

MO-PA-HYB

# MODULARE PRODUKTIONSANLAGEN FÜR HYBRIDBAUTEILE

---

PROJEKT-ABSCHLUSSBERICHT

**DIEFFENBACHER**

 **Fraunhofer**  
ICT

 **KIT**

 **wbk**




---

PROJEKTPARTNER

**DIEFFENBACHER**

**ADIENT**

**ARBURG**

ARaymond®

**KUKA**

PORSCHE

**SIEMENS**

**SCHMALZ**

**TRUMPF**

**VDMA**

**VITRONIC**  
the machine vision people

**wbk**

**Fraunhofer**  
ICT

GEFÖRDERT VOM



BETREUT VOM



DAS MOPAHYB-KONSORTIUM ZU GAST BEI DIEFFENBACHER ZUM PROJEKT-KICK-OFF IM JAHR 2015



## SEHR GEEHRTE LESERIN, SEHR GEEHRTER LESER,

Verbundprojekte haben sich als wirksames Instrument der Innovationsförderung bewährt. Insbesondere bei komplexen Problemstellungen, deren Lösung die Mitwirkung vieler verschiedener Partner erfordert, bieten sie eine geeignete Plattform der Zusammenarbeit. Das Verbundprojekt MoPaHyb ist ein herausragendes Beispiel dafür, welche Potenziale durch eine solche Zusammenarbeit erschlossen werden können. Voraussetzung dafür ist eine starke Motivation und das unbedingte Interesse der Partner am Erfolg des Projektes. Dass diese Voraussetzungen im Projekt MoPaHyb erfüllt sind, zeigte sich schon am Beginn, als bekannt wurde, dass die fest eingeplante Infrastruktur für das Projekt nicht zur Verfügung stehen wird und eine Ausweidlösung gefunden werden muss. Diese Bewährungsprobe hat das Konsortium im Zusammenwirken in hervorragender Weise gemeistert.

Auf den ersten Blick ist eine rekonfigurierbare Fertigungsanlage Gegenstand des Projektes und diese wurde ja auch tatsächlich entwickelt und aufgebaut, aber das Verbundprojekt MoPaHyb bietet weit mehr. Es wurde eine Anlage geschaffen, die unter realen Bedingungen das schwierige, aber mindestens ebenso dringende Thema der Schnittstellen adressiert. Die Konfigurierung der Anlage für ein neues Teil innerhalb weniger Stunden kann nur gelingen, wenn die einzelnen Komponenten schnell und sicher Informationen austauschen können, die beiderseits gleich verstanden und interpretiert werden. Hier ist sehr viel Detailarbeit geleistet worden, die insbesondere auch unter dem Blickwinkel Industrie 4.0 wertvoll und weit über das Projekt hinaus wirksam ist.

Für mich als seitens des Fördergebers verantwortlicher Projektingenieur war es eine spannende Zeit, in der ich beobachten konnte, wie die beteiligten Mitarbeiter zu einem echten Team mit Motivation und Engagement zusammengewachsen sind, und ich danke an dieser Stelle allen Beteiligten. Darin eingeschlossen sind neben den Personen auch die Unternehmen und Institutionen, die durch Bereitstellung der Ressourcen dieses Projekt möglich gemacht haben.

Ich bin überzeugt, dass alle Beteiligten von den Ergebnissen des Projektes profitieren, und wenn es darüber hinaus gelungen ist, Kooperationen zu schaffen, die über das Projekt hinausgehen, dann ist der Zweck der Förderung vollständig erfüllt.

DR.-ING. MICHAEL GROSSE  
Projekträger Karlsruhe PTKA

# VORWORTE



„DER HYBRIDE LEICHTBAU WIRD DURCH DIGITALISIERUNG UND AUTOMATISIERUNG LEICHT BEHERRSCHBAR.“

DR.-ING. MATTHIAS GRAF  
Dieffenbacher GmbH, MoPaHyb-Konsortialführer

Der hybride Leichtbau ist eine branchenübergreifende Schlüsseltechnologie, mit der herausragende Verbesserungen im Hinblick auf Ressourceneffizienz, Funktionsintegration, Performance, Ergonomie und Kosten erreicht werden können. Es ist noch eine junge Technologie, die sich in den nächsten Jahren noch erheblich weiterentwickeln wird.

Die Komplexität des hybriden Leichtbaus lässt sich durch Digitalisierung und Automatisierung leicht beherrschen. In dem Projekt MoPaHyb wurde erfolgreich ein neuer Steuerungsansatz entwickelt, der es ermöglicht, die Daten aus der Prozesssimulation zu nutzen, um damit den Produktionsablauf direkt zu steuern. Dadurch wird nicht nur der Aufwand für die Erstkonfiguration einer neuen Produktionslinie wesentlich vereinfacht, sondern auch der Aufwand für weitere Rekonfigurationen stark reduziert. Somit sind die Voraussetzungen geschaffen, eine Produktionsanlage im Laufe ihres Lebenszyklus mehrfach auf neue Bauteile, auch mit geänderten Prozessabläufen und neuen Prozessschritten, wirtschaftlich abbilden zu können. Ein wichtiger Schritt für die Zukunft des hybriden Leichtbaus.



„INDIVIDUALISIERTE PRODUKTE UND VOLATILE MÄRKTE ERFORDERN MODULARE PRODUKTIONSANLAGEN, DIE LEICHT KONFIGURIERT, IN BETRIEB GENOMMEN UND WIEDER UMKONFIGURIERT WERDEN KÖNNEN.“

PROF. DR.-ING. JÜRGEN FLEISCHER  
wbk Institut für Produktionstechnik am KIT, Institutsleiter

Die wirtschaftliche Herstellung hybrider Bauteile in volatilen Märkten erfordert innovative Konzepte für Produktionsanlagen. Die Modularisierung der verschiedenen Prozessschritte wie Fertigungsoperationen, Handhabung und Qualitätssicherung ermöglicht den Austausch einzelner Module für die Produktion weiterer Bauteile. Die Konfiguration, Inbetriebnahme und Rekonfiguration einer solchen Produktionsanlage erfolgt über einen Modulbaukasten und die automatisierte Generierung des Steuerungscode. Dieser Ansatz verkürzt das Engineering der Anlage signifikant und spart somit Zeit und Kosten. Der Aufbau und erfolgreiche Betrieb einer Referenzanlage zur Herstellung hybrider Bauteile im industriellen Maßstab zeigt das Potenzial des MoPaHyb-Projektes. Die realisierte Anlagenarchitektur kann dabei auch in vielen anderen Branchen und Anwendungsfeldern, wie z.B. der Fertigung von Batteriezellen oder Elektromotoren, Anwendung finden.

Mein Dank gilt allen Projektpartnern im MoPaHyb-Konsortium, die durch ihr hohes Engagement zum Gelingen des Projekts beigetragen haben. Ich danke weiterhin dem BMBF für die Förderung dieses Projektes sowie dem Projektträger Karlsruhe in Person von Herrn Dr. Michael Große für seine Unterstützung.



„DER LEICHTBAU VEREINT DIE KERN-KOMPETENZEN UNSERER INDUSTRIE IM BEREICH DER WERKSTOFFTECHNIK, DES ANLAGENBAUS SOWIE DER INGENIEURSKUNST, DIE DADURCH ÖKOLOGISCHE, ÖKONOMISCHE UND TECHNOLOGISCHE INNOVATIONEN HERVORBRINGT.“

PROF. DR.-ING. FRANK HENNING  
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie (ICT), stellv. Institutsleiter

Leichtbau, Elektromobilität, Digitalisierung und Industrie 4.0 zählen in diesem Jahrzehnt zu den Megatrends. Aufgrund der Komplexität der Themengebiete werden diese sowohl gesellschafts- als auch wirtschaftspolitisch oft kontrovers diskutiert. Dabei bieten gerade diese Trends die Möglichkeit, den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken und zu sichern.

Insbesondere im Leichtbau bieten hybride Systeme aus faserverstärkten Kunststoffen in Kombination mit metallischen Werkstoffen ein hohes Potenzial zur Einsparung von Ressourcen. Vorausgesetzt sind hierbei der zielgerichtete Einsatz sowie eine wirtschaftliche Fertigung.

In herausragender Zusammenarbeit der Projektpartner des BMBF-Projektes MoPaHyb konnte zu diesem Zweck ein technologisch richtungsweisender Ansatz erarbeitet und validiert werden. Dieser verbindet die Kompetenzen unterschiedlichster Akteure entlang der Wertschöpfungskette und bildet die Grundlage für den Einzug solcher Materialsysteme in die Serienproduktion.

# INHALT

---

GRUSSWORT	5
VORWORTE	7
INHALT	9

---

## 1 EINFÜHRUNG

MOTIVATION HYBRIDER LEICHTBAU	10
PROJEKTZIELE	11
DAS MOPAHYB-KONSORTIUM	12
VORSTELLUNG DER BETRACHTETEN BAUTEILE	14
VORSTELLUNG DER BETRACHTETEN PROZESSKETTEN	16

## 2 MODULARE PRODUKTIONSANLAGEN

DER MOPAHYB-ANSATZ	18
ANLAGENKONFIGURATION IM MODULBAUKASTEN	20
LINIENSTEUERUNG AUS EINEM CODEGENERATOR	22

## 3 MODULE FÜR DEN HYBRIDEN LEICHTBAU

DIEFFENBACHER FIBERFORGE	24
ARBURG FDC-SPRITZEINHEIT	26
RAYMOND INSERT-MODUL	28
TRUMPF TRUMATIC 7000	30
SCHMALZ GREIFMODULE	32
WBK INFRAROT-HEIZMODUL	34
VITRONIC KAMERAMESSTECHNIK	35

## 4 REKONFIGURIERBARE DEMONSTRATORANLAGE

VORSTELLUNG DER PILOTANLAGE	38
HERAUSFORDERUNGEN IN DER PROZESSFÜHRUNG	40

## 5 GESCHÄFTSMODELLE

GESCHÄFTSMODELL SYSTEMHAUS	42
KOOPERATIONEN IM MASCHINENBAU	45

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

ZUSAMMENFASSUNG	46
AUSBLICK	47
IMPRESSUM UND AUTOREN	48

AUTOR: DR. HUBERT STADTFELD

# DIE BEDEUTUNG VON HYBRIDEM LEICHTBAU FÜR PORSCHE



Wer Sportwagen baut, hat immer das Verhältnis von Leistung zu Gewicht im Auge. Nur der tägliche Kampf der Entwicklung um jedes Gramm Gewichtsreduzierung unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten und der materialspezifischen Bauart führt zu einem optimalen Ergebnis.

In der Fahrzeugkarosserie wurde der Schritt weg von reinen Stahlwerkstoffen zu einem metallischen Mischbau durch den starken Einsatz von Aluminium bereits vollzogen. Kunststoffe kommen in solchen strukturellen Anwendungen meist nur in Form von duroplastischen Faserverbundwerkstoffen zum Einsatz.

Porsche hat für den Supersportwagen 918 den ersten Schritt in Richtung thermoplastische Hybridbauweisen gewagt. Im 918 wurde ein Bremspedal in Serie gebracht, welches über einen gewebeverstärkten thermoplastischen Einleger verfügt, der durch das Spritzgussverfahren zu einem Integralbauteil verbunden wurde. Dieses

erfolgreiche Konzept der thermoplastischen Hybridbauweise wurde weiterentwickelt und nun in die verschiedenen Baureihen ausgerollt.

Dieses Konzept wurde kürzlich um metallische Elemente erweitert und in der A-Säule des 992 Cabrios erfolgreich in Serie gebracht. Diese hybride Verstärkung bringt im Vergleich zu metallischen Konzepten eine Gewichtseinsparung von 2,7 kg.

Um hybriden Leichtbau insbesondere auch im unteren Bereich der porschespezifischen jährlichen Stückzahlen von 500 bis 50.000 kosteneffizient einsetzen zu können, wäre ein modularer Ansatz von Produktionsanlagen ein geeignetes Mittel.

Darüber hinaus ist der im Projekt gewählte Ansatz wegen der Herstellung von komplexen metallischen Inserts bei kleinen Stückzahlen ohne kostenintensive Ziehwerkzeuge interessant. Daher war es für Porsche eine große Freude, das Projekt MoPaHyb fachlich zu unterstützen und hinsichtlich der Anwendbarkeit der Ergebnisse zu beraten.

Quelle Bild und Textinhalte: Presseinformation der Porsche AG, 11.4.2019, „Innovationen im Karosseriebau: der Multimaterialmix des neuen Porsche 911“

# MO·PA·HYB – MODULARE PRODUKTIONS- ANLAGEN FÜR HYBRIDBAUTEILE



## PROJEKTZIELE

Im Projekt MoPaHyb wurden neue Ansätze für die wirtschaftliche Produktion hybrider Faserverbund-Bauteile durch modular rekonfigurierbare Produktionsanlagen untersucht und validiert. Ziel war es, unterschiedlichste Maschinen als Module mit einer OPC UA Schnittstelle schnell und einfach in einer Modulbaukasten-App zu einer funktionsfähigen Produktionsanlage zu konfigurieren und in Betrieb zu nehmen. Als Beispielprodukte wurden hybride Faserverbundbauteile gewählt, da hier die Anforderungen an den Prozess und die Anlagentechnologie besonders hoch sind und zu einer aufwendigeren Inbetriebnahme führen.

Durch den modularen MoPaHyb-Ansatz können neue Maschinenkonzepte und innovative Leichtbautechnologien einfach zu einer Anlage kombiniert werden. Highlights der Anlage sind z.B. die neue Dieffenbacher Fiberforge 4.0 zum lastgerechten Legen von Carbonfaser-Tapes, die weltgrößte Arburg Langfaser-Spritzeinheit mit Faser-Direkt-Einzug, welche direkt an eine horizontal schließende Dieffenbacher Hydraulik-Pressen angeschlossen ist, Greiftechnologien mit integrierter Wärmebehandlung für das Handling von Organoblechen oder auch die Aufheizung von Organoblechen mit direkter Dickenmessung im Modul u. v. m.

Die Pilotanlage wurde für zwei verschiedene Bauteile, eine hybride CFK-Metall-Sitzlehne und einen CFK-Unterboden, konfiguriert und in Betrieb genommen. Der modulare Ansatz führte zu einer Rekonfigurationszeit von nur wenigen Stunden. Die Qualität der produzierten Bauteile war sehr zufriedenstellend und spricht für die exzellenten Maschinen und Technologien aller Partner. Die Projektergebnisse finden Sie auf den nächsten Seiten kompakt zusammengefasst.

## MODULARE ANLAGENARCHITEKTUR

- **Schnelle Konfiguration der Linie über Modul-Beschreibungen in AutomationML**
- **Serviceorientierte Steuerungsarchitektur mittels modernem OPC UA Standard**

## INNOVATIVE LEICHTBAUTECHNOLOGIEN

- **Intelligentes Tapelegen von CFK-Tapes**
- **Langfaser-Spritzgießen an einer Hydraulik-Pressen**
- **Funktionale Greifsysteme**



# DAS MO·PA·HYB-KONSORTIUM

## DIEFFENBACHER

Dieffenbacher ist eine internationale Firmengruppe im Bereich Maschinen- und Anlagenbau. Mit über 1.700 Mitarbeitern und 16 Produktions- und Vertriebsstandorten weltweit sind wir ein führender Hersteller von Pressensystemen und kompletten Produktionsanlagen für die Holzwerkstoff-, Automobil-, Luftfahrt- und Recyclingindustrie. Die Business-Unit Composites entwickelt Verfahren, Pressen und vollautomatisierte Produktionslinien zur Herstellung faserverstärkter Kunststoffbauteile.



Adient ist ein führender Hersteller von Fahrzeugsitzsystemen und -komponenten. Komfort und Sicherheit kombinieren wir mit hochwertiger Qualität und punktgenauer Lieferung. Wir entwickeln, testen und validieren neue Technologien, die den Produktentstehungsprozess beschleunigen und effizienter machen – bei niedrigeren Kosten und gleichzeitig höherer Qualität. Unsere überlegene Expertise ist die Basis für zukunftsfähige Sitzkomponenten und -systeme.



Das Familienunternehmen ARBURG gehört weltweit zu den führenden Herstellern von Spritzgießmaschinen mit Schließkräften zwischen 125 kN und 6.500 kN. Vervollständigt wird das Produktprogramm durch Robot-Systeme, kunden- und branchenspezifische Projekte und weitere Peripherie. Im Unterschied zu vielen anderen Maschinenbau-Unternehmen praktiziert ARBURG eine sehr hohe Entwicklungs- und Fertigungstiefe, die sich zum Beispiel in der Ausprägung einer vollständig eigenständigen, NC-basierten Steuerungstechnik für die von ARBURG produzierten Produkte wiederfindet.



Die Firma ARaymond ist Marktführer im Bereich der Befestigungselemente, Spezialbefestigungssysteme, Befestigungsprototypen sowie deren automatisierter Einbringung. Damit ist ARaymond mit seinen Produkten in den Märkten Automotive, Industrial, Energies, Agriculture und Life vertreten. ARaymond betreut seine Kunden mit eigenen Produktentwicklungen sowie deren Herstellung. Aktuelle Projekte befassen sich mit der Entwicklung geeigneter Inserts zur Lasteintragung für Leichtbaustrukturen, insbesondere ihrer Integration in die Struktur zur Vermeidung zusätzlicher Prozessschritte.



Das Fraunhofer ICT forscht anwendungsbezogen und orientiert sich damit am Bedarf von Unternehmen und öffentlichen Auftraggebern. Der Produktbereich Polymer Engineering steht für anwendungsnahe Forschung an Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen: von der Materialentwicklung und -charakterisierung, Kunststoffverarbeitung, Bauteilentwicklung und -fertigung bis hin zum Recycling. Unser Ziel ist eine ganzheitliche Produkt- und Werkstoffentwicklung hinsichtlich robuster, automatisierter und flexibler Prozesse, Ressourceneffizienz und Umweltschonung sowie der Digitalisierung.



Das wbk Institut für Produktionstechnik ist eines der größten Institute der Fakultät Maschinenbau am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Mit über 100 Mitarbeitern in den Bereichen „Fertigungs- und Werkstofftechnik“, „Maschinen, Anlagen und Prozessautomatisierung“ sowie „Produktionssysteme“ werden produktionstechnische Fragestellungen aus unterschiedlichsten Blickwinkeln betrachtet.



KUKA ist ein international tätiger Automatisierungskonzern mit einem Umsatz von rund 3,2 Mrd. EUR und rund 14.200 Mitarbeitern. Als einer der weltweit führenden Anbieter von intelligenten Automatisierungslösungen bietet KUKA den Kunden alles aus einer Hand: vom Roboter über die Zelle bis hin zur vollautomatisierten Anlage und deren Vernetzung in Märkten wie Automotive, Electronics, General Industry, Consumer Goods, E-Commerce/Retail und Healthcare. Der Hauptsitz des Unternehmens ist Augsburg.



Die Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG mit Sitz in Stuttgart-Zuffenhausen ist einer der profitabelsten Automobilhersteller der Welt. Porsche hat 2018 insgesamt 256.255 Fahrzeuge der Modelle 911, Cayenne, Macan, Panamera, 718 Boxster und 718 Cayman an Kunden weltweit ausgeliefert – eine Steigerung um 4 Prozent im Vergleich zum Vorjahr. Der Sportwagenhersteller erzielte dabei ein operatives Ergebnis von 4,3 Milliarden Euro, vier Prozent mehr als im Jahr zuvor. Porsche hat Werke in Stuttgart sowie Leipzig und betreibt ein Entwicklungszentrum in Weissach und beschäftigt 32.325 Mitarbeiter. Das Prinzip von Porsche, das Maximum aus den Möglichkeiten herauszuholen, kommt von der Rennstrecke und steckt in jedem Fahrzeug. Dank des hohen Qualitätsanspruchs sind noch heute mehr als 70 Prozent aller je gebauten Porsche-Fahrzeuge auf der Straße.



Die J. Schmalz GmbH ist ein weltweit führender Partner für Vakuum-Technologie und einer der wenigen Komplettanbieter in diesem Bereich. Schmalz entwickelt und liefert alle wichtigen Vakuum-Komponenten, um Greifer für Industrieroboter und Portale aufzubauen. Sauggreifer halten das Werkstück fest und transportieren es im Produktionsprozess. Bei der Überwachung des Handlingsystems gewährleistet Sensorik von Schmalz Prozesseffizienz und -sicherheit. Zur Anwendung kommen Schmalz-Komponenten in Roboterapplikationen nahezu aller Industriezweige.



Die Siemens AG ist die führende deutsche Gesellschaft im Bereich der Entwicklung von Automatisierungslösungen und dem Aufbau geregelter Prozessketten. Die Erfahrungen und Kompetenzen im industriellen Kommunikations- und Steuerungsumfeld von Produktionslinien in den unterschiedlichsten Industrien zusammen mit dem breiten Portfolio an leistungsfähigen Automatisierungsprodukten ermöglicht den Aufbau einer anwenderfreundlichen, offenen und performanten Systemarchitektur.



TRUMPF ist ein weltweit führendes Technologieunternehmen mit den Geschäftsfeldern Werkzeugmaschinen, Lasertechnik und Elektronik. Die Produkte und Leistungen aus der Fertigungstechnik des Unternehmens kommen in nahezu jeder Branche zum Einsatz. TRUMPF ist Technologie- und Marktführer bei Werkzeugmaschinen für die flexible Blechbearbeitung und bei industriellen Lasern.



Der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) vertritt über 3.200 vorrangig mittelständische Mitgliedsunternehmen der Investitionsgüterindustrie und ist damit größter Industrieverband in Europa. Die VDMA-Arbeitsgemeinschaft Hybride Leichtbau-Technologien befasst sich mit Produktionsprozessen hybrider Leichtbaukomponenten unter Verwendung von Faserverbundwerkstoffen und Metallen. Neben den Technologieanbietern steht auch Anwendern, Zulieferern und Forschungsinstituten die Mitwirkung in der über 200 Mitglieder umfassenden AG offen.



VITRONIC entwickelt, produziert und liefert seit 30 Jahren kundenspezifische Lösungen und Systeme der industriellen Bildverarbeitung für den internationalen Markt. Dabei beschränkt sich VITRONIC nicht darauf, Automationslösungen durch Integration marktgängiger Komponenten zu realisieren, sondern stärkt seine Marktstellung durch innovative Eigenentwicklungen leistungsfähiger bildgebender Sensorik. Typische Beispiele: hochauflösende Hochgeschwindigkeits-Zeilenkameras.

