedenen Verbindungsmechanismen





х

х

Х

х

х

Langfaserverstärkte Kunststoff-Metall-Hybride Bewertung Einsatzpotential



- Hohes Potential der stoffschlüssigen Verbindung hinsichtlich Steifigkeit & Festigkeit
- Kombination von Stoffschluss & Formschluss bietet Potential hinsichtlich Energieaufnahme
 - Es muss geeignet kombiniert werden um beide Mechanismen Nutzen zu können
- Formschluss & Kombinationen können auch hinsichtlich Kriechen und zyklischer Belastung sinnvoll sein (ähnlich Kombination Niet- & Klebverbindung bei metall. Fügepartnern)



Lokale Endlosfaserverstärkung Das Prinzip



Herausforderungen bei der Anwendung endlosfaserverstärkter Halbzeuge



- Technische Herausforderung
 - Endlosfaserverstärkte Halbzeuge (z.B. Gewebe/Gelege) besitzen eine eingeschränkte Drapierbarkeit und Fließfähigkeit
 - Restriktionen bzgl. Gestaltungsfreiheit und Bauteilkomplexität
 - Vorrangig schalenförmige Strukturen realisierbar
- Wirtschaftliche Herausforderung
 - Die Kostenziele f
 ür monolithisch endlosfaserverst
 ärkte Bauteile sind in Gro
 ßserien oftmals schwer zu erreichen



Lokale Endlosfaserverstärkung Das Prinzip



Tailored LFT – Verfahrenstechnische Umsetzung funktionsintegrierter Bauteile mit Endlosfaserverstärkung

Kombination lokaler Verstärkungsstrukturen mit etablierten, großserienfähigen Prozessen







- Projektziele:
 - Machbarkeit f
 ür das Umpressen komplexer Strukturen aus UD-Tape mit D-LFT nachweisen
 - Aufzeigen des Verbesserungspotentials der Impacteigenschaften





16 🗾 Fraunhofer

Prüfmatrix:

ΕJ

licona

Performance Driven Solu

LFT-seitig

oXeon

Konfig.	Material	Wandstärke	Plattenaufbau		
V1	WT (woven tape)	2,0 mm	4 Lagen (0/90)f		
V2	TL (tape laminate)	2,0 mm	(0,90)2s		
V3	D-LFT	2,0 mm	D-LFT		Exemplarische
V4	D-LFT	2,5 mm	D-LFT		/ dowarn
V5	D-LFT	3,0 mm	D-LFT		
V6	WT + D-LFT	0,5 mm + 2,5 mm	(0/90)f + D-LFT		
V7	TL + D-LFT	0,5 mm + 2,5 mm	(0,90) + D-LFT		
V8	WT + D-LFT	1,0 mm + 2,0 mm	2x(0/90)f + D-LFT		Hybride
V9	TL + D-LFT	1,0 mm + 2,0 mm	(0,90)s + D-LFT	7	Konfigurationer
V10	WT + TL + D-LFT	2 x 0,5 mm + 2,0mm	(0/90)f + (0,90) + D-LFT		
V11	TL + WT + D-LFT	2 x 0,5 mm + 2,0mm	(0,90) + (0/90)f + D-LFT		

Prüfkörper entsprechend DIN EN ISO 6603-2 (je 5 Probekörper)

FIBERFORGE

UD-seitig

Für hybride Konfigurationen erfolgte eine beidseitige Prüfung



Fraunhofer 🖉

Vergleich* von D-LFT verschiedener Wandstärken (2,0 – 3,0 mm), Halbzeugen aus UD-Tape (2,0 mm) sowie eines Hybridverbundes



* Der Vergleich verschiedener Wandstärken ist nur zulässig, um

Trends aufzuzeigen. Ein direkter absoluter Wertevergleich ist nicht zulässig.



