



Professur Strukturleichtbau /Kunststoffverarbeitung

Lösungsmittelfreie PU-Mehrkomponenten Sprühtechnologie

**Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 24730 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von

Dipl.-Ing. Holger Seidlitz & Dipl.-Ing. Raymund Kreuziger

April 2008

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	8
2	Einleitung.....	9
3	Hauptteil	12
3.1	Recherche zum Stand der Technik	12
3.2	Ermittlung von Referenzwerten	14
3.2.1	Brandverhalten	14
3.2.2	Anteil und Orientierung der Verstärkung im Verbund.....	16
3.2.3	E-Modul und Zugfestigkeit.....	18
3.3	Analytische Ermittlung von Dimensionierungskennwerten	20
3.3.1	Mischungsregel.....	20
3.3.2	Erweiterte Mischungsregel	20
3.3.3	Wirrfaserverstärkte Einzelschicht	21
3.3.4	Gegenüberstellung berechneter und experimentell ermittelter E-Moduln.....	22
3.4	Untersuchungen zur Konfiguration einer CSM-Versuchsstrecke.....	23
3.5	Experimentelle Untersuchungen zum Mehrkomponentensprühen	31
3.6	Umsetzung der Versuchskomponenten	34
3.7	Analyse erreichbarer Produktmerkmale	34
3.8	Bauteilprüfung Handlaminat/ CSM-Bauteil.....	36
3.9	Ableitung eines neuen Bauteilaufbaus	38
3.9.1	Werkstoffmodifikation	38
3.9.2	Integration von Kraftleitungselementen	39
3.9.3	Schlussfolgerungen für die Gestaltung von CSM-Werkzeugen und –Bauteilen.....	43
3.10	Untersuchungen zum Oberflächenfinish	45
3.10.1	Gelcoat-Technologie.....	45
3.10.2	Lackieren	47
3.11	Entwicklung einer serientauglichen Fertigungsstrategie	49
3.12	Diskussion der Ergebnisse	52
3.13	Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse.....	52
4	Fazit.....	54
5	Anhang.....	58
6	Literaturverzeichnis	71

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: Prinzipdarstellung Handlaminiere.....	12
Abb. 3-2: Produktbeispiele aus den Pilotserien [4]	13
Abb. 3-3: pultrudierte UP-Prüfkörper	15
Abb. 3-4: B2-Prüfung: Schadensbild Multitec® [7]	16
Abb. 3-5: Faservolumengehalte von Multitec® und UP-Wirrfaserlaminat	17
Abb. 3-6: Probenentnahme zur Bestimmung der Faserorientierung.....	18
Abb. 3-7: Zugfestigkeiten der entnommenen Proben (vgl. Abb. 3-5).....	18
Abb. 3-8: Zugfestigkeit von Multitec® und UP-Wirrfaserlaminat	19
Abb. 3-9: E-Modul von Multitec® und UP-Wirrfaserlaminat	19
Abb. 3-10: Mischkopf Unipre GSP 35 und Zubehör [10].....	23
Abb. 3-11: Unipre Cutter-Glasfaserschneideinrichtung [10].....	24
Abb. 3-12: Mischkopf MN10-4 [16]	24
Abb. 3-13: CAD-Modell Schneidwerk [17] Abb. 3-14: FPL-Mischkopf [17].....	25
Abb. 3-15: Outer Wet Technology Arbeitsplatz [17].....	26
Abb. 3-16: 6-Achs Kuka-Standroboter [18]	26
Abb. 3-17: 6-Achs Kuka-Roboter mit Lineareinheit [18].....	27
Abb. 3-18: Diamant-verzahnter Hartmetallfräser	27
Abb. 3-19: Wasserstrahlschneiden	28
Abb. 3-20: CO ₂ -Laser [19]	29
Abb. 3-21: CAD-Modell Heckabdeckung [9]	31
Abb. 3-22: Versuchswerkzeug	31
Abb. 3-23: Detailansicht Heckabdeckung-Verstärkungsrippe und Lufteinlassöffnung	32
Abb. 3-24: CSM-Mischkopf montiert an Roboterarm [14]	32
Abb. 3-25: Cutter Glasfaserschneideinrichtung [14]	33
Abb. 3-26: 4-K-Anlage zur Bereitstellung der Multitec®-Komponenten [14]	33
Abb. 3-27: CSM-Heckabdeckung	34
Abb. 3-28: gesprühte Rippen.....	34
Abb. 3-29: Lufteinlassöffnungen	35
Abb. 3-30: Rückseite der Lufteinlassöffnung	35
Abb. 3-31: Seitenansicht Haube-Probenentnahme aus den Stehwänden.....	36
Abb. 3-32: Zugfestigkeiten aus Bauteilprüfung	36
Abb. 3-33: E-Moduln aus Bauteilprüfung	37
Abb. 3-34: Faservolumina aus Bauteilprüfung	37
Abb. 3-35: CAD-Modell Heckabdeckung	38
Abb. 3-36: Querschnitt des modifizierten Werkstoffs für die Stehwände	38
Abb. 3-37: Multitec®-Sandwich Plattenmaterial	39
Abb. 3-38: Biege E-Modul der geprüften Werkstoffe	39
Abb. 3-35: Fixierung des Inserts durch Elektromagneten.....	40
Abb. 3-36: Fixierung des Inserts durch Fixierhilfen.....	40
Abb. 3-37: Inserts einkleben	40

Abb. 3-38: Einbauwerkzeug /BÖLLHOFF QUICKSERT®/	42
Abb. 3-39: Expansionseinsatz /BÖLLHOFF QUICKSERT®/	42
Abb. 3-40: selbstschneidende Gewindebuchse /BÖLLHOFF GmbH/.....	42
Abb. 3-41: Prinzip drehbare Lagerung des Werkzeugs	43
Abb. 3-42: Abgleiten von Multitec® während der Formteifüllung	44
Abb. 3-43: schematische Darstellung des Werkzeugrandes	44
Abb. 3-41: 2K-Dosieranlage[12]	47
Abb. 3-42: Lotusblüteneffekt an einer behandelten Glasscheibe.....	48
Abb. 3-47: Rundtischanlage [20]	49
Abb. 3-48: Anordnung der Anlagenkomponenten.....	50
Abb. 4-1: Mikroskopaufnahme der Bruchfläche von faserverstärktem Multitec®	55
Abb. 4-2: Faserverbund unter axialer Belastung mit Zug- und Scherspannung [15]	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Übersicht der Werkstoffe	14
Tabelle 3-2: Baustoffklassen	14
Tabelle 3-3: Berechnete E-Moduln für Multitec®	22
Tabelle 3-4: Bewertungskriterien zur Verfahrensauswahl	30
Tabelle 3-5: Parameter für die Herstellung der Heckabdeckung	33

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
FKV	Faser-Kunststoff-Verbund
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
UP	ungesättigte Polyester
CSM	Composite-Spray-Moulding
PUR	Polyurethan
MDI	Diphenylmethandiisocyanat
PMDI	Polymeres Diphenylmethandiisocyanat
TDI)	Toluylendiisocyanat
NDI	Naphtylendiisocyanat
HDI	Hexamethylendiisocyanat
IPDI	Isophorondiisocyanat
E-Glas	Electric-Glas (Standardglasfaser)
EP	Epoxidharz
UTECH	Kunststoffmesse in Europa
IMK	Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik
4-K	vier Komponenten
2-K	zwei Komponenten
HVLP	High Volume Low Pressure
P-ES	parallelfaserverstärkte Einzelschicht
W-ES	wirrfaserverstärkte Einzelschicht
CNC	Computerized Numerical Control
PKD	polykristalliner Diamant
CO ₂	Kohlendioxid
DB	Deckungsbeitrag
HMVA	Hausmüll-Verbrennungsanlagen
RIM	Reaction-Injection-Moulding

Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
ρ	kg/m^3	Dichte
ρ_v	kg/m^3	Dichte des Verbundes
ρ_m	kg/m^3	Dichte der Matrix
d	m	Durchmesser
r	m	Radius
l	m	Länge
l_c	m	kritische Faserlänge
l_{krit}	m	kritische Länge
$l_{\text{Überstand}}$	m	überstehende Länge
Tt_g	tex	Garnfeinheit
m_0	kg	Leermasse
m_1	kg	Masse 1
m_2	kg	Masse 2
ψ	-	Fasergewichtsanteil
φ	-	Faservolumengehalt
E	MPa	Elastizitätsmodul
G	MPa	Schubmodul
ν	-	Querkontraktionszahl
ν_f	-	Querkontraktionszahl der Faser
ν_m	-	Querkontraktionszahl der Matrix
R_m	MPa	Zugfestigkeit
σ_F	MPa	Zugspannung in der Faser
τ_{FM}	MPa	Scherfestigkeit der Faser-Matrix Grenzfläche
σ_F^{ZF}	MPa	Zugfestigkeit der Faser
E_f	MPa	Elastizitätsmodul der Faser
E_m	MPa	Elastizitätsmodul des Matrixwerkstoffs
η_k	-	Krenchelfaktor
α	°	Winkel
E_{11}	MPa	Elastizitätsmodul in Faserrichtung
K	MPa	Kompressionsmodul
ν_{21}	-	Querkontraktionszahl in 2 bei Zug in 1
G_{12}	MPa	Schubmodul in der 1-2-Ebene
G_{23}	MPa	Schubmodul in der 2-3-Ebene

1 Zusammenfassung

Das Composite-Spray-Moulding (CSM)-Verfahren mit BAYER Multitec[®] stellt eine gänzlich neue Technologie zur Herstellung großflächiger FKV-Strukturbauteile dar und gilt somit als Alternative zum konventionellen Handlaminier- und Fasersprühverfahren mit styrolhaltigen Polyesterharzen. Im Rahmen des Projektes wurde eine umfangreiche Charakterisierung des völlig neuartigen Werkstoffsystems durchgeführt. Verglichen wurde das Leistungsspektrum von im Handlaminier- und im CSM-Verfahren hergestellten Bauteilen. Hierbei fanden Untersuchungen zum Brandverhalten, Bestimmung des Anteils und der Orientierung von Verstärkungsfasern im Verbund, Versuche zur Bestimmung von mechanischen Kennwerten, Untersuchungen zur Installation einer CSM-Versuchsstrecke sowie Untersuchungen zur Berechnung von CSM-Strukturen statt. Ebenfalls erfolgte die Erprobung der CSM-Technologie an einem realen Versuchswerkzeug. Im Rahmen des Förderprojektes konnte gezeigt werden wie sich mechanische Kennwerte für die Dimensionierung und Auslegung von CSM-Verbundbauteilen aus glasfaserverstärktem Multitec[®] im Vorfeld bestimmen lassen. Ausführlich wird dargestellt, wie die erforderlichen Eingangsgrößen zur Berechnung, wie z. B. E-Modul und Faservolumengehalt unter definierten Bedingungen im Zug- und Veraschungsversuch ermittelt werden. Als kritisch zu betrachten sind die ermittelten Zugfestigkeiten, E-Moduln und Faservolumengehalte. Sie sind um ein Vielfaches geringer als die Kennwerte der ebenfalls geprüften handlaminieren UP-Wirrfaserproben. Grund hierfür sind die geringen Faservolumengehalte von ca. 3%. Diese stehen in großem Konflikt mit denen der Herstellerangaben mit 20% [5]. Die bei der Erprobung der CSM-Technologie durchgeführten Sprühversuche an einem realen Versuchswerkzeug mit entsprechenden geometrischen Schwierigkeitsgraden zeigen das hohe Potential des Verfahrens hinsichtlich der generellen Abbildegengenauigkeit, aber auch Grenzen, wie der Abbildung von scharfen Ecken und Kanten auf. Aus den Sprühversuchen konnten Gestaltungsgrundlagen für CSM-Bauteile, wie die Integration von Krafteinleitungen mit metallischen Inserts in die Bauteilstruktur während und nach dem Fertigungsprozess, die fertigungsgerechte Bauteilrandausführung zur optimalen mechanischen Nacharbeitung sowie Aussagen zur fertigungskonformen Bauteilgestaltung im Hinblick auf Entformungs- und Bauteilschrägen getätigt werden. Weiterhin wurden Konzepte für eine effizientere Fertigung und Produktion, wie z. B. durch die drehbare Lagerung der Formenträger/Formwerkzeuge, aufgestellt, die in der anschließenden Gesamtkonzeption einer CSM-Anlage zur Fertigung der hergestellten Heckabdeckung berücksichtigt werden. Für das weitere Vorgehen empfiehlt sich die Modifikation bzw. Optimierung der CSM-Anlagentechnik zur Erzielung höherer Faservolumina und folglich höherer mechanischer Eigenschaften im Bauteil. Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in Kooperation mit der Technischen Universität Chemnitz/ Professur für Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung.

2 Einleitung

Ein wesentlicher Nachteil konventioneller Fertigungstechnologien zur Herstellung von großflächigen Strukturbauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen besteht in dem hohen manuellen Arbeitsanteil, der intensiven toxischen Belastung des Arbeitsumfelds durch giftige Styroldämpfe und den langen Prozesszeiten. Diese negativen Aspekte treten vor allem beim Handlaminieren und Faserspritzen mit ungesättigten Polyester-Harzen auf.

Als Alternative zum Handlaminieren und Faserspritzen mit UP-Harzen wird das Composite-Spray-Moulding-Verfahren mit Bayer Multitec[®] propagiert. Hierbei erfolgt der Aufbau der faserverstärkten Bauteilstruktur lösungsmittelfrei in einem offenen Formwerkzeug. Dadurch ergeben sich wesentliche ökologische und ökonomische Vorteile, resultierend aus deutlich kürzeren Fertigungszeiten, geringeren Investitions- und Betriebskosten sowie einer besseren Bauteilqualität durch die automatisierte und damit reproduzierbare Fertigung. Abgesehen von ersten Pilotversuchen ist das Verfahren noch nicht industriell etabliert. Umfangreicher Forschungsbedarf ergibt sich hinsichtlich der belastungskonformen Bauteilauslegung sowie zu technologischen Rahmenbedingungen und Verfahrensparametern für eine industrielle Serienfertigung. Zur Reduzierung von Materialkosten werden beim Faserspritz- und Handlaminierverfahren vorrangig ungesättigte Polyesterharze verwendet. Ihr Einsatz stellt bei der Verarbeitung eine starke physiologische Belastung des Arbeitsumfeldes, hervorgerufen durch die Emission von giftigen Styroldämpfen und Aerosolen, dar. GFK-verarbeitende Unternehmen sind an das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) gebunden. Das BImSchG ist ein „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen. „Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen“. Der Grenzwert für die zulässige Belastung von Styrol am Arbeitsplatz liegt nach dem BImSchG bei 20 ppm und kann bei offener handwerklicher UP-Verarbeitung, wie z. B. beim Handlaminieren und Faserspritzen, selten eingehalten werden. Besonders die Inhalation beim Handlaminieren und die Belastung der Hallenluft bei der Verarbeitung sind problematisch, denn auch die Aufnahme durch die Haut stellt eine Gefahr dar. Bei 10-minütigem Hautkontakt mit Styrol wird eine Menge absorbiert, die einer 8-stündigen inhalativen Belastung in Höhe des Grenzwertes entspricht. Styrol führt zu degenerativen und psychoorganisch relevanten Nervenerkrankungen, schädigt die Chromosomen und erhöht das Risiko, z.B. an Leukämie zu erkranken. Wesentlich größer wird das neurotoxische Risiko eingeschätzt, besonders für Augen und Ohren. Durch die Schädigung des Hormonsystems besteht die Gefahr, an "Parkinson" zu erkranken. Styrol verursacht eine Reizung der Augen, oberen Atemwege und zentralnervöse Störungen (Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerz, Konzentrationsschwäche). Der

unangenehme Geruch kann als Warnsignal dienen. Die Geruchsschwelle liegt bei 0,2 ppm [2]. Kunststoff-Formgeber, bzw. Laminierer und Kunststoffverarbeiter gehören demnach zu den am höchsten chemisch belasteten Berufen [1], [3].

Eine echte Alternative zum Handlaminieren und Faserspritzen stellt das Polyurethan-Composite Spray Moulding-Verfahren (CSM-Verfahren) dar, da es ohne den Einsatz toxischer Lösungsmittel, wie Styrol, auskommt. Somit kann bei Substitution des Handlaminier- und Faserspritzverfahrens durch das CSM-Verfahren die physiologische Belastung am Arbeitsplatz stark reduziert und die Produktivität der Arbeitskraft gesteigert werden. Darüber hinaus stellt das automatisierte CSM-Verfahren eine Fertigungsstrategie zur Herstellung hochwertiger und reproduzierbarer Strukturbauteile dar, die beim Handlaminier- und Faserspritzverfahren nicht gegeben ist. Abgesehen von ersten Pilotversuchen der Bayer MaterialScience hat sich das PUR-CSM-Verfahren bis jetzt noch nicht industriell etablieren können. Zur Verbesserung der Bedingungen am Arbeitsplatz und der sich aus dem neuen Werkstoffsystem ergebenden innovativen Potentiale gilt es die Anwendung der CSM-Technologie voran zu treiben.

Ein Hauptargument zur ökologischen Verifizierung des neuen Verfahrens besteht in der Einsparung von Lösungsmitteln, insbesondere Styrol, im Vergleich zum konventionellen Handlaminierprozess. Damit direkt verbunden ist eine Verbesserung des Arbeitsumfelds durch Eliminierung toxischer Dämpfe sowie eine entsprechende Reduzierung langer Reaktions- und Abluftzeiten. Eine weitere Energie- und Zeiteinsparung resultiert aus der entfallenden Nachtemperung und der vereinfachten Entformung nach nur wenigen Minuten Aushärtung. Durch einen insgesamt deutlich verkürzten Fertigungszyklus entsteht eine wesentlich verbesserte Zeit-, Kosten- und Energiebilanz.

Zusammengefasst ergeben sich folgende ökologische Ziele:

- Umweltentlastung durch Styrol- und lösungsmittelfreie Verarbeitung,
- Verbesserung des Arbeitsumfelds , Einschränkung gesundheitsschädigender Faktoren
- Senkung des Energiebedarfs und Verkürzung des gesamten Fertigungszyklus.

Neben den oben erwähnten ökologischen Zielen sollen folgende wirtschaftlichen Effekte erreicht werden:

- Substitution der Handlaminierung, Senkung manueller Arbeitsanteile, Erhöhung des Automatisierungsgrades für einen höheren Teiledurchsatz
- Entwicklung einer serientauglichen Fertigungsstrategie
- Schnelle, flexible und kostengünstige Bauteilherstellung
- Senkung der Fertigungskosten

- Entwicklung neuer Materialverbunde (variabler, applikationsgerechter Sandwichaufbau → Variation Verstärkungsfasern, geschäumte Schicht, Oberflächenfinish) → Ermittlung/ Zuordnung von Kennwertprofilen
- Analyse von Einsatzmöglichkeiten und –grenzen für höher belastete Bauteilstrukturen (Applikationsziel Fahrzeugtechnik)
- anforderungsgerechte, kundengerechte Bauteilauslegung
- Umsetzung von Referenzbauteilen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich zunächst mit der Ermittlung von materialtechnischen Parametern zur Charakterisierung des in der CSM-Technologie Anwendung findenden Werkstoffsystems. Geprüft wird, ob Herstellerangaben zur CSM-Technologie unter industriellen Bedingungen eingehalten werden können. Davon ausgehend werden geeignete Modelle zur theoretischen Ermittlung von Materialkennwerten validiert. Ferner werden Gestaltungsgrundlagen zur Konstruktion von CSM-Bauteilen abgeleitet. Dies beinhaltet die Erarbeitung und Diskussion von geeigneten Krafteinleitungskonzepten in die Struktur während und nach der Formgebung. Abschließend erfolgen die theoretische Konzeption zum Aufbau einer CSM-Versuchsstrecke sowie die ökologische und ökonomische Bewertung des Verfahrens.

3 Hauptteil

3.1 Recherche zum Stand der Technik

Faserverbundbauteile zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit und Steifigkeit bei vergleichsweise geringer Masse aus und werden daher besonders beim Windflügelbau, im Flugzeugbau und in der Verkehrstechnik eingesetzt. Darüber hinaus werden sie auch aus Gründen der Massereduzierung bei weniger belasteten Bauteilen verwendet (z.B. Ablagen im Fahrzeuginnenraum). Derzeit ist für Kleinserien die Handlaminieretechnik (vgl. Abb. 3-1) in der Herstellung von Faserverbundbauteilen am weitesten verbreitet. Das Tränken der Gelege mit dem duroplastischen Harzgemisch erfolgt in aufwendiger Handarbeit. Der Prozess ist durch das Freiwerden von Styroldämpfen bei der Reaktion von Härter und Harz gesundheitsschädlich, was den Einsatz einer Absaugeinrichtung notwendig macht. Rationalisierungen der Fertigung sind nur bei größeren Stückzahlen, im Bereich des Zuschnitts, der Gelegeherzeugung und Teilenachbearbeitung mit entsprechender Mehrachstechnik wirtschaftlich machbar. Ein weiteres Handicap ist der hohe Zeit- und Energieaufwand für die Nachtemperierung (mehrere Stunden im Heizofen bei 60-80°C), bevor ein ausgehärtetes Formteil entformt und weiterverarbeitet werden kann.



Abb. 3-1: Prinzipdarstellung Handlaminieren

Unter der Bezeichnung *MProTec* (Multitec Processing Technology) bietet Hennecke, eine Tochtergesellschaft der Bayer Material Science, seit Neuestem eine PUR-Sprühetechnik an. Dabei werden geschnittene Verstärkungsfasern (z.B. Glasfasern) zusammen mit dem PUR-Gemisch in eine offene Form eingetragen. Es können PUR-Hoch- und Niederdrucksprühanlagen, bei hohen Schnittgeschwindigkeiten auch Roboter zum Einsatz gebracht werden. Das reaktive Mehrkomponenten-PUR-Sprühsystem wurde speziell zur Herstellung von PUR-Formteilen entwickelt und besteht aus einem Isocyanat sowie jeweils aus einem schnell und einem langsam reagierenden Polyol (Reaktionsfähigkeit lt. Hersteller von 40 sek-3 min variierbar). Die Anteile sind variabel dosierbar. Es können verschiedene Additive oder geschnittene Verstärkungsfasern zudosiert werden. Im Gegensatz zu

glasfaserverstärkten (GFK)-Systemen auf der Basis von ungesättigten Polyestern (UP) und Epoxidharzen kommt das Verfahren ohne den Einsatz von Lösungsmitteln wie Styrol aus.