AUTOR: ADIENT AUTOMOTIVE GMBH

DEMONSTRATORBAUTEIL 1:

# FVK-HYBRID-SITZLEHNE

Für die Demonstration der Vorteile modularer Produktionsanlagen wurden zwei herausfordernde Prozessketten zur Fertigung thermoelastischer Faserverbund-Metall-Hybridbauteile ausgewählt. Die Pilotanlage wurde für beide Konfigurationen aufgebaut und mehrere hundert Bauteile je Konfiguration wurden produziert und anschließend getestet.

Das erste Bauteil ist eine Sitzlehne der Adient Engineering and IP GmbH, welche exemplarisch als Innenstrukturbauteil im Sportwagenbereich steht. Das Bauteil wurde materialtechnisch bereits im Forschungsprojekt CAMISMA untersucht und optimiert. Der Fokus von MoPaHyb liegt daher auf einer effizienten Produktion der Bauteile im Hinblick auf eine Großserienfertigung.

## // Hybride Sitze haben ein enormes Integrationspotenzial. //

R. MÜLLER

Leiter Prozess- und Material-Entwicklung  
Bereich Plastic / Composite @ Adient EU

Die Sitzlehne ist aufgebaut aus einem Organoblech mit Polyamid-6-Matrix, welches lokal durch Carbonfaser-Tapes aus dem Hause Celanese verstärkt wurde. Die verwendeten Tapebreiten variieren in der Breite von 50 bis 110 mm. Dadurch weist das flächige Halbzeug verschiedene Dickenbereiche auf. Mehr Details finden Sie auf > Seite 24.

In der Sitzbaugruppe (dargestellt links) ist eine Neigungsverstellung der Lehne vorgesehen. Daher sind im unteren Bereich des Bauteils

metallische Einleger integriert, welche die Anbindung zum sogenannten „Recliner“ ermöglichen. Diese umgeformten und gestanzten Bleche bestehen aus HC500LA feingewalztem mikrolegiertem Stahl und haben hohe Genauigkeits- und Lastanforderungen, da es sich um ein sicherheitskritisches Element handelt (siehe > Seite 30).

Um die Befestigung zusätzlicher Sitzkomponenten zu ermöglichen, sind in der Lehne zwei M6-Gewindeinsätze eingebettet. Diese wie auch die Blecheinleger werden in einem intrinsischen Fügeprozess mit Spritzgussmaterial umspritzt und somit fixiert. Um die Anbindung zu verbessern, sind die Metalleinleger mit einer Oberflächenbeschichtung behandelt worden. Alternativ wurden auch Untersuchungen zur Oberflächenbehandlung mittels Laserstrukturierung durchgeführt (siehe > Seite 28).

Die Sitzlehne erhält ihre finalen Produkteigenschaften in einem Prozessschritt: dem Umformen und Hinterspritzen des aufgeheizten Tapegeleges. Die Verstärkungsrippen bestehen aus einem Polyamid-6-Copolymer mit 47 % GF-50-Faseranteil, welcher zusätzlich durch das Faser-Direkt-Compoundieren noch gesteigert wird. Mehr dazu auf > Seite 26.

Die gefertigten Bauteile wurden nach der Produktion auf Genauigkeit und insbesondere Wärmeverzug untersucht. Anschließend wurden die sicherheitskritischen Bauteile gemäß den gesetzlichen Anforderungen statisch getestet.

### 1.1 SPORTWAGEN-SITZLEHNE



Bestehend aus:

- Carbonfaser UD-Tapegelege (PA6)
- LFT-D-Rippenstruktur
- M6-Gewindeinserts
- Recliner-Metallbleche beschichtet

- Schemata des Automotive-Sitzes, in den die MoPaHyb-Sitzlehne integriert wird



AUTOR: FRAUNHOFER ICT

DEMONSTRATORBAUTEIL 2:

# UNTERBODEN-SUBSTRUKTUR

Im Rahmen der Demonstration des im MoPaHyb entwickelten Anlagenkonzeptes lag der Fokus nicht nur auf der Darstellung der Rekonfigurationsfähigkeit durch einen reinen Bauteilwechsel. Vielmehr war es Ziel, das volle Potenzial des Ansatzes darzustellen. Daher wurde der Bauteilwechsel mit einer Veränderung des intrinsischen Hybridisierungsverfahrens und somit dem Wechsel des grundlegenden Verarbeitungsverfahrens gekoppelt. Hierfür wurde der zweite Demonstrator, eine Unterbodensubstruktur, gewählt und im langfaserverstärkten Thermoplast-(LFT)-Fließpressverfahren hergestellt.

## MOTIVATION HYBRIDER LEICHTBAU IN DER FAHRZEUGSTRUKTUR

Im Gegensatz zum Demonstrator 1, der Sitzlehne, handelt es sich bei der im Folgenden beschriebenen Fahrzeugunterbodensubstruktur um ein primäres Strukturbauteil. Bei der Entwicklung des Demonstrators innerhalb des vom BMBF geförderten Projektes MAI qfast stand eine vollumfängliche Leichtbauanalyse für tragende Strukturen im Automobil im Fokus. Alternative Werkstoffe, Werkstoffkombinationen und deren prozessspezifische Fertigungsrestriktionen, aber auch die daraus resultierenden wirtschaftlichen Wechselwirkungen sollten ganzheitlich bewertet werden. Einer der möglichen Lösungsansätze ist durch die faserverstärkte Unterbodensubstruktur, die auch im MoPaHyb gefertigt wurde, gegeben. Hierbei wird eine im Karosserie-rohbau üblicherweise metallisch gefertigte Struktur durch eine hybride Lösung ersetzt.

## AUFBAU DER UNTERBODENSUBSTRUKTUR

An strukturelle Bauteile im Automobil werden höchste Anforderungen an die Kompatibilität zur Gesamtstruktur gestellt. Führendes Kriterium ist hierbei die passive Sicherheit sowie die damit verbun-

dene Integrität des Fahrzeugs. Um gleichzeitig wirtschaftlichen und großserientauglichen Anforderungen an das Produkt gerecht zu werden, wurde eine Kombination aus kontinuierlich faserverstärktem und langfaserverstärktem Thermoplast gewählt.

Die kontinuierlich faserverstärkten Thermoplaste in Form eines unidirektional (UD) kohlenstofffaserverstärkten Tapelaminates mit Polyamid-6-Matrix dienen hierbei als skelettartige Versteifungsstruktur. Diese wird beim Demonstrator im Bereich der Sitzanbindung und im Bereich des Mittelunnels eingesetzt. Die D-LFT-Fließpressmasse aus Glasfasern und Polyamid-6 dient zur Formgebung und Funktionalisierung. Durch die erhöhte geometrische Freiheit bei der Gestaltung des LFTs ist es möglich, die Struktur durch eine Rippenstruktur zusätzlich zu versteifen.

## HERAUSFORDERUNGEN BEI DER FERTIGUNG DES BAUTEILS

Die Unterbodensubstruktur stellt weitgreifende Anforderungen an eine automatisierte Fertigung, da die LFT-Fließpressmasse in einem kontinuierlich arbeitenden Direktverfahren hergestellt wird, der Pressprozessschritt jedoch sequenziell stattfindet. Die Bereitstellung und Verarbeitung des UD-Tapelaminates findet hierbei ebenfalls sequenziell statt und muss entsprechend eingetaktet werden.

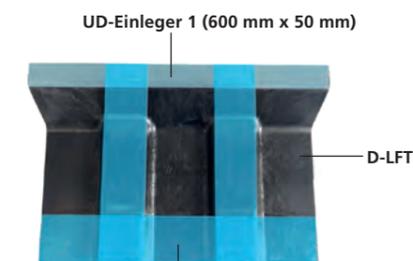
Zudem ist die Prozessführung hinsichtlich der Bauteilqualität und der mechanischen Eigenschaften von entscheidender Bedeutung. Da das UD-Tapelaminat zusammen mit der Fließpressmasse während des Pressprozesses seine finale Form annimmt, muss eine Verschiebung des Laminates verhindert werden. Die vorgeschaltete Vordrapierung durch den Greifer und das Temperaturmanagement der Halbzeuge bilden hierbei wichtige Kriterien.

### 1.2 AUTOMOBIL-UNTERBODENSTRUKTUR

Fertiges Bauteil der Unterbodenstruktur  
mit Verrippung

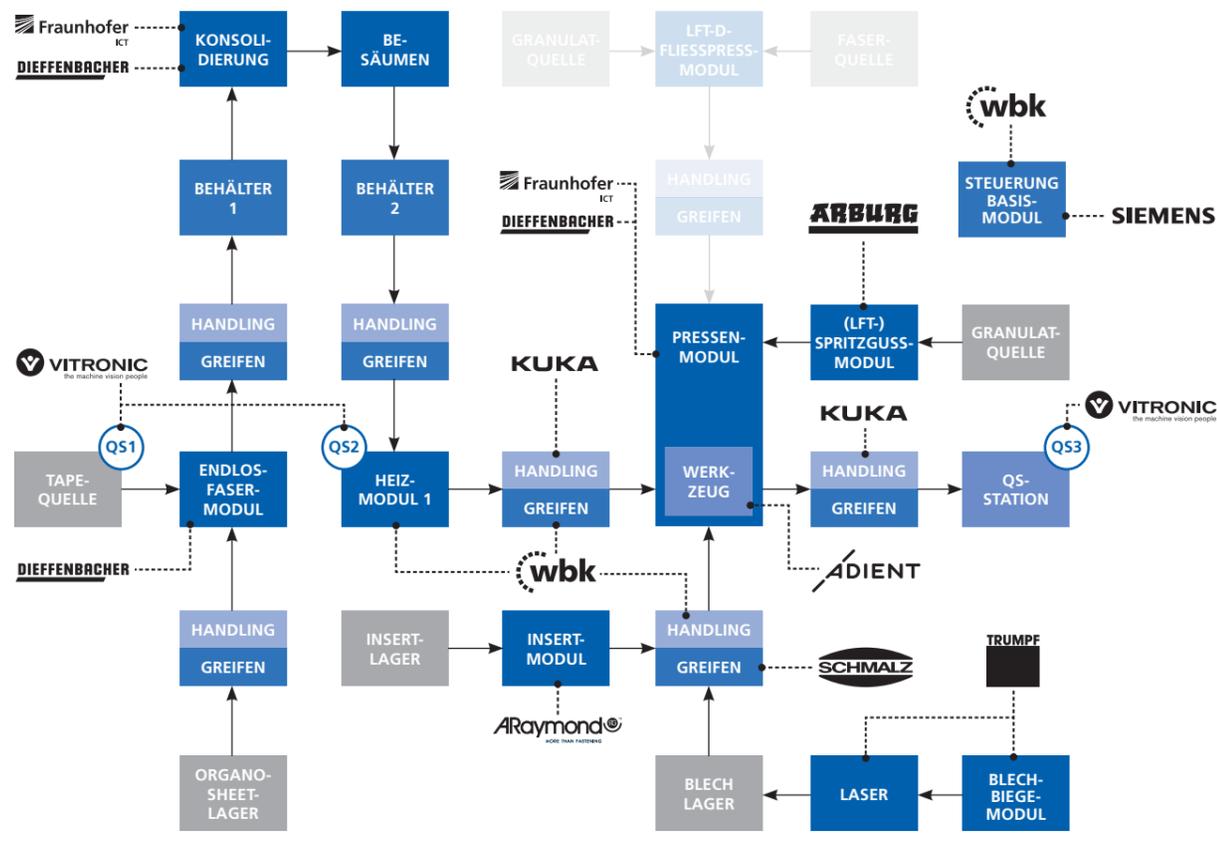
Bestehend aus:

- Lokalen UD-Tapes
- D-LFT-Thermoplast

UD-Einleger 2  
Querträger: 440,6 mm x 106 mm  
Schweller: 652,9 mm x 100 mm

# VORSTELLUNG DER PROZESSKETTEN

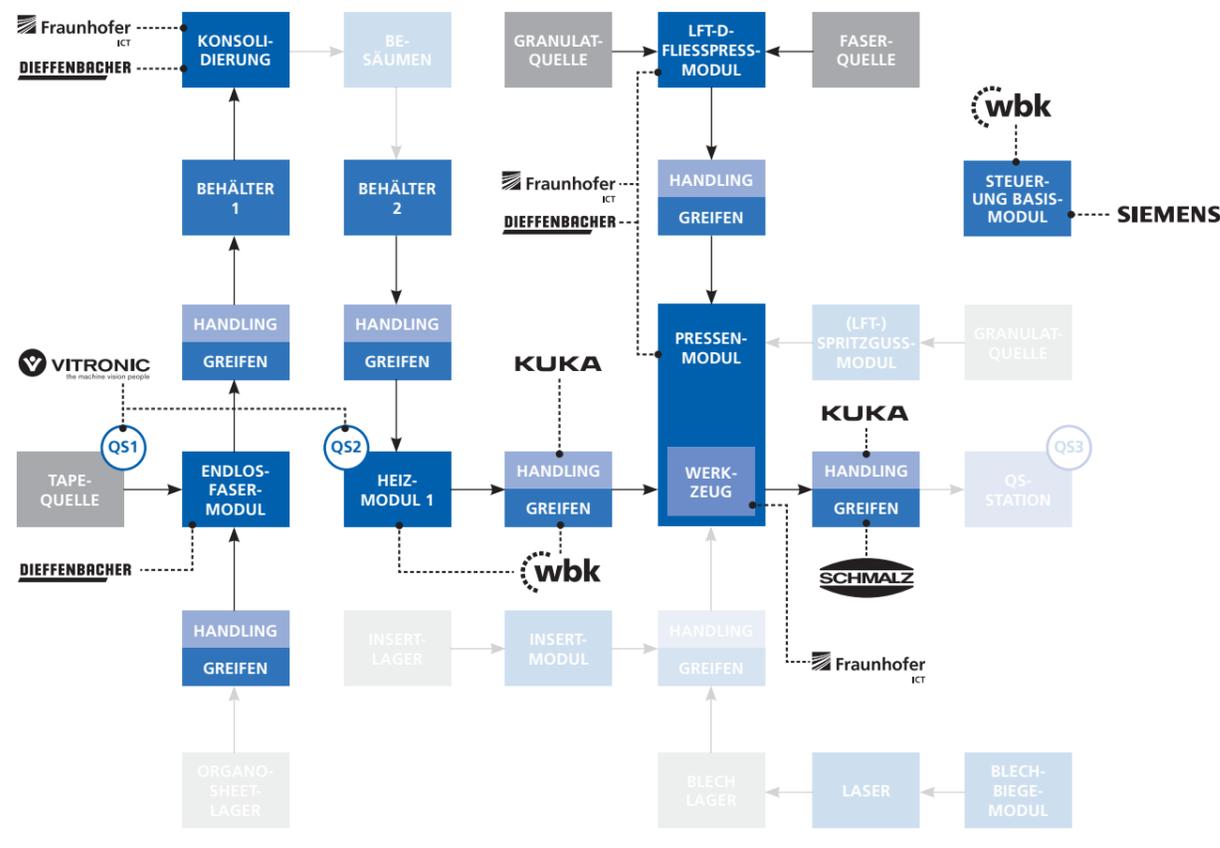
## 1.3 PROZESSKETTE 1 – HERSTELLUNG DER SITZLEHNE



### PROZESSKETTE 1 – HERSTELLUNG DER SITZLEHNE

Die Fertigung der Sitzlehne erfolgt in einem hybriden Spritzpressprozess. Die Prozesskette beginnt mit der Herstellung der sogenannten thermoplastischen Tailored Blanks. Hierzu werden auf der Fiberforge-Tapelegeanlage Organoblechzuschnitte lokal mit mehreren Lagen unidirektionalverstärktem Tape belegt. Während des Tapelegens wird die Dicke der Tapes durch das QS1-Modul gemessen. Dieser Rohling wird dann auf einer Doppelbandpresse konsolidiert und anschließend durch Wasserstrahlschneiden auf die notwendige Kontur besäumt. Die Konsolidierung und das Besäumen sind als externe Prozessschritte nicht Teil der aufgebauten Referenzanlage. Das fertige Tailored Blank wird anschließend manuell in das Heizmodul eingelegt. Beim Einfahren wird durch das QS2-Modul die Dicke des konsolidierten Tailored Blanks gemessen und anschließend geregelt auf eine Zieltemperatur über der Schmelztemperatur des Matrixpolymers aufgeheizt. Diese Temperatur wird für eine voreingestellte Zeit zum Durchwärmen des Laminats gehalten. Parallel zur Erwärmung des Tailored

## 1.4 PROZESSKETTE 2 – HERSTELLUNG DES KFZ-UNTERBODENS



### PROZESSKETTE 2 – KFZ-UNTERBODEN

Blanks werden durch den Industrieroboter mit dem Greifsystem 1 die Blecheinleger aus der Zuführeinrichtung und die Inserts aus dem Insertmodul entnommen und in das Werkzeug in der Presse eingelegt. Anschließend erfolgt ein Greiferwechsel auf das Greifsystem 2. Mit diesem wird das erwärmte Tailored Blank aus dem Heizmodul entnommen, auf dem Werkzeug abgelegt und mittels in das Greifsystem integrierter Stempel vorgeformt. Durch das Schließen der Presse wird das Tailored Blank auf die finale Geometrie umgeformt. In das geschlossene Werkzeug wird anschließend durch das Spritzgussmodul plastifiziertes glasfaserverstärktes Polymer eingespritzt. Während der Abkühlzeit des Bauteils im Werkzeug erfolgt ein weiterer Greiferwechsel zurück auf das Greifsystem 1, mit welchem nach dem Öffnen des Werkzeugs das fertige Bauteil entnommen wird. Dieses wird dann auf einem Förderband zur Ausschleusung und anschließenden Qualitätskontrolle im QS3-Modul abgelegt. Auf dem QS3-Modul findet eine abschließende Verzugsmessung der Sitzlehne statt.

Die Prozesskette für den Kfz-Unterboden basiert auf der Fließpress-technologie mit einem im Direktverfahren hergestellten Langfaserthermoplast-Plastifikat. Der erste Schritt ist auch hier die Herstellung des Geleges aus unidirektionalem Tape auf der Tapelegeanlage, welches anschließend außerhalb der Referenzanlage auf einer Doppelbandpresse konsolidiert wird. Nach der Konsolidierung erfolgt die geregelte Aufheizung im Heizmodul über die Schmelztemperatur. Das aufgeheizte Tapegelege wird mittels des Greifsystems 3 vom Heizmodul in das Werkzeug transferiert, dabei durch die im Greifsystem integrierten Infrarot-Strahler weiter erwärmt und durch eine Aktuatorik am Greifsystem ohne eine zusätzliche Negativform vorgeformt. Nach dem automatisierten Ablegen des Tapegeleges in das Werkzeug erfolgt das manuelle Einlegen des D-LFT-Plastifikatstrangs in das Werkzeug. Beim Schließen der Presse fließt das D-LFT-Plastifikat in die Rippen des Werkzeugs und formt das Bauteil aus. Die Entnahme des fertigen Bauteils nach der Abkühlzeit des Thermoplasts und dem Öffnen der Presse erfolgt manuell.

# MODULARE PRODUKTIONSANLAGEN – DER MO·PA·HYB-ANSATZ

## MOTIVATION

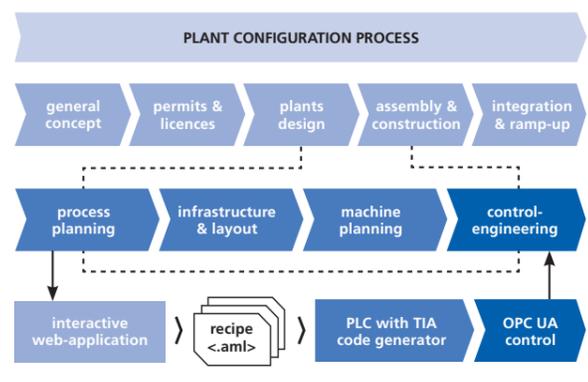
Um volatilen Marktanforderungen gerecht zu werden, müssen moderne Produktionsanlagen schnell konzipiert, geplant, aufgebaut und in Betrieb genommen werden können. Im Rahmen von „Industrie 4.0“ steigt allerdings die Anzahl der miteinander interagierenden Systeme und somit die Komplexität der Anlage. Der Aufwand für das Interface-Engineering und die Integration nimmt daher rasant zu. Die Modularisierung ist ein Lösungsansatz, diese Anforderungen an Flexibilität, schnelle Integration sowie Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit zu erfüllen. Die derzeit verwendeten Steuerungssysteme sind jedoch nicht gut geeignet, um schnell neu konfiguriert zu werden. Die Änderung eines Prozesses oder Produkts erfordert in der Regel eine zeitaufwendige Neuprogrammierung der Steuerungen. Die MoPaHyb-Methode zur (Re-)Konfiguration einer modularen Produktionslinie über eine webbasierte Anwendung ist eine Möglichkeit, um den Engineering-Prozess zu verkürzen und so Kosten zu senken.

## MODULARER ANSATZ

Grundlage der modularen Produktionsanlage im Projekt MoPaHyb ist eine serviceorientierte Anlagenarchitektur mit einem Basis-Steuerungs-Modul, welches die zentrale Funktionalität einer Liniensteuerung übernimmt, und einzelnen Produktionsmodulen. Bei diesen handelt es sich um vollständige Einzelmaschinen verschiedener Hersteller mit eigener Steuerung, die autark als Stand-Alone-Maschine oder in einem Anlagenverbund betrieben werden können. Die Prozesskette besteht aus einer Kombination an Services, welche von den Produktionsmodulen angeboten werden. Durch diese Architektur wird erreicht, dass das Modul-Engineering vom eigentlichen Anlagen-Engineering getrennt wird.

Da die klassische Programmierung einer Liniensteuerung eine Rekonfigurierbarkeit des Steuerungsprojektkodes konzeptionell nicht ermöglicht, wird die Programmierung der SPS in MoPaHyb in die Web-Applikation „Modulbaukasten“ verlegt. Diese ermöglicht die Verwendung moderner Programmiersprachen und interaktiver Benutzeroberflächen und somit eine deutlich bessere Usability. Darüber hinaus können vordefinierte Bibliotheken und Wissensquellen integriert werden, um die benötigten Informationen effizient bereitzustellen und zu verarbeiten.