oxeon FIBERFORGE





Analyse der Versagenscharakteristik der Prüfvarianten











Lokale Endlosfaserverstärkung Bewertungsmethoden



Modellierung von Steifigkeit und Festigkeit von Hybridverbunden aus kurzglasfaserverstärktem Polypropylen und einem Organoblech

- Vorgehen
 - Charakterisierung und Modellierung Komponenten
 - Modellierung Hybridverbund
- Erkenntnisse
 - Aufgrund der Inhomogenität des Organobleches sollte Mikrostruktur berücksichtigt werden







Lokale Endlosfaserverstärkung Bewertungsmethoden





- Werkstoffe: PP GF30 (LFT) + Organoblech
- Einleger: Stahl (HC420 LA)
- Krafteinleitung über Bolzenverbindung und zwei außen- und einem innenliegenden Metalleinleger
- Materialdaten aus Zugversuchen der Einzelkomponenten



- FE-Analyse mit ABAQUS ® 6.10 Explicit
- Elastisch-plastische beschreibung der Materialien
- Zug/Druck Anisotropie des PP GF30
- Dehnungsbasiertes Versagenskriterium



Ausblick Bewertung des Prozessbedingten Verzugs und der im Bauteil enthaltenen Eigenspannungen

Motivation

- Prozessbedingte Vorlasten sollten in Strukturbewertung berücksichtigt werden
- Herangehensweise (teilweise im KITe hyLITE & neues Projekt)
 - Simulation des Verzugs- und der Eigenspannungen im Prozess
 - Messung von Verzug und Eigenspannungen
 - Experimentelle Methodenentwicklung →
 Anpassung der Methoden an thermoplastische
 Verbundwerkstoffe und Hybride
 - Modellierung der Relaxation der Eigenspannungen über die Zeit und bei Tempervorgängen















Bernd Thoma, Alexander Ochs

Produktionstechnische Herausforderungen und Entwicklungen entlang der Prozesskette des Resin Transfer Moulding (RTM)







Motivation und Problemstellung

Prozessschritte des RTM-Verfahrens

Produktionstechnische Herausforderungen und Lösungen entlang der RTM-Prozesskette

Zusammenfassung und Ausblick







Motivation und Problemstellung

Herstellverfahren von EFVK-Bauteilen





Durchgängige Automatisierung:

Verkürzung der Taktzeiten, Steigerung der Reproduzierbarkeit und Qualität, Senkung der Kosten usw.

Abb.: Einordnung der Herstellverfahren von EFVK-Bauteilen (in Anlehnung an [Läs-12])

- Die Kosten f
 ür EFVK-Bauteile (FVK aus Endlosfasern) sind aktuell hoch, was auf manuelle Arbeitsschritte und hohe Materialkosten zur
 ückzuf
 ühren ist.
- Harzinjektionsverfahren f
 ür gr
 ö
 ßere St
 ückzahlen Resin Transfer Moulding Verfahren





Prozessschritte des RTM-Verfahrens

Wertschöpfenden Prozessschritte





Abb.: Prozessschritte zur Herstellung von EFVK-Bauteilen im RTM-Verfahrens [Fle-13]

- Herstellung der EFVK-Bauteile erfolgt in mehreren wertschöpfenden Prozessstufen, welche über Prozessverkettungsschritte miteinander verbunden sind.
- Herausforderungen liegen in allen Prozessschritten!









- Motivation und Problemstellung
- Prozessschritte des RTM-Verfahrens
- Produktionstechnische Herausforderungen und Lösungen entlang der RTM-Prozesskette
- Zusammenfassung und Ausblick









Abb.: Textiles Halbzeug und Cuttertisch für den Zuschnitt

- Bereitstellung der Halbzeuge erfolgt auf Rollen (bebindert oder unbebindert)
- Endkonturnaher 2D-Zuschnitt mit Hilfe von CNC-Cuttertischen
- Zuschnitt erfolgt entweder ein- oder oft mehrlagig
- (Stand der Technik)