Der Auftrag des PUR-Gemisches erfolgt in mehreren Schichten *wet-in-wet*. Anschließend härtet das Rohstoffsystem in der offenen Form bei Raumtemperatur aus. Dabei ist nur eine Formenhälfte erforderlich, die wegen der geringen mechanischen und thermischen Belastungen aus einem Kunstharz bestehen kann. Verfahrensspezifische Merkmale bei der Verarbeitung von Multitec nach dem MProTec-Verfahren sind laut Hersteller Faserlängen von 5 bis 12,5 mm (Kurzfaserbereich 2-3 mm) bei Faseranteilen von 10 bis 25%. Dicken der Einzelschichten von <1 mm sind realisierbar [5]. Ein Anwendungsschwerpunkt ist die Substitution klassischer GFK-Formteile in Form von Fasersprühanwendungen. Weitere Einsatzbereiche sind Formteile mit höheren Ansprüchen an die Oberflächenqualität sowie Anbauteile im Landmaschinen- und Nutzfahrzeugbereich. In den Publikationen der Firmen Bayer bzw. Hennecke [4] wird auf Produktbeispiele aus dem Sanitärbereich (Abb. 3-2) sowie fahrzeugtechnisch auf Teile von Trikes (Abb. 3-2 rechts) verwiesen.



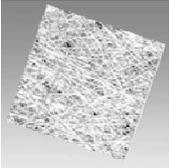
Abb. 3-2: Produktbeispiele aus den Pilotserien [4]

Die Publikationen, aus denen die Abbildungen zu Produktbeispielen bezogen wurden, beziehen sich auf Pilotprojekte, die teilweise noch in der Entwicklungsphase sind. Verfahren, Komponenten und Mischkopf werden durch Bayer bzw. Hennecke patentrechtlich geschützt, was den Forschungsinhalt jedoch nicht tangiert. Die Entwicklung konkreter produkt- und verfahrensbezogener Applikationen eröffnet umfangreichen Forschungsbedarf, der durch Unternehmen auf dem Faserverbundsektor getragen werden muss. Dies wird durch die Fa. Bayer ausdrücklich befürwortet.

3.2 Ermittlung von Referenzwerten

Nachfolgend werden erzielbare materialtechnische Kenngrößen der im Handlaminier- und PUR-CSM-Verfahren hergestellten Composites bestimmt, analysiert und gegenübergestellt. Grundlage der Untersuchungen bilden Handlaminare aus UP-Harz und Wirrfasermatten sowie von der Fa. BAYER zur Verfügung gestellte faserverstärkte Multitec[®]-Platten (Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Übersicht der Werkstoffe

	UP-Wirrfasermat	Multitec [®]
Herstellungstechnologie	Handlaminieren	PUR-Composite Spray Moulding
Matrixwerkstoff	Harz: ERPOL ER 603 Härter: MEKP Dichte $\rho = 1,22 \text{ g/cm}^3$	Isocyanat: Multitec VP.PU 10MT03 Polyol: VP.PU 20MT11 Dichte $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$
Verstärkungskomponente	Wirrfasermatte (E-Glas) <ul style="list-style-type: none"> • Flächengewicht: 300 g/m² • Schlichte: Silikon • Dichte $\rho = 2,54 \text{ g/cm}^3$ 	Roving (E-Glas) <ul style="list-style-type: none"> • Schlichte: Silikon • Feinheit: 2400 tex • Dichte $\rho = 2,54 \text{ g/cm}^3$ 

3.2.1 Brandverhalten

Baustoffe werden entsprechend ihres Brandverhalten in Baustoffklassen nach Tabelle 3-2 eingeteilt. Die Baustoffklasse wird auf Grundlage der Prüfungen nach DIN 4102-1 ermittelt.

Tabelle 3-2: Baustoffklassen

Baustoffklasse	Bauaufsichtliche Benennung
A A1 A1	nichtbrennbare Baustoffe
B B1 B2 B3	brennbare Baustoffe schwerentflammbare Baustoffe normalentflammbare Baustoffe leichtentflammbare Baustoffe

Die B2-Prüfung stellt die Beanspruchung einer Struktur durch eine kleine, definierte Flamme (Streichholzflamme) dar. Unter dieser Beanspruchung müssen die Entzündbarkeit und die Flammenausbreitung innerhalb einer bestimmten Zeit begrenzt sein. Die B2-Prüfung gilt als bestanden, wenn bei keiner von je 5 Proben bei Kantenbeflammung nach DIN 4102-1 Abschnitt 6.2.5.2 und gegebenenfalls

Flächenbeflammung nach DIN 4102-1 Abschnitt 6.2.5.3 die Flammenspitze die Messmarke vor Ende der 20. Sekunde erreicht. Eine Einteilung als normalentflammbarer Baustoff kann damit erfolgen. Die Prüfung erfolgt in einem Brennkasten und Brenner nach DIN 50050-1, sowie entsprechenden Vorrichtungen, die es gestatten die Flammenhöhe bei senkrechter Stellung der Düse einzustellen und den Brenner in waagerechter Richtung zu verschieben.

- Brandprüfung von GFK auf UP-Basis

Das Brandverhalten eines Composite-Bauteils wird im Wesentlichen durch die enthaltene Matrixkomponente dominiert. Bei ERPOL ER 603 handelt es sich um ein in Styrol gelöstes, niedrigviskoses, hochreaktives, ungesättigtes Polyesterharz auf Basis von Orthophthalsäure. Es wird vorwiegend beim Laminieren von glasfaserverstärkten Formstoffen, wie Fahrzeugteilen, Behältern, Platten und Trafostationen verwendet. Zum Brandverhalten nach DIN 4102-1 von ERPOL ER 603 wurden am Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik (IMK) der TU Chemnitz bereits Untersuchungen an pultrudierten GFK-Stäben durchgeführt. Aufgrund der kostenintensiven Versuchsdurchführung werden die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen der Diplomarbeit herangezogen. Wie aus Abbildung 3-3 ersichtlich wird, befindet sich der Flammenabdruck weit unterhalb der ersten Messmarke. Als Folge der geringen Flammenausbreitung während des Versuches können daher alle getesteten UP-Prüfkörper in die Baustoffklasse B2 eingeordnet und den an normalentflammbare Baustoffe gestellten Anforderungen gerecht werden.

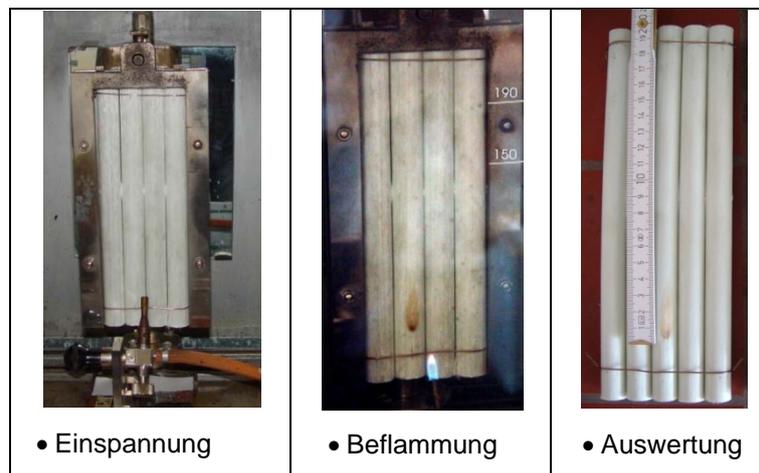


Abb. 3-3: pultrudierte UP-Prüfkörper

- Brandprüfung von GFK auf Multitec[®]-Basis

Die Bayer MaterialScience AG führte nach DIN 4102-1 ebenfalls Untersuchungen zum Brandverhalten von Multitec[®] durch. Getestet wurde Plattenmaterial (Abb. 3-4).



Abb. 3-4: B2-Prüfung: Schadensbild Multitec[®] [7]

Aus den Untersuchungen der Bayer MaterialScience AG geht hervor, dass die Anforderungen an die Baustoffklasse B2 nach DIN 4102-1 erfüllt werden. Der geprüfte Baustoff gilt als nicht brennend, abfallend oder abtropfend [7].

3.2.2 Anteil und Orientierung der Verstärkung im Verbund

Nahezu alle Eigenschaften der Faser-Kunststoff-Verbunde werden durch den Anteil der Verstärkungsfaser beeinflusst. Daher ist die Angabe des Fasergehaltes bei allen Meßergebnissen notwendig. Die Kenntnis über den Fasergehalt und die Verstärkungsrichtung sind Voraussetzungen für den Vergleich verschiedener Materialien und deren Dimensionierung.

- Bestimmung des Fasergehaltes

Zur Bestimmung des Gehaltes an nicht brennbaren, anorganischen Verstärkungsfasern, wie Glasfasern, dient die sog. Veraschungsmethode nach DIN EN ISO 1172. Die Werkstoffprobe wird in einen Tiegel gelegt, gewogen und danach in einen $625 \pm 20^\circ\text{C}$ vorgeheizten Muffelofen oder einen Mikrowellenverascher gesetzt und ca. eine halbe Stunde geglüht. Die organische Matrix verbrennt und vergast. Nach dem Erkalten des Tiegels im Exsikkator wird der Tiegel mit dem Rückstand wiederum gewogen. Damit liegen folgende Gewichte vor:

- m_0 – leerer Tiegel,
- m_1 – Tiegel mit Probe,
- m_2 – Tiegel mit Rückstand.

Der Rückstandsteil bzw. Fasergewichtsanteil oder Fasergehalt in Gewichtsanteilen errechnet sich aus:

$$\psi = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (3-1)$$

Für theoretische Betrachtungen und Berechnungen ist die Angabe des Fasergehaltes als Volumenanteil nützlicher:

$$\varphi = 1 - (1 - \psi) \cdot \frac{\rho_v}{\rho_m} \quad (3-2)$$

mit: ψ ...Fasergewichtsanteil
 ρ_v ...Dichte des Verbundes
 ρ_m ...Dichte der Matrix

In Abbildung 3-5 sind die Ergebnisse der nach DIN EN ISO 1172 durchgeführten Versuch zur Bestimmung des Glühverlustes dargestellt (vgl. Anhang 2).

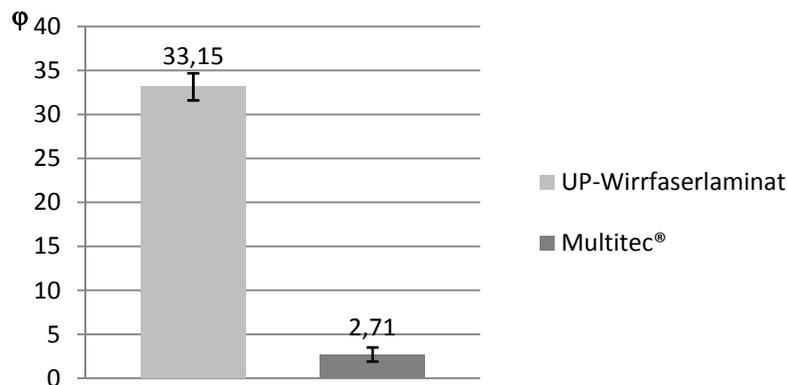


Abb. 3-5: Faservolumengehalte von Multitec® und UP-Wirrfaserlaminat

- Orientierung der Verstärkungsfasern

Zur Bestimmung der Orientierung der in der PUR-Matrix enthaltenen Verstärkungsfasern wurden entsprechende Proben aus dem Plattenmaterial getrennt und im Zugversuch nach DIN EN ISO 527 geprüft (vgl. Abb. 3-6).

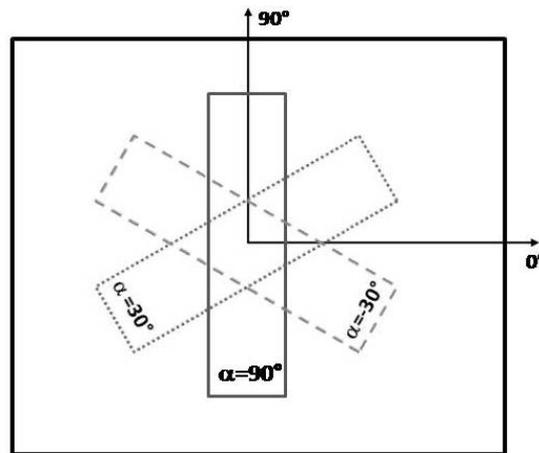


Abb. 3-6: Probenentnahme zur Bestimmung der Faserorientierung

Für die Multitec[®]-Platten konnten quasiisotrope Materialeigenschaften nachgewiesen werden. Diese lassen auf eine Normalverteilung der Verstärkungsfasern in alle Richtungen in der Bauteilebene schließen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3-7 dargestellt.

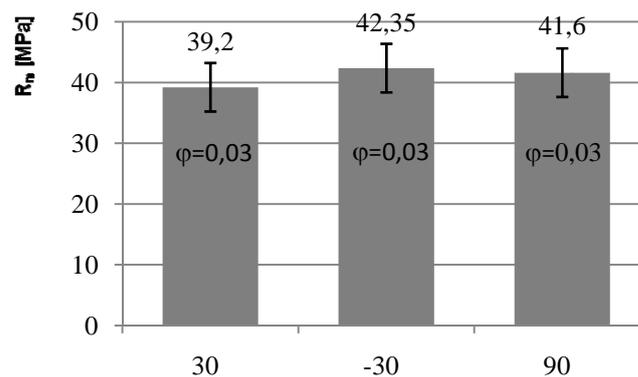


Abb. 3-7: Zugfestigkeiten der entnommenen Proben (vgl. Abb. 3-5)

3.2.3 E-Modul und Zugfestigkeit

Zur Quantifizierung der Zugfestigkeit und des Zug-Elastizitätsmoduls von UP-Wirrfaserlaminaten und Multitec[®] wurden nach DIN EN ISO 527 Zugversuche durchgeführt. Da in Kapitel 3.2.2 eine isotrope Orientierung der Fasern nachgewiesen werden konnte, wurden die Prüfkörper nach DIN EN ISO 527-4 gefertigt. Die ermittelten Zugfestigkeiten sind in Abbildung 3-8 dargestellt.

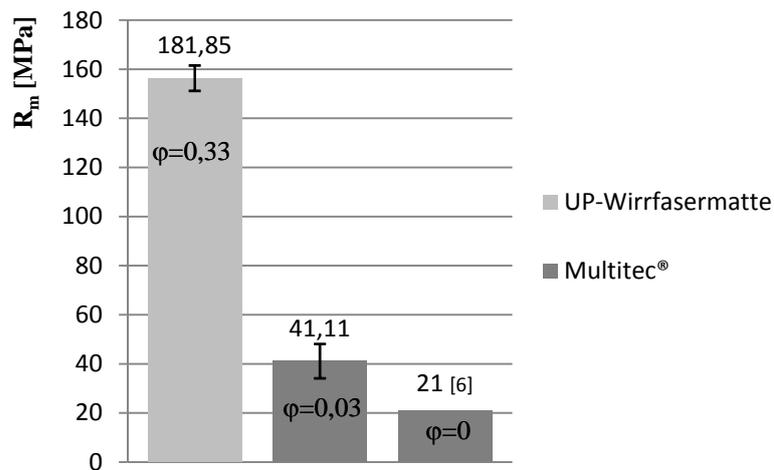


Abb. 3-8: Zugfestigkeit von Multitec® und UP-Wirrfasermatte

Für die Ermittlung des Zug-Elastizitätsmoduls wurden je fünf Proben mit einer Traversengeschwindigkeit von 2 mm/min geprüft (vgl. Abb. 3-8).

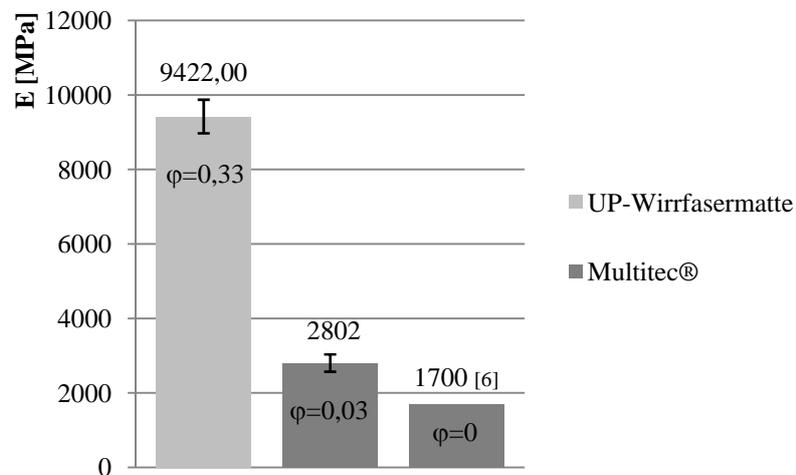


Abb. 3-9: E-Modul von Multitec® und UP-Wirrfasermatte

3.3 Analytische Ermittlung von Dimensionierungskennwerten

In Kapitel 3.2.2 konnte für Bayer Multitec® ein quasiisotropes Materialverhalten nachgewiesen werden. Gesprühte langglasfaserverstärkte Multitec®-Platten weisen wie Wirrfaser- bzw. Mattenlamine eine regellose bzw. in alle Richtungen der Ebene gleiche Faserorientierung auf. Eine derartige Verbundschicht kann daher als ein planar isotropes Kontinuum charakterisiert werden. Nachfolgend sollen verschiedene Ansätze zur numerischen Ermittlung von Dimensionierungskennwerten untersucht und mit den in Kapitel 3 experimentell ermittelten validiert werden.

3.3.1 Mischungsregel

Zur Bestimmung des E-Moduls kann die einfache Mischungsregel (auch Mischungsformel) für Faser-Kunststoff-Verbunde herangezogen werden (Gleichung 3-3). Die Beschreibung der Steifigkeit, charakterisiert durch den Elastizitätsmodul E , geht auf Arbeiten von Cox [15] für kontinuierlich und diskontinuierlich gerichtete Verbunde zurück.

$$E = \varphi \cdot E_f + (1 - \varphi) \cdot E_M \quad (3-3)$$

Der einfachen Mischungsregel liegen einige Annahmen zu Grunde: So wird ein Laminat mit Endlosfaserverstärkung, mit Fasern gleichen Durchmessers und gleicher Orientierung angenommen (unidirektionales Verhalten). Die Packung ist als quadratische Packung ausgebildet. Das bedeutet, dass jede Faser genau den gleichen Abstand in alle Richtungen zu den benachbarten Fasern hat [8], [15].

3.3.2 Erweiterte Mischungsregel

In der erweiterten Mischungsregel nach Krenchel werden die Hauptorientierungsrichtungen der Verstärkungsfasern in der Matrix mit dem sog. Krenchel-Faktor η_{kr} berücksichtigt [14]. Für die Hauptorientierungsrichtung von $\alpha=0^\circ$ nimmt der Krenchel-Faktor für den isotropen Fall den Wert $\eta_{kr}=0,375$ an. Er liegt zwischen $\eta_{kr}=1$ (unidirektionale Ausrichtung, Hauptorientierungsrichtung $\alpha=0^\circ$) und $\eta_{kr}=0$ (unidirektionale Ausrichtung, Hauptorientierungsrichtung $\alpha=90^\circ$). Der Krenchel-Faktor kann in die einfache Mischungsregel (Gleichung 5-1) eingeführt werden und ermöglicht es so, den E-Modul unter Berücksichtigung der Faserorientierung zu bestimmen (vgl. Gleichung 3-4).

$$E = \varphi \cdot \eta_{kr} \cdot E_f + (1 - \varphi) \cdot E_M \quad (3-4)$$

3.3.3 Wirrfaserverstärkte Einzelschicht

Ausgehend von den Werten E_{11} , K_{23} , ν_{21} , G_{12} und G_{23} , die mit Hilfe der mikromechanischen Formeln für die parallelfaserverstärkte Einzelschicht (P-ES) bestimmt werden, können die drei Elastizitätskonstanten für die wirrfaserverstärkte Einzelschicht (W-ES) ermittelt werden. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Faser isotrop und die Effekte der Faserlänge vernachlässigbar sind, weil angenommen wird, dass das l/d -Verhältnis der Fasern weit über 100 betragen soll [15].

- *Räumliche Anordnung der Fasern*

$$E = \frac{[E_{11}+4(1-\nu_{21})^2K_{23}][E_{11}+(1-2\nu_{21})^2K_{23}+6(G_{12}+G_{23})]}{3[2E_{11}+8\nu_{21}^2+12\nu_{21}+7]K_{23}+2(G_{12}+G_{23})} \quad (3-5)$$

$$\nu = \frac{E_{11}+2(2\nu_{21}^2+8\nu_{21}+3)K_{23}-4(G_{12}+G_{23})}{3[2E_{11}+(8\nu_{21}^2+12\nu_{21}+7)K_{23}+2(G_{12}+G_{23})]} \quad (3-6)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3-7)$$

Mit den Kennwerten der Ausgangsstoffe ergibt sich eine Näherung für den gesamten Bereich $0 < \varphi < 1$:

1. Fasern und Matrix inkompressibel $\nu_f = \nu_m = 0,5$

$$E = \frac{E_f \varphi}{5} + \frac{E_m}{5} \frac{(5+2\varphi+\varphi^2)E_f+(0,5+\varphi)(1-\varphi)E_m}{(1-\varphi)E_f+(1+\varphi)E_m} \quad (3-8)$$

$$G = \frac{G_f \varphi}{5} + \frac{G_m}{5} \frac{(5+2\varphi+\varphi^2)G_f+(5+\varphi)(1-\varphi)G_m}{(1-\varphi)G_f+(1+\varphi)G_m} \quad (3-9)$$

2. Näherung mit $\nu_f = \nu_m = 0,25$

$$E = \frac{E_f \varphi}{6} + \frac{E_m}{1-\varphi} \left(1 + \frac{1}{4} \varphi + \frac{1}{4} \varphi^2 \right) \quad (3-10)$$

G entsprechend wie in 1. Gezeigt

- *Moduln für eine zweidimensionale Verteilung der Fasern*

Auch für den zweidimensionalen Fall gibt es Näherungen unter nur Verwendung von Kennwerten der Ausgangsstoffe Faser und Matrix im gesamten Bereich $0 < \varphi < 1$:

1. Fasern und Matrix inkompressibel $\nu_f = \nu_m = 0,5$

$$E = \frac{1}{3} \varphi E_f + \frac{1}{3} (1 - \varphi) E_m + \frac{19}{27} E_m \frac{(1+\varphi)E_f + (1-\varphi)E_m}{(1-\varphi)E_f + (1+\varphi)E_m} \quad (3-11)$$

G ergibt sich wenn statt E_f und E_m G_f und G_m eingesetzt werden.