### 2.1 WORKFLOW ZUR KONFIGURATION EINER MODULAREN ANLAGE



Im Modulbaukasten wird ein Anlagenmodell in Form einer AutomationML-Datei erzeugt. Diese ‚Herstellanweisung‘ wird mit Hilfe eines Codegenerators in eine Liniensteuerung umgewandelt (siehe > Seite 22). Der große Vorteil ist, dass die textbasierte Datei immer wieder bearbeitet und somit „rekonfiguriert“ werden kann. Das Gesamtkonzept basiert auf einer serviceorientierten Architektur (SoA) mit OPC UA als Steuerungsprotokoll, welche für MoPaHyb entwickelt wurde.

## SERVICE-ORIENTATED-ARCHITECTURE (SOA)

Um die Komplexität des Engineerings zu bewältigen und zu entschärfen, werden in serviceorientierten Architekturen Maschinenfunktionen in Services gekapselt. Maschinen bieten als Modul die Ausführung von Services an. Für den Aufruf eines Services müssen nur die wichtigsten Parameter übergeben werden, die Implementierung der Funktion in der Maschine bleibt dem Nutzer verborgen. Damit ist das Know-how des Modulherstellers gesichert, da der Quellcode der Funktion verborgen bleibt. Die Prozesskette selbst ist somit eine sequenzielle Zusammenstellung der angebotenen Services, die zyklisch oder ereignisgesteuert ausgeführt werden. Die Services werden vom Modulanbieter definiert und können daher sowohl in der Granularität als auch in der Leistungsfähigkeit variieren.

## SERVICES

Die Services können unterschiedlich intelligent ausgestaltet sein. Ein Service kann, analog zum Funktionsaufruf aus der Softwareentwicklung, eine Kombination parametrischer (Elementar-)Funktionen sein, die die übergebenen Werte interpretieren und auf der modulspezifischen Steuerung ausführen.

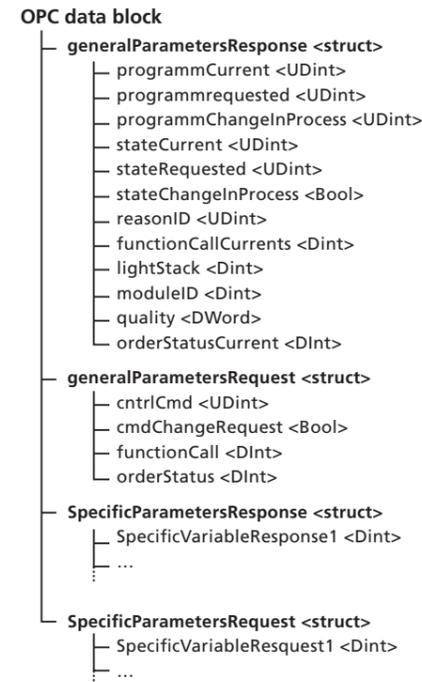
Eine wichtige Einschränkung für viele Anlagenbetreiber ist die Nutzung vorhandener Maschinen. Der einfache Aufruf eines vordefinierten, lokal auf dem Modul gespeicherten Maschinenprogramms wird daher in MoPaHyb ebenfalls unterstützt und ermöglicht die Integration bestehender Maschinen. In diesem Fall ist der einzige übergebene Parameter ein Zeichenkettename des auszuführenden Programms.

Eine weitere Option für einen angebotenen Service ist die autonome Erstellung des benötigten Maschinenprogramms. Dabei wird eine Datei an das Modul übergeben und eine Vorverarbeitung erstellt das lokale Steuerprogramm (siehe Dieffenbacher > Seite 24).

## SERVICEBASIERTE LINIENSTEUERUNG MIT OPC UA

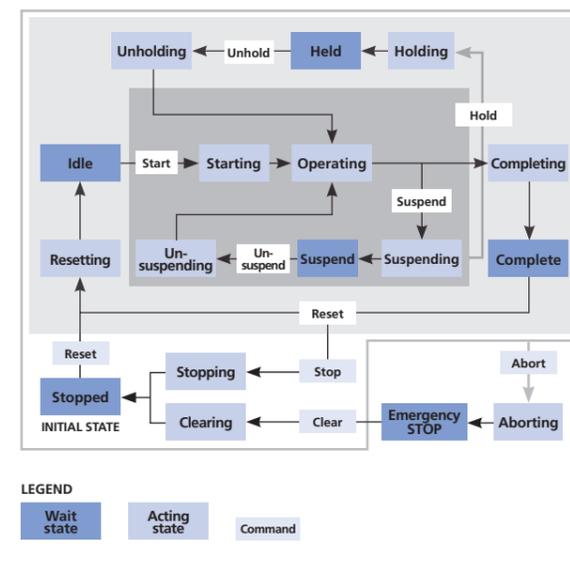
Als Basis für die SoA dient das Server-Client-Prinzip des OPC UA Steuerungsprotokolls. Jedes Produktionsmodul besitzt einen OPC UA Server und das Basismodul der Anlage ist der Client. Um die Voraussetzungen für die Integration von Modulen in die Gesamtanlage so gering wie möglich zu halten, wurde die Schnittstelle auf ein Minimum von 16 Parametern reduziert. Modulhersteller können daher alle internen Parameternamen, Typen und Werte beibehalten und müssen lediglich einen sehr kleinen Satz an einheitlichen Parametern implementieren. Die MoPaHyb OPC UA Schnittstelle besteht daher aus einem allgemeinen Teil „generalParameters“, welcher

### 2.2 AUFBAU DER MOPAHYB OPC UA SCHNITTSTELLE



in allen Modulen identisch sein muss, und einem individuellen Teil „specificParameters“, in dem der Modulhersteller komplett unabhängig ist und seine Standard-Parameter verwenden kann. Die komplette Schnittstelle ist in 2.2 dargestellt.

### 2.3 IMPLEMENTIERTES STATUSMODELL AUF DEN MODULEN NACH ISA-88

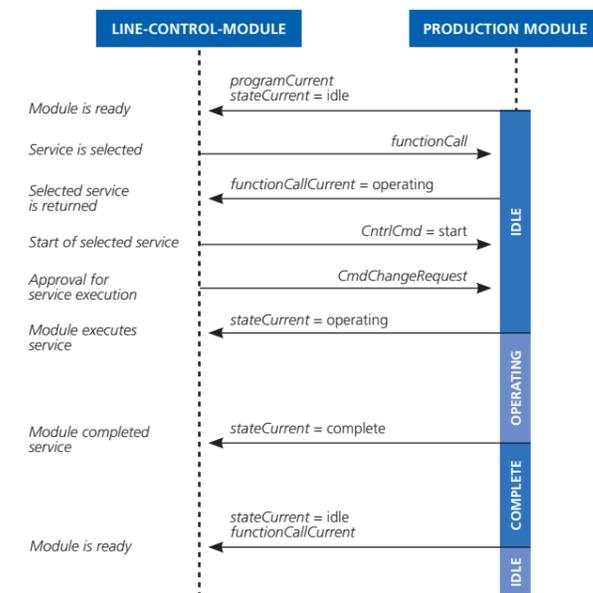


## STATUSMODELL UND SERVICEAUFRUF

Die Liniensteuerung dient der Ausführung des Gesamtprozesses als Schrittkette von Services der Produktionsmodule. Der Aufruf der einzelnen Services erfolgt durch eine State Based Control. Hierzu wurde das in 2.3 dargestellte Statusmodell nach ISA-88-Standard auf den Modulen implementiert. Dieses vereinheitlicht die Zustände, welche das Modul gegenüber dem Basismodul annehmen kann.

Der Aufruf eines Services erfolgt durch ein Schreiben und Lesen von sechs fest definierten Variablen in einer festgelegten Reihenfolge durch den OPC-Client auf dem Basismodul (siehe Grafik 2.4). Für einen Service-Aufruf muss das Produktionsmodul im Status idle sein.

### 2.4 AUFRUF EINES SERVICES ÜBER DIE MOPAHYB-SCHNITTSTELLE



Durch die Variable „functionCall“ wird ein bestimmter Service des Moduls entsprechend der programmierten Abfolge von Services aufgerufen. Nach Bestätigung des ausgewählten Services wird über das Schreiben des „CntrlCmd“ auf Start und „CmdChangeRequest“ eine Zustandsänderung im Produktionsmodul von Idle auf Starting und anschließend Operating erzwungen. Das Produktionsmodul führt währenddessen den gewählten Service aus.

Bei Beendigung des Services wechselt das Produktionsmodul selbstständig in den Status Complete, welchen die Basis-Steuerung durch die Variable „stateCurrent“ erfährt. Das Produktionsmodul wechselt dann selbstständig in den Zustand Idle und resettet den ausgewählten Service („functionCallCurrent“). Durch die Liniensteuerung wird dann der nachfolgende Service auf die gleiche Weise gestartet. So kann die komplette Prozesskette durch Services orchestriert werden.

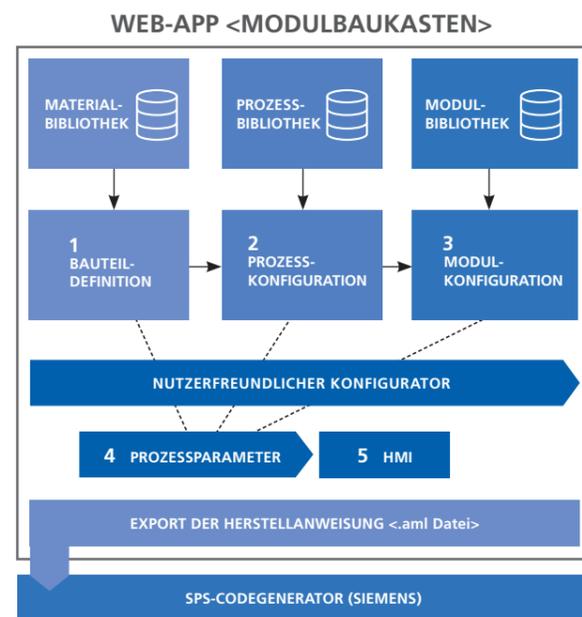
AUTOR: MARKUS SCHÄFER

# ANLAGENKONFIGURATION IN EINER WEB-APPLIKATION – DER MODULBAUKASTEN

Der Steuerungsprogrammierprozess in der klassischen SPS-Konfiguration ist durch die Anpassung von Schnittstellen und Variablen oft überladen und zeitaufwendig. Die jüngsten Fortschritte im Web-Interface-Design hingegen ermöglichen sehr variable und intuitive Arbeitsabläufe. Um diese Vorteile zu nutzen, wurde am wbk ein Konfigurationsverfahren entwickelt und in einer Web-Applikation, dem „Modulbaukasten“, implementiert. Das Ergebnis der Konfiguration ist die „Herstellanweisung“, ein Informationsmodell des Produktionsprozesses, welches alle Informationen enthält, um automatisiert die Liniensteuerung zu erzeugen. Diese textbasierte Datei nutzt das AutomationML-Format, welches den einfachen Austausch von Engineering-Daten ermöglicht.

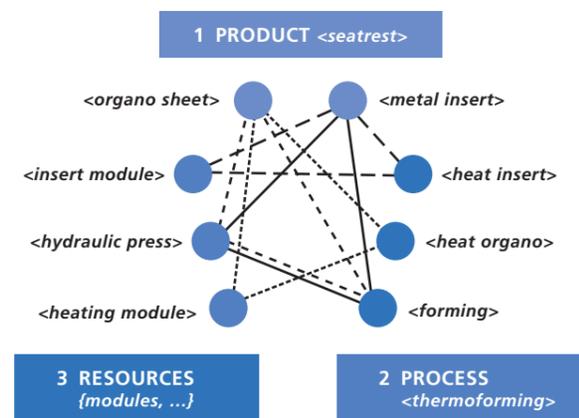
Die Anlagenkonfiguration im Modulbaukasten gliedert sich in fünf Schritte: die Bauteildefinition (1), die Prozess- und die Modulkonfiguration (2 & 3), gefolgt von der Parametereinstellung (4) und der Einrichtung des HMI (5). Über den gesamten Prozess wird der Nutzer z.B. durch Filter unterstützt und geführt.

## 2.5 AUFBAU DER APP „MODULBAUKASTEN“



Der Konfigurationsprozess folgt dem bekannten Grundprinzip: Produkt-Prozess-Ressource (PPR). Das Ziel der Konfiguration ist es, die relevanten Teilinformationen der drei Bereiche logisch miteinander zu verknüpfen. Für die Sitzlehne wird z.B. das (Teil-)Produkt „Organoblech“ mit dem Prozess „Aufheizen“ und der Ressource „Heizmodul“ verknüpft.

## 2.6 IN DER KONFIGURATION WERDEN DIE INFORMATIONEN ÜBER DAS PRODUKT, DEN PROZESS UND DIE MASCHINEN MITEINANDER VERKNÜPFT.



## BAUTEILDEFINITION

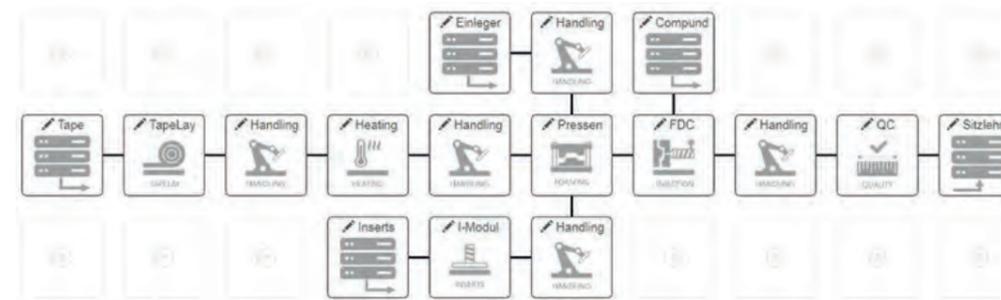
Zunächst wird das Gesamtprodukt „Sitzlehne“ über Dropdown-Menüs konfiguriert. Ein Gesamtprodukt besteht aus mehreren Komponenten. Für thermoplastische Hybridbauteile können drei Grundkomponenten gewählt werden: Organoblech, Tapegelege und Blech. Anschließend werden die Hybridisierungs-komponenten wie Gewinde-Inserts, Blecheinsätze und die Langfaser-Rippenstruktur hinzugefügt. Damit sind alle Teilkomponenten in Anzahl und Fertigungsreihenfolge angelegt und definiert.

Zu jeder Komponente können Materialdatenblätter, die entweder vom Lieferanten oder aus einer Materialdatenbank bereitgestellt werden, verlinkt werden. So wird z.B. der Komponente Organoblech der passende Datensatz des Herstellers zugewiesen und z.B. das Attribut „Schmelzpunkt-Temperatur = 220°C“ wird automatisch eingelesen. Das Ergebnis der Bauteildefinition ist ein Informationsmodell mit allen Komponenten des Bauteils und den entsprechenden Materialeigenschaften.

## 2.7 HOME-ANSICHT DER WEB-APP „MOPAHYB-MODULBAUKASTEN“



## 2.8 DIE NUTZERFREUNDLICHE BEDIENOBERFLÄCHE ERMÖGLICHT DIE PROZESSDEFINITION VIA DRAG&DROP-ELEMENTEN.



## PROZESSDEFINITION

Als Zweites wird der Fertigungsprozess als inverser Baum modelliert. Jede zuvor definierte Komponente des Bauteils bildet einen Startpunkt und das finale Bauteil bildet den Endpunkt.

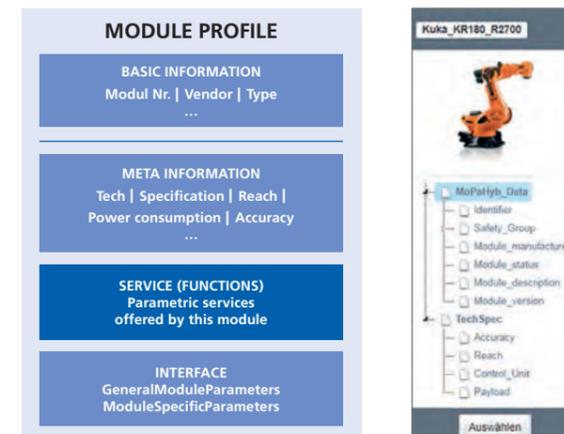
In der App wird dies als Raster dargestellt. Der Nutzer kann anschließend beliebig viele Prozessschritte per Drag&Drop platzieren und verbinden. Die möglichen Prozessschritte sind in einer Prozessschrittbibliothek hinterlegt. Die möglichen Kategorien wurden aktuell für Prozessschritte aus dem Leichtbau implementiert, können aber beliebig erweitert werden. Alternativ können Standard-Prozesse aus Templates geladen werden. Diese Prozesskonfiguration kann jederzeit geladen und rekonfiguriert werden.

## MODULKONFIGURATION

Als Nächstes folgt die Auswahl der notwendigen Module. Alle wählbaren Maschinen sind in einer Modul-Datenbank hinterlegt. Jeder Maschinen-Datensatz ist nach einem semantischen Informationsmodell aufgebaut, der sogenannten Modulbeschreibung, welche ebenfalls auf AutomationML basiert.

Die Modulbeschreibung enthält vier Bereiche: die Basisinformationen zur Identifizierung des Moduls (z.B. Hersteller, Typ usw.), Metadaten über technische Spezifikationen für die Maschinenauswahl, die angebotenen Services für die Prozessreihenfolge und alle Schnittstellenparameter für die OPC UA Kommunikation, aus welchen später die Liniensteuerung generiert wird (siehe > Seite 22).

## 2.9 DIE MODULBESCHREIBUNG IST EIN INFORMATIONS-MODELL DER MASCHINE. SIE ENTHÄLT ALLE DATEN, UM DAS MODUL IN DIE LINIENSTEUERUNG EINZUBINDEN.



Nachdem bereits die Prozesskette definiert wurde, wird bei der Modulkonfiguration die Maschine ausgewählt, die zur Ausführung des Prozesses geeignet ist. Die Umsetzung als Web-App ermöglicht hierfür vielfältige Möglichkeiten, um das am besten geeignete Modul auszuwählen.

So kann der Anwender Filtergrenzen eingeben und so die Optionen auf der Basis der Modulspezifikationen reduzieren. Es ist auch möglich, ein Assistance-Widget aufzurufen, das durch den Auswahlprozess führt. Für den Prozess „Handling“ wird z.B. strukturiert durch eine RoboterAuswahl geführt. Neben einfachen Filtergrenzen können z.B. auch technische Hintergründe aufbereitet werden. In Zukunft könnten auch KI-basierte Vorschläge und Empfehlungen realisiert werden, wie z.B. von Plattformen wie Amazon bereits bekannt.

## SERVICEPARAMETER FESTLEGEN

Jede ausgewählte Maschine bietet im Sinne einer serviceorientierten Architektur „Services“ an (siehe > Seite 18). In MoPaHyb wurden parametrische Funktionen verwendet. Das heißt, wenige Kernparameter werden übergeben und die Maschine ist fähig, diese zu interpretieren. Für den Prozessschritt „Organoblech aufheizen“ wurde das „Heizmodul“ ausgewählt. Dieses bietet den Service „Heizen“ an, der in der verknüpften Komponente „Organoblech“ nach dem Attribut „Schmelztemperatur“ sucht. Ist das Attribut gefunden, wird der Service entsprechend für die passende Temperatur eingestellt.

Alle Services werden im Modulbaukasten parametrisiert und zu einer logischen Abfolge verknüpft. Abschließend können im fünften Schritt diejenigen Parameter ausgewählt werden, die auf dem HMI angezeigt werden sollen und qualitätsrelevant sind. Damit ist der Konfigurationsprozess abgeschlossen.

## EXPORT DER HERSTELLANWEISUNG

Nachdem die Anlage im Modulbaukasten konfiguriert wurde, kann das mit allen Informationen gefüllte Modell aus der Anwendung exportiert werden. Die Datei wird im AutomationML-Format zum Download bereitgestellt und kann anschließend im MoPaHyb-Codegenerator automatisiert zu einer Liniensteuerung kompiliert werden.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER  
BEIM WBK INSTITUT FÜR  
PRODUKTIONSTECHNIK**  
MARKUS SCHÄFER  
PROJEKTINGENIEUR & WISS. MITARBEITER  
+49 1523 950 26 12  
MARKUS.SCHAEFER@KIT.EDU

AUTOR: UWE KRAUTER

# AUTOMATISCHE GENERIERUNG EINER LINIENABLAUFSTEUERUNG

Die Liniensteuerung im Basismodul sorgt für die Orchestrierung der angeschlossenen Produktionsmodule. Sie ruft je nach Herstelleranweisung die entsprechenden Funktionen in den Modulen auf und wartet bei der Abarbeitung der Herstelleranweisung auf die Transitionsbedingungen und die entsprechenden Rückmeldungen aus den Modulen.

Die wesentlichen Elemente einer Linienablaufsteuerung sind die Kommunikation zwischen Liniensteuerung und Produktionsmodulen, der Ablaufcode mit den entsprechenden Weiterschaltbedingungen, die Visualisierung des Prozesses und die Überwachung der prozessübergreifenden Safetyfunktionen.

## KOMMUNIKATION MIT OPC UA

Damit eine standardisierte Kommunikation zwischen allen Produktionsmodulen und der Liniensteuerung realisiert werden kann, wurde im Konsortium gemeinsam entschieden, das Kommunikationsprotokoll OPC Unified Architecture, das in der IEC 62541 genormt und standardisiert ist, zu verwenden. Die Kommunikation setzt somit einen OPC UA Server auf der Seite der Produktionsmodule voraus, der mindestens die OPC UA Data Access Spezifikation unterstützt.

Zur reibungslosen Kommunikation müssen die Schnittstellenparameter-Standard seitens des Basismoduls und der Produktionsmodule identisch sein. Im Projekt wurde gemeinsam mit den Partnern ein Interfacestandard definiert.