Lösungsansätze entlang der Prozesskette



Fixierung, Drapierung und Lagenaufbau



Abb.: Unterschiedliche Verfahren zur Preformherstellung [Che-11]

- Direkte Preformverfahren sind für große Stückzahlen häufig zu langsam
- Sequentielle Preformverfahren, insbesondere die Binder-Umformtechnik, rücken in den Fokus der Industrie
- Preforming besteht dabei immer aus den Prozessschritten Fixieren, Lagenaufbau und Drapierung





Preformina





- Gesteigerte Permeabilität, sowie Kompressibilität im Vergleich zu flächig gebindert Preformen
- Temperaturbeständige Fixierung durch den Einsatz von vernetzten Fixierungspunkten
 → keine, Volumenstrom bedingte, Verschiebung der Lagenaufbauten im beheizten Formwerkzeug
- Einstellbare Steifigkeit der Preform















- Reproduzierbare Klebstoffapplikation und -aktivierung
- Einstellung beliebiger Applikationsbilder möglich
- Klebstoffaktivierung innerhalb von 5 bis 10 Sekunden

Preform-Fixierungsprozess







- Handhabungssysteme dürfen keine zusätzlichen Fehler in den Prefom bzw. Lagenaufbau einbringen (Verschiebung, Aufweitung u.a.)
- Entsprechend der vorliegenden Handhabungsaufgaben müssen definierte
 Prozesskräfte aufgebracht werden, die abhängig von Funktionsweise bzw. dem physikalische Wirkprinzip (Formschluss, Stoffschluss, Kraftschluss) der Greifer sind









Abb.: Ultraschall-Strömungsgreifer [Fle-12b]

Abb.: Greifen textiler Halbzeuge [Fle-12, Fle-13]

- Charakterisierung von verfügbaren Greifern wie Bernoulli- oder Niederdruckflächensauger (Normal- und Querkräfte)
- Entwicklung neuer Greifprinzipien zur Optimierung der Handhabung von biegeschlaffen textilen Halbzeugen
- Kombination von Ultraschall- und Strömungsgreifen für eine querkraftfreie Handhabung von Halbzeugen sowie für die Handhabung adhäsiver Halbzeuge













Lösungsansätze entlang der Prozesskette Preforming Drapierung Fixierung Drapierung Lagenaufbau

Drapierung von 2,5D-Geometrie



Vordrapieren von 3D-Geometrie oder Drapieren von **2,5D-Geometrie** (abgerundetes Profil)

3 Lagen 12K Gewebe aus Kohlenstofffasern

Fixierung mittels Sprühkleber

- Vordrapieren von 3D-Geometrie oder Drapieren von **2,5D-Geometrie**
- Aufzeigen der Möglichkeiten und Grenzen eines "Drapiergreifers" sowie Übertragung der Ergebnisse auf komplexere Geometrien







- Entwicklung neuer technologischer Ansätze zum automatisierten Preforming von 3D-Geometrie (Flexible Preformingstation)
- Einsatz von Membran- oder Stempellösungen für globales Preforming (ganzer Stack)
- Kombination von Stempel- und Membranlösungen zum Drapieren der textilen Halbzeuge und Einsatz einer Infrarotheizung zum Fixieren







Lösungsansätze entlang der Prozesskette Qualitätssicherung Drapierung



Qualitätssicherung beim Preforming bzw. Drapieren





Abb.: Laser-Kamerasystem zur Erfassung der textilen Halbzeuge



Abb.: Formtreue



Abb.: Faserorientierung

- Betrachtung von gualitätsrelevanten Faktoren und Wirkzusammenhängen für eine effiziente Qualitätssicherung im Herstellungsprozess von faserverstärkten Kunststoffen
- Erkennung von Imperfektionen, Formtreue und Faserorientierungen
- Entwicklung von Mess- und Auswertestrategien zur Qualitätsbeurteilung