2. Näherung mit $\nu_f = \nu_m = 0,25$

$$E = \frac{1}{3} \varphi E_f + \frac{1}{270} E_m \frac{272 - 41\varphi + 90\varphi^2}{1 - \varphi} \quad (3-12)$$

3.3.4 Gegenüberstellung berechneter und experimentell ermittelter E-Moduln

In Tabelle 3-3 sind die nach Kapitel 3.3.1 bis 3.3.3 berechneten E-Moduln dargestellt. Vergleicht man den im Zugversuch ermittelten E-Modul mit den berechneten wird ersichtlich, dass der Berechnungsansatz aus Kapitel 3.3.3 „Moduln für eine zweidimensionale Verteilung der Fasern ($\nu_f = \nu_m = 0,25$)“ das mechanische Verhalten des untersuchten faserverstärkten Multitec[®] am besten widerspiegelt. Die größten Abweichungen zu dem im Versuch ermittelten E-Modul zeigen die Mischungsregel sowie die erweiterte Mischungsregel. Für Dimensionierungs- und Auslegungsaufgaben von Bauteilen, die im CSM-Verfahren mit Multitec[®] hergestellt werden, empfiehlt sich daher die Anwendung dieses Ansatzes.

Tabelle 3-3: Berechnete E-Moduln für Multitec[®]

	E-Modul [MPa]
Zugversuch nach DIN EN ISO 527	2802
Mischungsregel	4139
Erweiterte Mischungsregel nach Krenchel ($\eta_k = 0,375$)	1755
Wirrfaserverstärkte Einzelschicht 3D ($\nu_f = \nu_m = 0,5$)	2286
Wirrfaserverstärkte Einzelschicht 3D ($\nu_f = \nu_m = 0,25$)	2238
Wirrfaserverstärkte Einzelschicht 2D ($\nu_f = \nu_m = 0,5$)	2605
Wirrfaserverstärkte Einzelschicht 2D ($\nu_f = \nu_m = 0,25$)	2635

3.4 Untersuchungen zur Konfiguration einer CSM-Versuchsstrecke

CSM-Anlagen zur Herstellung von Formteilen und Beschichtungen aus Multitec[®] bestehen aus 4-Komponenten Dosiermaschinen, einem Glasschneidegerät sowie einem entsprechenden Mischkopf zur Homogenisierung der Multitec[®]-Komponenten und Glasfasern. Je nach der Beschaffenheit und der herzustellenden Stückzahl an Artikeln und Beschichtungen bietet sich der Einsatz eines Roboters an, der neben vielen weiteren Vorteilen eine hohe Reproduzierbarkeit ermöglicht.

- Hochdruckmaschinenteknik

Die Recherche zeigt, dass folgende Hersteller von geeigneten Multitec[®]-fähigen Dosiermaschinen im Hoch- und Niederdruckbereich am Markt vertreten sind:

- Hennecke GmbH
- Unipre GmbH
- Afros Cannon S.p.A.
- Cannon Deutschland GmbH
- KraussMaffei Kunststofftechnik GmbH

- Mischkopftechnik

Die nachfolgend aufgeführten Hersteller von Misch- und Sprühkopftechnik produzieren geeignete Komponenten.

1. Unipre GmbH

Die Fa. UNIPRE verfügt über langjährige Erfahrung bei der Herstellung von Mischköpfen zum Sprühen von PUR mit Kurz- und Langglasfaserverstärkung. In Abbildung 3-10 ist ein erhältliches Mischkopfsystem mit Faserzuführung dargestellt.

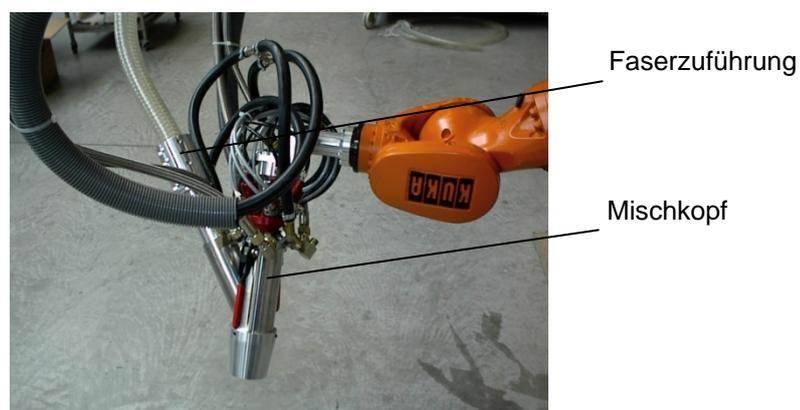


Abb. 3-10: Mischkopf Unipre GSP 35 und Zubehör [10]

Es handelt sich hierbei um den statischen Mischer GSP 35. Die Zuführung des geschnittenen Rovings erfolgt nach dem Injektorprinzip seitlich zum austretenden

Harzvolumenstrom. Dabei wird durch den Harzaustritt ein Unterdruck erzeugt, der die Glaserfaser mitreißt. Die Bereitstellung der Verstärkungskomponente erfolgt durch einen Cutter. Dieser ist an einem Roboterarm montiert (Abb. 3-11). Der Transport der Glasfaser vom Cutter zum Mischkopf erfolgt durch einen flexiblen Schlauch. Dem Cutter wird ein Roving von einer Spule zugeführt. Dieser wird durch den Cutter gebrochen bzw. auf Länge gehäckselt.

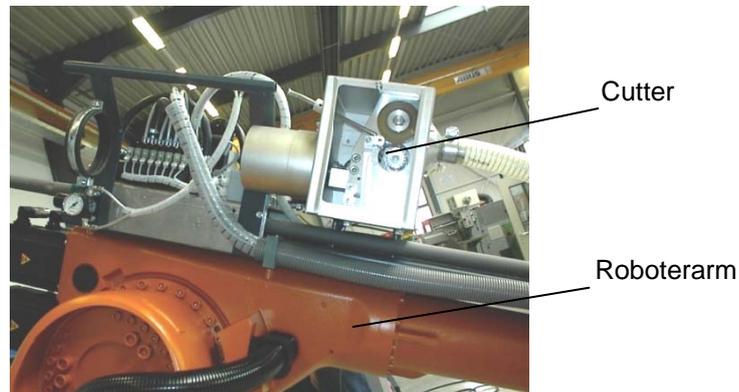


Abb. 3-11: Unipre Cutter-Glasfaserschneideinrichtung [10]

2. Hennecke GmbH

Die Zuführung der Verstärkungskomponente Glasfaser erfolgt bei dem Mischkopf der Fa. Hennecke ebenfalls nach dem beschriebenen Injektor- bzw. Bypassprinzip (Abb. 3-12).



Abb. 3-12: Mischkopf MN10-4 [16]

Für die Verarbeitung von abrasiven Füllstoffen wie Glas- und Mineralfasern, Glimmer, Gesteinsmehle, Kreide, Bariumsulfat oder Melamin zur Herstellung flammgeschützter Bauteile bietet Hennecke einen speziell gehärteten Mischkopf an. Der Transport sowie die Bereitstellung der Verstärkungskomponente erfolgt analog zur Technologie der Unipre GmbH (vgl. Abb. 3-10)

3. Cannon GmbH

Inter Wet Technology - Beimischung im Mischkopf

Cannon hat eine Methode zur Beimischung einer Vielzahl von Füllstoffen in PUR-Formulierungen innerhalb des Mischkopfes entwickelt und umgesetzt. Der innovative Aspekt dieser Technologie besteht in der Benetzung der Füllstoffe, die durch ein spezielles, patentiertes Co-Injektions-Konzept innerhalb des Mischkopfes realisiert wird. Feststoffe werden benetzt und homogen im PUR-Strom aufgelöst, daher der Name: InterWet (Internal Wetting = Interne Benetzung). Das Vermischungsprinzip basiert auf dem Cannon FPL Hochdruck-Mischkopf, der für diese Anwendung modifiziert wurde. Der „L-förmige“ Mischkopf arbeitet nach dem Umlenkprinzip. Eine Zuführeinrichtung im oberen Bereich des Mischkopfes ermöglicht die Zugabe einer Vielzahl von festen Füllstoffen: Glasfaser, Eisenpulver, mineralische Füllstoffe (expandiertes Kalziumkarbonat, Marmorpulver, Bariumsulfat, Sand). Während der Prozessüberwachung werden die Rohstoffe über Hochdruck in die Mischkammer eingespritzt. Gleichzeitig wird der feste Füllstoff (die Faser) über das ebenfalls oben im Mischkopf installierte, hydraulisch angetriebene Schneidwerk dosiert und mit Stützluft gefördert (Abb. 3-13 und 3-14). Eine aufwändige Prozessdatenüberwachung garantiert die Wiederholgenauigkeit und das korrekte Mischungsverhältnis der Komponenten [17].



Abb. 3-13: CAD-Modell Schneidwerk [17]



Abb. 3-14: FPL-Mischkopf [17]

Den Kernpunkt des Cannon Konzeptes stellt das Aufeinandertreffen der flüssigen PUR-Komponenten mit dem Feststoff unmittelbar am Ausgang der Mischkammer innerhalb des Auslaufrohres dar. Anschließend erfolgt der Materialeintrag in das Werkzeug. Somit wird die hohe kinetische Energie der unter Druck eingespritzten flüssigen Komponenten genutzt, um eine vollständige Vermischung und effiziente Lösung der Füllstoffe zu erreichen. Der Cannon FPL Hochdruckmischkopf zeichnet sich durch seine kompakte Bauform mit geringen Abmessungen und niedrigem Gewicht von 7 kg aus. Er eignet sich für den schnellen und präzisen PUR/Füllstoff-Gemischeintrag in das offene Werkzeug, insbesondere bei schnell reagierenden PUR-Systemen. Die Inter Wet Technology ist für die Verarbeitung von Fasern mit einer Länge von 5 bis 6 cm konzipiert.

Outer Wet Technology - Beimischung außerhalb des Mischkopfes

Weiterhin bietet Cannon die Outer Wet Technology an, bei der die Beimischung der Verstärkungskomponente außerhalb des Mischkopfes erfolgt. Diese entspricht dem gegenwärtigen Stand der Technik. Die Glasfaser wird extern durch ein Schneidwerk bereitgestellt und durch entsprechende Schläuche nach dem Injektorprinzip in den PUR-Strahl eingemischt. Die Outer Wet Technology ist für die Verarbeitung von Fasern mit einer Länge von 10 bis 12 mm konzipiert (Abb. 3-15) [17].



Abb. 3-15: Outer Wet Technology Arbeitsplatz [17]

- Portalroboter

Ein Industrieroboter ist eine universelle, programmierbare Maschine zur Handhabung, Montage oder Bearbeitung von Werkstücken. Diese Roboter sind für den Einsatz im industriellen Umfeld konzipiert. Die Maschine besteht im Allgemeinen aus dem Manipulator, der Steuerung und einem Effektor (Werkzeug, Greifer, etc.). Oft werden Roboter auch mit verschiedenen Sensoren ausgerüstet. Die programmierte Maschine ist in der Lage den Arbeitsablauf autonom durchzuführen oder die Ausführung der Aufgabe, abhängig von Sensorinformationen, in Grenzen zu variieren. Für den Sprühauftrag mit faserverstärktem Multitec[®] eignen sich speziell 6-Achs-Roboter mit 6 Rotationsachsen. In weiten Anwendungsfeldern haben sich die 6-Achs-Standroboter der Fa. Kuka durchgesetzt (Abb. 3-16).



Abb. 3-16: 6-Achs Kuka-Standroboter [18]

Mit derartigen Robotern ist es bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten möglich das PUR-System in kürzester Zeit in die Form einzubringen. Neben fest installierten Standrobotern können diese auch auf eine Linearführung montiert werden. Mit der

somit zusätzlich installierten Achse der Lineareinheit ist der Aktionsradius für den Sprühauftrag wesentlich erweiterbar.



Abb. 3-17: 6-Achs Kuka-Roboter mit Lineareinheit [18]

- Mechanische Nachbearbeitung

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit müssen CSM-Bauteile bereits in der Konstruktionsphase so konzipiert werden, dass die anschließende mechanische Nachbearbeitung auf ein Minimum reduziert wird bzw. die Nacharbeit mit konventionellen Maschinen gewährleistet werden kann. Bei einfachen Bauteilen genügt eine manuelle Besäumung der Randpartien. Das genaueste und aus der Sicht der Qualitätssicherung auch sicherste Verfahren ist die Nachbearbeitung auf CNC-Maschinen. Viele Formteile stellen sehr komplizierte Gebilde dar, daher empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit Hilfe solcher Maschinen kann ein hergestelltes Formteil so nachbearbeitet werden, dass es auf jeder Montagestraße ohne Anpassungsarbeiten eingebaut werden kann. Zum Abtrennen der Randpartien eignen sich verschiedene Technologien mit unterschiedlichen Wirkpaarungen auf die im Weiteren eingegangen werden soll.

1. Umrissfräsen

Die enorme Härte der in der Multitec[®]-Matrix eingebetteten Glasfasern führt während der spanenden Bearbeitung zu starkem Werkzeugverschleiß. Die eingesetzten Schneidwerkzeuge müssen daher einen hohen abrasiven Widerstand sowie eine hohe Zähigkeit aufweisen. Als Schneidstoff eignen sich Feinstkornhartmetalle der Gruppe K10, polykristalline Diamanten (PKD) oder Diamantbeschichtete Hartmetallwerkzeuge (Abb. 3-18). PKD-bestückte Frässwerkzeuge sind den Hartmetallfräsern bezüglich maximal erzielbarer Standzeiten und Oberflächenqualitäten deutlich überlegen, verursachen jedoch höhere Anschaffungskosten. Eine hohe Taktzeit kann durch Vorschubgeschwindigkeiten in Bereichen von 800 m/min und 1200 m/min, bei Drehzahlen zwischen 50.000 und 80.000 1/min erzielt werden.

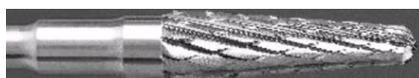


Abb. 3-18: Diamant-verzahnter Hartmetallfräser

2. Wasserstrahlschneiden

Eine Alternative zur spanenden Bearbeitung bildet das Schneiden mit dem Hochgeschwindigkeits-Wasserstrahl. Das Verfahren besitzt eine Reihe von Vorteilen, wobei insbesondere das Fehlen eines im Eingriff befindlichen und somit dem direktem Verschleiß ausgesetzten Werkzeuges hervorzuheben ist. Auf Grund der nahezu punktförmigen Wirkgeometrie weist dieses Verfahren keine Vorzugsrichtung auf; das der Strahl senkrecht zu seiner Achse in jeder Richtung gleiche Schneideigenschaften hat. Die Schnittfuge bildet sich nahezu symmetrisch mit qualitativ gleichen Schnittkanten aus, die prinzipbedingt eine leichte Konizität aufweist. Die mechanische Belastung der bearbeiteten Bauteile bleibt auf einem sehr niedrigen Niveau. Die entstehenden Abtragprodukte werden durch das Schneidwasser gebunden und mit diesem abgeführt. Mit gegenwärtig existierender Anlagentechnik werden dabei Drücke bis 400MPa bei Volumenströmen von bis zu 10l/min erzeugt (Abb. 3-19).

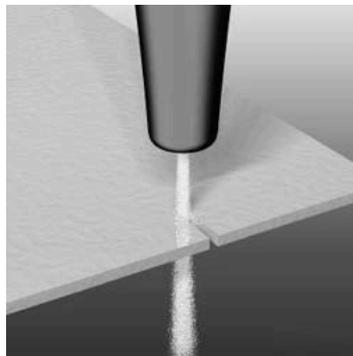


Abb. 3-19: Wasserstrahlschneiden

Ein Vorteil des Wasserstrahlschneidens gegenüber dem Laserschneiden oder Brennschneiden ist, dass das Material nur sehr gering erwärmt wird. Somit entsteht kein Verzug. Beim Wasserstrahlschneiden wird unterschieden in Abrassiv- und Reinwasserschneiden. Beim Reinwasserschneiden wird nur mit Wasser geschnitten, beim Abrassivschneiden wird zusätzlich ein feiner Quarzsand, Granat, Silikatschlacke oder Korund verwendet. Die bessere Trennwirkung des feststoffbeladenen Flüssigkeitsstrahls äußert sich in größeren Grenzschnitticken des Werkstoffs oder, bei gleicher Materialdicke, in einer um ein Vielfaches höheren Grenzvorschubgeschwindigkeit. Die mit dem Wasserabstrahl erzeugte Oberfläche ist durch eine wesentlich größere Gleichförmigkeit gekennzeichnet. Bei 40-fach höheren Vorschubgeschwindigkeiten weist die Schnittfläche weniger und kleinere Poren auf. Die aus der Harzmatrix herausgewaschenen Einzelfasern sind nicht erkennbar.

3. Laserstrahlschneiden

Für Faserkunststoffverbunde bietet sich das Laserstrahlschneiden besonders an, da der Schneidvorgang frei von mechanischen Kräften erfolgt. Die Schnittgeschwindigkeit und die Qualität des Schnittes werden dabei im Besonderen durch die Verfahrensparameter und die thermischen Eigenschaften des Werkstückes beeinflusst. Aufgrund der hohen mittleren Ausgangsleistung ist der CO₂-Laser der gebräuchlichste und wirtschaftlichste Laser für Trennvorgänge. Ein wesentliches Kennzeichen der Schnittflächenqualität beim Trennen von faserverstärkten Kunststoffen mittels CO₂-Hochleistungslasern stellt die Breite der thermischen Schädigung der Schnittflächenrandzone dar. Die lokal unterschiedliche thermische Schädigung der Randzone ist auf die verschiedenen thermophysikalischen Eigenschaften von Faser und Matrix zurückzuführen. Der Verbund weist im Bereich des Energieeintrages durch den Laser schlechtere mechanische Eigenschaften auf. Insbesondere in der Anschnittvergrößerung wird deutlich, dass sich keine homogene Schnittfront ausbildet. Auf Grund der geringeren Zersetzungstemperatur des PUR-Systems im Vergleich zur Glasfaser kommt es zum Austreten der Faser aus dem Matrixwerkstoff, da dieser zurückgedrängt wird.

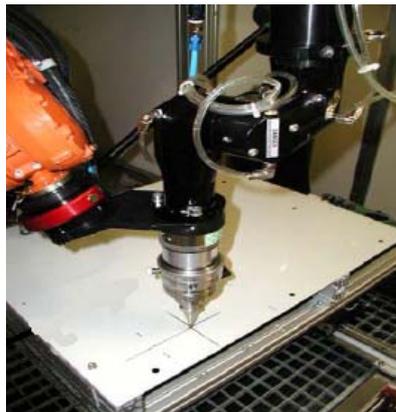


Abb. 3-20: CO₂-Laser [19]

4. Gegenüberstellung der Verfahren

Nach der Art der Bearbeitungsaufgabe haben auch Stoffeigenschaften und Aufbau der Werkstoffkomponenten einen entscheidenden Einfluss auf die Eignung der Bearbeitungsverfahren. Eine schematische Übersicht über weitere Beurteilungskriterien und Eignungsmerkmale ist in Tabelle 3-4 dargestellt. Neben Gesichtspunkten, die sich zum Großteil technologisch/wirtschaftlichen Maximen unterordnen lassen, wird auch die Umweltverträglichkeit des Verfahrens in den Vordergrund der anzustellenden Betrachtungen gerückt. In diesem Fall ist besonders den Emissionen von Schadstoffen und Geräuschen Rechnung zu tragen, die im Allgemeinen eine Kapselung des Prozesses erfordern und im Falle der Schadstoffentwicklung zusätzlich weitergehende Entsorgungsmaßnahmen nach sich ziehen (Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Bewertungskriterien zur Verfahrensauswahl

	Wasserstrahlschneiden	Laserstrahlschneiden	Umrissfräsen
mechanische Belastung	gering	sehr gering	mittel
thermische Belastung	sehr gering	sehr hoch	gering-mittel
Schadstoffentwicklung		sehr hoch (Rauch)	hoch (Staub)
Geräuschentwicklung	hoch	mittel	sehr hoch
Schnittfugenbreite	gering	gering	Werkzeugdurchmesser
Schnittfugenform	leicht konisch	leicht konisch	beliebig
Kleinster Inneneckenradius	0,05 mm	0,02 mm	Werkzeugradius
Symmetrie der Schnittkante	parallel zur Strahlrichtung	parallel zur Strahlrichtung	senkrecht zur Werkzeugachse
Werkzeugverschleiß	gering	sehr gering	mittel-hoch
Zugänglichkeit des Werkstücks	beidseitig	beidseitig	einseitig

3.5 Experimentelle Untersuchungen zum Mehrkomponentensprühen

Gegenstand der Untersuchungen ist die Abbildung eines großflächigen Strukturbauteils mit unterschiedlichen geometrischen Eigenschaften. Die Anforderungen die an die CSM-Fertigungstechnologie bezüglich einer genauen und reproduzierbaren Abbildung der Bauteilgeometrie gestellt werden, sind demnach sehr hoch (Abb. 3-21). Durch die Auswahl eines geometrisch anspruchsvollen Versuchswerkzeuges sollen Schwächen bzw. Vor- und Nachteile des CSM-Verfahrens während der Fertigung aufgezeigt werden.

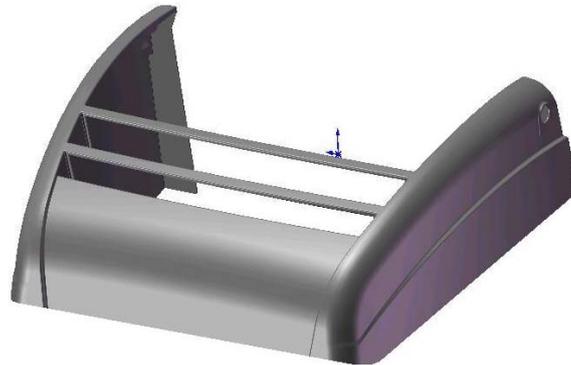


Abb. 3-21: CAD-Modell Heckabdeckung [9]

Bei dem Versuchswerkzeug handelt es sich um ein offenes einteiliges Werkzeug, das für Abformungen im Handlaminierverfahren konzipiert ist (Abb. 3-22). Es dient der Herstellung von Heckabdeckungen für Baumaschinen.



Abb. 3-22: Versuchswerkzeug

Das großflächige Strukturbauteil wird bisher im Handlaminierverfahren mit UP-Harz und Wirrfasermatte hergestellt. Mit dem Handlaminierverfahren ist es möglich das anspruchsvolle Design abzubilden. Bei der Formgebung stellen vor allem die Ausformungen der Lufteinlassöffnungen und Verstärkungsrippen kritische Bereiche dar (vgl. Abb. 3-23).