### 2.10 MOPAHYB OPC UA STANDARD

generalParametersResponse struct		
Nr.	Name	Datentyp Beschreibung
1	programCurrent	UDint Current program
2	programRequested	UDint Requested program
3	programChangeInProcess	Bool Program change in process
4	stateCurrent	UDint Current state
5	stateRequested	UDint Requested state
6	stateChangeInProcess	Bool State change in process
7	reasonID	UDint Requested reasonID if enable BooleanInterface = FALSE
8	functionCallCurrent	Dint current function call ID
9	lightStack	Dint light stack information
10	moduleID	Dint Module identifier
11	quality	DWord BIT 0 = LD, 1 = n.I.O.; restliche Bits Reserve für Fehlercodes
12	orderStatusCurrent	Dint

generalParametersRequest struct		
Nr.	Name	Datentyp Beschreibung
1	ctrlCmd	UDint Requested control command if enable BooleanInterface = FALSE
2	ctrlChangeRequest	Bool TRUE: Enable change into requested state if enable BooleanInterface = FALSE
3	functionCall	Dint Function requested
4	orderStatus	Dint

SpecificParametersResponse struct		
Nr.	Name	Datentyp Beschreibung
	Modulspezifisch anzugeben	

SpecificParametersRequest struct		
Nr.	Name	Datentyp Beschreibung
	Modulspezifisch anzugeben	

Bei der Definition der zu übertragenden Informationen wurde in erster Instanz unterschieden zwischen Modulparametern und Funktionsparametern. Modulparameter sind dabei weiter unterschieden in generelle Parameter, welche über alle Produktionsmodule einheitlich gestaltet sein müssen (z.B. EquipmentID, CurrentMode, CurrentFunctionName, etc...), und modulspezifische Parameter, die für ein spezifisches Produktionsmodul und dessen spezielle Gegebenheiten definiert wurden (z.B. HeatingTemp, MaxPressure, MinPressure etc.).

Funktionsparameter sind Parametersätze, die für die Funktionen, die die einzelnen Module anbieten, befüllt sein müssen, und eine dafür spezielle Semantik beschreiben.

## CODEGENERATOR

Zur automatisierten Erzeugung einer Liniensteuerung auf der Basis der Modulbeschreibungen und Herstelleranweisungen wurde eine Software-Lösung, ein sogenannter Codegenerator, in C# realisiert. Der CodeGenerator ist auf der Engineering-Komponente des Basismoduls lauffähig und besteht im Wesentlichen aus drei Hauptfunktionalitäten:

- Import der Herstelleranweisung im definierten AutomationML-Format
- Validity-Check der Herstelleranweisung auf MoPaHyb-Standard-Konformität
- Code-Erzeugung der Liniensteuerung in ihren einzelnen Bestandteilen
  - Erzeugung aller notwendigen Funktionsbausteine und Datenbausteine für die Liniensteuerung
  - Befüllung der für den Status-Manager und die Betriebsmodi definierten Datenobjekte
  - Erzeugung der OPC UA Kommunikationsstrukturen für die Liniensteuerung
  - Befüllung der definierten Visualisierungstemplates für SiVArc

Die Umsetzung der Funktionalitäten wurde mittels API-Zugriff auf TIA Openness realisiert. Die API-Schnittstelle von WinCC und STEP 7 im TIA Portal erlaubt, das TIA Portal in SW-Entwicklungsumgebungen einzubinden und Engineeringaufgaben zu automatisieren. Somit kann über Applikationen auf beliebigen Entwicklungsumgebungen automatisiert auf Funktionalitäten der Step-7-Engineeringumgebung im TIA Portal zugegriffen werden.

### 2.11 TIA-PORTAL OPENNESS-FUNKTION



Mit diesem Werkzeug wurde ein Algorithmus geschaffen, welcher die standardisierten AutomationML-Informationen und deren Semantik in einen spezifischen TIA Portal SCL-Code (Structured Control Language nach EN 61131-3) umwandelt und die für MoPaHyb vorgesehene Template-Struktur eines Projektes entsprechend befüllt. Endergebnis des Codegenerators ist ein automatisch befülltes TIA-Projekt für die Liniensteuerung, das im nächsten Schritt auf der Runtime-Komponente des Basismoduls geladen, kompiliert und in Betrieb genommen werden kann.

## VISUALISIERUNG

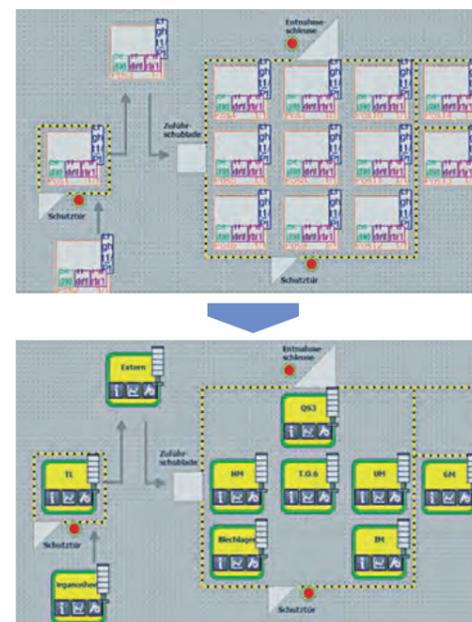
Die Visualisierung wird auf der Basis des vorher erstellten Ablaufcodes erzeugt. Um diese Funktion zu realisieren, wird das TIA Portal Optionspaket SiVArc genutzt.

SiVArc bietet die Möglichkeit, anhand des PLC-Programms (genauer, der Baustein-Aufrufstruktur) die Visualisierung zu generieren. Über das Konfigurieren von Regeln lässt sich festlegen, durch welche Bausteinaufrufe bestimmte HMI-Elemente (Bilder, Buttons, Eingabefelder, usw.) erzeugt werden sollen.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Bibliothek mit Bildobjekten und Layouts erstellt. Im Layout für das Übersichtsbild sind 15 Positionen definiert, in der Sequenzübersicht 19 Positionen. Um die Layout-Screens abhängig vom Ablaufcode zu befüllen, ist es nötig, Regeln zu definieren. Es können maximal 8 Module mit jeweils 10 Funktionen abgebildet werden. Jede Funktion kann 36 Parameter beinhalten, was die aktuelle Konfiguration abdeckt und noch Platz für Reserve beinhaltet.

Bei der Generierung der Visualisierung wird abhängig vom Ablaufcode und den definierten Regeln das Layout befüllt. Parameterlisten werden mit Namen und Einheiten versehen. Bildobjekte werden auf definierte Platzierungsobjekte eingefügt.

### 2.12 ANLAGENLAYOUT VOR UND NACH DER GENERIERUNG



## SAFETY

Aufgrund von Einschränkungen im OPC UA Standard ist es nicht möglich, sicherheitsrelevante Informationen über diesen Datenkanal auszutauschen. Daher wird für die fehlersichere Kommunikation ein anderer Kommunikationskanal verwendet, als für die Produktionssteuerung vorgesehen ist.

Basis der fehlersicheren Kommunikation ist die Controller-Controller-Kommunikation über PROFINET IO. Das Basismodul wirkt dabei als Controller. Die Steuerungen der einzelnen Module werden als iDevice mit fehlersicheren Transferbereichen konfiguriert.

Die Absicherung des Datenaustausches wird über die Verwendung der fehlersicheren Kommunikationsbausteine SENDDP bzw. RCVDP bereitgestellt. Das modulare Safetykonzept basiert auf einer standardisierten Schnittstelle und standardisierten Telegrammen. Die MoPaHyb-F-Telegramme geben dem Entwickler der Basismodulprogrammierung und der Module die Möglichkeit, über standardisierte Schnittstellen miteinander zu kommunizieren. So wird festgelegt, wie die Steuerungssignale des Basismoduls (Control) und die Statusmeldungen des Moduls (Status) strukturiert sind und sich bei Signaländerungen zu verhalten haben.

### 2.13 TELEGRAMMTYPEN F-CONTROL UND F-STATUS TYP 1

MoPaHyb F-Control Type1			
	Name	Data type	Default value
1	Enable	Bool	false
2	Ack	Bool	false
3	reserved	Bool	false
4	reserved_1	Bool	false
5	reserved_2	Bool	false
6	reserved_3	Bool	false
7	reserved_4	Bool	false
8	Connected	Bool	false

MoPaHyb F-Status Type1			
	Name	Data type	Default value
1	SafetyStatus	Bool	false
2	AckReq	Bool	false
3	reserved	Bool	false
4	reserved_1	Bool	false
5	reserved_2	Bool	false
6	reserved_3	Bool	false
7	FD_STATE	Bool	false
8	FD_Connected	Bool	false

Im Projekt wurden zwei Telegrammtypen definiert. Das Type-1-Telegramm besteht ausschließlich aus den Basisinformationen und gibt keinen Aufschluss darüber, welche Sicherheitsfunktionen im Modul verwendet und dementsprechend ausgelöst wurden. In den meisten Fällen sollte dieser Telegrammtyp ausreichend sein, da es für das Basismodul im Normalfall nicht relevant ist, welche Sicherheitsfunktion ausgelöst wurde, sondern, dass ein Modul in den sicheren Zustand gewechselt ist.

Die Struktur und das Verhalten sind fest für das gesamte MoPaHyb-Projekt definiert und dürfen nicht in einzelnen Modulen verändert werden. Eine Erweiterung als Reaktion auf zusätzlich notwendige Signale zwischen dem Basismodul und einem Produktionsmodul kann über die Definition anwenderdefinierter Telegrammtypen realisiert und in den Projektstandard überführt werden.

AUTOR: DR. MATTHIAS GRAF

# VOM PLYBOOK ZUM TAILORED BLANK – REIN DIGITAL

Im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojektes MoPaHyb hat DIEFFENBACHER unter anderem eine neue Steuerungsphilosophie für die Fiberforge-Tapelegeanlage entwickelt und die Kommunikation über OPC UA mit der Liniensteuerung aufgebaut.

**// Stückzahl 1 bis 1 Million leicht gemacht. //**

DR.-ING. MATTHIAS GRAF  
Dieffenbacher GmbH – Maschinen- und Anlagenbau

## AUFBAU UND FUNKTIONSWEISE DER FIBERFORGE

Der Aufbau der Fiberforge ist in 3.1 dargestellt. Auf der linken Seite befindet sich der Abwickler mit vier Spulen. Danach folgen zwei parallel laufende Zuführsysteme, die jeweils mit einem Schneidsystem ausgestattet sind. Nach dem Schneiden einzelner Tapestreifen werden diese zur Zielposition in X-Richtung gebracht und auf dem Legetisch auf der rechten Seite der Anlage abgelegt. Der Legetisch ist als Vakuumtisch ausgeführt und ist in Y-Richtung fahrbar und kann um 360° um seine Achse rotieren.

Mit der Fiberforge-Tapelegeanlage lassen sich frei konfigurierbare Tapegelege mit anwendungsspezifischen Lagenaufbau und Faserorientierung herstellen. In einem Produktionslauf können bis zu 4 verschiedene Tapearten verarbeitet werden, die sich in Breite, Dicke und Materialkomposition unterscheiden können. Die Tapes werden von Trägerspulen abgezogen und präzise ausgerichtet der Anlage zugeführt. Über ein innovatives Winkelschneidsystem kann der Schnittwinkel der Vorder- und Hinterkante an die Geometrie des Bauteils angepasst werden, um den Materialverschleiß auf ein Minimum zu reduzieren. Die zwei geschnittenen Tapestreifen werden anschließend parallel zueinander über Vakuumtransportbänder hochdynamisch über dem Legetisch positioniert und abgelegt. Die

Fiberforge erreicht hierbei eine Taktrate von 3.600 Tapes pro Stunde. Direkt im Legeprozess werden die einzelnen Tapestreifen mittels Ultraschall mit den darunter liegenden Lagen punktverschweißt. Damit erhält man ein in sich zusammenhängendes Tapegelege, das mit einem Greifersystem vom Legetisch abgenommen und dem Folgeprozess zugeführt werden kann.

## ANFORDERUNGEN BEIM LEGEN DER SITZLEHNE

Das Demonstratorbauteil Sitzlehne ist ein hybrides Bauteil, bestehend aus einem Grundkörper aus glasfaserverstärktem Organosheet, der lokal mit unidirektionalen Carbonfaser-Tapes verstärkt und anschließend im Pressprozess mit einem langfaserverstärkten Thermoplast hinterspritzt wird, wodurch gleichzeitig die Metalleinleger und Gewinde-Inserts mit in die Kunststoffmatrix eingebettet werden.

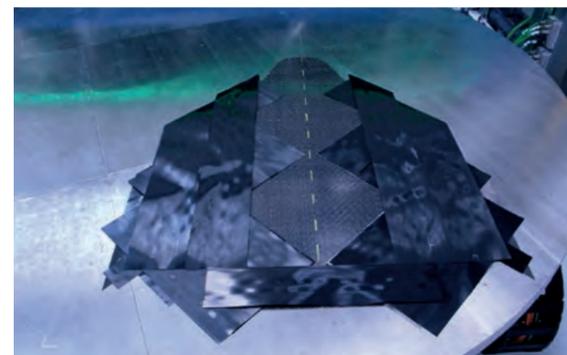
Zur Herstellung des Tapegeleges für die Sitzlehne wird zunächst ein konturgeschnittenes Organosheet auf dem Legetisch der Fiberforge platziert. Im Legeprozess werden in Summe 42 einzelne Tapestreifen in [90°/45°/90°/-45°/90°/0°/0°]-Orientierung in sieben Lagen abgelegt und mittels Ultraschallsonotroden punktförmig mit dem Organosheet bzw. Tapestreifen verschweißt. Alternativ hierzu könnte auch die gesamte Struktur im Tapelegeverfahren in einer Kombination aus Glasfaser- und Carbonfaser-verstärkten UD-Tapes hergestellt werden. Im Ergebnis erhält man ein Tapegelege mit lokal unterschiedlicher Bauteildicke. In 3.2 ist das fertige Tapegelege zur Herstellung der Sitzlehne dargestellt.

Die Herausforderung in dem Prozess besteht in der Optimierung des Materialverschnitts. Von den 42 Tapestreifen haben 28 einen einseitigen Winkelschnitt. Zur Vermeidung von Materialverschleiß wird mit der TailorGen-Software geprüft, an welcher Stelle im Gelege der letzte Schnittwinkel ohne einen Kopschnitt platziert werden kann. Die Optimierung erfolgt hierbei über eine Anpassung der Legereihenfolge und/oder eine 180°-Drehung des Legetisches.

3.1 FIBERFORGE-TAPELEGER ALS BESTANDTEIL DER REFERENZ-PRODUKTIONSANLAGE AM FRAUNHOFER ICT



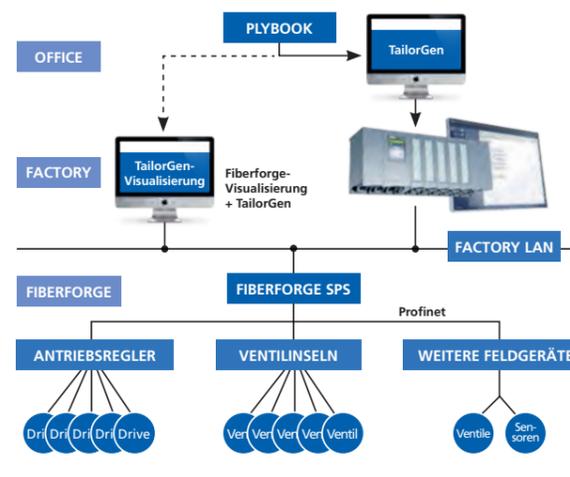
3.2 TAPEGELEGE FÜR DIE SITZLEHNE



## STEUERUNGSTECHNISCHER AUFBAU

In dem Forschungsprojekt MoPaHyb erfolgt die Schnittstellenkommunikation zwischen der Liniensteuerung und den einzelnen Anlagenteilnehmern auf Basis des OPC UA Protokolls. Damit wird erreicht, dass die Kommunikation unabhängig von dem Fabrikat der Steuerung der einzelnen Teilnehmer ist. Mit Hilfe eines Modulbaukastens erfolgt die Planung der Produktionsanlage sowie der späteren Rekonfiguration. Das Ergebnis ist eine Herstellenweisung in Form einer AutomationML-Datei (AML), in der alle Informationen über die geplante Produktion enthalten sind. Dies umfasst beispielsweise den Objektbaum zur Beschreibung der Anlage, den Prozess-

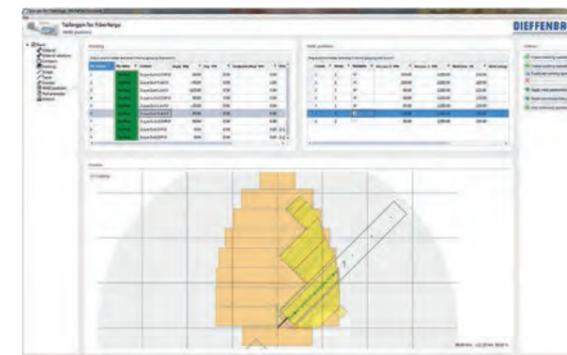
3.3 STEUERUNGS-AUFBAU FIBERFORGE



ablauf, die erforderlichen Materialien, Bauteilinformationen und alle Prozessparameter der Anlagenteilnehmer. Diese AML-Datei wird von der Liniensteuerung eingelesen. Die Daten zur Beschreibung des Fiberforge-Prozesses beinhalten alle Plybook-Informationen sowie die CAD-Daten zur Beschreibung der Außenkontur je Lage.

Die Architektur der Fiberforge-Maschinensteuerung ist in 3.3 dargestellt. In der obersten Ebene steht die TailorGen-Bahnplanungssoftware. Hier wird der AML-Datensatz von der Liniensteuerung zusammen mit dem Fertigungsauftrag empfangen. Anhand der Daten erfolgt hier die automatische Generierung der Bahnplanung, d.h. die Konkretisierung der jeweiligen Lagen in einzelne Tapestreifen und die Festlegung der Legereihenfolge, Schnittwinkel und

3.4 TAILORGEN-BAHNPLANUNGS-SOFTWARE



Positionen der Schweißpunkte. In 3.4 ist beispielhaft die Bedienoberfläche der TailorGen-Bahnplanung zu sehen.

Im nächsten Schritt erfolgt die automatische Codegenerierung. Das Ergebnis ist eine Ablaufbeschreibung des Fertigungsauftrages. Diese kann alternativ über die Basissteuerung oder direkt über die Factory-LAN-Verbindung an die SPS-Maschinensteuerung der Fiberforge gesendet werden. Von der Fiberforge-SPS werden dann die einzelnen Antriebsregler, Steuerungsventile oder weitere Feldgeräte über eine Profinet-Verbindung angesteuert. Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen geschaffen, die es ermöglichen, zukünftig die Prozessparameter über eine Prozesssimulation, z.B. eine Drapiersimulation, festzulegen und die so gewonnenen Daten direkt zur Steuerung der Produktionsanlage zu verwenden. Dadurch reduziert sich der Aufwand für das Einrichten der Prozessparameter und der Ablaufbeschreibung zur erstmaligen Fertigung eines neuen Bauteils erheblich.

## ERGEBNISSE IN BEZUG AUF DIE FIBERFORGE-TAPELEGEANLAGE

Im Rahmen des Projektes konnte erfolgreich eine neue Steuerungsphilosophie entwickelt werden, mit der die Fiberforge-Tapelegeanlage mit geringem Aufwand auf neue Bauteile eingerichtet werden kann. Hierbei ist es gelungen, einen durchgehenden Datentransfer, von den Plybook-Informationen z.B. der Drapiersimulation mit den Geometrie-Daten digital zu nutzen und daraus direkt automatisiert die Bahnplanung durchzuführen und den Maschinencode daraus zu generieren. Aufgrund der Schnelligkeit dieses Ansatzes wird bei der Fiberforge vollständig auf eine Parametereingabe an der Maschine verzichtet. Eine effiziente Herstellung eines neuen Bauteils mit Stückzahl 1 ist dadurch möglich. Die hochdynamische Legetechnologie erlaubt auch die wirtschaftliche Fertigung von über 1 Million Bauteile pro Jahr und ist damit sehr flexibel. Durch die herstellerunabhängige Schnittstelle zur Liniensteuerung kann die Anlage auch in bestehenden Produktionslinien nachträglich einfach integriert werden.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER BEI DIEFFENBACHER GMBH MASCHINEN- UND ANLAGENBAU**

DR. MATTHIAS GRAF  
DIRECTOR OF TECHNOLOGY AND BUSINESS DEVELOPMENT  
MATTHIAS.GRAF@DIEFFENBACHER.DE

AUTOR: MANUEL WÖHRLE

# LANGGLASFASER-VERARBEITUNG IM GROSSEN STIL

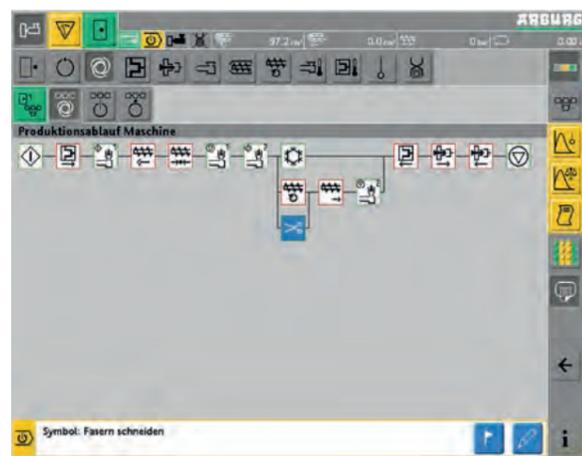
Innovative, zukunftsweisende Ideen waren im Rahmen des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF geförderten Projektes MoPaHyb „Modulare Produktionsanlage für hochbelastbare Hybridbauteile“ gefragt. Eine der Aufgabenstellungen war, eine Produktionslösung zur Hinterspritzung und Funktionalisierung großer Composite-Bauteile zu finden.

**Wir nutzen gerne die Möglichkeit, Kontakte zu Hochschulen und anderen Institutionen zu knüpfen, die sich mit der gleichen Thematik beschäftigen, und uns auf Expertenbasis auszutauschen.**

MANUEL WÖHRLE  
Arburg Senior Sales Manager Lightweight

Zusammen mit dem Fraunhofer ICT hat Arburg eine neue Anlagentechnik zur Herstellung und Erforschung moderner, funktionsintegrierter Hybrid-Bauteile entwickelt und realisiert. Diese verbindet eine modulare Niederflur-FDC-Spritzeinheit der Größe 4.600 und mit separater Steuerung mit einer vorhandenen, vertikal arbeitenden 3.600-Tonnen-Pressen des Instituts von Dieffenbacher. Damit können bisher nicht herstellbare Bauteildimensionen und -komplexitäten umgesetzt werden.