Lösungsansätze entlang der Prozesskette

Infiltrierung

Bauteilherstellung

Hochdruck-RTM Verfahrenstechnik

Verarbeitung von hochreaktiven Epoxid- und Polyurethan- Harzsystemen

- HP Compression RTM
- HP Injection RTM

Abb.: Hochdruck - RTM Anlagentechnik







Lösungsansätze entlang der Prozesskette Nachbearbeitung Verfahrensvergleich/Bearbeitungsstrategie







Abb.: CFK (Schädigung)



Abb.: CFK (schädigungsfrei)



Abb.: Taumelfräsen von FVK-Bauteilen

Realisierung einer anforderungsgerechten Nachbearbeitung von FVK-Bauteilen

18

- Verfahrensvergleich f
 ür die Nachbearbeitung von faserverst
 ärkten Bauteilen (mechanische Bearbeitung, Wasserstrahlschneiden, Laserstrahlschneiden)
- Optimierung von Verfahren, wie das Taumelfräsen für Bohrungen
- Standzeituntersuchungen von Werkzeugen
- Untersuchungen zur Einspannung von FVK







Motivation und Problemstellung

Prozessschritte des RTM-Verfahrens

Produktionstechnische Herausforderungen und Lösungen entlang der RTM-Prozesskette

Zusammenfassung und Ausblick







Zusammenfassung und Ausblick

Kombination von Materialien





- Prozessabläufe für metallische Werkstoffe wie Aluminium oder Stahl sind bekannt.
- Für endlosfaserverstärkter Kunststoff werden die Prozessketten aktuell entwickelt.
 - Lagenaufbau, Fixierung und Drapierung
 - Infiltration, Nachbearbeitung u.a.
- Ziel: Direkte Kombination von endlosfaserverstärkten Kunststoffen und Metallen in einer hybriden Prozesskette zur Herstellung von neuen, innovativen Bauteilen.







KITe hyLITE >> Technologien für den hybriden Leichtbau <<



Bernd Thoma, Alexander Ochs

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.







Literaturquellen



[Läs-12]: Lässig, R et al: ; Eisenhut, M.; Mathias, A.; Schulte, R.T.; Peters, F.; Kühmann, T.; Waldmann, T.; Begemann, W.: Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen – Perspektiven für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau. Studie, Roland Berger Strategy Consultants, 2012

[Fle-13] Fleischer, J.; Ochs, A.; Förster, F.: Gripping Technology for Car-bon Fibre Material. CIRP International conference on competitive manufacturing, 30.01.2013, Stellenbosch, Südafrika. Department of Industrial Engineering Stellenbosch University (Hrsg.): Green manufacturing for a blue planet, p. 65-71. - ISBN 978-0-7972-1405-7

[Fle-12a] Fleischer, J.; Ochs, A.; Koch, S-F.: Ultrasonic-assisted adhesive handling of limp and air-permeable textile semifinished products in composites manufacturing. In: 4th CIRP Conference on As-sembly Technologies and Systems, 20.-22.05.2012, Ann Arbor, Michigan, USA. Band: Technologies and Systems for Assembly Quality, Productivity and Customization, 2012, p. 7-10. - ISBN 978-0-615-64022-8

[Fle-12b] Fleischer, J.; Ochs, A.; Dosch, S.: The future of lightweight manu-facturing - production-related challenges when hybridizing metals and continuous fiber-reinforced plastics. In: International Confer-ence on "New Developments in S eet Metal orming", 22.-23.05.2012, Stuttgart, Germany. Institute for Metal Forming Tech-nology of University of Stuttgart (Hrsg.): New Developments in Sheet Metal Forming, Band 1. Frankfurt, Verlag MAT INFO Werkstoff-Informationsgesellschaft, p. 51-70. - ISBN 978-3-88355-39-0

[Lan-12] Lanza, G.; Brabandt, D.: Messtechnik für die FVK-Qualitätssicherung. In: wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 102, Heft 11/12, 2012, S. 783-788