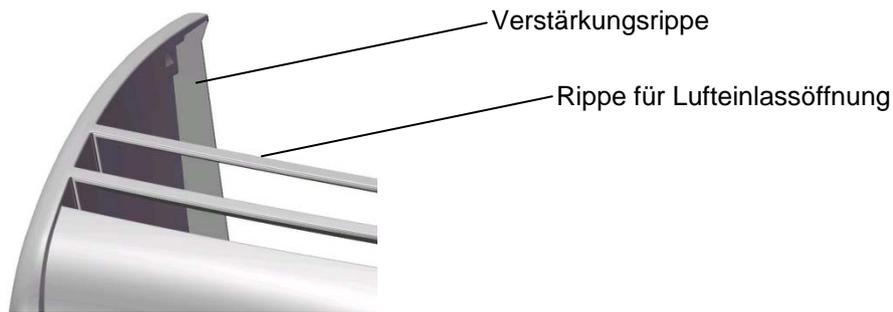


Abb. 3-23: Detailansicht Heckabdeckung-Verstärkungsrippe und Lufteinlassöffnung

Zur Erprobung der PUR-Composite Spray Moulding-Technologie unter industrienahen Bedingungen wurden Sprühversuche mit langglasfaserverstärktem Multitec[®] im Technikum der Bayer MaterialScience AG durchgeführt. Der Sprühauftrag erfolgte vollautomatisiert mit einem 6-Achs Gelenkroboter der Fa. KUKA (Abb. 3-24).

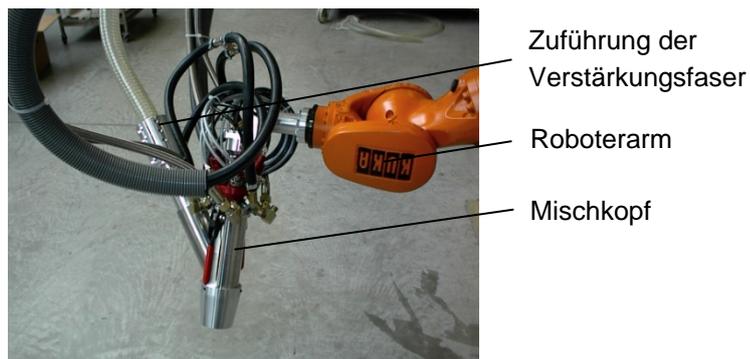


Abb. 3-24: CSM-Mischkopf montiert an Roboterarm [14]

An dem 6-Achs Gelenkroboter ist der dynamische Mischkopf GSP 35 der UNIPRE GmbH montiert. Die Verstärkungskomponente Glasfaser wird nach dem Injektorprinzip seitlich zur austretenden Matrixkomponente zugeführt (Abb. 3-24). Die Bereitstellung der Langglasfaser erfolgt durch einen Cutter. Dieser ist ebenfalls auf dem Roboterarm montiert (Abb. 3-25). Die Glasfasern werden vom Cutter zum Mischkopf durch einen flexiblen Schlauch transportiert (Abb. 3-25). Die Zuführung des Rovings zum Cutter erfolgt direkt von der Spule. Dabei wird dieser durch den Cutter eingezogen und auf eine gewählte Länge geschnitten.

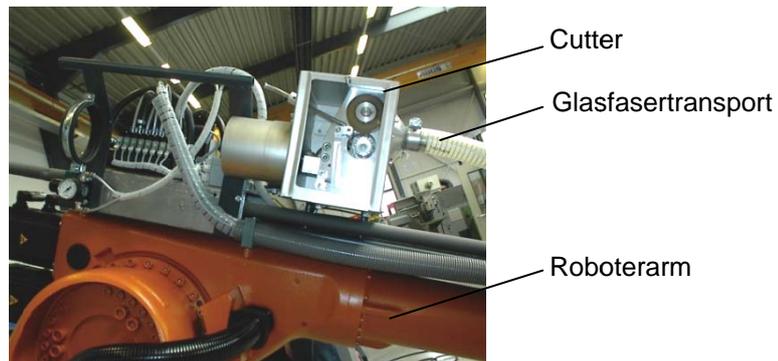


Abb. 3-25: Cutter Glasfaserschneideinrichtung [14]

Die Multitec[®]-Komponenten werden mit einer 4-komponentigen (4-K) Niederdruck Anlage der Fa. UNIPRE bereitgestellt (Abb. 3-26).



Abb. 3-26: 4-K-Anlage zur Bereitstellung der Multitec[®]-Komponenten [14]

Bei der Fertigung der Heckabdeckung werden für die Anlage folgende Parameter gewählt:

Tabelle 3-5: Parameter für die Herstellung der Heckabdeckung

Mischungsverhältnis VP.PU 20MT08/ 20MT11	70:30
Ausstoß	1,5 l/ min
Verstärkungsanteil	ca. 14%
Faserlänge	6 mm
Verarbeitungstemperatur	Raumtemperatur

3.6 Umsetzung der Versuchskomponenten

Mit der im Technikum der Bayer MaterialScience AG vorhandenen Verfahrenstechnik ist es möglich das Bauteil im beschriebenen Formwerkzeug herzustellen (Abb. 3-27). Die Eigenschaften der Bauteiloberfläche sind hochwertig und weisen keine Inhomogenitäten, Einfallstellen, Rauigkeiten oder Lufteinschlüsse auf. Für den Sprühvorgang mit Multitec[®] bis zur vollständigen Formfüllung werden 12 Minuten benötigt. Die Entformung des Bauteils aus dem Werkzeug erfolgt 30 Minuten nach Beginn der Fertigung.



Abb. 3-27: CSM-Heckabdeckung

3.7 Analyse erreichbarer Produktmerkmale

Auch die Abbildung von Ecken und komplizierten geometrischen Strukturen, wie der bereits beschriebenen Lufteinlassöffnung und Verrippung (vgl. Abb. 3-28, Abb. 3-29 und Abb. 3-30) gelingt. Das Material gleitet jedoch anfänglich an vertikalen Bauteilabschnitten ab.



Abb. 3-28: gesprühte Rippen

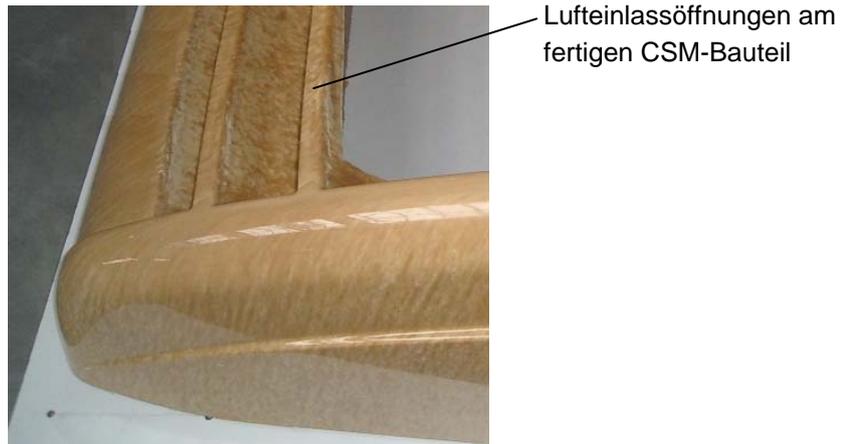


Abb. 3-29: Lufteinlassöffnungen

Als kritisch zu betrachten sind Materialanhäufungen an scharfen Ecken und Kanten, welche vor allem im Bereich der Lufteinlassöffnungen auftreten (Abb. 3-30). Diese stellen keine Schwächung des Bauteils dar, tragen aber dennoch zu einer unnötig erhöhten Masse der Struktur bei.



Abb. 3-30: Rückseite der Lufteinlassöffnung

3.8 Bauteilprüfung Handlaminat/ CSM-Bauteil

Für die Prüfung der gefertigten Bauteile wurden analog zu Kapitel 3.2 Zug- und Veraschungsversuche nach DIN EN ISO 527 bzw. DIN EN ISO 1172 zur Bestimmung der Zugfestigkeit, des E-Moduls sowie des Faservolumens durchgeführt. Hierzu wurden Prüfkörper aus den ebenen Abschnitten der Bauteilstruktur, den Stehwänden entnommen (Abb. 3-31).

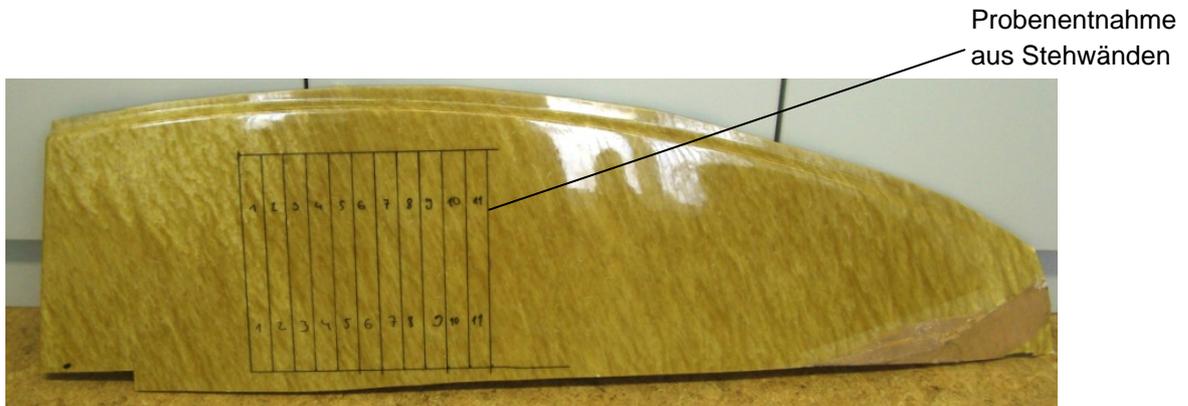


Abb. 3-31: Seitenansicht Haube-Probenentnahme aus den Stehwänden

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in den nachfolgenden Schaubildern dargestellt (Abb. 3-32, Abb. 3-33, Abb. 3-34).

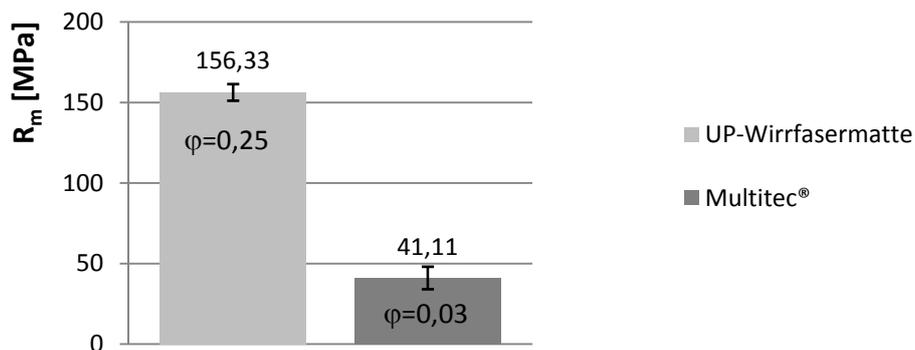


Abb. 3-32: Zugfestigkeiten aus Bauteilprüfung

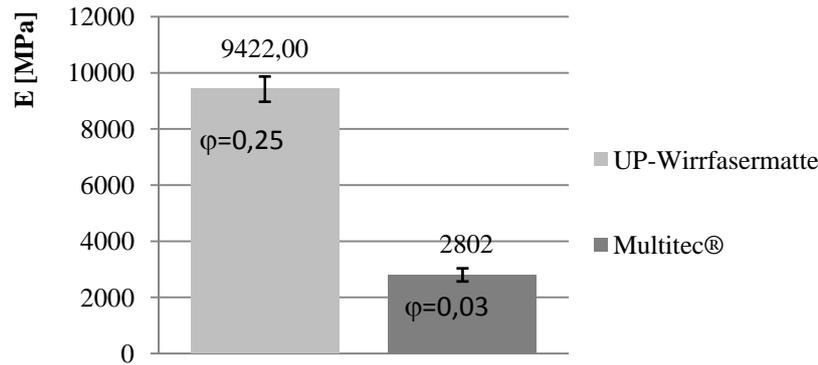


Abb. 3-33: E-Moduln aus Bauteilprüfung

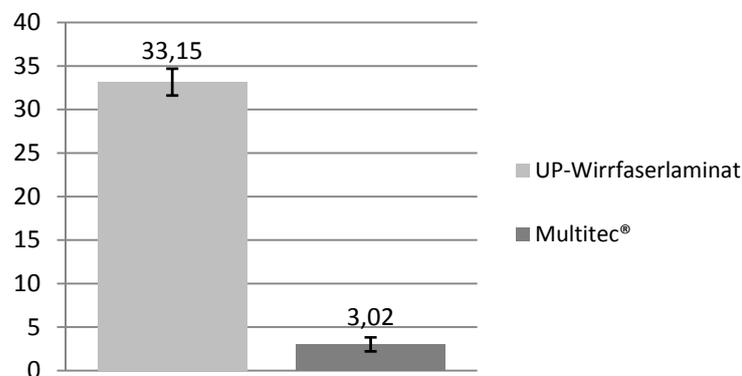


Abb. 3-34: Faservolumina aus Bauteilprüfung

Tendenziell zeigt sich, dass die mechanischen Kennwerte von UP-Wirrfaserlaminaten aus dem Produktionsprozess geringer sind als die von unter Laborbedingungen hergestellten (vgl. 3.2.3). Dies liegt in den fertigungstechnisch geringer erzielbaren Faservolumina begründet (vgl. Abb. 3-34 und Abb. 3-5). Weiterhin wird ersichtlich, dass die mechanischen Kennwerte und die erzielbaren Faservolumina von faserverstärktem Multitec® aus dem Produktionsprozess und Fertigung im Labormaßstab konstant sind (vgl. Abb. 3-34, Abb. 3-33, Abb. 3-32, Abb. 3-5, Abb. 3-8 und Abb. 3-9).

3.9 Ableitung eines neuen Bauteilaufbaus

3.9.1 Werkstoffmodifikation

Die in 3.6 und 3.7 dargestellte Heckabdeckung einer Baumaschine, die im Composite Spray Moulding-Verfahren hergestellt wurde (vgl. Abb. 3-27), weist bedingt durch die geringeren mechanischen Eigenschaften des Multitec[®]-Systems eine ebenfalls geringere bauteilbezogene Steifigkeit auf (vgl. Abb. 3-8, Abb. 3-8, Abb. 3-9). Dieser Sachverhalt erweist sich zunächst als ungünstig und lässt die Herstellung der Heckabdeckung aus faserverstärktem Multitec[®] als kritisch erscheinen. Durch konstruktive Maßnahmen bezüglich eines modifizierten Bauteilaufbaus lässt sich hierbei jedoch Abhilfe schaffen wenn Bauteilabschnitte mit dem Multitec[®]-System als Sandwich ausgeführt werden. Dies betrifft vor allem die vertikalen Stehwände der Haube (Abb. 3-35).

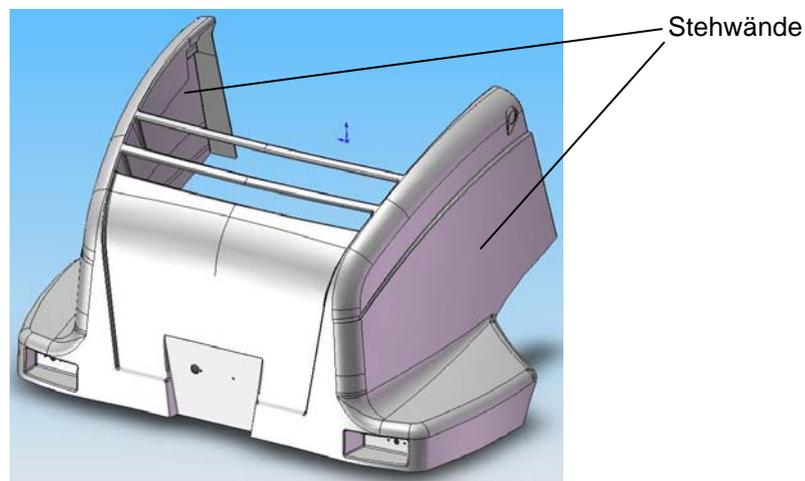


Abb. 3-35: CAD-Modell Heckabdeckung

Demnach sollten die Stehwände wie folgt aufgebaut werden:

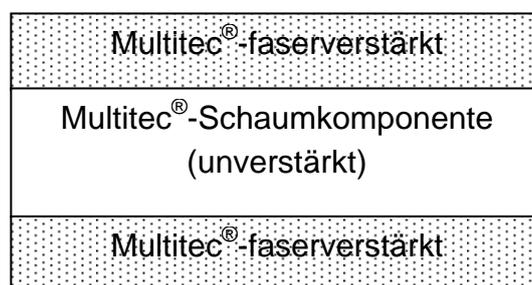


Abb. 3-36: Querschnitt des modifizierten Werkstoffs für die Stehwände

Zur Verifizierung der Problematik wurden Biegeversuche durchgeführt in denen der Biege E-Modul E_b bestimmt wurde. Untersucht wurden herkömmliches Multitec[®]-Plattenmaterial (vgl. Tabelle 3-1), gesprühtes Multitec[®]-Sandwichplattenmaterial (Abb. 3-37) sowie UP-Wirrfaserlaminat (vgl. Tabelle 3-1).



Abb. 3-37: Multitec®-Sandwich Plattenmaterial

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass mit der Ausführung der Stehwände aus Multitec®-Sandwichmaterial höhere Steifigkeiten erzielt werden können (Abb. 3-38).

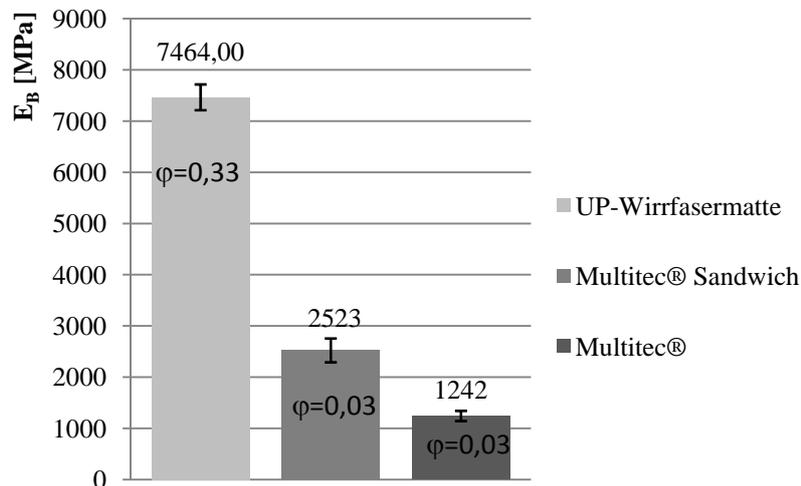


Abb. 3-38: Biege E-Modul der geprüften Werkstoffe

3.9.2 Integration von Kraffteitungselementen

Um ein Insert während des Sprühvorgangs einbauen zu können, bedarf es einer Fixierung des Kraffteitungselementes im Formwerkzeug. Hierfür bieten sich die nachfolgend beschriebenen Varianten an.

Elektromagnetische Fixierung

Das metallische Insert wird durch einen im Formwerkzeug integrierten Elektromagneten fixiert (Abb. 3-39).

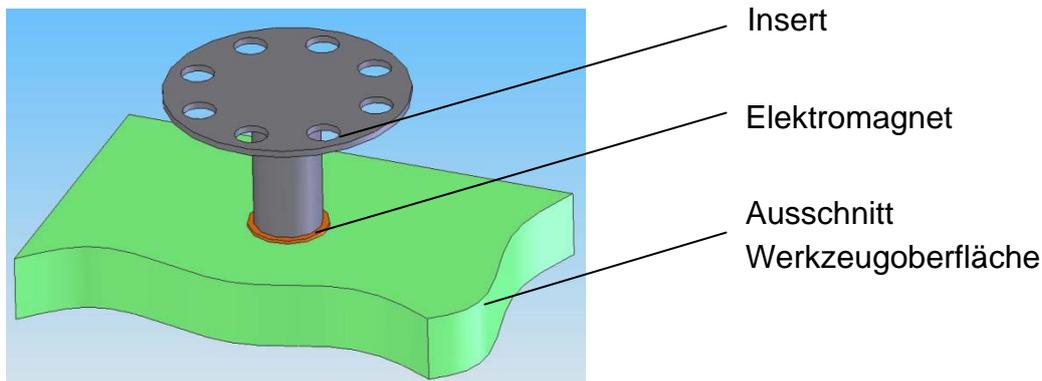


Abb. 3-39: Fixierung des Inserts durch Elektromagneten

Fixierhilfe im Werkzeug

Das Insert wird während des Sprühvorgangs durch eine aus der Werkzeugoberfläche hinausragende Fixierhilfe, beispielsweise durch einen Stift, getragen und somit gegen verrutschen gesichert (Abb. 3-40).

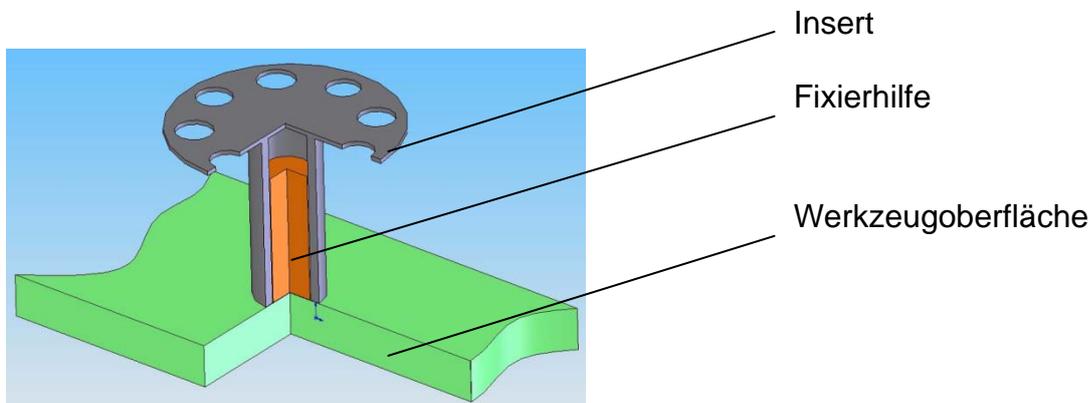


Abb. 3-40: Fixierung des Inserts durch Fixierhilfen

Soll aus optischen oder funktionstechnischen Gründen eine Durchgangsbohrung vermieden werden, bieten sich geklebte Inserts an. Diese werden in entsprechend, durch das Formwerkzeug generierte, Sacklöcher eingebracht und stellen somit stoffschlüssig wirkende Anbindungspunkte für spätere Fügeoperationen dar (Abb. 3-41).