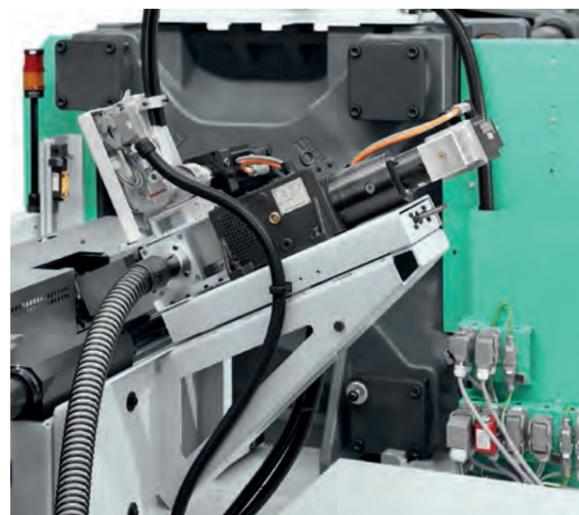
**3.5 STEUERUNGSBILDSCHIRM DER SELOGICA-MASCHINEN-STEUERUNG MIT INTEGRIERTEM FDC-ABLAUF. DAS BLAU UNTERLEGTE SYMBOL ZEIGT DEN VORGANG „FASERN SCHNEIDEN“ AN.**



## WELTWEIT GRÖSSTE FDC-SPRITZEINHEIT

Diese Spritzpressanlage erweitert die Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Fertigung lokal endlosfaserverstärkter Spritzgießbauteile sowie funktionsintegrierter flächiger Bauteile aus Tape oder Organoblech. Die Verbindung thermoplastischer Composites mit Thermoplast stellt auch eine ideale Lösung für das Recycling dar. Der CO<sub>2</sub>-Footprint kann auf diese Weise entsprechend klein gehalten werden.

**3.6 DIE FDC-SCHNEIDVORRICHTUNG IST DIREKT AN DER RÜCKSEITE DER SPRITZEINHEIT ANGEBRACHT UND SCHNEIDET DIE GLASFASERROVINGS IN EINE VORGEGEBENE LÄNGE. DIE GESCHNITTENEN GLASFASERN WERDEN ÜBER EINE SEITENBESCHICKUNG DIREKT DEM ZYLINDER ZUGEFÜHRT.**



Die FDC-Spritzeinheit – übrigens die weltweit größte FDC-Einheit – wird mithilfe einer zentralen Säulenbindung direkt mit dem Werkzeug gekoppelt und erlaubt dadurch eine außerordentlich flexible Integration mit verschiedenen vertikalen Schließeinheiten. Im Fokus stand dabei besonders die Möglichkeit einer schnellen Anpassung des Anlagenlayouts und der Fertigungslinie. Ein wichtiges Merkmal des Niederflur-Aggregates ist gerade in diesem Zusammenhang die Trennung der Spritzeinheit von der hydraulischen und elektrischen Versorgung. Damit lassen sich sowohl der Einsatzort wie auch das Anlagenlayout schnell an geänderte Anforderungen anpassen. Zusätzlich ist es denkbar, verschiedene Aggregate mit einer Versorgungseinheit zu verwenden.

Die Spritzeinheit hat wie die Arburg-Spritzgießmaschinen eine eigene Selogica-Steuerung und ist in die übergeordnete Siemens-Steuerung der Gesamtanlage eingebunden. Die Kommunikation findet über die Plattform OPC UA statt, die einen definierten Datenaustausch zwischen verschiedenen Steuerungen über Ethernet-Netzwerke ermöglicht – unabhängig von Betriebssystemen oder Programmiersprachen.

Arburg bietet die FDC-Spritzeinheiten innerhalb seines Standard-Maschinenprogramms an horizontalen Spritzgießmaschinen von

**3.7 ALLROUNDER 820 S 4000-2100 MIT MULTILIFT SELECT. DIE GLASFASERROVINGS WERDEN DER FDC-EINHEIT AUF DER MASCHINENRÜCKSEITE ZUGEFÜHRT.**



2.500 kN bis 6.500 kN Schließkraft an. Damit können die Vorteile des FDC-Verfahrens auch auf horizontalen Maschinen genutzt werden. Der FDC-Prozess ist komplett in die Selogica-Maschinensteuerung integriert und lässt sich über eigene Symbole einfach und flexibel programmieren. Einsatzgebiete sind neben dem Ersatz herkömmlicher Langglasfaser-Kunststoffe auch die Substitution von Materialien und das Funktionalisieren von UD-Tapes, Prepregs oder Organoblechen.

## SPRITZEINHEIT KANN FASER-DIREKT-COMPOUNDIEREN

Das in die Spritzeinheit integrierte Faser-Direkt-Compoundieren (FDC) wurde gemeinsam mit dem Kunststoffzentrum SKZ in Würzburg entwickelt. Das Leichtbau-Verfahren stellt eine kostengünstige Alternative zur Verarbeitung fasergefüllter Compounds dar. Faserlänge, Faseranteil und Materialkombination lassen sich individuell einstellen und damit die Bauteileigenschaften gezielt beeinflussen. Die FDC-Einheit an der Spritzeinheit umfasst eine Seitenbeschickung mit integrierter Schneidvorrichtung, angepasstem Zylinder und spezieller Schneckenengeometrie. Die Endlosfasern aus kostengünstigen Glasfaserrovings werden zugeschnitten und direkt der flüssigen Schmelze zugeführt.

Das FDC-Verfahren kann auch mit Organoblechen kombiniert werden. Hier greifen die Vorteile des Multi-Material-Designs. Durch Umspritzen der Organobleche lassen sich hochfeste Composite-Bauteile mit zusätzlichen Versteifungen oder Funktionen erzeugen.

## VORTEILE DES FDC-VERFAHRENS

Die Vorteile des FDC-Verfahrens sind:

- längere Fasern im Bauteil und damit bessere mechanische Eigenschaften
- flexiblere Materialauswahl
- hohe Materialverfügbarkeit
- Einsparung von Materialkosten

## VERMARKTUNG DER ANLAGEN-KOMBI MÖGLICH

Die Anlage bei Fraunhofer ICT dient zunächst der Erforschung und Herstellung von Hybridbauteilen aus faserverstärktem Kunststoff und metallischen Elementen. Im Vordergrund des BMBF-Projekts stand die Modularität des Anlagenlayouts mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit der Fertigungslinie für die Produktion struktureller Hybridbauteile in kleinen Losgrößen erheblich zu verbessern. In Zusammenarbeit mit dem Hersteller Dieffenbacher besteht aber auch die Möglichkeit, vertikale Pressen mit Arburg-Spritzeinheiten anzubieten und zu vermarkten.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER  
BEI ARBURG**

MANUEL WÖHRLE  
SENIOR SALES MANAGER LIGHTWEIGHT  
T +49 7446 33-4519  
MANUEL.WOEHRLE@ARBURG.COM

AUTOR: MARTIN BÜSCH

## INSERTS & INSERT-MODUL

Die Fa. ARaymond\* ist Mitglied im MoPaHyb-Projekt-Konsortium und wirkt aktiv am Arbeitspaket „4“ mit. Der Projektumfang für ARaymond bedeutet im ersten Teil die Entwicklung und Fertigung metallischer Lasteinleitungselemente (Inserts), die innerhalb der im Gesamt-MoPaHyb-Projekt geplanten Herstellung hybrider Leichtbausitzlehnen benötigt werden.

### 3.8 ARAYMOND-NETWORK



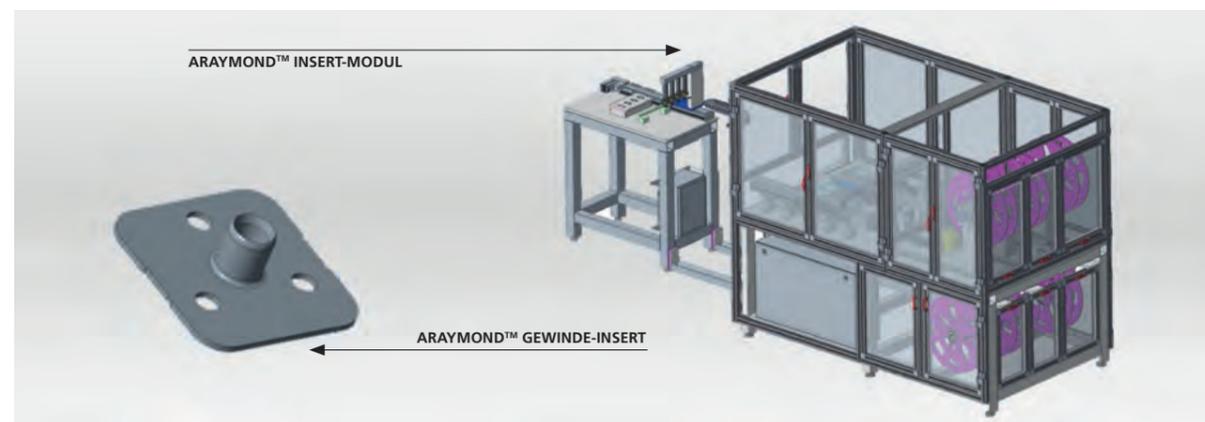
Die weltweit vertretenen Niederlassungen des ARaymond-Networks entwickeln und produzieren Produkte für die globale Automobilindustrie sowie für weitere Industriebereiche (Truck, Industrial, Energies, Agriculture & Life).

#### Das Produktkernprogramm beinhaltet:

- Blechmuttern
- Befestiger für Verkleidungen, Teppiche und Isolationen
- Rohr- und Leitungshalter
- Kabelbänder, Kabelhalter und Kabelkanäle
- Zierleistenbefestiger
- Metallbrackets
- Kopfairbag-Klammern
- Fluid-Schnellkupplungen
- Unterbodenspoiler
- Düsen und Anbauteile für Wisch- und Waschwassersysteme
- Dachklappen
- Klebetechnik
- Speziallösungen für individuelle Kundenapplikationen

Der Produktionsprozess der hybriden Bauteile ist hochgradig automatisiert, daher entwickelt und stellt ARaymond zusätzlich ein passendes Produktionsmodul („Insert-Modul“) zur automatisierten Zuführung der Inserts in den MoPaHyb-Produktionsprozess bereit. Das Produktionsmodul ist dabei vollständig mit dem übergeordneten MoPaHyb-Basissteuerungskonzept zur Vernetzung und Steuerung sämtlicher Produktionsmodule kompatibel.

### 3.9 INSERT & INSERT-MODUL



\*Gemeint ist die ARaymond GmbH & Co. Kg, die zum globalen ARaymond-Network gehört.

### INSERT-MODUL

Beim Insert-Modul handelt es sich um eine automatische Zuführ- und Bereitstellungsanlage für die metallischen Inserts. Die Inserts werden in der Anlage separiert und auf einem Heizfeld für den im Prozess nachfolgenden Handlings-Roboter bereitgestellt. Durch das geregelte Heizfeld können die Inserts auf die benötigte Prozessstemperatur gebracht und anschließend gehalten werden.

### HIGHLIGHT

Die Grundstruktur der Anlage ist, im Einklang mit dem MoPaHyb-Gedanken, modular aufgebaut. Die Anlage ist in der Lage, verschiedene Inserttypen zu verarbeiten bzw. dem Produktionsprozess zuzuführen.

Die Modularität erlaubt ein schnelles Umrüsten auf einen anderen Inserttyp auch während des laufenden Produktionsprozesses.

Die Modularität erlaubt außerdem, dass leere Spulen ohne Unterbrechung während des Betriebs ausgetauscht werden können, falls die Anlage mit zwei Spuren des gleichen Inserttyps gefahren wird.

### WIE WIRD DIESER VORTEIL ERREICHT?

Die Inserts werden vorkommissioniert von ARaymond angeliefert. Die Inserts sind dazu auf einem Transportgurt befestigt, der anschließend auf eine Spule aufgewickelt wird. Eine fertige Spule bietet je nach Inserttyp Platz für ca. 200 bis 500 Inserts.

Das Know-how steckt in der modulinternen Entnahmemechanik, die es erlaubt, dass jede Abwickleinheit mit unterschiedlichen Inserttypen bestückt werden kann.

Durch Einlesen des Spulenbarcodes erkennt die interne Steuerung, welche Inserttypen auf welcher Abwickleinheit eingelegt wurden.

Die Entnahmemechanik kann nun bedarfsgerecht, je nachdem, welches Produkt gerade im Hauptprozess hergestellt werden soll, die benötigten Inserts aus den Transportbändern entnehmen und in die Heizstation vereinzeln. Die Heizstation bietet in der MoPaHyb-Konfiguration Platz für vier Inserts.

### INDIVIDUELL

Die Insert-Module können auch mit mehr als drei Abwickleinheiten angefertigt werden. Durch eine höhere Anzahl paralleler Entnahmespuren kann die Insert-Vielfalt erhöht werden, z.B., wenn innerhalb des Ziel-Produktionsprozesses acht verschiedene Inserttypen benötigt werden, kann ein Insert-Modul mit acht parallelen Spuren verwendet werden.

Mehrere parallele Spuren können aber auch bei nur einem Inserttyp von Vorteil sein. Durch die erhöhte Kapazität verlängert sich die autarke Laufzeit bei gleichzeitiger Verringerung des Bedienungsaufwands (Spulen austauschen).

Die Anzahl der Heizfelder kann ebenfalls erhöht bzw. an den Anwendungsfall angepasst werden. Dadurch lässt sich die Ausbringungsmenge an aufgeheizten und abholbereiten Inserts je Zyklus erhöhen.

### NACHHALTIG

Der Materialfluss ist nachhaltig aufgebaut. Bei den Transportbändern und Spulen wurde auf das Gewicht geachtet, sodass diese möglichst leicht sind.

Der größere Vorteil entsteht jedoch durch die Wiederverwendbarkeit der Spulen und der Transportbänder. Die leeren Transportbänder werden im Insert-Modul aufgewickelt und können anschließend durch ARaymond erneut mit Inserts bestückt werden.

Auch finanziell ist das modulare Konzept nachhaltig. Bei Änderung des Inserttyps fällt der finanzielle Invest für den Betreiber gering aus, da keine neue artikelspezifische Zuführanlage benötigt wird. Je nach Inserttyp reicht ein einfacher Umbausatz für den neuen Inserttyp aus.

### TECHNISCHE DATEN DES INSERT-MODULS

#### ABMESSUNGEN LXBXH [MM]

Hauptmodul (3 Spuren)	2500 x 1400 x 2400
Heizmodul (4 Kavitäten)	2160 x 1400 x 1500

#### KOMMUNIKATION

MoPaHyb-Standard via UPC UA	ja
Sicherheit im Anlagenverbund	via Fail-Safe-Netzwerk

#### HEIZMODUL

Einstellbare Insert-End-Temperatur	RT bis max. 100°C
Zykluszeit (vier Inserts im Heizfeld)	
Bereitstellen und aufheizen auf 80°C	ca. 45 s

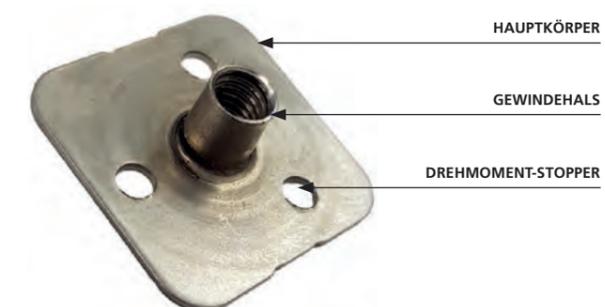
### INSERTS IM MOPAHYB-PROJEKT

Für die Herstellung der hybriden Leichtbausitzlehnen innerhalb des MoPaHyb-Projekts werden metallische M6-Gewinde-Inserts zur Lasteinleitung in die multiaxial (lang)faserverstärkte Kunststoffstruktur der Sitzlehne benötigt.

### WOFÜR WERDEN INSERTS BENÖTIGT?

Metallische Inserts werden in hybriden Bauteilen, vor allem aber im Bereich des Leichtbaus, zum Einleiten von Lasten in faserverstärkte Materialien eingesetzt.

### 3.10 ARAYMOND™ M6-GEWINDE-INSERT



### VORTEILE METALLISCHER INSERTS

- hohe Festigkeiten
- zähes Werkstoffverhalten (z.B. bei einem Crash)
- berechenbares (quasiisotropes) Werkstoffverhalten
- prozesssichere Verschraubung durch Gewinde-Inserts
- gutes Integrationsverhalten durch enge Fertigungstoleranzen

### INTEGRATION

Die MoPaHyb-Sitzlehnen bestehen aus vordrapierten Organoblechen, die in einem Kunststoff-Spritzgusswerkzeug in Form gebracht und umspritzt werden. Die Inserts werden im Hauptprozess ebenfalls in das Spritzgusswerkzeug eingelegt und umspritzt, sodass sie hauptsächlich mittels Formschluss im Gesamtbauteil integriert sind.

### INSERT-DESIGN

Die genannten ARaymond™-Gewinde-Inserts sind hauptsächlich für die formschlüssige Integration in Faserverbundwerkstoffen optimiert.

Der Hauptkörper wird vollständig in den Faserverbundwerkstoff integriert und sorgt für die Aufnahme der Zug- und Druckkräfte normal zur Grundfläche bzw. in Richtung des Gewindes.

Die durch die Verschraubung entstehenden Drehmomente werden durch die Außenkontur des Hauptkörpers und durch die Drehmoment-Stopper aufgenommen.

Das generische Design erlaubt darüber hinaus ein breites Anwendungsspektrum. Es können, abgestimmt auf den Anwendungsfall, Inserts mit verschiedenen Designs, Gewindearten, Größen und (metallische) Werkstoffe realisiert werden.



#### MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER BEI ARAYMOND

MARTIN BÜSCH  
PROJEKTLEITER PROZESSENTWICKLUNG  
T +49 7621 668 382  
MARTIN.BUESCH@ARAYMOND.COM

AUTOR: MARKUS WILHELM

## FLEXIBLE BLECHBEARBEITUNG FÜR MODULARE PRODUKTIONSSYSTEME

Beim Design von Leichtbaustrukturen stellt insbesondere die Einleitung dynamischer Betriebskräfte eine besondere Herausforderung dar. Krafteinleitungsstellen werden typischerweise mit metallischen Inserts ausgeführt, während belastungskritische Bereiche auch durch flächige metallische Verstärkungselemente ergänzt werden können.

**Die flexiblen Blechbearbeitungstechnologien von TRUMPF passen hervorragend zum hybriden Leichtbau – insbesondere bei kleinen Losgrößen.**

DR.-ING. GERHARD HAMMANN, TRUMPF  
Leiter Entwicklung Technologieplattformen

### VERSTÄRKUNGSELEMENTE IM INNEREN

Bei der im Rahmen des Verbundprojekts MoPaHyb zu untersuchenden intrinsisch hybridisierten Sitzlehnen liegen diese Verstärkungselemente im Inneren der Faserverbundstruktur und leiten die Last des Insassen über ein Drehgelenk zur Neigungsverstellung auf die Fahrzeugstruktur ab. Diese vorliegende Bauteilkategorie wird heute in großen Stückzahlen auf Großpressen oder Folgeverbundpressen wirtschaftlich produziert. Bei sinkenden Losgrößen und steigender Variantenvielfalt können die Werkzeug- und Rüstkosten dazu beitragen, dass die Produktion nicht mehr rentabel ist.

3.11 STANZ-LASER-MASCHINE TRUMATIC 7000



### SCHWERPUNKT: ENTWICKLUNG EINER PRODUKTIONSMETHODE

Der Schwerpunkt von TRUMPF im Projekt MoPaHyb ist der Nachweis, dass die Produktion metallischer Verstärkungselemente der vorliegenden Komplexität unter Gesichtspunkten der Flexibilität und Modularität möglich ist. Hierbei wird eine Methode entwickelt, diese Bauteile auf einem Blechbearbeitungszentrum herzustellen, wofür eine Stanz-Laser-Maschine des Typs TruMatic 7000 zum Einsatz kommt.

Die flexiblen Blechbearbeitungstechnologien von TRUMPF passen hervorragend zum hybriden Leichtbau – insbesondere bei kleinen Losgrößen. Bei Stanz-Laser-Maschinen werden die hohe Produktivität und die Vielseitigkeit eines Stanzkopfes mit der Konturfreiheit und den hohen Qualitätsmerkmalen des Lasers als Schneidwerkzeug vereint.

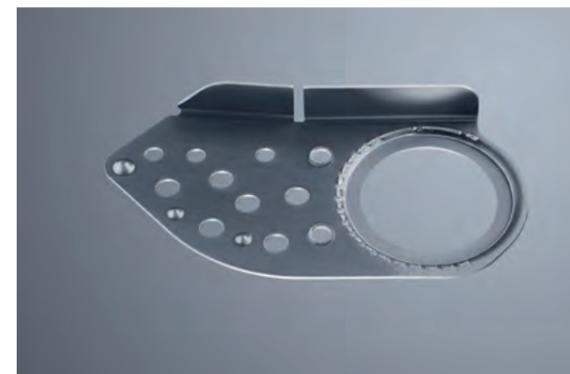
### VIelfÄLTIGER WERKZEUGBAUKASTEN

Die Maschine rüstet Werkzeuge aus einem vielfältigen und weitgehend standardisierten Werkzeugbaukasten in den Stanzkopf. Neben klassischen Stanzwerkzeugen in allen erdenklichen Formen und Ausführungen zählen hierzu Werkzeuge zur Oberflächenbearbeitung wie Prägen, Signieren und Gravieren, Umformwerkzeuge für Durchzüge, Senkungen und Näpfe, Rollwerkzeuge zur Herstellung von Rollstücken, Rollabsetzungen und Rollkerben sowie Werkzeuge zum Formen von Gewinden und zum Trennen von Schutzfolien. Darüber hinaus können unter anderem Stanz-, Präge- und Umformwerkzeuge in kundenspezifischen Geometrien geliefert werden.