[Che-11] Cherif, C. (Hrsg.): Textile Werkstoffe für den Leichtbau: Techniken - Verfahren - Materialien – Eigenschaften. Heidelberg: Springer, 2011. - ISBN 3642179916

[Tho-12] Thoma, B.; Weidenmann, K.; Henning, F.: Chemical Stitching, ein vielversprechender Ansatz für die automatisierte Preformfertigung; Zeitschrift Kunststofftechnik 8 (12) 5







XITE hyLITE >> Technologien für den hybriden Leichtbau <<



Kontinuierliche Fasern zur lokalen Verstärkung und zum automatisierten Fügen

Jubiläums-Workshop - 5 Jahre Innovationscluster KITe hyLITE

Pfinztal, 19.-20. Juni 2013

Dipl.-Ing. Jochen Schädel Dipl.-Ing. Johannes Gebhardt






Kontinuierliche Fasern zur lokalen Verstärkung und zum automatisierten Fügen

1. Teil



Lokale Verstärkung mit Endlosfasern Einbringen von Endlosfasern entlang der Hauptlastpfade im Bauteil 2. Teil

Faserwickeln als Fügeverfahren Fügen durch Wickeln von Endlosfasem





Stand der Technik Ablage von Endlosfasern

Automated Fiber Placement



- Ablage von vorimprägnierten Fasern (Prepreg) zur Bauteilherstellung
- Fixierung durch "tack" der Prepregs
- Hohe Produktivität (hohe Geschw., Ablage mehrerer Rovings)

Tailored Fiber Placement



- Ablage von trockenen Fasern für Injektionsverfahren z.B. RTM
- Fixierung durch Nähfäden
- Niedrige Produktivität (Langsam, nur ein Roving je Nähkopf)

Aus Stand der Technik abgeleitetes Zielsystem:

- + Ablage von trockenen Fasern zur lokalen Verstärkungen z.B. von RTM-Bauteilen
- + Hohe Produktivität (hohe Geschwindigkeit, Ablage mehrerer Rovings)









Aufbau und Funktion des Legekopfes

Konstruktion eines modular aufgebauten Legekopfes

- Funktionalität:
 - Ablage von 1-4 Rovings (je 3-15mm)
 - Mögliche Ablagebreite 3-60mm
- Modularer Aufbau:
 - 1. Materialspulen und -zuführung
 - 2. Faserantrieb (1x pro Roving)
 - 3. Faserführung
 - 4. Schneidsystem (1 x pro Roving)
 - 5. Anpressrolle
 - 6. Faserfixierung
 - 7. Anpresszylinder und Linearführunger
 - 8. Ventilinseln und Schnellkupplung









Herausforderung Faserfixierung

Bei der Ablage von trockenen Fasern müssen die Rovings auf der Unterlage (i.A. flächiges textiles Halbzeug) fixiert werden

Faserfixierung bestimmt max. Legegeschwindigkeit

Neuer Ansatz zur Faserfixierung Abzulegendes Roving 1. Auftrag von geschmolzenem Thermoplast Anpressrolle 2. Ablage und Anpressen der Rovings -> schlagartiges Aushärten des Thermoplasts MANA Flächiges Halbzeug Vorschub des Geschmolzener Thermoplast Thermoplast-Prinzip der Faserfixierung Filaments Düse zum Aufschmelzen des Filaments Hohe Legegeschwindigkeiten erreichbar Faserfixierung durch geschmolzenen Thermoplast





10mm



Herausforderung Faserfixierung

- Untersuchungen zur Haltekraft der Faserfixierung:
 - Bestimmung der Zugscherfestigkeit zur Ermittlung der Haftung (nach EN 1465:2009)
- Vergleich der Faserfixierung:
 - Fixierung mit entwickeltem Extruder (verwendeter Kunststoff: PLA)
 - Fixierung mit Sprühkleber als Referenz (verwendeter Sprühkleber: Airtac 2E)