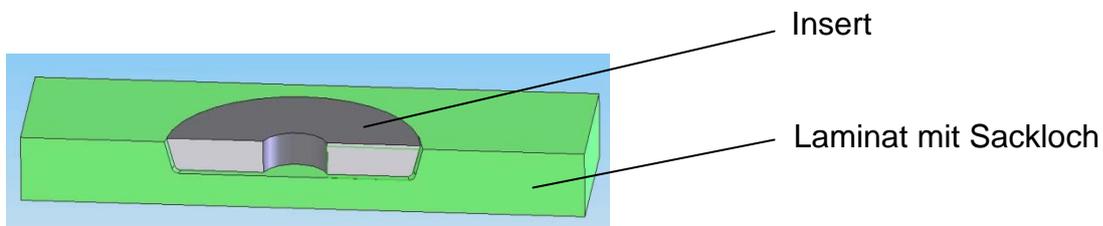


Abb. 3-41: Inserts einkleben

Je nach gefordertem Eigenschaftsprofil an die Krafteinleitungszone, können Inserts elastisch oder starr eingeklebt werden.

Für eine elastische Einbettung des Inserts durch eine Dickschichtklebung in das Laminat eignen sich 1-komponentige PUR-Klebstoffe wie die *Sikaflex*-Klebstoffe der Fa. SIKA. Mit Ihnen ist eine Funktionsintegration innerhalb der Krafterleitungszone durch das Insert möglich. Schwingungen können durch den zwischen Laminat und Insert befindlichen dauerelastischen PUR-Klebstoff gedämpft oder entkoppelt werden. Darüber hinaus können Wärmedehnungen und Fertigungstoleranzen ausgeglichen werden.

Anwendbar sind folgende Klebstoffapplikationen:

- Sikaflex®-254 Booster
- SikaFast®-5215
- SikaTack®-Plus Booster

Unabhängig von den werkstoffspezifischen Eigenschaften der Fügepartner müssen bei der Verarbeitung von Sika PUR-Klebstoffen Fügeflächen aktiviert und vorbehandelt werden, um eine optimale Adhäsion zwischen Klebstoff und Fügepartner zu gewährleisten. Dies beinhaltet das Anschleifen, Entfetten und Primern der Oberflächen. Im Weiteren muss darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Belüftung der Klebefuge gewährleistet wird, da zum Aushärten der Klebstoffe zu einem Elastomer Luftfeuchtigkeit benötigt wird. Andernfalls empfiehlt sich der Einsatz von entsprechenden Boostersystemen. Eine weitere Variante zum Kleben von Inserts in das PUR-Laminat stellt die Dünnschichttechnologie dar. Hierbei finden 2-komponentige Epoxy-Klebstoffe Anwendung.

Für die mechanische Befestigung von Inserts im Laminat werden derzeit die nachfolgenden Lösungen angeboten.

Expansionseinsatz

Der Expansionseinsatz wird auf den rotierenden Gewindedorn des Einbauwerkzeuges aufgespindelt und in die Aufnahmebohrung eingeführt (Abb. 3-42). Diese kann vorgeformt sein oder mit handelsüblichen Bohrern als Grund- oder Durchgangsloch geschaffen werden. Durch die axiale Zugbewegung des Gewindedorns schert der Expansionseinsatz in der Sollbruchstelle zwischen Verankerungshülse und Gewindebuchse ab. Letztere wird in die Verankerungshülse gezogen und weitet diese auf. Dabei wird der Kreuzrändel der Verankerungshülse in die Bohrungswandung gedrückt. Der Gewindeinsatz ist nunmehr verdreh- und auszugssicher verankert. (Abb. 3-43).



Abb. 3-42: Einbauwerkzeug BÖLLHOFF QUICKSERT® [11]



Abb. 3-43: Expansionseinsatz BÖLLHOFF QUICKSERT® [11]

Selbstschneidend

Mit einem selbstschneidenden Gewindeeinsatz ist es möglich, ein hochfestes Gewindeteil durch Eindrehen (rückdrehgesichert) in unterschiedlichen Schaumwerkstoffen, Holz, Polyolefine usw. einzubringen. Der Gewindeeinsatz wird nach dem Entformen des Bauteils eingedreht. Durch den sich radial vergrößernden Gewinde-Außendurchmesser formt sich dieser Gewindeeinsatz sein Aufnahmegewinde in der zylindrischen Bohrung des Bauteils. Der Gewindeversatz bewirkt eine Rückdrehsicherung und somit einen zuverlässigen Festsitz des Einsatzes (Abb. 3-44).



Abb. 3-44: selbstschneidende Gewindebuchse [11]

3.9.3 Schlussfolgerungen für die Gestaltung von CSM-Werkzeugen und – Bauteilen

- Drehbar gelagertes Werkzeug

Bei der Fertigung der Abdeckhaube ist der Werkzeugträger des Versuchswerkzeugs fest mit der Bodenplatte verankert. Diese Vorgehensweise führt zu einer mäßigen Zugänglichkeit des Mischkopfs an geometrisch komplizierten Stellen, wie scharfen Ecken und Kanten des Versuchswerkzeugs. Somit verzögert sich die Formfüllung unnötig bzw. kann nur erschwert realisiert werden. Abhilfe wird durch eine vertikale und horizontale drehbare Lagerung des Formträgers geschaffen (Abb. 3-41). Dies ermöglicht eine schnellere und vor allem effektivere Zustellung des CSM-Mischkopfes hin zum Formwerkzeug und trägt zur Reduzierung der Fertigungszeit bei.

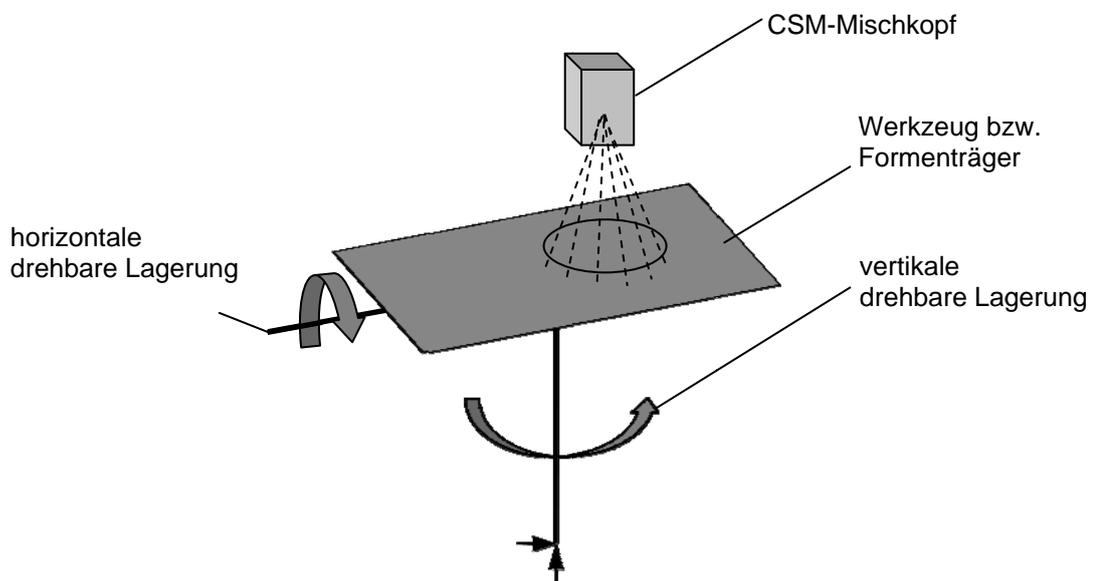


Abb. 3-45: Prinzip drehbare Lagerung des Werkzeugs

- Ausformwinkel

Bei der Fertigung der Heckabdeckung stellte sich die Ausbildung von scharfen Ecken und Kanten als problematisch dar. Zwar konnten diese zufriedenstellend abgebildet werden, jedoch nur unter vermehrtem Materialeinsatz, der wiederum zu Materialanhäufungen und folglich zu einer erhöhten Bauteilmasse führte. Anders als bei UP-Harzen lässt sich die Thixotropie des Multitec[®]-Systems nicht beeinflussen. Somit kommt es zum Abgleiten- bzw. Abfließen des noch nicht erhärteten Matrixwerkstoffes an starken Krümmungen und steilen Wänden im Formwerkzeug unmittelbar nach dem Sprühen (Abb. 3-42). Die Ausführung von vertikalen Abschnitten im Bauteil lässt sich nur unter Berücksichtigung eines Mindestausformwinkels realisieren. Dieser sollte mindestens 4° betragen [10].

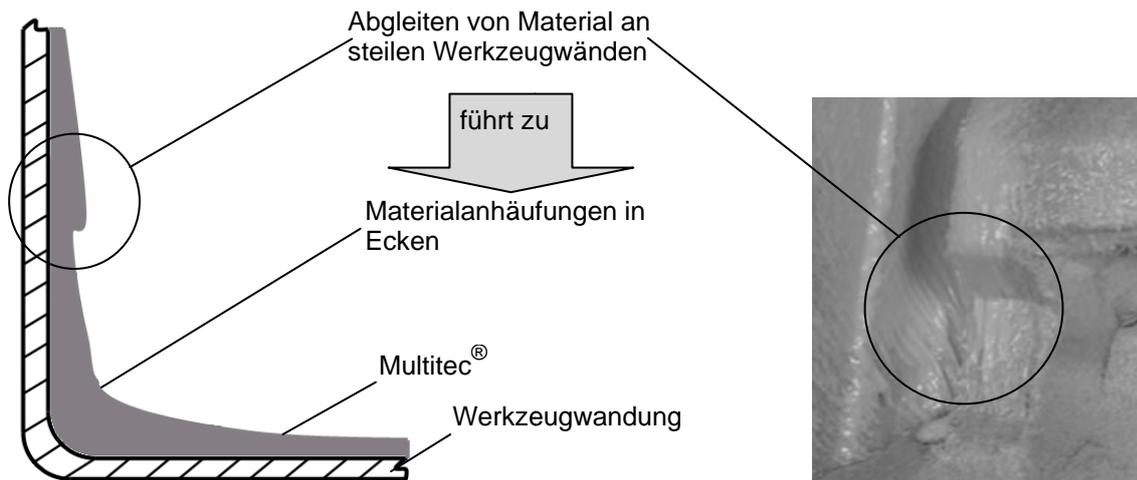


Abb. 3-46: Abgleiten von Multitec® während der Formteifüllung

- Randausführung

Bei der Konstruktion von CSM-Formwerkzeugen müssen ausreichende Überstände an den Randbereichen des späteren Formteils vorgesehen werden, da die Wanddicke des Formteils verfahrenstechnisch bedingt zum Werkzeugrand hin ausläuft. Nach dem Entformen der Struktur wird dieses Übermaß spanend nachgearbeitet bzw. abgetrennt. Dadurch lassen sich gleichmäßige Qualitäten und Wanddicken am Bauteilrand gewährleisten (Abb. 3-43).

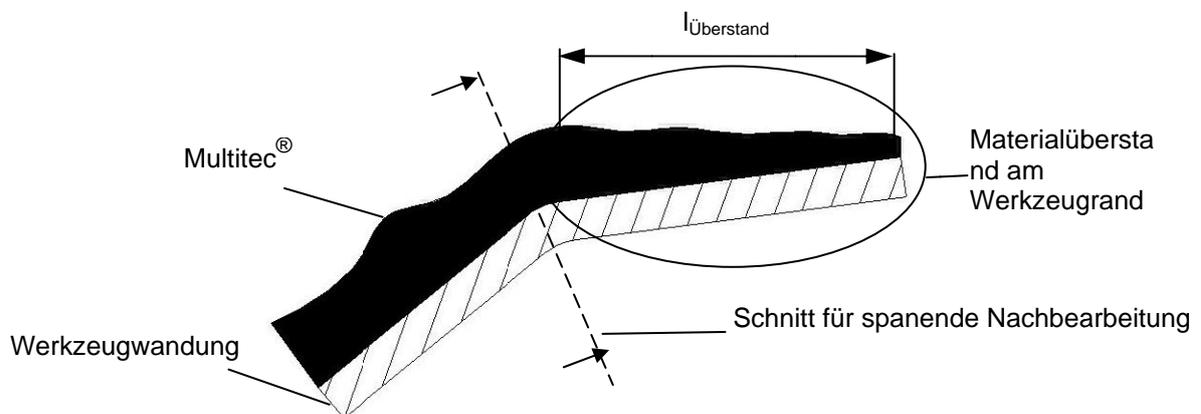


Abb. 3-47: schematische Darstellung des Werkzeugrandes

3.10 Untersuchungen zum Oberflächenfinish

3.10.1 Gelcoat-Technologie

Bei der Herstellung von FKV-Bauteilen, auf Basis der PUR-Sprühtechnologie, kann vor dem Prozess selbst ein Gelcoat in das Formwerkzeug eingebracht werden. Der Gelcoat wird direkt auf die Trennschicht, mit dem die Negativform behandelt wurde, aufgetragen. Dies kann entweder mit einem Pinsel, Rolle, oder mit einer Spritzpistole erfolgen. Nachdem die Gelcoat-Schicht in der Form ausgehärtet ist, wird mit der eigentlichen Herstellung des Formteils durch den Sprühvorgang begonnen.

Der Auftrag mittels Spritzapplikation kann durch unterschiedliche Verfahren bewerkstelligt werden. Alle haben gemeinsam, dass das Spritzen weitaus schneller von statten geht, als das Streichen des Gelcoats. Für das Spritzen gibt es bezüglich Viskosität und Entlüftung speziell optimierte Gelcoats. Durch das Spritzen trägt man sehr viel zusätzliche Luft in den Gelcoat ein.

Idealerweise trägt man den Gelcoat in zwei Schichten auf, wobei die erste Schicht ca. 200 µm betragen sollte. Dadurch wird eine gute Entlüftung gewährleistet. Die zweite Schicht wird nach ca. 2 min. auf die noch nicht gelierte erste Lage gespritzt und auf ca. 600 µm erhöht. Die Pistole wird während des Spritzens senkrecht zur Formoberfläche im Kreuzgang geführt, der Abstand beträgt hierbei ca. 0,5 m, abhängig von verwendetem Material und der Düsengröße. Anwendung finden Mitteldruck- oder HVLP- (High Volume, Low Pressure) Anlagen.

Die einfachste Art des Spritzauftrags ist die mittels Becherpistole (Polycon). Diese findet ihren Einsatz im Bereich kleiner Bauteile bei häufigem Farbwechsel. Vorteilhaft ist die Möglichkeit den Gelcoat mit Flitter oder Granulat zu verspritzen. Für die andere Art des Gelcoatspritzens wird eine maschinelle Ausrüstung benötigt. Hier unterscheidet man das Airlessverfahren und den Spritzauftrag mittels Innenmischung. Beide Verfahren eignen sich für eine kontinuierliche Serienfertigung und für große Teile.

Im Gegensatz zum konventionellen Lackieren der Bauteile nach dem Aushärten, stellt die Verwendung von Gelcoats eine wesentlich kostengünstigere und nicht zuletzt verarbeitungstechnisch effizientere Methode zur Gestaltung des Oberflächenfinish dar. Aufwendiges Aktivieren der Bauteiloberfläche durch Entfetten, Schleifen, Grundieren und der Lackiervorgang in einer staubfreien Umgebung entfallen. Für eine automatisierte Produktion mit einem Roboter empfiehlt sich der Auftrag des Gelcoats in das Formwerkzeug durch Aufsprühen. Somit können konstante Schichtdicken und eine gleichmäßige Benetzung der Form gewährleistet werden. Gegenwärtig sind folgende spritzfähige Multitec-kompatible PUR-Gelcoats verfügbar:

- *BÜFA GmbH* (www.buefa.de)
- *Bergolin GmbH* (www.bergolin.de)
- *Relius Coating GmbH & Co.* (www.relius.de)
- *Emil Frei GmbH & Co.* (www.freilacke.de)
- *Harzlack Ltd.* (www.harzlack.de)

Bis auf farblose Gelcoats und Gelcoats mit Metalleffekt sind nahezu alle Farbnuancen herstellbar und erhältlich. Weitere Eigenschaften wie Härte und Kratzempfindlichkeit der Bauteiloberflächen sind durch die Gelcoatsysteme variabel einstellbar.

Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik werden PUR-Gelcoats vorwiegend durch 2-Komponenten-Spritzanlagen in das Formwerkzeug eingebracht. Das Sprühbild bzw. die damit verbundene Oberflächenqualität des Bauteils richtet sich nach der verwendeten Anlagentechnik. Unterschieden wird dabei zwischen Hoch- und Niederdruckanlagen. Für die Generierung qualitativ hochwertiger Oberflächen werden Hochdruckanlagen eingesetzt.

Hersteller für derartige Anlagentechnik sind:

- 2KM GmbH
- Wilhelm Wagner GmbH & Co. KG
- Hilger u. Kern GmbH Ansprechpartner
- LACKIERTECHNIK SCHULZKI GMBH
- UNIPRE GmbH
- ISOTHERM AG

Die Weiterverarbeitung, nach Auftrag des Gelcoats in das Formwerkzeug, ist stark von der Temperierung der Werkzeugoberfläche abhängig. So ist beispielsweise ein durchschnittliches Gelcoatsystem, bei einer Werkzeugoberflächentemperatur von 60°C, nach 2 min weiterverarbeitbar. Das heißt nach 2 min kann mit dem Auftrag von Multitec begonnen werden. Beträgt die Werkzeugtemperatur dagegen nur Raumtemperatur, kann erst nach 30 min mit der Weiterverarbeitung begonnen werden.

Der Auftrag des Gelcoats in das Formwerkzeug erfolgt nach dem gegenwärtigen Stand der Technik durch 2-Komponenten-Dosieranlagen (Abb. 3-48). Ziel sollte es jedoch sein die Beschichtung mit dem Mischkopf der Multitec-Komponenten auszuführen. */theoretisch möglich–Telefonat FreiLacke, Herr Bäurer/*



Abb. 3-48: 2K-Dosieranlage[12]

3.10.2 Lackieren

Das Lackieren von Multitec[®]-Bauteilen stellt die konventionellste Methode zur Generierung einer entsprechenden Schutzschicht gegen Umwelt- und Medieneinflüsse dar. Der Lackiervorgang von GFK-Strukturen setzt eine sorgfältige Vorbereitung der Bauteiloberflächen voraus. Um eine hochwertige Sichtfläche zu erzielen sind folgende Schritte notwendig:

1. Aktivierung der Oberfläche durch Vorschleifen
2. Säubern der Oberfläche
3. Entfetten der Oberfläche mit Azeton oder anderen Lösungsmitteln
4. Grundieren und Füllern der Oberfläche
5. Feinschleifen der Oberfläche
6. Erneute vollständige Reinigung der Oberfläche

Erst nach diesen aufwendigen Vorarbeiten kann mit dem Lackiervorgang in staubfreier Umgebung selbst begonnen werden. Für den Lackiervorgang eignen sich alle gängigen Lacksysteme wie Acryllacke und wasserlösliche Kunstharzlacke.

Auch mit der Lackiertechnologie ist es mittlerweile möglich Funktionsschichten zu erzeugen. So stellen derzeit Lacke, mit denen es möglich ist den sog. „Lotusblüteneffekt“ künstlich zu erzeugen, ein weites dar. Dieser bezeichnet die geringe Benetzbarkeit einer Oberfläche, wie sie bei der Lotuspflanze beobachtet werden kann. Blüte und Blätter dieser Pflanze können von Wasser und vielen

anderen Flüssigkeiten nicht benetzt werden, sodass sich Tropfen bilden, die nicht an der Oberfläche haften. Auch an üblichen Oberflächen haftende Feststoffe wie Farbpulver zeigen verringerten Halt und können einfach weggespült werden.



Abb. 3-49: Lotusblüteneffekt an einer behandelten Glasscheibe

Speziell für Hightech-Anwendungen im Bauwesen eignen sich diese Lacke hervorragend, da der durch sie hervorgerufene Selbstreinigungseffekt massiv zur Kostenreduzierung bei der Gebäudereinigung und somit zu einer längeren Bauteilfestigkeit beiträgt.

3.11 Entwicklung einer serientauglichen Fertigungsstrategie

Für die Produktion von mittleren bis hohen Stückzahlen, wie es bei der Herstellung der Heckabdeckung (vgl. Abb. 3-27) der Fall ist, empfiehlt sich die Integration einer Rundtischanlage in den Produktionsablauf, da sich an definierten Arbeitsstationen die gleichen Arbeitsschritte fortwährend wiederholen. Die hohe Dynamik des Systems führt zu kurzen Rundtischfahrzeiten, die zu reduzierten Fertigungszeiten beitragen. Die Anlagen ermöglichen unterschiedliche Betriebsarten, z. B. taktend und kontinuierlich (Abb. 3-47).



Abb. 3-50: Rundtischanlage [20]

In Abbildung 3-48 ist die Anordnung aller benötigten Anlagenkomponenten für die Produktion der Heckabdeckungen dargestellt. Der Prozess der Formgebung mit den daran beteiligten Komponenten findet dabei gekapselt und vollautomatisiert statt. Der Materialeintrag erfolgt mit dem 6-Achsstandroboter und dem daran befindlichen Mischkopf in die auf der Rundtischanlage montierten Formwerkzeuge/Formenträger. Die während der Bauteilherstellung abgeleiteten zur optimierten Bauteilherstellung finden in der Konzeption der CSM-Anlage ebenfalls Anwendung. So sind die Formenträger der Werkzeuge rotatorisch gelagert vorgesehen.