### FÜR JEDE ANWENDUNG DIE RICHTIGE STRAHLQUELLE

Als Laser-Strahlquelle dient – je nach Maschine und Kundenanforderung – ein Festkörper-Laser oder CO<sub>2</sub>-Laser. Jede Strahlquelle hat bezogen auf die zu bearbeitenden Werkstoffe und zu realisierenden Kantenqualitäten und Schneidgeschwindigkeiten eigene Vorzüge.

3.12 METALLEINLEGER



### ANFORDERUNGEN AUS DER PRODUKTION

Besondere Herausforderungen an die Herstellbarkeit der Verstärkungselemente auf einer Stanz-Laser-Maschine stellen die hohe Bauteilebenheit und die engen Form- und Lagetoleranzen dar, die sowohl aus der Produktion der Sitzlehne in der MoPaHyb-Anlage als auch aus dem späteren Einsatz im Fahrzeug resultieren.

### ENTLASTUNGSSCHLITZE FÜR HÖHERE GENAUIGKEITEN

Die Reihenfolge der Abarbeitungsschritte ist variabel. Im Falle von Umformwerkzeugen muss jedoch in besonderem Maß auf Störkonturen und Freifahrwege geachtet werden. So muss die große Napfumformung zwingend als letzte Bearbeitung erfolgen. Der starke Verzug, der aus diesem Tiefziehvorgang entsteht, wirkt sich auf angrenzende Bauteilzonen aus. So verschiebt sich die Position der beiden Durchzüge und es verformt sich die benachbarte Lasche im linken Bereich. Darüber hinaus kann ohne vorbereitende Maßnahmen die Bauteilebenheit nicht eingehalten werden. Um die geforderten Bauteilgenauigkeiten erfüllen zu können, wird der Bereich um den späteren Napf noch vor dem Tiefziehvorgang mit Entlastungsschlitz perforiert. Diese werden mit dem Laser eingebracht, womit in der Phase der Optimierung die Position, Anzahl und Form der Schlitz flexibel variiert werden kann. In einem nachgelagerten Arbeitsgang werden die Schlitz mit dem metallpulverbasierten Laserschweißverfahren LMD (Laser-Metal-Deposition) wieder verschlossen, um die hohen Festigkeitsanforderungen an das Bauteil zu erfüllen.

### HOHE PRÄZISION DANK KAPAZITIVER ABSTANDSREGELUNG

Für die Verbindung zwischen Verstärkungselement und Drehgelenk ist eine Laserschweißnaht vorgesehen. Die entsprechend hohe Genauigkeit des Durchbruchs am Verstärkungselement wird erreicht, indem die erforderliche Kontur als Laserschnitt nach dem Einbringen sämtlicher Umformungen eingebracht wird, sodass kein Verzug durch nachfolgende Bearbeitungen entsteht. Mit der kapazitiven Abstandsregelung ControlLine passt sich der Bearbeitungsabstand des Laserkopfes automatisch an die bereits verformte Bauteilsituation an und erzeugt somit ein makelloses Schneidergebnis.

### HOHE ANFORDERUNGEN AUS EINGESETZTEM BLECHWERKSTOFF

Die Last aus der Sitzlehne muss über die beiden Verstärkungselemente zum Drehgelenk sicher abgeleitet werden. Um eine ausreichende Bauteilsicherheit für die Belastungen aus der Fahrzeugdynamik und für den Fall eines Crashes zu ermöglichen, wird hier mit dem mikrolegierten Feinkornstahl HC500LA gearbeitet. Die Folge der hohen Festigkeit sind starke Rückfederungen im Umformprozess. Zum Teil kann direkt an der Maschine mit steuerungsseitigen Einstellungen hierauf reagiert werden: An der flexiblen Maschinensteuerung können für jeden Bearbeitungshub individuelle Korrekturparameter eingestellt werden, mit denen z.B. die Zustellung des jeweiligen Hubs präzise angepasst werden kann. Darüber hinaus können die Rückfederungen bei der Werkzeugauslegung mit Hilfe von Simulationen berücksichtigt oder experimentell ermittelt werden. Das einfach aufgebaute Werkzeugsystem ermöglicht in vielen Fällen einfache und schnelle Korrekturmöglichkeiten an der Werkzeuggeometrie bis hin zur wirtschaftlichen Neufertigung durch kleinstmöglich ausgeführte Formelemente in standardisierten Aufnahmen. Beim Napf-Tiefziehwerkzeug sorgt eine Bombierung in der Werkzeuggeometrie für eine Kompensation der Rückfederung und ermöglicht auf diese Weise eine plane Oberfläche der Umformung.

3.13 VERSCHLIESSEN DER ENTLASTUNGSSCHLITZE MIT LASER-METAL-DEPOSITION



### FAZIT

Die flexible Stanz-Laser-Technologie von TRUMPF ermöglicht die wirtschaftliche Fertigung metallischer Verstärkungselemente für Faserverbundstrukturen in kleinen Losgrößen. Zu empfehlen ist die Einbeziehung des Produzenten in die Auslegung der Blechbauteile, damit Bauteilanforderungen und Fertigungsmöglichkeiten frühzeitig in Einklang gebracht werden können.



MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER  
BEI TRUMPF WERKZEUGMASCHINEN GMBH

MARKUS WILHELM  
ENTWICKLUNG TECHNOLOGIEPLATTFORMEN,  
STANZAPPLIKATIONSZENTRUM  
T +49 7156-303-31629  
MARKUS.WILHELM@TRUMPF.COM

AUTOR: PATRICK MOLL

# GREIFER FÜR DEN LEICHTBAU

Für die beiden im Projekt betrachteten Prozessketten wurden durch das wbk Institut für Produktionstechnik und die Firma J. Schmalz GmbH (Glatten) mehrere Greifsysteme aufgebaut. Ausgehend von den in Grafik 1.5 dargestellten automatisierten Handhabungsoperationen wurden passende Greifelemente in Abhängigkeit vom Handhabungsobjekt, der Zugänglichkeit und gegebenenfalls weiteren Randbedingungen, wie z.B. Überwachungsfunktionen, ausgewählt. Anschließend wurden daraus die Greifsysteme konzipiert und aufgebaut. Zielsetzung war es, möglichst viele Funktionen auf ein Greifsystem zu vereinen, um Greiferwechsel und Bahnbewegungen des Industrieroboters im Prozessablauf zu reduzieren.

Die Temperaturen der aufgeheizten thermoplastischen Halbzeuge von ca. 280°C stellen hohe Anforderungen an die verwendbaren Greifer. In Voruntersuchungen wurden deshalb Nadelgreifer (SNG-V 10 1.2 V-HT-7), zwei Größen von Sauggreifern aus einem Hochtemperaturmaterial (SAB 22 HT2-65 G1/4-AG bzw. SAB 40 HT2-65 G1/4-AG) und Coandagreifer (SCG 1x100 A MA AR M37x1-AG mit Saugfläche) der J. Schmalz GmbH untersucht. Dabei wurden das Halte- und Ablöseverhalten, die Schädigung des Halbzeugs, Matrixanhaftungen an der Kontaktfläche des Greifers sowie die Wärmeverluste durch den Kontakt mit dem Greifelement bewertet. Grafik 3.14 zeigt das Bewertungsergebnis der Untersuchung.

### 3.14 BEWERTUNG DER UNTERSUCHTEN GREIFELEMENTE HIN-SICHTLICH IHRER EIGNUNG ZUR HANDHABUNG AUFGEHEIZTER THERMOPLASTISCHER HALBZEUGE

	NADEL-GREIFER	SAUGGREIFER Ø 22 MM	SAUGGREIFER Ø 40 MM	COANDA-GREIFER
FASER-SCHÄDIGUNG	●	●	●	●
HALTE-KRAFT	●	●	●	●
ABLÖSE-VERHALTEN	●	●	●	●
TEMPERATUR-VERLUST	●	●	●	●
MATRIX-ANHAFTUNGEN	●	●	●	●

Das im Projekt als Insert-Bauteil-Greifer bezeichnete Greifsystem 1 dient der Handhabung der metallischen Lasteinleitungselemente (Inserts) und der Blecheinleger sowie der Entnahme des fertigen Bauteils aus dem Werkzeug in Konfiguration 1 der Referenzanlage. Die Integration dieser drei Funktionen erlaubt es, direkt nach der Entnahme der fertigen Sitzlehne, bereits die Inserts und Blecheinleger für den nächsten Produktionszyklus in das Werkzeug einzulegen. Für die Handhabung der Teile kommen folgende Greifelemente der Firma J. Schmalz GmbH zur Anwendung:

- Inserts: je 1 Sauggreifer FSGA 6 HT1-60
- Blecheinleger: je 1 Magnetgreifer SGM-S 40
- Sitzschale: 4 Sauggreifer SAB 50 HT1-60

Die Sauggreifer werden durch Kompaktejektoren SCPSi mit Vakuumlufte versorgt. Die Ejektoren erlauben durch eine Überwachung des anliegenden Vakuums zum einen eine signifikante Reduzierung der zur Vakuumerzeugung genutzten Druckluft, sowie eine Anwesenheitskontrolle der Handhabungsobjekte.

### GREIFSYSTEM 2

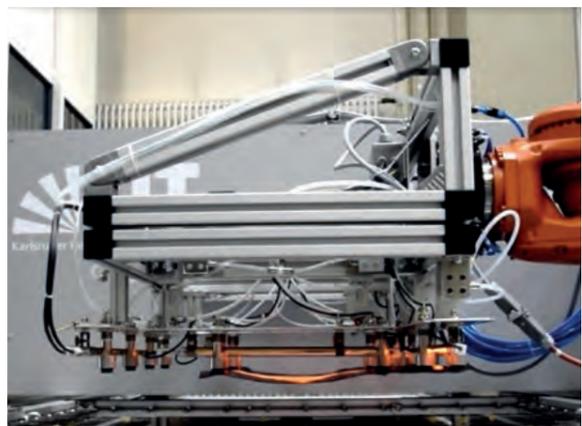
Für die Handhabung der aufgeheizten Tailored Blanks vom Heizmodul in das Werkzeug in Konfiguration 1 wurde ein weiteres Greifsystem aufgebaut. Aufgrund der Anforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Automatisierung in Anlagenkonfiguration 1 wurden auf der Basis der durchgeführten Bewertung Nadelgreifer ausgewählt. Um einen möglichst geringen Durchgang des im aufgeheizten Zustand biegeschlaffen Halbzeugs zu erreichen, wurden 9 Nadelgreifer auf dem Rahmen des Greifsystems verteilt.

### 3.15 RENDERING DES GREIFSYSTEMS 2 MIT SITZLEHNE

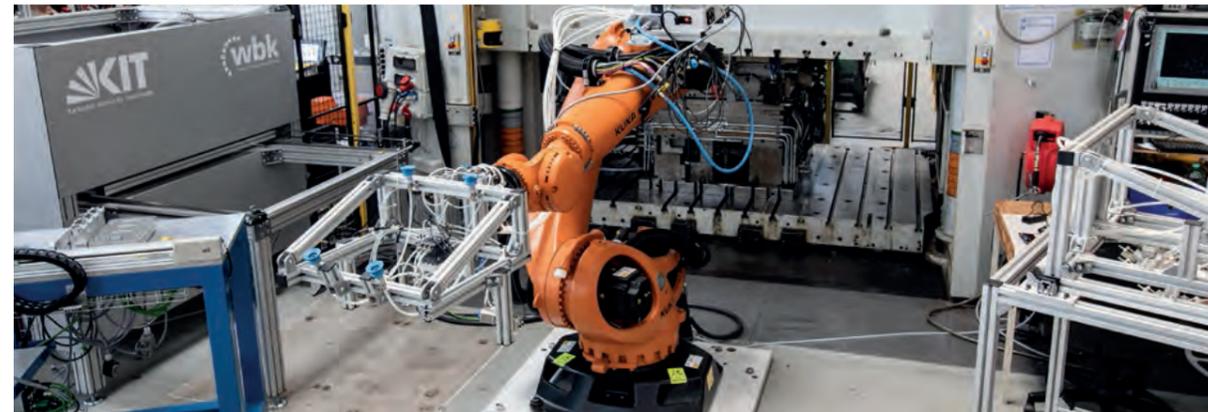


Weiterhin bestand die Anforderung einer Vorumformung des Tailored Blanks bei der Ablage auf dem Werkzeug, um die Flankenpartien schon vor der eigentlichen Umformung durch das Schließen der Presse in den Trimmkanal am Unterwerkzeug einzuführen. Hierfür wurden entlang der Kontur des Tailored Blanks fünf Pneumatikzylinder auf dem Greifsystem angebracht, die über 3D-gedruckte Stempel die Umformung erlauben. Durch zwei Niederhalter wird währenddessen das Tailored Blank auf dem Unterwerkzeug fixiert.

### 3.16 GREIFSYSTEM 3 WÄHREND HANDLINGVERSUCHEN MIT AKTIVIERTEN IR-STRAHLEN



### 3.17 DER KUKA-ROBOTER IST MITTIG VOR DER PRESSE ANGEORDNET UND HAT ZUGRIFF ZU FÜNF STATIONEN: DER PRESSE, DEM HEIZ-MODUL, DEM INSERT-MODUL, DEM BLECH-LAGER UND DER GREIFERWECHSELSTATION



### GREIFSYSTEM 3

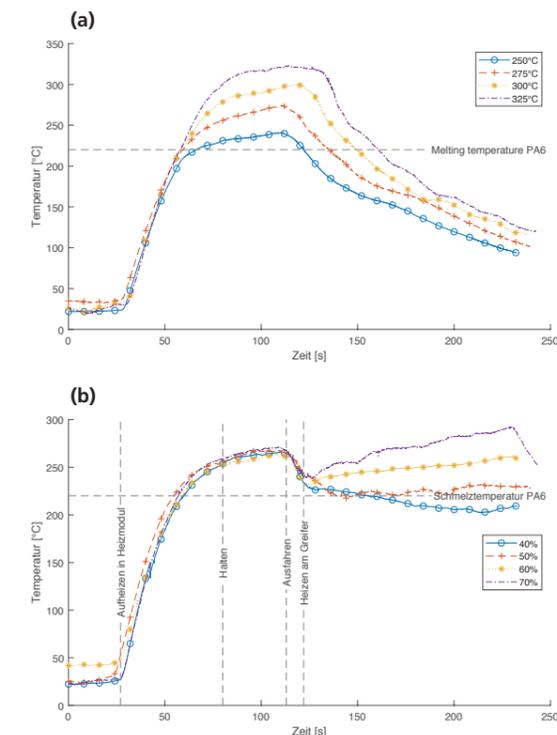
In der Konfiguration 2 der Referenzanlage müssen für die Fertigung der Unterbodenstruktur zwei aus unidirektionalem Tape hergestellte Einleger vom Heizmodul zum Werkzeug in der Presse transferiert werden. Um ein Wegschwemmen der Tape-Einleger durch den langfaserverstärkten Thermoplast im Fließpressprozess zu verhindern, ist es vorteilhaft, die Tape-Einleger entsprechend der genauen Ablagekontur im Fließpress-Werkzeug vorzuformen. Im Rahmen des Projekts wurde ein Konzept entwickelt, diese Vordrapierung in den Handhabungsvorgang zu integrieren. Um die Temperaturverluste der Tape-Einleger während der hierdurch etwas längeren Transferzeit zu kompensieren, wurden weiterhin Infrarot-(IR-)Strahler zum Wärmeerhalt in das Greifsystem integriert.

Ausgehend von den Abmaßen der Tape-Einleger und der Ablagegeometrie der Einleger im Fließpress-Werkzeug wurden die erforderlichen Drapierbewegungen für den Einleger 1 und die Positionen der Greifelemente ausgewählt. Aufgrund der kleinen Kontaktfläche zwischen Greifer und Einleger sowie der geringen Störkontur für die IR-Strahler wurden Sauggreifer SAB 22 HT2 aus einem Hochtemperatur-Material mit einem Durchmesser von 22 mm der Firma Schmalz ausgewählt. Diese werden durch zwei Vakuumejektoren SCPSi auf dem Greifsystem intelligent geregelt evakuiert. Die Grundstruktur des Greifers besteht aus zwei Ebenen aus Profilen, wobei die untere zweigeteilte Ebene zur Ausführung der Drapierbewegung durch Pneumatikzylinder horizontal nach innen verschiebbar ist. Hieran befinden sich weitere durch Pneumatikzylinder vertikal bewegbare Greifpunkte, welche die Bewegung der Einleger im Bereich der Querträger nach unten erlauben. Oberhalb des Einlegers sind vier Röhren-IR-Strahler mit je 1.000 W verbaut. Zur Ablage des Einlegers 2 an tieferer Position im Werkzeug befinden sich vier weitere Greifpunkte weiter vorne am Greifferrahmen an Pneumatikzylindern. Ein weiterer Zwillingsröhren-Strahler mit 3.600 W dient dessen Wärmekompensation.

Das thermische Verhalten der Tape-Einleger während des Transfers am Greifsystem wurde mit Hilfe von auf der Ober- und Unterseite der Einleger aufgetragenen Thermoelementen untersucht. 3.18 (a) zeigt den Temperaturverlauf beim Aufheizen im Heizmodul auf unterschiedliche Soll-Temperaturen und einen anschließenden Transfer am Greifsystem ohne Temperaturkompensation durch die integrierten IR-Strahler. 3.18 (b) zeigt hingegen eine Erwärmung auf 275°C im Heizmodul und den anschließenden Transfer am Greifsystem mit den IR-Strahlern auf verschiedenen Stufen der Maximalleistung.

Aus den Versuchen ist ersichtlich, dass durch die Handling-integrierte Erwärmung die mögliche Transferzeit signifikant gesteigert werden kann. Eine Erwärmung mit 50% Strahlerleistung genügt, um den Temperaturverlust durch Strahlung und Konvektion der Einleger zu kompensieren.

### 3.18 GREIFSYSTEM 3 WÄHREND HANDLINGVERSUCHEN MIT AKTIVIERTEN IR-STRAHLEN



Die Wiederholgenauigkeit der Vordrapierung wurde mittels 3D-Laserscans evaluiert. Hierbei konnten Genauigkeiten von ± 1,5 mm in den relevanten Bereichen erreicht werden.

AUTOR: PATRICK MOLL

## AUFHEIZUNG THERMO-PLASTISCHER FASERVERBUNDE

Vor der Umformung werden die thermoplastischen FKV-Halbzeuge in einer Heizeinrichtung auf eine Temperatur oberhalb der Schmelztemperatur der Thermoplastmatrix erhitzt. Gängige Aufheizprinzipien, die hierbei Verwendung finden, sind Warmluftöfen, Kontaktheizsysteme oder Infrarot-(IR)-Strahler. IR-Strahler erlauben dabei durch ihren großen Energie-Output eine sehr kurze Aufheizzeit bei hoher Energieeffizienz und guter Regelbarkeit. Die Größe der IR-Strahler kann zudem sehr gut den Abmessungen des Halbzeugs angepasst werden. Das MoPaHyb-Konsortium entschied sich daher für die Entwicklung eines mit IR-Strahlern bestückten Heizmoduls.

### AUFBAU

Aus den beiden im Projekt betrachteten Prozessketten mit externer Konsolidierung und Besäumung ergab sich neben der Hauptfunktion des Aufheizens auch die weitere Anforderung, als Schleuse in den mittels Industrieroboter automatisierten Anlagenteil zu fungieren. Das Heizmodul besteht daher aus einem mittigen Aufheizbereich und einer Schublade, die auf einer Linearachse auf zwei Seiten in den Aufheizbereich ein- und ausfahren kann. Die eine Seite dient dem manuellen Einlegen des kalten Halbzeugs durch einen Werker, während die andere Seite innerhalb des Sicherheitszauns der Roboterzelle liegt, damit der Industrieroboter das warme Halbzeug greifen kann.

Eine weitere Nebenfunktion des Heizmoduls ist die Überwachung der Qualität der bereitgestellten Halbzeuge. Hierfür ist das sogenannte Qualitätssicherungs-Modul 2 (QS2) der Firma Vitronic (Wiesbaden) auf der Einlegeseite des Moduls adaptiert. Dieses misst während der Einfahrbewegung die Dicke des Halbzeugs.

Im Aufheizbereich sind zwei je 1 x 1 m<sup>2</sup> große IR-Strahlerfelder für eine beidseitige Aufheizung des Laminats verbaut. Die beiden Strahlerfelder bestehen aus je 16 Strahlern Mini G 14 der Firma Krelus (Oberentfelden, Schweiz).

Je vier Strahler sind zu einer Gruppe zusammengefasst, die über ein Pyrometer zur Regelung verfügt. Für die 8 Gruppen können unabhängig voneinander unterschiedliche Zieltemperaturen vorgegeben werden, auf die die Temperatur geregelt wird. Die Regelung erfolgt durch einen PID-Regler, dem die aktuelle Temperatur des Halbzeugs

durch die Pyrometer rückgeführt wird. Um eine Verschmutzung der Pyrometer durch bei der Aufheizung austretende Dämpfe zu vermeiden, sind diese mit einer pneumatischen Reinigungseinrichtung ausgestattet.

### SERVICES

Um eine größtmögliche Konfigurationsflexibilität der einzelnen Prozessschritte des Produktionsprozesses zu ermöglichen, wurden die einzelnen Ablaufschritte im Prozessablauf des Heizmoduls als folgende eigenständige Services, welche durch den Anwender aufgerufen werden können, programmiert: Einfahren, Ausfahren, Reset, Heizen, Halten.

Die Services Einfahren, Ausfahren und Reset dienen der Bewegung der Schublade an die jeweilige Arbeitsposition. Während des Services Einfahren erfolgt parallel die Messung durch das QS2-Modul.