Hohe Haltekräfte bei Faserfixierung mit aufgeschmolzenem PLA erreichbar



Probengeometrie für Zugscherversuche



Versuchsaufbau für Zugscherversuche







Anwendungsbeispiele

PUR-Fasersprühen

- Herstellung kostengünstiger, langfaserverstärkter GFK Bauteile
- Ablage von zusätzlichen Endlosfaserverstärkungen in hochbelasteten Bereichen



Kohlenstofffaserroving auf GF-Wirrfasermatte



RTM-Prozess

- Hohe punktuelle Belastung des Laminats um Krafteinleitungspunkte
- Ablage von zusätzlichen
 Verstärkungsfasern um eingebettete
 Krafteileitungselemente (Inserts)



Kohlenstofffaserroving zur lokalen Verstärkung um Inserts





Impressionen











Kontinuierliche Fasern zur lokalen Verstärkung und zum automatisierten Fügen



Lokale Verstärkung mit Endlosfasern



Faserwickeln als Fügeverfahren









Ansatz

Ergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick







Warum Wickeln als Fügeverfahren?





Wickeln als flexibles Fügeverfahren ist seit Jahrhunderten etabliert. Wo werden Rahmenbauweisen industriell benötigt?









Steuerrad Segelboot

Aufgrund der hohen Zugfestigkeiten von FVK, werden Tragwerkstrukturen zunehmend zum Einsatz kommen.

Ziel: Entwicklung eines endlosfaserbasierten Fügeverfahrens für Rahmenstrukturen.







Motivation & Zielsetzung

Ansatz

Ergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick









Imprägniereinheit (3)

Harzsystem

Wickeln als bauteilgenerierendes Verfahren

Führungseinheit (4)



Vorratsspule (1)

Faserhalbzeug









Prozessablauf

Herstellung der Fügepartner als Standardbauteil

Positionieren und Spannen der Fügepartner

> Anlegen des imprägnierten Rovings

Umwickeln der Fügezone mit einstellbaren Wickelparametern

Abtrennen des Rovings

















Aufbau einer Versuchsanlage

Robotergeführte Wickelvorrichtung ausgelegt zum Fügen innerhalb geschlossener Rahmenstrukturen.











Kinematik zum Wickeln in geschlossenen Rahmenstrukturen









Kinematik zum Wickeln in geschlossenen Rahmenstrukturen









Strategie zur belastungsgerechten Wickelung

Topologieoptimierung eines T-Stoßes, entsprechend dem Lastfall



Die optimale Faserlage unterliegt Einschränkungen durch die Bauteilgestalt, Designvorgaben und der Kinematik der Wickelbewegung, wodurch Kollisionen verhindert werden müssen.

Hieraus erfolgt die Ableitung der Wickelbahn entsprechend dem Lastfall.





Strategie zur belastungsgerechten Wickelung

Beispiel Biegung:



Ansammlung von Knotenpunkten auf dem Bauteil, durch die ein Roving verlaufen muss. Daraus lässt sich der optimale Wickelwinkel α ableiten. Parallele Ableitung eines mathematischen Modells zur Beschreibung der Elastizität.











Validierung im Zugversuch









Motivation & Zielsetzung

Ansatz

Ergebnisse

Zusammenfassung und Ausblick







Zusammenfassung und Ausblick















Motivation

Warum kontinuierliche Fasern?

- Derzeit werden häufig flächige textile Halbzeuge für die FVK-Bauteilherstellung verwendet
 - Keine optimale Materialausnutzung
- Besser f
 ür optimalen Leichtbau: Gezieltes lokales Einbringen von Endlosfasern in hochbelastetes Bereichen der Bauteile

Ansätze zum gezielten automatisierten Einbringen der Endlosfasern:



Lokale Verstärkung mit Endlosfasern Einbringen von Endlosfasern entlang

der Hauptlastpfade im Bauteil



Faserwickeln als Fügeverfahren Fügen durch Wickeln von Endlosfasern