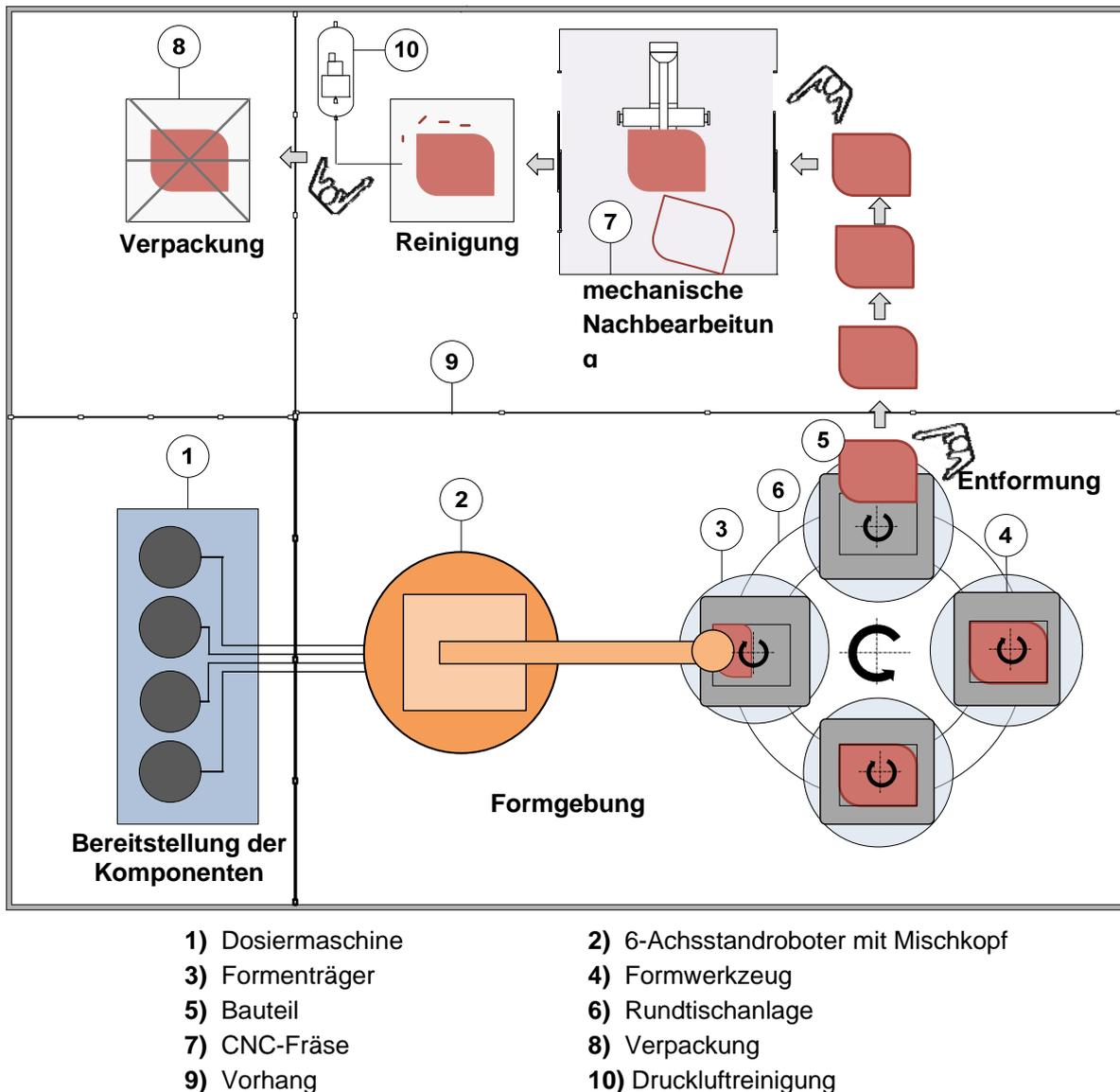


Abb. 3-51: Anordnung der Anlagenkomponenten

Durch die Kapselung der einzelnen Prozesse mittels Industriegorhängen wird eine entsprechende Reinheit während des gesamten Prozesses gewährleistet. Manuell vorgesehen sind die Entformung des Bauteils aus dem Werkzeug, Reinigung des Werkzeugs, dessen Transport in die CNC-Fräse zur mechanischen Nachbearbeitung, die Reinigung mit Druckluft sowie die sich anschließende Verpackung. Mit der Rundtischanlage und den vorgesehenen vier Werkzeugen kann ein nahezu kontinuierlicher Betrieb, bei Einhaltung der in Kapitel 4 ermittelten Prozesszeiten, erfolgen. Für die Reinigung eines Werkzeugs werden eine Minute und für den Sprühauftrag weitere 12 Minuten benötigt. Während dieser Zeit härtet das Multitec[®]-System beim Verweilen in den zwei Positionen unmittelbar nach der

Formfüllung bzw. vor dem Entformen aus. In der CNC-Fräse erfolgt die mechanische Nacharbeitung des Formteils, bei der die Ränder abgetrennt werden. Direkt nach Entnahme des besäumten Bauteils aus der Fräse erfolgt die manuelle Reinigung mit Druckluft und Verpackung auf der Palette.

3.12 Diskussion der Ergebnisse

Als innovative, hocheffiziente und umweltfreundliche Alternative zu glasfaserverstärkten Kunststoffen aus ungesättigten, styrolhaltigen Polyesterharzen bietet sich das PUR-Sprühverfahren Multitec® durchaus an. Hierbei kommt dieses Verfahren völlig ohne Styrol und Lösungsmittel aus. Dabei wird schnell härtendes, mehrkomponentiges PUR in eine offene Form gesprüht. Je nach Mischung ändern sich Reaktivitäten und Materialeigenschaften. Vorteilhaft gegenüber dem GfK sind die wenigen Arbeitsschritte, d.h. die höhere Produktivität und die kurzen Zykluszeiten. Weitere Vorteile sind die kurzen Entformzeiten (Aushärtung in wenigen Minuten), die schnelle und einfache Verarbeitung und die Nutzung je nach Anwendungsfall mit oder ohne Glasfaser und Füllstoffen bzw. Sandwichaufbau mit oder ohne Verstärkungsmaterialien. Diese recht variable Verarbeitung und Anwendung ermöglicht eine anpassungsfreudige Produktvielfalt, ob zur Herstellung massiver Formteile oder als verstärkende Beschichtung und reicht von Sanitäranwendungen über Nutzfahrzeugteile bis hin zu Freizeitartikeln. Das recht energieaufwendige Nachtempern wird nicht mehr benötigt und besonders interessant für größere Stückzahlen, es ist eine Automatisierung per Roboter möglich.

Ein Nachteil des PUR-Sprühverfahren gegenüber dem GfK sind die geringeren ermittelten Festigkeiten, Zugfestigkeit, E-Modul. Ursache hierfür ist der geringe Faservolumengehalt. Deshalb sollten vordergründig Anstrengungen unternommen werden, den Faservolumengehalt in Richtung der Herstellerangaben (je nach Belastungs- und Anwendungsfall) von bis zu 20% zu optimieren.

Beide Verfahren werden auch zukünftig nebeneinander ihre Berechtigung haben, doch in Anbetracht zu erwartender hoher Stückzahlen im Nutzfahrzeug- oder Umwelttechnologie- Bereich und weiterer Optimierung des PUR-Sprühens sollte diesem Verfahren die Zukunft gehören.

3.13 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Aus ökologischer, technologischer und ökonomischer Sicht ist die PUR-Sprühtechnologie positiv zu betrachten.

Auf der Suche nach ökologischen Technologien, gerade um Mensch und Umwelt zu schonen bietet dieses Verfahren ein gutes Beispiel, da dieses gänzlich Styrol- und lösungsmittelfrei arbeitet. Dies fällt natürlich nicht nur aus Kostengründen ins Gewicht, da u.a. erst kürzlich die zulässigen Emissionswerte am Arbeitsplatz per Gesetz gesenkt wurden. D.h., eine größere Durchsetzung dieses Verfahren in der Kunststoffindustrie würde in den betreffenden Fertigungen nicht nur für saubere und gesündere Arbeitsbedingungen sorgen, sondern in diesem Bereich massiv die Umwelt entlasten. Ein weiterer positiver Aspekt ökologisch und ökonomisch betrachtet, ist der Wegfall der energieaufwendigen Nachbehandlung des Temperns,

d.h. der Energiebedarf ist geringer als bei der konventionellen Fertigung mit glasfaserverstärkten Kunststoffen.

Weitere ökonomische Gründe, welche für dieses Verfahren sprechen, sind die hohe Produktivität, die kurzen Zyklus- und Entformzeiten, die schnelle und einfache Verarbeitung und die geringe Personalintensität des Verfahrens. Die preisgünstigen Formen und der Wegfall des Formenträgers macht die Anwendung besonders interessant für größere Formteile und/oder kleinere bis mittlere Stückzahlen, weil sich die Investitionskosten erheblich reduzieren. Für eine Anwendung großer Stückzahlen spricht eine relativ mühelose Möglichkeit zur Automatisierung zur Führung des Sprühkopfes durch einen Roboterarm. Die dadurch höheren Investitionskosten rechnen sich bei Großserien durch optimale und effiziente Auslastung.

Aus technologischer Sicht sprechen einige Gründe dafür dieses Verfahren dem der GFK- Fertigung vorzuziehen. Ein schnelles und einfaches Verfahren spricht immer für einen hocheffizienten Produktionsprozess. Das Sprühverfahren kann wahlweise mit oder ohne Füllstoffe oder Glasfasern bei Raumtemperatur appliziert werden und kann durch das schnell aushärtende PUR-System bzw. durch Variation der Reaktionsgeschwindigkeit, der Mischungsverhältnisse, der Glaslängen und -gehalte individuell auf spezifische Anforderungen eingestellt werden. Je nach Kundenwunsch können verschiedenen Additive, wie Farbkomponenten, Treibmittel (zur Erzeugung von Sandwichstrukturen mit Schaumkern und zur Ausformung komplexer Geometriebereiche) zudosiert werden. Das Sprühsystem lässt sich mit vielfältigen Technologien für das Oberflächenfinish kombinieren, von der klassischen Lackierung, bis hin zu Gelcoats und In-Mould-Couting. Durch den Mehrsprühauftrag in die offene Form, der je nach Anwendung beliebig gestaltet werden kann Schichten kompakt oder geschäumt. Zudem lassen sich durch gezielten Schichtenaufbau außergewöhnlich gute Oberflächeneigenschaften erzielen. Durch die computergesteuerte, programmierte Zudosierung der einzelnen Komponenten (Polyol, Isocyanat, Glasfaser) wird ein sehr gleichmäßiger und reproduzierbarer Materialauftrag erreicht. Dies erlaubt eine große Designfreiheit und ein breites Einsatzspektrum.

4 Fazit

Das Composite-Spray-Moulding (CSM)-Verfahren mit BAYER Multitec[®] stellt eine gänzlich neue Technologie zur Herstellung großflächiger FKV-Strukturbauteile dar. Die Komponenten des duromeren Multitec[®]-Systems auf PUR-Basis werden dabei mit entsprechender Nieder- bzw. Hochdruckanlagentechnik und anschließender Vermischung im Mischkopf in das Formwerkzeug eingetragen. Durch gezielte Zugabe von Additiven und Füllstoffen in den Mischkopf während des Sprühvorgangs ist der Aufbau von Sandwichbauteilen und Funktionsschichten, wie z. B. Brandbarrieren und Schall absorbierende Schichten, innerhalb der Bauteilstruktur möglich. Durch Einmischung von Glasfasern in den Mischkopf bzw. direkt in den Sprühstrahl während des Sprühvorgangs können die mechanischen Eigenschaften des Multitec[®]-Systems gesteigert werden. Der innovative Kern der Technologie besteht in den kurzen Prozesszeiten sowie in der Formgebung des Bauteils im offenen Werkzeug. Dieser Aspekt ermöglicht es, auf kostenintensive geschlossene Werkzeugsysteme zu verzichten und bietet darüber hinaus höchste Flexibilität hinsichtlich des eingesetzten Werkstoffsystems. Weiterhin treten während der Verarbeitung, anders als beim Handlaminieren und Faserspritzen mit ungesättigten Polyesterharzen (UP-Harzen), keine giftigen Styrolemmissionen auf, die kostenintensive Arbeitsschutzmaßnahmen zur Folge haben.

Mit den durchgeführten Untersuchungen konnte der Nachweis erbracht werden, dass glasfaserverstärktes Multitec[®] ebenso die Brandschutzanforderungen an die Baustoffklasse B2 nach DIN 4102-1 erfüllt, wie das UP-Wirrfaserlaminat. Weiterhin wurde eine isotrope Verteilung der E-Glasfaser in der Plattenebene der Multitec[®]-Matrix nachgewiesen. Dieser Aspekt vereinfacht die Gestaltung, Berechnung und Dimensionierung von CSM-Bauteilen aus faserverstärktem Multitec[®] in der Konstruktionsphase wesentlich, da anisotrope Koppelwirkungen nicht berücksichtigt werden müssen.

Im Rahmen des Projektes konnte gezeigt werden wie sich mechanische Kennwerte für die Dimensionierung und Auslegung von CSM-Verbundbauteilen aus glasfaserverstärktem Multitec[®] im Vorfeld bestimmen lassen. Ausführlich wird dargestellt, wie die erforderlichen Eingangsgrößen zur Berechnung, wie z. B. E-Modul und Faservolumengehalt unter definierten Bedingungen im Zug- und Veraschungsversuch ermittelt werden. Als kritisch zu betrachten sind die ermittelten Zugfestigkeiten, E-Moduln und Faservolumengehalte. Sie sind um ein Vielfaches geringer als die Kennwerte der ebenfalls geprüften handlaminieren UP-Wirrfaserproben. Grund hierfür sind die geringen Faservolumengehalte von ca. 3%. Diese stehen in großem Konflikt mit denen der Herstellerangaben mit 20% [6].

So sind die im Zugversuch nach DIN EN ISO 527 ermittelten Festigkeiten im Vergleich zu denen vom UP-Wirrfaserlaminat um den Faktor vier geringer. Auch die

ermittelten E-Moduln differieren stark. Vergleicht man diese und die zugehörigen Zugfestigkeiten von faserverstärktem mit unverstärktem Multitec® [6] wird ersichtlich, dass der Verstärkungseffekt durch die eingebrachten Fasern weniger als 50 % beträgt.

Die geringen mechanischen Eigenschaften sind in besonderem Maße auf die in gering ermittelten Faservolumina φ von ca. 3% zurückzuführen. Der für das UP-Wirrfaserlaminat bestimmte Faservolumengehalt beträgt im Gegensatz hierzu ca. 33%. Ebenfalls als kritisch zu betrachten sind die im Bruchbild deutlich erkennbaren aus der Matrix ausgezogenen Fasern (vgl. Abb. 4-1).

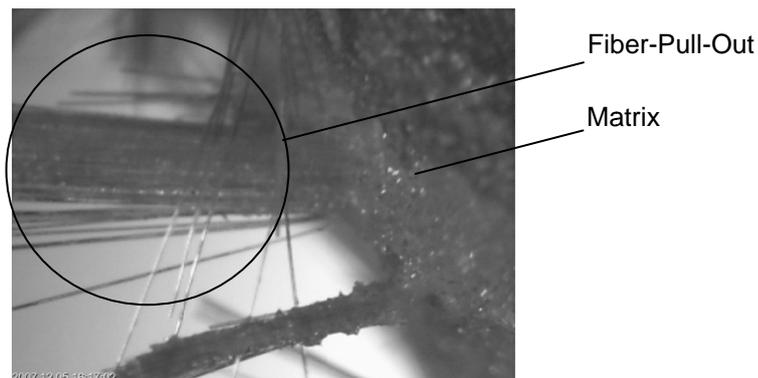


Abb. 4-1: Mikroskopaufnahme der Bruchfläche von faserverstärktem Multitec®

Die Grundüberlegung zur Verstärkungswirkung von Fasern höherer Festigkeit und Steifigkeit in FKV geht davon aus, dass von außen einwirkende Kräfte über Schubspannungen in der Faser/Matrix-Grenzfläche weitergeleitet werden müssen. Der größtmögliche Verstärkungseffekt im Verbund wird erzielt, wenn die Festigkeit der Faser erreicht wird. Bei angenommen gleichen Durchmessern werden somit Fasern unterhalb einer kritischen Faserlänge l_{krit} im Versagensfall herausgezogen (Pull-Out, vgl. Abb. 4-1), während Fasern überkritischer Länge brechen (Abb. 4-2).

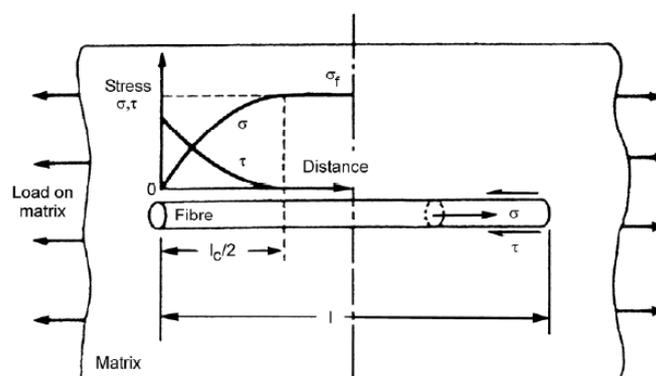


Abb. 4-2: Faserverbund unter axialer Belastung mit Zug- und Scherspannung [15]

Die kritische Faserlänge lässt sich aus dem Kräftegleichgewicht zwischen Zug- und Scherspannung:

$$r^2 \cdot \pi \cdot \sigma_F = 2\pi \cdot l \cdot \tau_{FM} \quad (4-1)$$

abschätzen mit:

$$l_c = \frac{\sigma_F^{ZF}}{2\tau_{FM}} r \quad (4-2)$$

mit r dem Radius der Faser, σ_F^{ZF} ihrer Zugfestigkeit und τ_{FM} der Scherfestigkeit der Faser-Matrix-Grenzfläche. Die Faser reißt, wenn die über die Scherspannung übertragene Kraft ($r^2 \cdot \pi \cdot \sigma_F$) die maximale Zugkraft der Faser ($2\pi \cdot l \cdot \tau_{FM}$) übersteigt, andernfalls wird die Faser herausgezogen. Die Schubspannung, die auf eine Faser übertragen werden kann, und damit ihre verstärkende Wirkung, hängt demzufolge von ihrer Länge ab. Ausgehend von einer Erhöhung der Faservolumina und Faserlängen in der Multitec[®]-Matrix sind folglich ebenfalls höhere mechanische Eigenschaften erzielbar.

Die bei der Erprobung der CSM-Technologie durchgeführten Sprühversuche an einem realen Versuchswerkzeug mit entsprechenden geometrischen Schwierigkeitsgraden zeigen das hohe Potential des Verfahrens hinsichtlich der generellen Abbildegenauigkeit, aber auch Grenzen, wie der Abbildung von scharfen Ecken und Kanten auf. Aus den Sprühversuchen konnten Gestaltungsgrundlagen für CSM-Bauteile, wie die Integration von Krafteinleitungen mit metallischen Inserts in die Bauteilstruktur während und nach dem Fertigungsprozess, die fertigungsgerechte Bauteilrandausführung zur optimalen mechanischen Nacharbeitung sowie Aussagen zur fertigungskonformen Bauteilgestaltung im Hinblick auf Entformungs- und Bauteilschrägen getätigt werden. Weiterhin wurden Konzepte für eine effizientere Fertigung und Produktion, wie z. B. durch die drehbare Lagerung der Formenträger/Formwerkzeuge, aufgestellt, die in der anschließenden Gesamtkonzeption einer CSM-Anlage zur Fertigung der hergestellten Heckabdeckung berücksichtigt wurden.

Für die Zukunft ergeben sich folgende weiterführende Schritte zur Optimierung des CSM-Verfahrens:

1. Um das CSM-Verfahren mit BAYER Multitec[®] als eine vollwertige Alternative zum konventionellen Handlaminier- und Faserspritzverfahren mit styrolhaltigen UP-Harzen betrachten zu können und darüber hinaus konkurrenzfähig zu machen, gilt es die derzeit verfahrensbedingten maximal erzielbaren Faservolumina in der Multitec[®]-Matrix zu erhöhen. Nur so lässt sich das

mechanische Eigenschaftsprofil von CSM-Multitec[®]-Bauteilen im Vergleich zum UP-Wirrfaserlaminat verbessern.

2. Um die mechanischen Eigenschaften von CSM-Multitec[®]-Bauteilen weiterhin zu verbessern, müssen Untersuchungen zur Faser-Matrix-Haftung und falls nötig eine Optimierung des Interfaces von Verstärkungsfaser und Matrix vorgenommen werden. Nur wenn die auf der Verstärkungsfaser applizierte Schichte eine kovalente Bindung zum Matrixwerkstoff eingeht lassen sich hohe Kräfte von der Matrix auf die Faser übertragen.
3. Um das CSM-Verfahren mit BAYER Multitec[®] konkurrenzfähig zu machen, müssen weitere Komponenten in den Mischkopf integriert werden. Dies beinhaltet vor allem eine In-situ-Fertigung zur Ausbringung der Matrix mit der Verstärkungskomponente sowie der Applizierung von Funktionsschichten, wie z. B. Gelcoats und Topcoats mit einem Mischkopf.