Der Service Heizen dient dem eigentlichen Aufheizen des Halbzeugs. Mittels der übergebenen Variablen können der Heizmodus und die Soll-Temperatur für jede Strahlergruppe individuell angepasst werden. Es steht ein PWM-Betrieb zur Verfügung, bei welchem die IR-Strahler eine vorgegebene Zeit mit einer gewünschten Leistung aufheizen. Es gibt außerdem einen Reglerbetrieb, bei welchem die IR-Strahler auf das Laminat präzise auf die eingestellte Soll-Temperatur regeln. Der zusätzliche Service Halten ermöglicht das konstante Halten einer vorgegebenen Solltemperatur über eine vorgegebene Zeit und dient dazu, dass das Halbzeug gleichmäßig über die Dicke durchwärmen kann.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER  
BEIM WBK INSTITUT FÜR  
PRODUKTIONSTECHNIK**

**PATRICK MOLL  
AKADEMISCHER MITARBEITER  
T +49 1523 950-2600  
PATRICK.MOLL@KIT.EDU**

### 3.19 SCHEMATISCHE TRIANGULATIONSANORDNUNG



AUTOR: DR. UDO BÜRCEL

## QUALITÄTSSICHERUNG IM HYBRIDEN LEICHTBAU

Gerade bei relativ neuen industriellen Prozessen, wie sie im hybriden Leichtbau zum Einsatz kommen, spielt die Erfassung von Kenngrößen sowohl im Sinne einer gleichbleibenden Fertigungsqualität als auch zur Prozessregelung eine wichtige Rolle.

In Abstimmung mit dem Forschungskonsortium wurden zunächst die kritischen Kenngrößen in den geplanten Prozessschritten identifiziert. Daraus ergaben sich verteilt über die gesamte Prozesskette drei wichtige Qualitätssicherungsmodule, die inline realisiert wurden.

### MODUL 1: INLINE-MESSUNG DER TAPEDICKE

Ein wichtiger Baustein zur modularen Fertigung hybrider Leichtbauteile sind Tapelegesysteme. Dabei werden Fiber-Tapes so angeordnet, dass sie die im Bauteil auftretenden Belastungen bestmöglich abfangen und damit aktiv zur Stabilität des gesamten Bauteils beitragen. Die mechanischen Eigenschaften des gesamten Bauteils hängen maßgeblich von der Dickenverteilung der eingebrachten Tapes ab. Durch Inline-Messung der Dickenprofile der Tapes vor dem Ablegen lässt sich die Materialverteilung in den Tapegelegten überwachen und gegebenenfalls auch steuern.

Folgende Anforderungsparameter wurden gemeinsam mit den Projektpartnern ermittelt und festgelegt:

- Vmax: 50 mm/s
- Angestrebte Genauigkeit: 5 µm (bei lateral gemittelter Messung über einige mm<sup>2</sup>)
- Gesichtsfeldbreite: 170 mm
- Dickenmessbereich: < 1 mm

Dabei kann das Dickenprofil auch aus relativen Höhenwerten ermittelt werden, indem das Tape mit Spannung über eine Walze geführt wird und die Dickenwerte als Differenz der Tapehöhen und der Höhen der Walzenoberfläche errechnet werden.

Im Rahmen einer Marktrecherche wurden zunächst Systeme basierend auf klassischer Lasertriangulation, korrelationsbasierten Stereozeilensensoren und chromatisch konfokalen Zeilenkameras evaluiert. Bei allen diesen Ansätzen ließ sich die angestrebte Genauigkeit für die Tapedicken entweder gar nicht oder nur durch Aneinanderreihen mehrerer Sensoren über die geforderte Gesichtsfeldbreite erreichen. Dies wäre jedoch mit einer aufwendigen Anlagenintegration und erheblichen Kosten für die Sensoren verbunden.

Bei der Lasertriangulation wird von einem Laser ein optisches Signal auf das zu vermessende Objekt gesendet und mit einer Kamera, die in einem bestimmten Winkel zum Laser angebracht ist, beobachtet. Ändert sich die Entfernung zwischen Objekt und Laser, ändert sich auch die Position des Lasersignals im Kamerabild. Durch die Lage von Kamera zu Laser lässt sich so trigonometrisch der Abstand zwischen Objekt und Laser beziehungsweise Kamera berechnen.

In 3.20 sind beispielhaft typische Kenngrößen für klassische Lasertriangulationssensoren mit den Anforderungen gegenübergestellt. Es fällt auf, dass einerseits für die benötigte Bildfeldbreite die benötigte Abstandsgenauigkeit mit am Markt befindlichen Systemen nicht erreicht wird und andererseits der Abstandsmessbereich und die laterale Auflösung deutlich besser sind als benötigt.

### 3.20 GEGENÜBERSTELLUNG DER KENNGRÖSSEN EINES TYPISCHEN LICHTSCHNITT-TRIANGULATIONSSENSORS MIT DEN ANFORDERUNGEN ZUR VERMESSUNG DER TAPEDICKEN

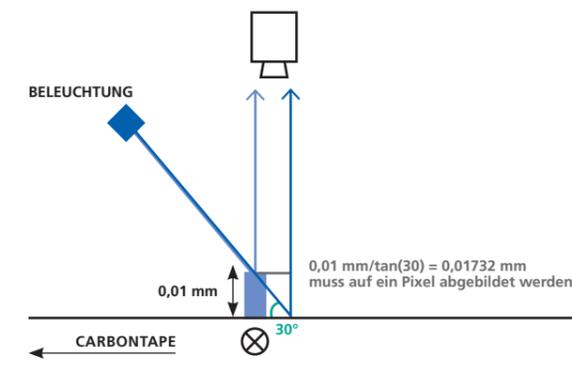
	klassischer Profilsensor	benötigt zur Vermessung der Tapedicken
Gesichtsfeldbreite	190 mm	190 mm
Abstandsauflösung	35 µm	5 µm
Abstandsmessbereich	300 mm	1 mm
Laterale Auflösung	80 µm	1 cm

Ausgehend von dieser Diskrepanz der geforderten Kenngrößen mit den Kenngrößen der am Markt verfügbaren Messsysteme wurde im Rahmen des MoPaHyb-Projektes eine speziell angepasste, neuartige 3D-Sensorik entwickelt.

Diese ermöglicht eine Dickenmessung mit einer Genauigkeit von unter 5 µm bei einem Gesichtsfeld von 200 mm und einer Ortsauflösung von 1,6 mm x 0,16 mm (Lateral x Transportrichtung) mit nur einer Kamera.

Neben der vertauschten Anordnung von Kamera und Beleuchtungsline (siehe Grafik 3.21) und der Verwendung einer breiteren Beleuchtungsline bildet ein eigens entwickelter Auswertalgorithmus das Kernstück der neuen, in Abstandsrichtung hochgenauen 3D-Sensorik. Er basiert auf der Überlegung, dass die hohe Genauigkeitsanforderung nur in Abstandsrichtung (Materialdicke) gegeben ist, nicht jedoch lateral und insbesondere nicht in Transportrichtung. Daher können die Sensorsignale in Vorschubrichtung integrierend verarbeitet werden, wodurch sich eine erheblich geringere Messwertstreuung erzielen lässt.

### 3.21 SCHEMATISCHE TRIANGULATIONSANORDNUNG



Konkret werden die zu vermessenden Objektpunkte entlang der Vorschubbewegung in einer Folge aus mehreren Kamerabildern beobachtet und daraus ein synthetisches Kamerabild errechnet, in dem die Objektpunkte zeitlich aufgelöst verrechnet werden. Dieses Bild wird dann zur trigonometrischen Berechnung verwendet.

Das Erzeugen der synthetischen Bilder erfolgt in einer von Vitronic entwickelten intelligenten Kamera. Wahlweise kann direkt in der Kamera oder auch auf dem angeschlossenen Industrie-PC das Tiefenbild berechnet werden.

3.22 zeigt die in die Fiberforge-Tapelegeanlage integrierte Sensorik. Zur Messung der Tapedickenprofile werden die Tapes an einer hochpräzisen Messrolle umgelenkt und die Tapeoberfläche mittels der 3D-Sensorik erfasst. Die unter Berücksichtigung der in einem Kalibrierschritt vermessenen Rollenoberfläche ermittelten Tapedickenprofile werden direkt an die Steuerung der Tapelegeanlage übermittelt.

3.22 INTEGRIERTE SENSORIK DER FIBERFORGE-ANLAGE FÜR DIE TAPEDICKENMESSUNG



Neben der Überprüfung der Linearität der Abstandsmessung mittels Abstandsendmaßen wurde zur Evaluierung der Sensorik die Wiederholgenauigkeit der Dickenmessung untersucht. In 3.23 sind beispielhaft die Dickenprofile und deren Standardabweichung von 12 Wiederholmessungen eines Carbonfasertapes dargestellt.

**MODUL 2: DICKENMESSUNG TAILORED BLANK**

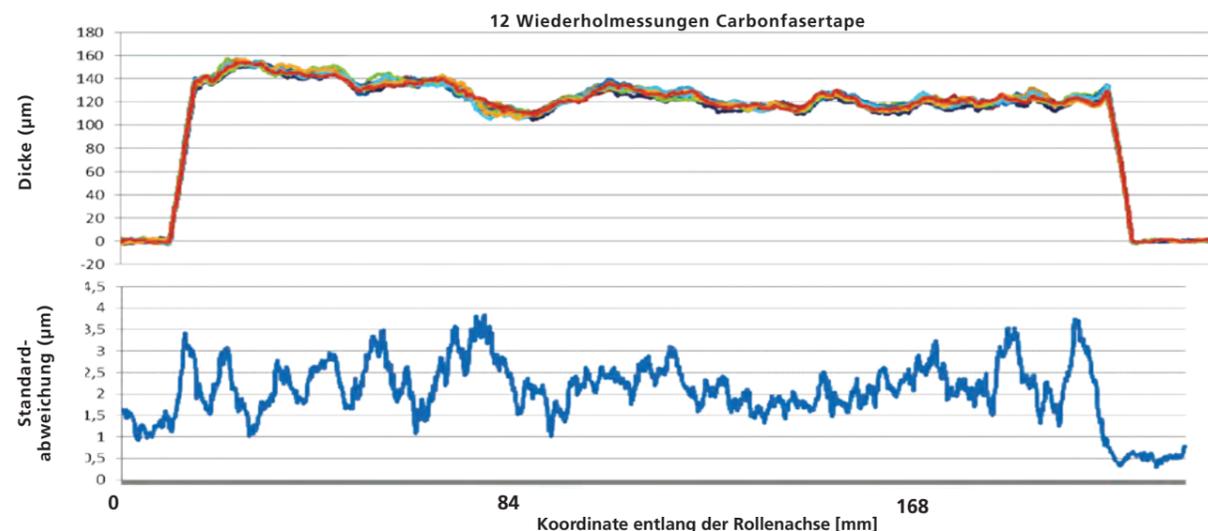
Um zum Beispiel Sitzlehnen herzustellen, wird das Tailored Blank in einer Presse tiefgezogen. Hierbei muss sichergestellt werden, dass das Material gleichmäßig verteilt und dick genug zum Pressen ist. Außerdem darf es in dem Tailored Blank keine Luft einschließen. Diese Punkte können per Dickenmessung am Heiz-Modul überprüft werden, während das Material in den Heizofen einfährt.

Bei einer Geschwindigkeit von bis zu 100 mm/s sollte ein Gesichtsfeld von 700 mm mit einer Genauigkeit von 50 µm vermessen werden. Um die Dicke des Tailored Blanks zu bestimmen, muss das relativ steife Material von beiden Seiten vermessen werden. Wie schon bei Modul 1 wurde auch hier das Messprinzip der Lasertriangulation angewendet.

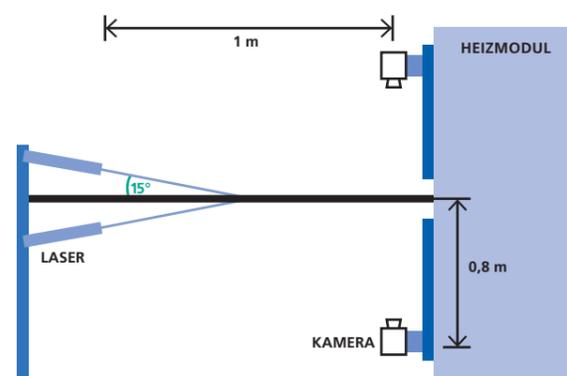
Bei Modul 2 wurde dazu je eine Kamera oben und unten am Heiz-Modul montiert, sodass diese orthogonal zur Verfahrrichtung auf das Material schauen. Die Laser wurden in einem Abstand von zirka einem Meter zum Heizmodul angebracht und projizieren mit einem flachen Winkel eine Laserlinie oben und unten auf das Material. Der flache Winkel bewirkt, dass kleine Veränderungen in der Dicke des Materials eine große Auswirkung auf die Laserlinie im Kamerabild haben und so eine hohe Genauigkeit erreicht wird. Ist der Abstand des Objekts pro Seite in Relation zu einem bei einem Kalibrierschritt ermittelter Höhe berechnet, kann daraus die Gesamtdicke des Materials berechnet werden.

Da die Lasertriangulation in einem Kamerabild für die geforderte Messgenauigkeit nicht ausreicht, wurde auch hier auf das spezielle Auswerteverfahren von Modul 1 zurückgegriffen. Dadurch konnte mit einer Glättung von 0,35 mm lateral und 3,5 mm in Transportrichtung eine Wiederholgenauigkeit von unter 30 µm erreicht werden.

3.23 TAPEDICKENPROFILE VON 12 WIEDERHOLMESSUNGEN UND DEREN STANDARDABWEICHUNG. DIE MESSFLECKEN IN DIESEN PROFILEN HABEN EINE AUSDEHNUNG VON 1,6 MM X 0,16 MM (LATERAL X TRANSPORTRICHTUNG).



3.24 AUFBAU MODUL 2: DIE DICKE DER TAILORED BLANKS WIRD MIT HILFE ZWEIER LASER GEMESSEN.



**MODUL 3: VERZUGSMESSUNG AM FERTIGEN BAUTEIL**

Ist das Bauteil fertig produziert, soll eine abschließende Prüfung auf Maßhaltigkeit erfolgen, damit sichergestellt ist, dass das Bauteil ohne Komplikationen weiterverarbeitet beziehungsweise integriert werden kann.

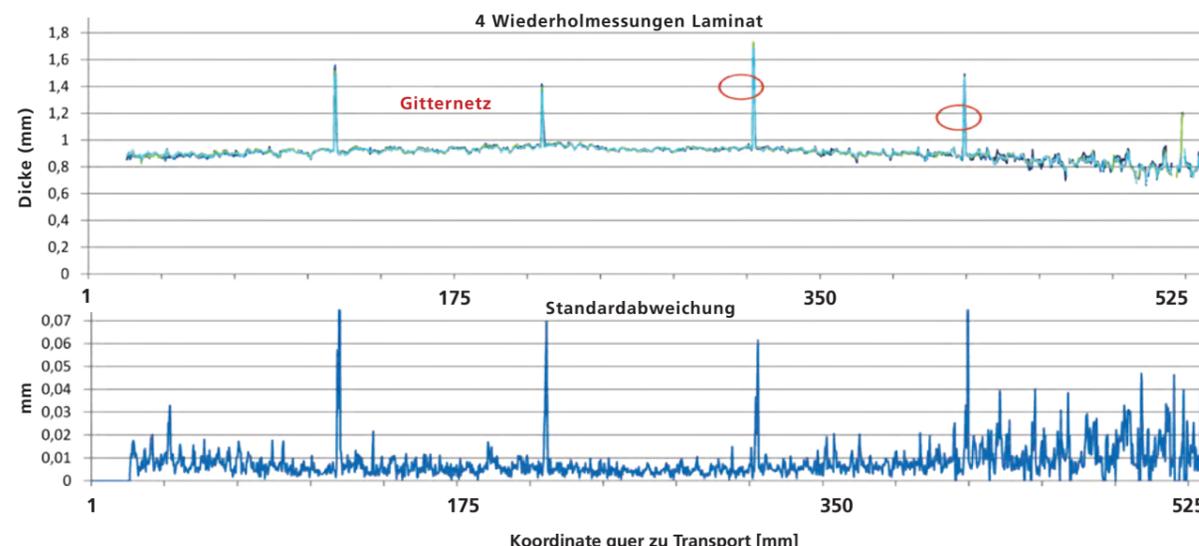
Im Rahmen des MoPaHyb-Projekts wurde für die gefertigten Sitzlehnen eine Überprüfung auf Wärmeverzug umgesetzt. Dabei werden die Einlegebleche für die Achshalterung auf Parallelität überprüft. So wird garantiert, dass die Achse später bündig eingesetzt werden kann.

In dem entwickelten Modul werden die Einlegebleche mit Abstandssensoren vermessen. Beide Einlegebleche werden mit je zwei Abstandssensoren vermessen. Daraus lässt sich der jeweilige Winkel der Bleche berechnen. Sind die Winkel der Einlegebleche nicht parallel zueinander, gibt das Modul eine Fehlermeldung aus. Zusätzlich werden alle Messungen protokolliert.

3.26 AUFBAU MODUL 3: PARALLELITÄTSPRÜFUNG ACHSHALTERUNG MIT ZWEI ABSTANDSSENSOREN.



3.25 DICKENPROFILE VON 4 WIEDERHOLMESSUNGEN UND DEREN STANDARDABWEICHUNG.



AUTOR: SASCHA KILIAN

## PILOTANLAGE AM FRAUNHOFER ICT

Der Aufbau der Pilotanlage erfolgte am Fraunhofer ICT in Pfinztal. Die dort bestehende Infrastruktur wies bereits vor Projektstart ein Technikum mit einer hydraulischen Oberkolbenpresse COMPRESS PLUS DCP-G 3600/3200 AS der Firma Dieffenbacher auf. Diese bildet das Herzstück der aufgebauten modularen Produktionsanlage.

Zur Verwirklichung wurden zunächst veraltete Peripheriegeräte aus dem Technikum entfernt, um Platz für die einzelnen MoPaHyb-Fertigungsmodule zu schaffen. Bereits bei der Planung der Produktionslinie wurde hierbei der Bruch in der Herstellung der Demonstratoren berücksichtigt und die Linie in zwei Fertigungszonen aufgeteilt.

### EINTEILUNG DES GESAMTLAYOUTS

Die erste Fertigungszone bildet das Tapelegemodul zur Bereitstellung der lokal gehefteten UD-Tapelegele bzw. Organobleche. Diese wurden in einem externen Konsolidierungs- und Besäumungsverfahren für die Verarbeitung in der zweiten Fertigungszone vorbereitet.

Die zweite Fertigungszone wird durch das Pressmodul, in dem die intrinsische Hybridisierung stattfindet, dominiert. Alle anderen Module werden diesem Modul hinsichtlich mechanischer Schnittstellen untergeordnet.

### LAYOUT FERTIGUNGSZONE 2

Die zentrale Demonstration der MoPaHyb-Pilotanlage wird durch Fertigungszone 2 abgebildet. Hier werden das Langfaserspritzgießmodul, das Handlingsmodul, das Heizmodul, das Bereitstellungsmodul für metallische Lasteinbringungselemente sowie das Modul für Verstärkungselemente und das Pressmodul durch das Basismodul miteinander verkettet. Aufgrund der durch das Pressmodul vorgegebenen mechanischen Schnittstellen wurden die weiteren Fertigungsmodule in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit der Presse und des Werkzeuges angeordnet. Limitierender Faktor hierbei ist die

zweiseitige Zugänglichkeit des Pressenraumes. Dies führt zu einer erneuten Aufteilung in zwei Subzonen.

Subzone 1 befindet sich, ausgehend von der Bedienseite der Presse, auf dem rückwärtigen Zugang des Pressenraumes. In dieser Zone wurde das Spritzgießmodul angeordnet und über das Werkzeug mit der Presse verbunden. Sonderstellungsmerkmal des Moduls ist die bauhöhenbedingte Trennung der Versorgungseinheit von der Spritzeinheit, die dadurch die Anordnung maßgeblich mitdefiniert.

Subzone 2 ist der Bereich auf dem bedienerseitigen Zugang zum Pressenraum. Den Mittelpunkt bildet hierbei das Handlingsmodul in Form eines KUKA-Roboters. Die maximale Reichweite des Moduls in Kombination mit den Greifersystemen bestimmt die Anordnung der weiteren Fertigungs- und Unterstützungsmodule. Entsprechend der prozesskritischen Verfahrenswege erfolgt anschließend die Positionierung der weiteren Module. Daher wird das Heizmodul zur Erwärmung der flächigen Halbzeuge möglichst werkzeugnah positioniert. Die restlichen Module werden anhand des noch verfügbaren Platzes angeordnet. Dies betrifft die Fertigungsmodule zur Bereitstellung der metallischen Lasteintragungselemente, das Modul für metallische Verstärkungselemente, das Greiferbahnhofmodul sowie das Transportbandmodul.

Für die Materialzufuhr wurden mehrere HMI-Interfaces genutzt, so wurde z.B. das Heizmodul derart ausgelegt, dass es eine Bestückungsseite zum manuellen Bestücken mit flächigen Halbzeugen und eine Entnahmeseite zur Entnahme durch das Handlingsmodul aufweist. Außerdem wurde großer Wert darauf gelegt, dass für diese Operationen eine spätere automatisierte Lösung einfach implementierbar ist.