5 Anhang

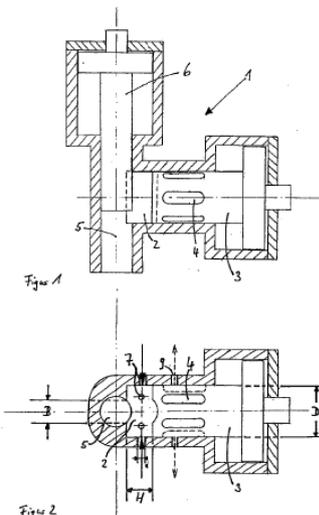
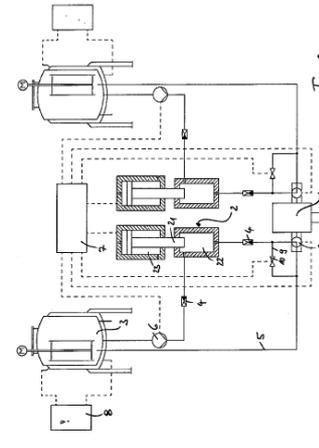
A1: Patentliste/Auszug der geprüften Dokumente

Inhaltssuche = ((Polyurethan* oder PU) ~ und Sprüh*), Isocyanat und Polyol, PA=Bayer , Bayer Material science, Hennecke, ICM=B29C 41/08 /Depanet, Espacenet März 2006/

/1/ DE102004021563A1	Mehrkomponenten Mischkopf
/2/ DE102004006074A1	Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Polyurethan-Formteilen
/3/ DE29709645U1	Vorrichtung zum Herstellung geschäumter Polyurethan-Formkörper
/4/ DE19752749A1	Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Polyurethanformkörpern
/5/ DE 102005025466 A1	Heißsprüh-Auftragevorrichtung
/6/ DE102004021220A1	Einsatzformwerkzeug für das Sprühen von Polyurethan
/7/ DE69011540T2	Verfahren zur Herstellung und Verwendung eines sprühbaren lichtbeständigen Polyurethans
/8/ EP0379246 B1	A method for preparing and applying a sprayable, light stable polyurethane
/9/ DE 19942616 A1	Verfahren zur Herstellung von Häuten aus Polyurethandispersionen
/10/ JP2005336491	PENDANT AMINE GROUP-CONTAINING POLYETHER POLYOL AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME
/11/NO20054384	Polyurethane coating systems
/12/ EP1578833	Raumhärtende Reaktivsysteme
/13/ NO20052810	Reactive systems that harden at room temperature
/14/ DE 4316665 A1	Variables, flüssiges Mittel zur Oberflächenausrüstung
/15/ DE 4234334 A1	Sprühbare Polyurethanbeschichtungsmittel, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung als Verschleißschutzmittel
/16/ DE 4223819 A1	Pulver-Sprühbeschichtungskabine
/17/ DE 4200172 A1	Polyurethanbeschichtungsmittel, Verfahren zu ihrer Herstellung und ihre Verwendung als Korrosionsschutzmittel
/18/ EP 0379246	Verfahren zur Herstellung und Verwendung eines sprühbaren lichtbeständigen Polyurethans
/19/ DE 202006000624 U1	Umschaltventil
/20/ DE 202005015569 U1	Zuschlagsstoff-Dosiervorrichtung für Polyurethan-Anlage
/21/ EP 1299443	VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON BLOCKSCHAUM
/22/ EP 1593473	Mehrkomponenten-Mischkopf
/23/ EP 1205290	Verfahren und Vorrichtung zum kontinuierlichen Herstellen von Blockschaum
/24/ EP 1225018	Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von füllstoffhaltigen Formteilen
/25/ EP 1539450	VERFAHREN ZUR VERMISCHUNG EINER POLYOL- UND EINER ISOCYANATKOMPONENTE
/26/ EP 1328381	HYBRIDE KUNSTSTOFFE AUF BASIS VON PHENOL-FORMALDEHYD UND ISOCYANAT
/27/ EP 0960009	VERFAHREN UND MISCHKOPF ZUM HERSTELLEN EINES REAKTIONSGEMISCHES AUS EINEM ISOCYANAT UND EINER POLYOLFORMULIERUNG
/28/ EP0960009	VERFAHREN UND MISCHKOPF ZUM HERSTELLEN EINES REAKTIONSGEMISCHES AUS EINEM ISOCYANAT UND EINER POLYOLFORMULIERUNG
/29/ DE 102004049898 A1	Sich drehender Spritzkopf zum Spritzen von Urethan
/29/ DE 102004049898 A1	Sich drehender Spritzkopf zum Spritzen von Urethan
/30/ DE 102004049666 A1	System und Verfahren zum Einfärben einer Sprühurethanhaut für Fahrzeuginnenausstattungsbauteile und Häute, die dadurch hergestellt werden
/31/ DE 102004047036 A1	Verfahren zum Erwärmen einer Beschichtungszusammensetzung in einem Formwerkzeug
/32/DE 102004027155 A1	System und Verfahren zum Färben einer Sprüh-Urethan-Schicht für

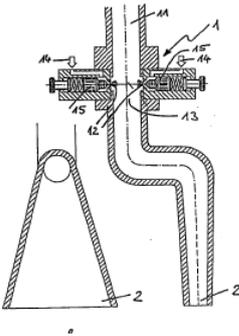
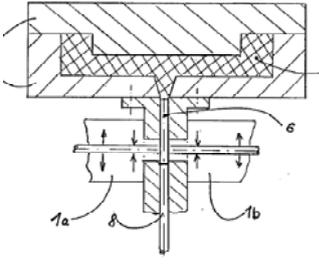
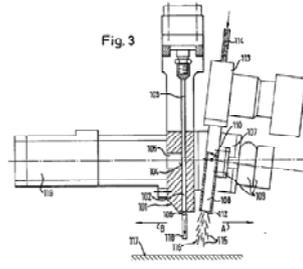
	Innenausstattungs-Bestandteile von Fahrzeugen und hierdurch hergestellte Teile
/33/ DE 102004026822 A1	Pseudo-Einsetzformen für Innenausstattungsteile unter Verwendung eines Polyurethan-Sprühverfahrens
/34/ DE 102004021220 A1	Einsatzformwerkzeug für das Sprühen von Polyurethan
/35/ DE 10248217 A1	Sprühurethan-Werkzeug und System
/36/ EP 0804327	VERFAHREN UND SPRÜHFORMEINRICHTUNG ZUM HERSTELLEN EINER ELASTOMERISCHEN HAUT AUS MINDESTENS ZWEI MATERIALIEN UND HERGESTELLTE ELASTOMERISC HE HAUT
/37/ EP 0220154	Verfahren zur Vorbereitung einer geformten Schicht durch Sprühen.
/39/ CN1651210	Process and apparatus for molding polyurethane parts
/40/ DE102004006074 A1 -	Process and apparatus for the production of polyurethane moldings
/41/ EP1561569 A1	Process and apparatus for molding polyurethane parts
/42/ JP2005219499	PROCESS FOR PRODUCING POLYURETHANE MOLDINGS AND ITS APPARATUS
/43/ US2005173846 A1	Process and apparatus for the production of polyurethane moldings
/44/ DE 195 21 315 A1	Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von PUR-Sandwich-Formteilen
/45/ DE 196 18 393 A1	Verfahrens zur zerstörungsfreien Verarbeitung von Langfasern als Verstärkungsmaterial in Kunststoffteilen.
/46/ DE 100 37 773 C1	Verfahren zur Herstellung zum Herstellen von mit Langfasern verstärkten Kunststoff-Formteilen
/47/ DE 10 2004 059 218 A1	Verfahren zur Herstellung zum Herstellen von mit Langfasern verstärkten Kunststoff-Formteilen

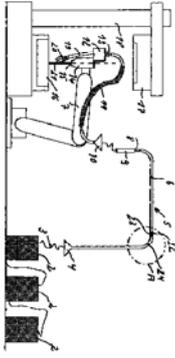
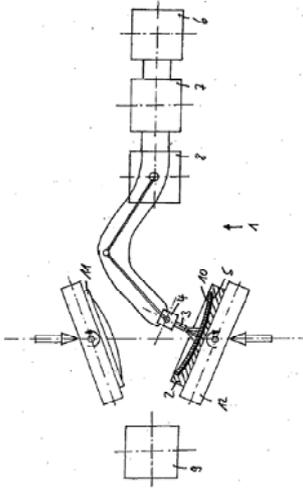
A1: inhaltlicher Auszug geprüfter Dokumente

Dokument-Bezeichnung	Inhalt/ Kommentar	Zeichnung, falls verfügbar
<p>/1/ DE102004021563A1 01.12.2005 PA Hennecke GmbH, 51379 Leverkusen, DE IN Wirth, Jürgen, Dipl.- Ing., 51147 Köln, DE; Raffel, Reiner, Dipl.-Ing., 53721 Siegburg, DE AD 03.05.2004 DE-Aktenzeichen 102004021563 OD 01.12.2005 Veröffentlichungstag im Patentblatt VDP 01.12.2005 IPC-Hauptklasse ICM B29B 7/76</p>	<p>Mehrkomponenten-Mischkopf Die Erfindung betrifft einen Mischkopf sowie ein Verfahren zur Vermischung von mindestens einer Polyolkomponente und mindestens einer Isocyanatkomponente und gegebenenfalls von Additiven zu einem Polyurethan-Reaktionsgemisch</p> <p>siehe auch EP /22/ → größerer Mischkammerdurchmesser</p>	<p>DE 10 2004 021 563 A1 2005.12.01 Anhängende Zeichnungen</p> 
<p>/4/ DE19752749A1 10.06.1999 Anmelder PA Hennecke GmbH, 51373 Leverkusen, DE Erfinder IN Sulzbach, Hans-Michael, Dipl.-Ing., 53639 Königswinter, DE Vertreter VTR Drope, R., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 50767 Köln DE-Anmeldedatum AD 28.11.1997 DE-Aktenzeichen 19752749 OD 10.06.1999 Veröffentlichungstag im Patentblatt VDP 10.06.1999 IPC-Hauptklasse ICM B29B 7/76 Zusammenfassung AB</p>	<p>Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Polyurethanformkörpern durch simultanes Fördern mindestens einer Polyolkomponente und mindestens einer Isocyanatkomponente mittels Kolbenverdränger-Dosierpumpen zu einem Mischaggregat und Eintragen der vermischten Komponenten in eine Form beschrieben, wobei die zur Formfüllung erforderlichen Mengen der Komponenten durch jeweils einen Kolbenhub der Dosierpumpe zur Verfügung gestellt werden, wobei mittels am Einlaß zur Mischkammer des Mischaggregates vorgesehenen Ventilen für jede Komponente nach Beendigung des Kolbenhubes die Zufuhr zum Mischaggregat unterbrochen wird und in dem Zeitraum bis zur nächsten Formfüllung die Komponenten ... über eine Rückführleitung zu dem jeweiligen Vorratsbehälter für die Komponente im Kreislauf geführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Vorratsbehälter und Dosierpumpe eine zusätzliche Förderpumpe vorgesehen ist, die bei geschlossenem Einlaßventil zum Mischaggregat die Förderung übernimmt und die während des Kolbenhubes abgeschaltet ist.</p> <p>Siehe auch DE 26 31 588 A1 und US 39 24 651</p>	

<p>/5/ DE102004021544A1 30.12.2004 PA Lear Corp., Southfield, Mich., US Donatti, Joseph T., Howell, Mich., US; Mellentine, Andrew P., Owosso, Mich., US; Williams, Glenn D., Holly, Mich., US; Cowelchuk, Glenn A., Chesterfield, Mich., US AD 03.05.2004 DE-Aktenzeichen DAKZ 102004021544 OD 30.12.2004 IPC-Hauptklasse ICM B05B 13/04 Kunststoffkunde, Otto Schwarz, Vogel Buchverlag 1997, ISBN 3-8023-1712-2; Verfahrensstand VST 8191 - Offenlegungen</p>	<p>Heißsprüh-Auftragevorrichtung Verfahren eines Polyurethan-Sprühauftrags unter Verwendung intern gemischter Komponenten, welche mit einem flachen fächerförmigen Sprühnebel aufgetragen werden <u>Verfahren zum Sprühen von Artikeln mit einer Düse, welche in einem flachen fächerförmigen Sprühmuster sprüht.</u> Das Verfahren kann verwendet werden, um Artikel aus einer Polyurethan-Zusammensetzung auszubilden.</p> <p>→ spezielle Sprühmuster, z.T. überlappende Bahnen, Mischelement (helixförmig), Druck 2,76- 6,9 MPa, → Düse dazu siehe /29/</p>	
<p>/6/ DE102004021220A1 09.12.2004 PA Lear Corp., Southfield, Mich., US Erfinder IN Parrish, Kenneth R., Roseville, Mich., US Vertreter VTR Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, 80538 München AD 30.04.2004 DE-Aktenzeichen DAKZ 102004021220 OD 09.12.2004 Veröffentlichungstag im Patentblatt VDP 09.12.2004 Prioritäten PRD: 06.05.2003 PRN: 10/430571 IPC-Hauptklasse ICM B29C 41/08 IPC-Nebenklasse ICS B60R 13/02 B60N 3/04 Verfahrensstand VST 8191 - Offenlegungen</p>	<p>Einsatzformwerkzeug für das Sprühen von Polyurethan</p> <p>Zusammenfassung AB Verfahren zum Herstellen eines Innenraumverkleidungsteils mit einem Einsatz und einer sprühgeformten Schicht. Der Einsatz weist einen Wulst auf, die in einer Rille in einer Oberfläche der Form aufgenommen wird. Die Rille ist mit einer Unterdrucköffnung versehen, die verwendet werden kann, um den Einsatz in die Rille zu ziehen, während die Sprühpolymerschicht über wenigstens einem Teil der Rückseite des Einsatzes aufgetragen wird. Die Wulstaufnahmerille kann wenigstens teilweise durch einen Werkzeugeinsatz gebildet werden, an dem der Unterdruck angelegt wird. Der Einsatz kann als ein mehrschichtiger Film <u>einschließlich einer Trägerschicht, einer dekorativen Schicht und einer klaren Deckschicht</u> ausgebildet werden. Der mehrschichtige Film kann durch Unterdruck ausgebildet werden, um einen Wulst (eine Rippe) auf dem Einsatz zu erzeugen. Das Verfahren und das Werkzeug können verwendet werden, um einen Innenraumverkleidungsteil wie etwa einen Bodenbelag mit einstückigen <u>Bodenmatten</u> auszubilden.</p>	
<p>/7/ DE69011540T2 15.12.1994 EP- Veröffentlichungsnummer EPN 0379246 Recticel, Woluwe-Saint-Pierre, BE Erfinder IN Jourquin, Lucien, B-9200 Wetteren, BE; Du Prez, Eddie, B-9660 Brakel, BE DE-Aktenzeichen DAKZ 69011540</p>	<p>Verfahren zur Herstellung und Verwendung eines sprühbaren lichtbeständigen Polyurethans Abstract der korrespondierenden EP0379246 → Sprühen von Isocyanat - und Polyolverbindung als separater Film über eine Mehrkomponentendüse in eine offene Form, einschließlich Kettenverlängerer, Quervernetzungsmittel, Aditive, Dicke von 0,3 bis 3 mm pro Passage, Schichtdichte 500 bis 1200 kg/ m³, kein Hinweis auf Verstärkungsfasern in diesem Dokument ; Reaktionsgemisch ist > 120 °C vorgewärmt, offene Formoberfläche 30-100°C vorgeheizt.</p>	<p>Siehe auch EP0379246 (A2) JP2283711 (A) EP0379246 (A3) BE1002762 (A) EP0379246 (B1)</p>

<p>Vertragsstaaten DS AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IT, LI, LU, NL, SE EP-Patenterteilungsdatum EED 17.08.1994</p>		
<p>/19/ DE202006000624U1 13.04.2006 PA Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, 80997 München, DE DE-Aktenzeichen DAKZ 202006000624 Bekanntmachungstag im Patentblatt BDP 13.04.2006 09.03.2006 PAD 17.01.2006 IPC-Hauptklasse ICM F16K 11/00 (2006.01) A, F, I, 20060117, B, H, DE</p>	<p>(54) Bezeichnung: Umschaltventil (57) Hauptanspruch: Umschaltventil, insbesondere für das Zu- und Abschalten eines Mischkopfes umfassend – ein Gehäuse(12), in dem ein Fluid-Zulauf (14) und ein Fluid-Ablauf (16) vorgesehen sind – sowie ein Sperrelement (18), welches mit einem Sitz (20) im Bereich des Fluid-Ablaus (16) derart zusammenwirkt, dass – beim Aufsetzen des Sperrelements (18) auf den Sitz (20) ein Strömungsweg zwischen dem Zulauf (14) und dem Ablauf (16) geschlossen ist und – beim Abheben des Sperrelements (18) vom Sitz (20) der Strömungsweg zwischen dem Zulauf (14) und dem Ablauf (16) geöffnet ist, – wobei das Sperrelement (18) einen Kolben (38) aufweist, auf dessen beiden Seiten ein mit dem Fluid zu befüllender erster (24) und zweiter (22) Wirkraum vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vorsteuerstufe (28, 30, 40, 44) mit einem Schaltelement (28) vorgesehen ist, und die Vorsteuerstufe (28, 30, 40, 44) derart ausgebildet, mit dem Zu- (14) und Ablauf...</p> <p>→ für Betreiben mehrerer Mischköpfe (z.B. an Dosiermaschine), verbesserter Schutz vor Leckagen</p>	
<p>/20/ PN DE202005015569U1 02.03.2006 Anmelder PA Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH, 80997 München, DE (74) Bekanntmachungstag im Patentblatt BDP 02.03.2006 Eintragungstag ED 26.01.2006 (67) PAD 05.10.2005 (51) IPC-Hauptklasse ICM B01J 4/00 (2006.01)</p>	<p>Zuschlagsstoff-Dosiervorrichtung für Polyurethan-Anlage (57) Hauptanspruch: Zuschlagsstoff-Dosiervorrichtung für eine Polyurethan-Anlage umfassend – eine austauschbare Kartusche (10) und ein mit der Kartusche (10) koppelbares Antriebsmodul (12), wobei die Kartusche (10) aufweist – ein Behältnis (14) für den Zugabestoff, – eine Einrichtung (16, 18, 20) zum Versorgen des Behältnisses (14) mit Druckluft, welche an eine Druckversorgungseinrichtung anschließbar ist, sowie – eine Kolbendosiervorrichtung (26) ohne Antrieb, welche mit dem Behältnis (14) in Strömungsverbindung steht oder bringbar ist, mit einer Austragsdüse (40) verbunden oder verbindbar ist und mit dem Antriebsmodul derart lösbar koppelbar ist, dass das Antriebsmodul zum Betrieb der Kolbendosiervorrichtung verwendet ist.</p> <p>→ zur Anwendung bei schnellen und häufigen Farbwechseln</p>	
<p>/22/ EP1593473 15.12.2005 Hennecke GmbH, 51379 Leverkusen, DE Erfinder IN Wirth, Jürgen, 51147 Köln, DE; Raffel, Reiner, 53721 Siegburg, DE EAD 20.04.2005 EP-Aktenzeichen EAKZ 050086420 EOD 09.11.2005 Veröffentlichungstag im Patentblatt VDP 15.12.2005 IPC-Hauptklasse ICM B29B 7/76</p>	<p>Mehrkomponenten-Mischkopf Mischkopf (1) zur Vermischung von mindestens einer Polyalkoholkomponente und mindestens einer Isocyanatkomponente und gegebenenfalls von Additiven zu einem Polyurethan-Reaktionsgemisch, erhaltend</p>	<p>Siehe /1/</p>
<p>/27/ EP0960009 B1 05.01.2000 EPN 0960009 TI PA Bayer AG, 51373</p>	<p>VERFAHREN UND MISCHKOPF ZUM HERSTELLEN EINES REAKTIONSGEMISCHES AUS EINEM ISOCYANAT UND EINER POLYOLFORMULIERUNG Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum</p>	

<p>Leverkusen, DE Erfinder IN SCHULTE, Klaus, D-51429 Bergisch Gladbach, DE; KRIPPL, Kurt, D-40789 Monheim, EP-Anmeldetag EAD 04.02.1998 EP-Aktenzeichen EAKZ 989080510 WO-Anmeldetag WAD 04.02.1998 PCT-Aktenzeichen WAKZ EP9800587 WO- Veröffentlichungsnummer WPN 9835804 WO- Veröffentlichungsdatum WPD 20.08.1998 EP-Offenlegungsdatum EOD 01.12.1999 Veröffentlichungstag im Patentblatt VDP 05.01.2000 Related documents: WO9835804 (A1) US6297342 (B1) CA2280864 (A1) EP0960009 (B1) TR9901869T (T2)</p>	<p>rührwerkslosen Herstellen eines Polyurethan-bildenden Reaktionsgemisches aus einem Isocyanat und einer Polyolformulierung, wobei diese beiden Komponenten einer Mischzone zugeführt und darin miteinander vermischt werden. Mindestens eine der Komponenten besitzt eine Viskosität von oberhalb 3000mPas, vorzugsweise oberhalb 5000mPas. Das Reaktionsgemisch soll ohne Verwendung eines Rührwerkes herstellbar sein. Gelöst wird diese Aufgabe dadurch, dass eine eine Viskosität von mindestens 3000mPas aufweisende Polyolformulierung unter Niederdruck in die Mischzone eingespeist wird und dass mindestens zwei Ströme aus niedrigviskosen Komponenten (Isocyanat und gegebenenfalls niedrigviskoses Polyol) unter Hochdruck in den Strom der hochviskosen Polyolformulierung injiziert werden. Hiermit wird eine gute Vermischung höherviskoser Komponenten erzielt. Die Erfindung macht sich zunutze, dass durch Aufteilung der höherviskosen Komponente in zwei oder mehr Teilströme deren Energie zwar verlagert aber insgesamt erhöht wird. Vorzugsweise ist die Querschnittsfläche des Stromes der Polyolformulierung 10- bis 100mal grösser als die Summe der Querschnittsflächen der Isocyanatströme. Gegebenenfalls im Zusammenwirken mit vorzugsweisen Verarbeitungsdrücken von 50 bis 300 bar für Isocyanat und unterhalb 20 bar für die Polyolformulierung werden gute Resultate erzielt. Bevorzugt ist ein Druck zwischen 70 und 250 bar, insbesondere bevorzugt 100 bis 200 bar. Vorzugsweise werden die Teilströme der Isocyanatkomponente im Querstrom injiziert.</p>	 <p>1a) Mischkopf mit Breitschlitzdüse</p>
<p>/44/ DE 195 21 315 A1 Anmeldedatum: 12.06.1995</p>	<p>Herstellung eines PUR-Sandwich-Formteiles aus einer massiven PUR-Deckschicht und einem geschäumten Kern. Es soll ein Sandwich-Formteil hergestellt werden, indem zunächst eine massive Deckschicht aus nichtschäumbaren PUR-RIM in das Werkzeug eingebracht wird. Nach einer kurzen Verweilzeit, wird ein zweites PUR-System injiziert, welches aufschäumt und so den leichten Kern bildet. Je nach gewählten PUR-Systemen, können sehr leichte Sandwich-Formteile hergestellt werden. Es ist ein zusätzlicher Akkumulator notwendig, welches das erste PUR-System dosiert, auf die gewünschte Temperatur bringt und anschließend in das Werkzeug leitet.</p>	
<p>/45/ DE 196 18 393 A1 Anmeldedatum: 08.05.1996</p>	<p>Entwicklung eines Verfahrens zur zerstörungsfreien Verarbeitung von Langfasern als Verstärkungsmaterial in Kunststoffteilen. Eintrag der Verstärkungsfasern in den fließfähigen Kunststoff, durch Erzeugung eines zweiten Sprühstrahls. Der Faserstrahl soll außerhalb der Mischkammer oder innerhalb einer Auslaufkammer mit dem Kunststoff vermischt und in das Formwerkzeug eingetragen werden. Verarbeitung von langen Verstärkungsfasern möglich. Kein unerwünschter Faserbruch durch Einbringung der Faser in den Mischkopf mehr möglich.</p>	 <p>Fig. 3</p>

	<p>Werden die beiden Ströme außerhalb zusammengeführt, kann es bei sehr kurzer Reaktionszeit des Kunststoffes zu einer schlechteren Benetzung der Fasern kommen. Bei Mischung in einer Auslaufkammer, kann die Austrittsdüse durch Faserngemisch verstopfen</p>	
<p>/46/ DE 100 37 773 C1 Anmeldedatum: 03.08.2000</p>	<p>Verfahren zur Herstellung zum Herstellen von mit Langfasern verstärkten Kunststoff-Formteilen Zur Fadenspannung werden im Rohrleitungssystem Öffnungen vorgesehen, durch welche Luft entgegen der Förderrichtung eingeblasen wird. Dadurch wird eine gleichmäßige Faden-spannung erreicht. Keine Schlaufenbildung nach Beendigung des Formfüllvorganges mehr und Vermeidung des abreißens des Rovingfadens beim nächsten Füllvorgang des Werkzeuges.</p>	
<p>/47/ DE 10 2004 059 218 A1 Anmeldedatum: 09.12.2004</p>	<p>Verfahren zur Herstellung von großflächigen Folien oder Compound-Formteilen, welche mindestens eine Schicht aus reaktivem Kunststoff enthalten. Folien oder Compound-Formteile entstehen durch das aufsprühen des Reaktionsgemischens auf eine Oberfläche. Das Gemisch wird dabei über eine Sprühdüse zu einem Sprühstrahl geformt, welcher Schwingungen versetzt wird. Die Amplitude und/oder die Frequenz sind während des Eintrages änderbar. Sprüheintrag kann optimal auf die Werkzeugkavität eingestellt werden, somit ist kein Materialverlust vorhanden und eine homogene Verteilung gewährleistet. Die Frequenz ist abhängig von der Fahrgeschwindigkeit des Austragsautomaten und muss somit sehr genau an den vorhandenen Automaten angepasst werden. Verfahren kann nur für zweiteiliges Werkzeug mit einer Trennebene genutzt werden, aber nicht für offene.</p>	

A2: Bestimmung des Fasergehaltes

Dichte-Multitec+E-Glas	1,05
Dichte -Polyesterharz [g/cm ³]	1,22
Dichte-Multitec [g/cm ³]	1
Dichte -E-Glasfaser [g/cm ³]	2,54

Probe	UP-Wirrfaserlaminat				Multitec®			
	1	2	3	4	1	1	1	1
m₁ Gewicht der geglühten Behälter	10,57	9,91	16,46	11,62	87,66	88,98	89,45	89,15
m₂ Gewicht von Probe und Behälter vor der Veraschung [g]	11,72	11,04	17,75	12,91	90,21	91,77	92,03	90,79
m₃ Gewicht von Probe und Behälter nach der Veraschung [g]	11,17	10,50	17,10	12,25	87,87	89,17	89,63	89,27
Glühverlust [%]	47,50	47,52	50,51	51,35	91,98	93,30	92,95	92,45
					8,02	6,70	7,05	7,55
Probe [g]	1,16	1,13	1,29	1,29	2,55	2,79	2,58	1,64
Glas [g]	0,61	0,59	0,64	0,63	0,20	0,19	0,18	0,12
Harz [g]	0,55	0,54	0,65	0,66	2,34	2,60	2,40	1,52
Harzvolumen [cm ³]	0,45	0,44	0,54	0,54	2,34	2,60	2,40	1,52
Faservolumen [cm ³]	0,24	0,23	0,25	0,25	0,08	0,07	0,07	0,05
Faservolumenanteil [%]	34,68	34,66	32,00	31,28	3,32	2,75	2,90	3,11
Mittelwert [%]	33,15				3,02			
Standardabweichung [%]	1,54				0,22			

A3: Protokoll Zugversuch Multitec

Zwick / Roell TU Chemnitz/ Inst. f. Allg.Maschinenbau u. Kunststofftechnik
Parameter:

Prüfdatum : 05.12.2007
 Prüfer : Frau Kandler
 Wegaufnehmer : Laser
 Probenhalter : Pneumatik 8497
 Kraftaufnehmer : 50 kN

Prüfnorm : DIN EN ISO 527-4
 Auftraggeber: Herr Seidlitz
 Material : Multitec
 Raumklima : kein Normklima
 Bemerkung :

Prüfgeschwindigkeit: 2 mm/min
 Vorkraft : 50 N

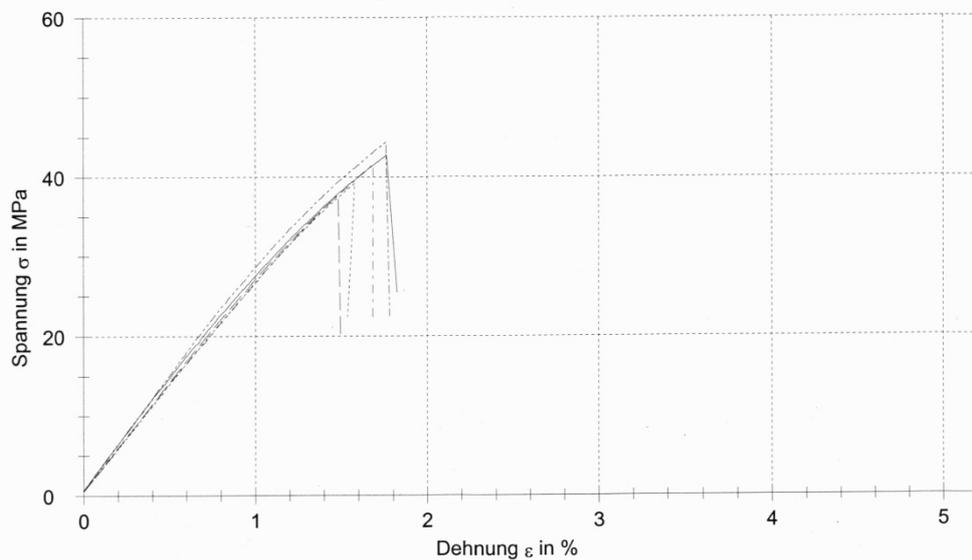
Beginn E-Modulermittlung : 0,05 %
 Ende E-Modulermittlung : 0,25 %
 Abstand Hydraulikklemmen : 153 mm

Ergebnisse:

Nr	Breite mm	Dicke mm	S0 mm ²	E-Modul MPa	F-max N	σ_M MPa	ε_M %
1	22,87	3,83	87,59	2913	3742,51	42,73	1,77
2	22,87	4,29	98,11	2737	3696,13	37,67	1,48
3	22,8	4,09	93,25	2701	3654,24	39,19	1,58
4	22,83	3,87	88,35	2715	3675,70	41,60	1,69
5	22,82	3,63	82,84	2945	3675,92	44,38	1,76

Statistik:

Serie n = 5	Breite mm	Dicke mm	S0 mm ²	E-Modul MPa	F-max N	σ_M MPa	ε_M %
\bar{x}	22,84	3,942	90,03	2802	3688,90	41,11	1,65
s	0,03114	0,254	5,84	117	33,43	2,69	0,12
v	0,14	6,44	6,48	4,18	0,91	6,55	7,37



A4: Protokoll Zugversuch UP-Wirrfaserlaminat

Zwick / Roell TU Chemnitz/ Inst. f. Allg.Maschinenbau u. Kunststofftechnik
Parameter:

Prüfdatum : 05.12.2007
 Prüfer : Frau Kandler
 Wegaufnehmer : Laser
 Probenhalter : Pneumatik 8497
 Kraftaufnehmer : 50 kN

Prüfnorm : DIN EN ISO 527-4
 Auftraggeber: HerrSeidlitz
 Material : Glasfaser Laminat
 Raumklima : kein Normklima
 Bemerkung :

Prüfgeschwindigkeit: 2 mm/min
 Vorkraft : 50 N

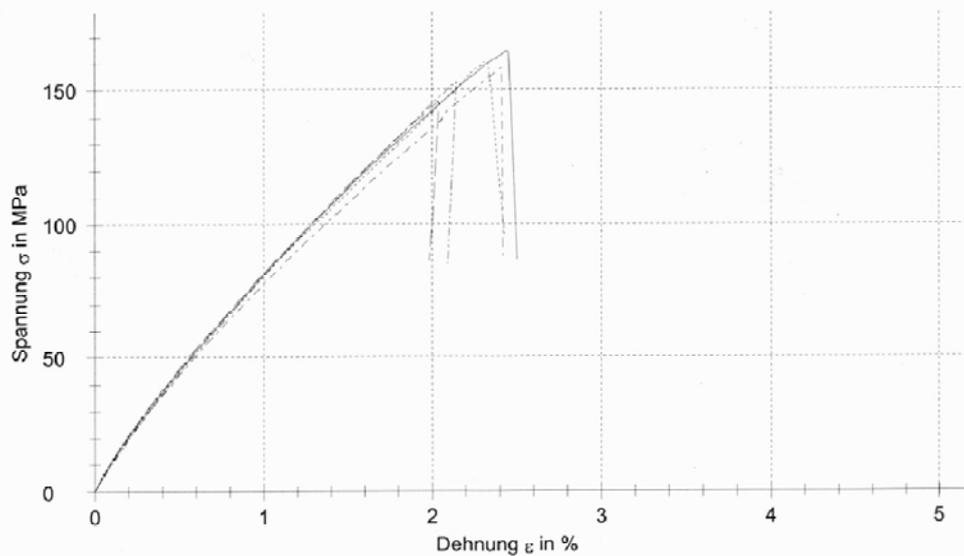
Beginn E-Modulermittlung : 0,05 %
 Ende E-Modulermittlung : 0,25 %
 Abstand Hydraulikklemmen : 150 mm

Ergebnisse:

Nr	Breite mm	Dicke mm	S0 mm ²	E-Modul MPa	F-max N	σ_M MPa	ε_M %
1	25	5,19	129,75	9428	21317,00	164,29	2,44
2	25,14	5,1	128,21	9816	18648,79	145,45	2,04
3	25,2	5,4	136,08	9428	21869,46	160,71	2,32
4	25,25	5,24	132,31	9267	20946,78	158,32	2,41
5	24,83	5,23	129,86	9171	19851,41	152,87	2,15

Statistik:

Serie n = 5	Breite mm	Dicke mm	S0 mm ²	E-Modul MPa	F-max N	σ_M MPa	ε_M %
\bar{x}	25,08	5,232	131,24	9422	20526,69	156,33	2,27
s	0,1701	0,1089	3,08	246	1283,22	7,36	0,17
v	0,68	2,08	2,34	2,61	6,25	4,71	7,64



A5: 3-Punktbiegeversuch GFK-UP

Prüfbericht

Versuchsart : Biegung
 Prüfnorm : DIN EN ISO 178
 Prüfmaschine : Inspekt 1464
 Kraftmesszelle : 2KN
 Auftraggeber : Herr Seidlitz
 Prüfer : Grunert
 Probenhalter : Biegeeinrichtung Zwick

Material : UP_Wirrfaser
 Stützweite : 80 mm
 Auflageradius : 5 mm
 Biegestempel (r) : 5 mm
 Prüfungsgeschwindigkeit : 2 mm/min
 Vorkraft : 5N
 Prüfdatum : 25.03.2008

F_{max} = Maximalkraft
 E(b) = E-Modul
 σ_{fm} = Biegefestigkeit
 f_b = Durchbiegung

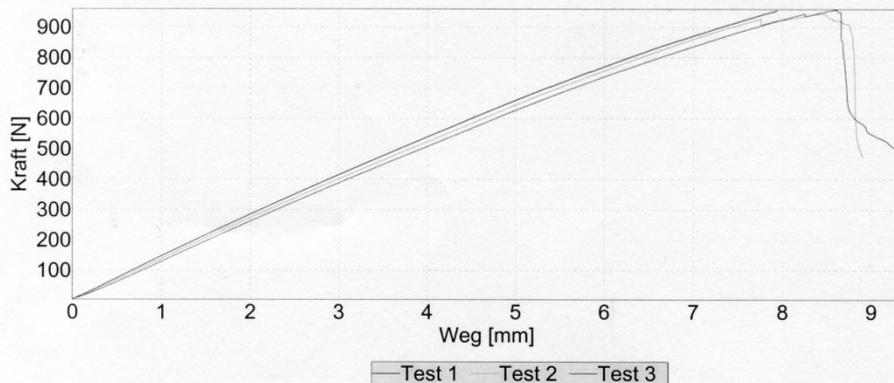
ε_{fM} = Biegedehnung
 σ_{3,5%} = 3,5% Biegespannung
 b = Breite
 h = Höhe

Resultate UP_Wirrfaser_1:

Name	b [mm]	h [mm]	F _{max} [N]	E(b) [MPa]	σ _{fm} [MPa]	f _b [mm]	ε _{fM} [%]	σ _{3,5%} [MPa]
Test 1	19,000	5,000	955,206	8032,835	241,315	7,680	3,600	236,764
Test 2	19,000	5,000	944,672	7611,286	238,654	8,204	3,846	233,547
Test 3	19,000	5,000	958,538	6749,630	242,157	8,349	3,914	227,724

Statistik UP_Wirrfaser_1:

	b [mm]	h [mm]	F _{max} [N]	E(b) [MPa]	σ _{fm} [MPa]	f _b [mm]	ε _{fM} [%]	σ _{3,5%} [MPa]
MW	19	5	952,8053	7464,5837	240,7087	8,0777	3,7867	232,6783
s	0	0	7,238	654,06	1,829	0,352	0,165	4,582
V	0	0	0,76	8,762	0,76	4,357	4,363	1,969



A6: 3-Punktbiegeversuch Multitec Sandwich

Prüfbericht

Versuchsart	: Biegung	Material	: UP_Wirrfaser
Prüfnorm	: DIN EN ISO 178	Stützweite	: 48 mm
Prüfmaschine	: Inspekt 1464	Auflageradius	: 5 mm
Kraftmesszelle	: 2KN	Biegestempel (r)	: 5 mm
Auftraggeber	: Herr Seidlitz	Prüfgeschwindigkeit	: 2 mm/min
Prüfer	: Grunert	Vorkraft	: 10N
Probenhalter	: Biegeeinrichtung Zwick	Prüfdatum	: 25.03.2008

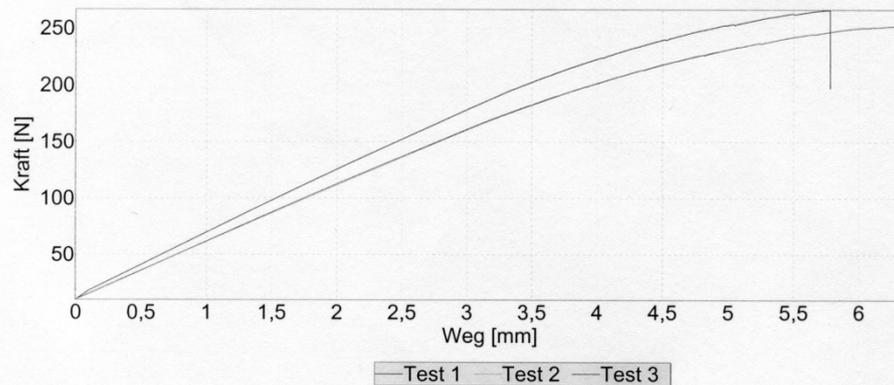
F _{max}	= Maximalkraft	ε _{fM}	= Biegedehnung
E(b)	= E-Modul	σ _{3,5%}	= 3,5% Biegespannung
σ _{fm}	= Biegefestigkeit	b	= Breite
f _b	= Durchbiegung	h	= Höhe

Resultate UP_Wirrfaser_2:

Name	b [mm]	h [mm]	F _{max} [N]	E(b) [MPa]	σ _{fm} [MPa]	f _b [mm]	ε _{fM} [%]	σ _{3,5%} [MPa]
Test 1	24,200	11,500	266,478	2788,426	93,121	5,678	4,332	85,381
Test 2	24,200	11,500	229,790	2382,833	80,300	4,847	3,698	77,846
Test 3	24,200	11,500	252,696	2397,965	88,305	6,248	4,767	77,743

Statistik UP_Wirrfaser_2:

	b [mm]	h [mm]	F _{max} [N]	E(b) [MPa]	σ _{fm} [MPa]	f _b [mm]	ε _{fM} [%]	σ _{3,5%} [MPa]
MW	24,2	11,5	249,6547	2523,0747	87,242	5,591	4,2657	80,3233
s	0	0	18,532	229,926	6,476	0,705	0,538	4,38
V	0	0	7,423	9,113	7,423	12,601	12,602	5,453



A7: 3-Punktbiegeversuch Multitec

Prüfbericht

Versuchsart : Biegung
 Prüfnorm : DIN EN ISO 14125
 Prüfmaschine : Inspekt 1464
 Kraftmesszelle : 2KN
 Auftraggeber : Herr Seidlitz
 Prüfer : Grunert
 Probenhalter : Biegeeinrichtung Zwick

Material : UP_Wirrfaser
 Stützweite : 80 mm
 Auflageradius : 5 mm
 Biegestempel (r) : 5 mm
 Prüfungsgeschwindigkeit : 2 mm/min
 Vorkraft : 5N
 Prüfdatum : 25.03.2008

Fmax = Maximalkraft
 E(b) = E-Modul
 σ_{fm} = Biegefestigkeit
 fb = Durchbiegung
 fm = Durchbiegung_fm

ϵ_{fM} = Biegedehnung
 $\sigma_{3,5\%}$ = 3,5% Biegespannung
 b = Breite
 h = Höhe

Resultate Multitec:

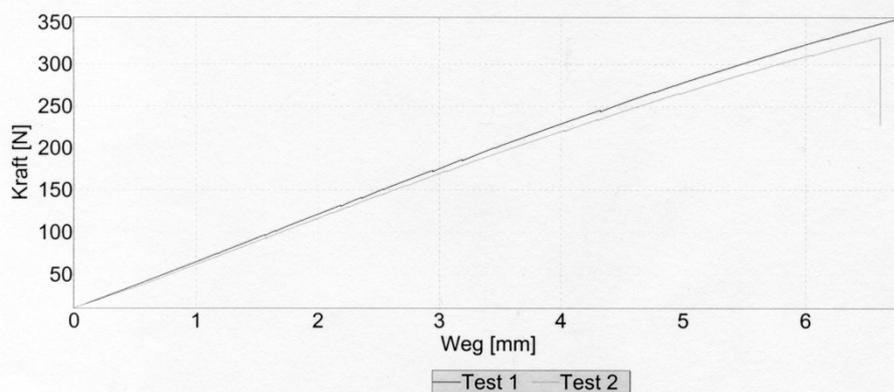
Name	b [mm]	h [mm]	Fmax [N]	E(b) [MPa]	σ_{fm} [MPa]	fb [mm]	fm [mm]	ϵ_{fM} [%]
Test 1	24,000	2,930	355,786	1288,522	25,013	6,746	6,746	2,069
Test 2	24,000	2,930	332,224	1196,048	23,356	6,553	6,553	2,009

Name	$\sigma_{3,5\%}$ [MPa]
Test 1	n.a.
Test 2	n.a.

Statistik Multitec:

	b [mm]	h [mm]	Fmax [N]	E(b) [MPa]	σ_{fm} [MPa]	fb [mm]	fm [mm]	ϵ_{fM} [%]
MW	24	2,93	344,005	1242,285	24,1845	6,6495	6,6495	2,039
s	0	0	16,661	65,389	1,172	0,136	0,136	0,042
V	0	0	4,843	5,264	4,845	2,052	2,052	2,081

	$\sigma_{3,5\%}$ [MPa]
MW	n.a.
s	n.a.
V	n.a.



6 Literaturverzeichnis

- [1] Bültjer, U.: Produktion von GFK und duroplastischen Formmassen in Europa. 10. Internationale AVK-TV Tagung, Stuttgart, 2007.
- [2] Merkblatt zur Berufskrankheit Nr. 1303: Erkrankungen durch Benzol, seine Homologe oder Styrol, BArbBl. 2/1964 S. 30.
- [3] Bültjer, U.: Das AVK-TV Handbuch-Faserverstärkte Kunststoffe und duroplastische Formmassen, Arbeitsgemeinschaft verstärkte Kunststoffe-technische Vereinigung e. V., Frankfurt am Main, 2005.
- [4] Hennecke GmbH, Polyurethane Technology, INNOVATIONS Journal für Techno-logien und Trends auf dem PUR-Markt, Sankt Augustin, 2002.
- [5] Bayer MaterialScience AG: Multitec® SHORT FIBER SPRAYING für Beschichtungen im Sprühverfahren, Herstellung und Eigenschaften von glasfaserverstärkten Artikeln aus Polyurethan im Sprühverfahren, Global Marketing-EMEA-Elastomer Systems Bayer MaterialScience AG, Leverkusen, 17.03.2006.
- [6] Bayer MaterialScience AG: Multitec® Flex für Beschichtungen und Formteile im Sprühverfahren/Herstellung und Eigenschaften von Artikeln aus Polyurethan im Sprühverfahren, PUR-EMEA-BaySystems Elastomers Bayer MaterialScience AG, Leverkusen, 12.09.2007.
- [7] Bayer MaterialScience AG: Ermittlung der Baustoffklasse B2 durch Brandprüfungen nach DIN 4102-1, BayerIndustry Services GmbH & Co. OHG SUA SPA Brandtechnologie Gebäude B411, Leverkusen, 16.12.2005.
- [8] Ehrenstein, G. W.: Faserverbund-Kunststoffe, Werkstoffe-Verarbeitung-Eigenschaf-ten, HANSER-Verlag, 2. vollständig überarbeitete Auflage, München, 2006.
- [9] Lätzsch, K.-H.: Lätzsch GmbH, 2007.
- [10] Bayer Material Science AG, H. Kürschner, 2007.
- [11] Böllhoff Verbindungstechnik GmbH, Selbstschneidende Gewindeeinsätze für Kunststoffe mit Innensechskant, Bielefeld, 04/2001.
- [12] CT Platon BV, <http://www.ctplaton.nl/de/index.htm>, 09/2007.
- [13] STARKE, J.: Beiträge zum Pressen langfaserverstärkter Kunststoffe. Dissertation an der RWTH Aachen, 1993.
- [14] Brast, K.: Dissertation Verarbeitung von langfaserverstärkten Thermoplasten im direkten Plastifizier-/Pressverfahren, Aachen, 2001.
- [15] Moser, K.: Faserkunststoffverbund: Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 1992.

- [16] Hennecke GmbH-Polyurethane Technology: PUR-CSM Polyurethane-Composite Spray Moulding, Sankt Augustin, 11/2006.
- [17] Cairati, Christian-Cannon Afros: CANNON SPRAYING PROCESS FOR REINFORCED POLYURETHANE WITH SHORT GLASS FIBRES, Edited by Afros Communication-Italy, 04/2006.
- [18] KUKA Robotics, www.Kuka.de, 11/2007.
- [19] JENOPTIK AG, www.JENOPTIK.com, 08/2007.
- [20] KraussMaffei Technologies GmbH, www.KraussMaffei.de, 09/2007.