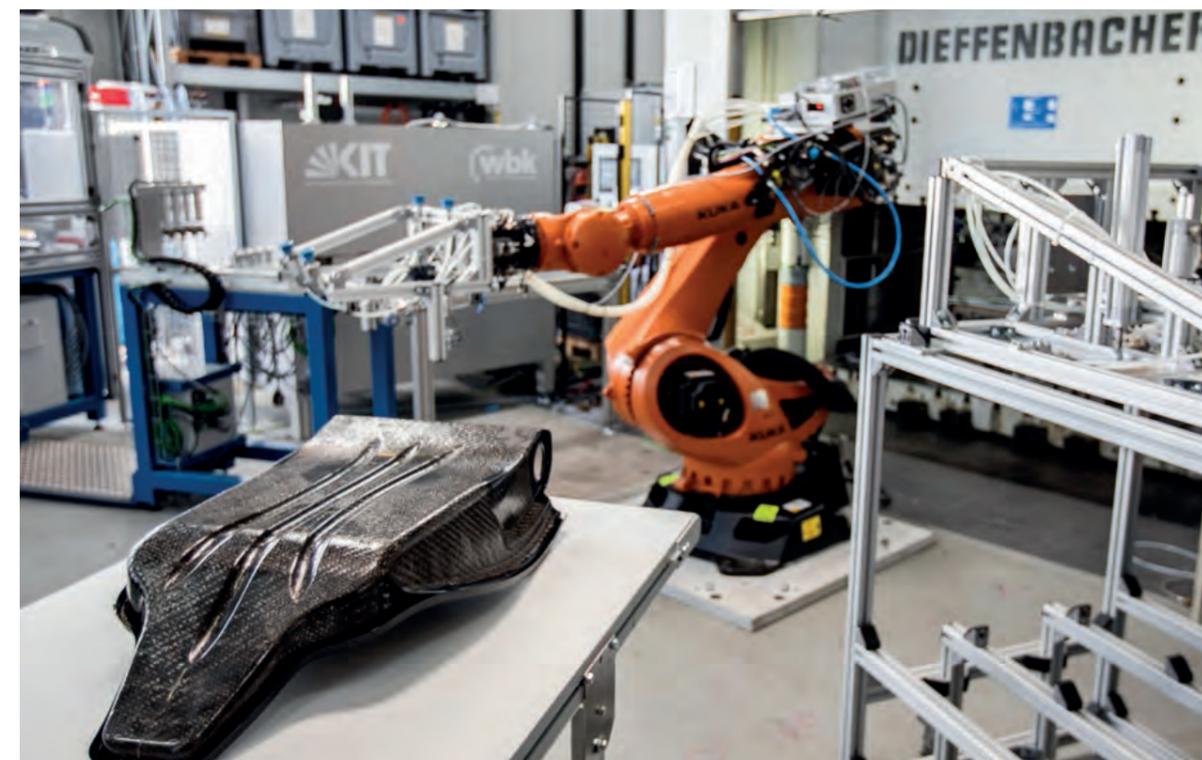
### SICHERHEITSKONZEPT

Eine der grundlegendsten Anforderungen, die durch das Konsortium an die Pilotanlage gestellt wurde, war die Implementierung eines durchgängigen und industrietauglichen Sicherheitskonzeptes. Daher wurden mit Unterstützung der Sicherheitsexperten aus der Industrie in Form der Modulhersteller und in Zusammenarbeit mit dem VDMA mögliche Lösungsansätze diskutiert und erarbeitet. Grundsätzlich gilt, dass der Systembetreiber einer derartigen verketteten Anlage für ihren sicheren Betrieb haftbar ist. Somit lag der

#### 4.1 ANSICHT DER SUBZONEN 1 (LINKS) UND 2 (RECHTS) DER FERTIGUNGSZONE 2 DER PILOTANLAGE



#### 4.2 LAYOUT DER SUBZONE 2 DER PILOTANLAGE FÜR KONFIGURATION 1



Fokus der Gespräche darauf, zukünftigen Betreibern ein Werkzeug zur Auslegung des Sicherheitskonzeptes für eine modulare Anlage an die Hand zu geben. Als Standard für die Sicherheitsschnittstellen der Module wurde ProfiNet ausgewählt.

In der konkreten Umsetzung an der Pilotanlage wurde die Zonenaufteilung der Fertigung auf das Sicherheitskonzept übertragen, d.h., dass die Gesamtanlage in zwei Sicherheitszonen aufgeteilt wurde. Die erste Zone entspricht hierbei der Fertigungszone 1, dem Tapelegemodul, und Sicherheitszone 2 dem Bereich um das Pressmodul.

Der kritischste Bereich wird durch den begehbaren Pressenraum dargestellt, welcher üblicherweise durch Lichtschranken abgesichert ist. Da in der Pilotanlage der Lichtvorhang permanent durch das angeschlossene Spritzgießmodul unterbrochen ist, muss diese Sicherheitseinrichtung durch eine höherwertige ersetzt werden. In der Pilotanlage ist dies durch einen Sicherheitszaun mit Durchbruch für das Spritzgießmodul realisiert. Um dennoch den Zugang zum Pressenraum zu gewährleisten, wurde eine Tür mit Sicherheitsschalter angebracht. Dieser ersetzt den Lichtvorhang und wird durch das Pressenmodul verwaltet. Das daran angebundene Spritzgießmodul gilt aufgrund seiner Bauhöhe als besteigbar, daher ist auch hier eine Einhausung in Form einer Sicherheitszelle notwendig. Die entsprechende Sicherheitszelle entspricht wiederum der Subzone 1 der Fertigungszone 2 und wird sicherheitstechnisch durch das Arburg-Spritzgießmodul selbst verwaltet.

Der bedienerseitige Bereich der Fertigungszone, die Subzone 2, wird hingegen durch das Basismodul verwaltet. Die damit verknüpften Module sind das Heizmodul, die Bereitstellungsmodulare der metallischen Lasteintragungselemente, das Handlingsmodul und das Transportbandmodul. Um die Gefahren beim Bestücken des Heizmoduls zu minimieren, ist das Modul gleichzeitig als Schleuse zur Sicherheitszelle ausgelegt. Das Modul verfügt zu diesem Zweck über

ein HMI, wodurch das Bestücken über einen Quittierschalter sicher gestaltet ist. Die einzelnen von Modulen verwalteten Sicherheitseinrichtungen werden zentral durch das Basismodul verwaltet und können je nach Konfiguration ausgelegt werden.

### REKONFIGURATION

Beim Umbau der Produktionsanlage von Demonstrator 1 auf 2 und dem damit verbundenen Austausch des LFT-Moduls, d.h. von Spritzgießmodul auf Fließpressmodul, blieb der bedienerseitige Pressenbereich unberührt. Die rückseitige Sicherheitszelle um Subzone 1 wurde abgebaut. Lediglich der Sicherheitszaun zur Abtrennung des Pressenraumes blieb bestehen und der Durchbruch für das Spritzgießmodul wurde geschlossen. Die Fertigung der Unterbodensubstruktur erfolgte in einem halbautomatischen Zyklus, in welchem ein manueller Transfer des LFT-Plastifikats in das Werkzeug notwendig war. Um hierfür die Sicherheitszelle betreten zu können und gleichzeitig das Einlegen zu quittieren, wurde ein HMI als virtuelles Modul eingebunden.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER  
BEI FRAUNHOFER ICT**

SASCHA KILIAN  
PROJEKTINGENIEUR & WISS. MITARBEITER  
T +49 721 4640-448  
SASCHA.KILIAN@ICT.FRAUNHOFER.DE

AUTOR: SASCHA KILIAN

# FERTIGUNG DER DEMONSTRATOR-BAUTEILE

Zur Validierung der MoPaHyb-Anlagenarchitektur anhand der am Fraunhofer ICT aufgebauten Pilotanlage wurden, wie bereits mehrfach erwähnt, zwei Demonstratorbauteile gewählt. Hierbei handelt es sich um eine hybride Lehnstruktur aus dem Automotivbereich sowie um eine Fahrzeugunterbodensubstruktur. Während der Inbetriebnahme und der finalen Demonstration der Anlage im vollautomatisierten Zyklus wurde eine Gesamtanzahl von über 270 Bauteilen gefertigt. Gleichzeitig konnte eine Zykluszeit von 238 Sekunden zur Fertigung einer Lehnstruktur erreicht werden. Eine weitere Reduktion der Zykluszeit um bis zu 100 Sekunden ist durch paralleles Aufnehmen und Ablegen der metallischen Inserts realisierbar.

Die Großserientauglichkeit wurde dadurch eindrucksvoll an der Forschungsanlage dargestellt.

## HERAUSFORDERUNGEN BEI DER PROZESSFÜHRUNG

Die Fertigung hybrider Bauteile auf der Basis faserverstärkter Kunststoffe stellt große Anforderungen an die Prozessführung. Der Schlüssel zu einer reproduzierbaren Bauteilqualität ist ein kontinuierliches Temperaturmanagement des Gesamtprozesses, welches über eine übergeordnete Steuerung überwacht und reguliert werden muss. Ein spezielles Augenmerk gilt hierbei dem Einfahren des Prozesses. Wichtigste und entscheidende Merkmale für den Prozess sind die entstehenden Grenzflächen innerhalb des Bauteils. Am Beispiel der Lehnstruktur sind dies:

- Grenzfläche Metall zu LFT
- Grenzfläche Metall zu Organoblech
- Grenzfläche Metall zu UD-Tapelaminat
- Grenzfläche LFT zu Organoblech
- Grenzfläche LFT zu Tapelaminat
- Grenzfläche Organoblech zu Tapelaminat

Bei letzterer ist ein Konsolidierungsschritt des lokal gehefteten UD-Tapelaminates in Kombination mit Organoblech vor der Umformung essenziell. Darüber werden maßgeblich das reproduzierbare

Aufheizverhalten vor der Umformung sowie das Drapierverhalten des Halbzeuges während der Umformung bestimmt. Zudem wurde eine Vordrapierung durch den Greifer realisiert. Ein Verrutschen des Halbzeuges während des finalen Formgebungsprozesses kann somit verhindert werden und beeinflusst den Faltenwurf positiv.

Ein weiterer Faktor ist die Transferzeit des aufgeheizten Halbzeuges vom Heizmodul ins Werkzeug. Diese beeinflusst das Drapierverhalten, aber auch die Anbindung der LFT-Spritzgießmaße an das kontinuierlich faserverstärkte Halbzeug. Hierbei nimmt die Werkzeugtemperatur eine ebenso wichtige Rolle ein. Die Formfüllung wird durch eine geeignete Werkzeugauslegung insbesondere mit mehreren Kaskaden und Anspritzpunkten entscheidend mitbestimmt. Die dabei entstehenden spezifischen Prozessgrößen, wie Temperaturdifferenzen zwischen Spritzgießmaßen und Halbzeug, sowie Forminnendruck sind daher entscheidend für die Eigenschaften des Verbundes.

Die Gesamtzykluszeit sollte möglichst gering ausfallen, um die Verweilzeiten des Plastikats im Zylinder des Spritzgießmoduls und im Heißkanal zu minimieren und eine etwaige Degradation zu vermeiden. Dies gilt insbesondere bei temperaturempfindlichen Materialien wie beim verwendeten Polyamid-6.

Eine Sonderposition bei Metall-FVK-Hybriden ist die im intrinsischen Fügeprozess entstehende Grenzfläche zwischen Metall und Kunststoff. Die Grenzfläche ist mitentscheidend bei der Übertragung der in das Bauteil eingeleiteten Kräfte auf die Verstärkungsfasern und somit bei der Gesamtperformance des Bauteils. Ein Vorheizen der metallischen Einleger ist obligatorisch. Zum einen wird ein direktes Erstarren der Kunststoffschmelze in der Grenzschicht verhindert und zum anderen ein Eindringen in etwaige Strukturierungen zur Erzeugung mechanischer Hinterschnitte ermöglicht.

Letzterer Punkt, die Oberflächenfunktionalisierung der Metalle zur Optimierung der Grenzflächenfestigkeit, kann über viele Verfahren erreicht werden. Hierzu wurden umfangreiche Untersuchungen innerhalb des Projektes MoPaHyb durchgeführt. Die folgenden Verfahren wurden betrachtet:

- Haftvermittler in Form des kommerziell verfügbaren Vestamelt® Hylink der Firma Evonik
- Laserstrukturierungen
- Plasmabeschichtungen
- Prägestrukturen
- Aufbringung einer Polymerfolie
- Kombinationen davon

Die Grenzflächenscherfestigkeiten, die mittels des Edge-Shear-Verfahrens ermittelt wurden, können 4.3 entnommen werden. Hierfür wurden Proben im Spritzgießen sowie im Überpressen mit flächigen Halbzeugen hergestellt und geprüft.

Zusammenfassend ist auch hier die Temperaturführung in Abhängigkeit von der Vorbehandlung eines der entscheidenden Merkmale.

Nicht zu vernachlässigen ist ebenfalls eine ausreichende Vortrocknung des Polyamids vor der Verarbeitung. Dies trifft insbesondere auf die flächigen Halbzeuge zu. Hierbei entscheiden die Dicke der Halbzeuge sowie die Art der Faserverstärkung über die Dauer der Vortrocknung.

## HERAUSFORDERUNGEN BEI DER FERTIGUNG DER UNTERBODENSUBSTRUKTUR

Viele der bereits genannten Herausforderungen bei der Fertigung der Lehnstruktur können auf die Unterbodenstruktur übertragen werden.

Jedoch handelt es sich in diesem Fall bei der kontinuierlichen Faserverstärkung im Gegensatz zur Lehnstruktur um eine lokale und nicht vollflächige Verstärkungsstruktur. Dieser Umstand in Kombination mit dem Hybridisierungsverfahren im LFT-Fließpressen führt zu weiteren prozessbedingten Herausforderungen.

Die lokale Faserverstärkung besitzt aufgrund ihrer Größe eine deutlich geringere thermische Masse. Um dennoch ein reproduzierbares

### 4.4 REM-AUFNAHMEN: GRENZFLÄCHE ZWISCHEN METALL UND LFT, GRENZFLÄCHE ZWISCHEN METALL UND UD TAPELAMINAT



Umformverhalten zu erreichen, wurde im Greifer ein adaptives Heizsystem integriert. Dieses dient der Aufrechterhaltung der Temperatur während des Transfers.

Die hohen Werkzeuginnendrucke von 200 bis 300 bar während der Formfüllung durch das Fließen der LFT-Masse können zu einer Verschiebung des flächigen Halbzeuges führen. Die damit verbundene Minderung der mechanischen Eigenschaften in der vorgesehenen Richtung führt zu einem Ausschuss des Bauteils. Um dies zu verhindern, sind eine korrekte Positionierung des LFT-Plastikats sowie eine Vordrapierung des Halbzeuges zielführend.

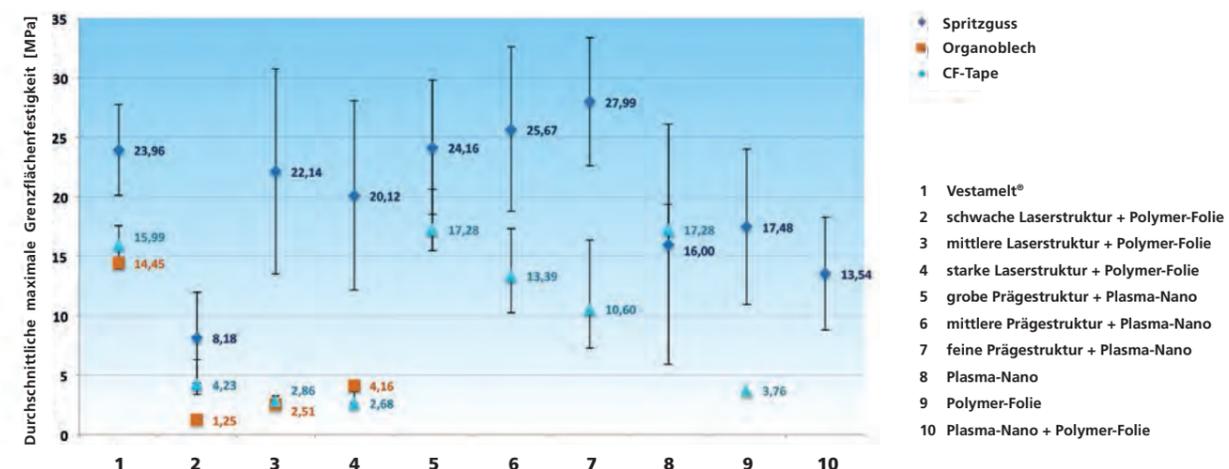
## FAZIT

Die erheblichen Anforderungen und insbesondere die multidisziplinären Wechselwirkungen der Teilprozesse bei der intrinsischen Hybridisierung sind durch eine geeignete Prozessführung handhabbar. Dennoch muss die Anlagentechnik zur Verarbeitung dieser Materialien entsprechend vorbereitet sein. Die MoPaHyb-Anlagenarchitektur mit ihrer Implementierung in der Pilotanlage am Fraunhofer ICT konnte anhand der zwei Prozessrouten diesen Anforderungen gerecht werden.

### 4.3 HALBZEUGSTATUS WÄHREND DES FERTIGUNGSZYKLUS



### 4.5 ERMITTELTE GRENZFLÄCHENSCHERFESTIGKEITEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNGSMETHODE



# ENTWICKLUNG VON GESCHÄFTSMODELLEN: DAS SYSTEMHAUS VON MO·PA·HYB

Der Bedeutung von Geschäftsmodellen für die Vermarktung von Produktionsanlagen wird in diesem Kapitel Rechnung getragen.

Ziel ist die Entwicklung von Geschäftsmodellen für den Vertrieb modularer Produktionsanlagen für hybride Leichtbauwerkstücke. Die Entwicklung des Geschäftsmodells im Rahmen des Projekts Mo-PaHyb umfasst drei Ziele: die Definition eines Systemhauses, die Wirtschaftlichkeitsberechnung des Ansatzes sowie die Ausarbeitung eines konkreten Businessplans für die modulare Produktionsanlage. Darüber hinaus wurde in Kooperation mit dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) die Akzeptanz des Geschäftsmodells des Systemhauses untersucht.

Die Struktur des folgenden Kapitels in Form der durchgeführten Untersuchungsschritte ist als Ablauf für die Entwicklung von Geschäftsmodellen in Grafik 5.1 dargestellt.

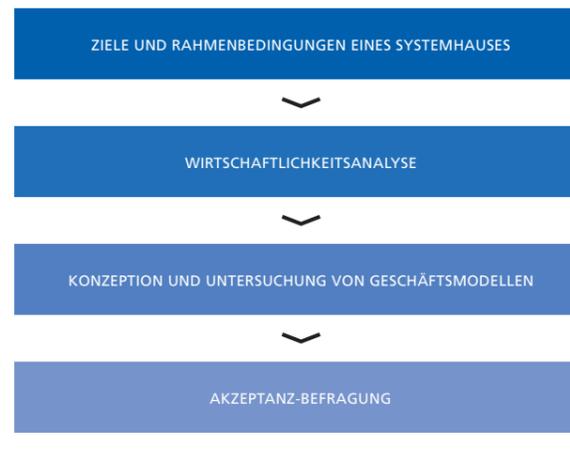
Zuerst werden die Rahmenbedingungen und Ziele des Systemhauses festgelegt. Daraufhin erfolgt die Wirtschaftlichkeitsanalyse des angebotenen Produktes. Daran schließt sich die konkrete Ausgestaltung eines Geschäftsmodells an, deren Ergebnis einen ersten Entwurf eines Businessplans darstellt. Dieser Businessplan dient als Grundlage für die durchgeführte Akzeptanz-Befragung bei Mitgliedern des VDMA.

## ZIELE UND RAHMENBEDINGUNGEN EINES SYSTEMHAUSES

Im Rahmen von Workshops mit den Unternehmenspartnern wurde ein Systemhaus definiert. Grundlage sind dabei verschiedene Entwürfe von Szenarien für die Konzeption von Geschäftsmodellen für den Vertrieb modularer Produktionsanlagen für hybride Leichtbauwerkstücke in einem Systemhaus.

### 5.1 TEILARBEITSPAKETE DER ENTWICKLUNG VON GESCHÄFTSMODELLEN

#### ENTWICKLUNG VON GESCHÄFTSMODELLEN



Im Verlauf dessen wurden für das Systemhaus drei realistische Szenarien identifiziert. Beim ersten Szenario wird das Systemhaus durch eine Partnerschaft geführt, während beim zweiten das Systemhaus als eine eigenständige Gesellschaft im Besitz des Konsortiums betrachtet wird. Zuletzt wird im dritten Szenario das Systemhaus durch einen vom Konsortium unabhängigen Anbieter betrieben. Die Alternativen des Systemhauses sind in 5.2 dargestellt.

Das Konsortium hat anschließend das Szenario einer eigenständigen Gesellschaft als vielversprechendstes und am besten geeignetes

### 5.2 RAHMENBEDINGUNGEN DES SYSTEMHAUSES

	(A) SYSTEMHAUS IN PARTNERSCHAFT	(B) SYSTEMHAUS ALS EIGENSTÄNDIGE GESELLSCHAFT	(C) SYSTEMHAUS ALS UNABHÄNGIGER ANBIETER
<b>ORGANISATIONSFORM</b>	Projektbezogenes Konsortium	Eigenständige Rechtsform eines fixen Konsortiums	Unabhängiger Systemintegrator
<b>ANGEBOTENES PRODUKT</b>	In Abhängigkeit von der benötigten Losgröße <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsfertigung der Teile</li> <li>• Aufbau einer kundenindividuellen Linie in der eigenen Halle</li> <li>• Lieferung der Module</li> </ul>	In Abhängigkeit von der benötigten Losgröße <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auftragsfertigung der Teile</li> <li>• Aufbau einer kundenindividuellen Linie in der eigenen Halle</li> <li>• Lieferung der Module</li> </ul>	Lieferung der Produktionslinie an den Kunden
<b>MODULBAUKASTEN</b>	Module der Hersteller aus dem Konsortium mit eventuellen Anpassungen je nach Projekt	Module der Hersteller aus dem Konsortium	Alle am Markt verfügbaren Module

### 5.3 ALTERNATIVEN FÜR DEN SYSTEMHAUSBETREIBER

<b>SYSTEMINTEGRATOR</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereits am Markt und im Projekt integriertes Unternehmen</li> <li>• Vertrieb der Module von am Projekt beteiligten Firmen</li> <li>• Anbieter kompletter Systeme inklusive dem Software-Tool und der Produktion-Kapazität</li> <li>• Software-Tool nur bei Rekonfiguration/Aufbau einer neuen Produktionslinie relevant</li> <li>• Garantie für die Zuverlässigkeit der Anlage inklusive aller Dienstleistungen</li> <li>• Einmalige Transaktion</li> </ul>
<b>STEUERUNGS-HERSTELLER</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ähnlich dem Szenario des Systemintegrators</li> <li>• Ohne Wettbewerbssituation, da Trennung von Systemhausbetreiber und Hersteller</li> <li>• Anbieter kompletter Systeme inklusive dem Software-Tool und der Produktion-Kapazität</li> <li>• Kundenindividuelle Beziehungsstrukturen und Aufbau dieser Strukturen</li> <li>• Marketing und Markenbildung</li> <li>• Einmalige Transaktion</li> </ul>
<b>MODULVERMIETUNG ÜBER LEASINGPARK</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigens für das Betreiben des Systemhauses gegründetes Unternehmen</li> <li>• Fokus auf Vermietung von Modulen und Linien</li> <li>• wirtschaftliche Nutzung von Modulen über kurze Zeiträume für den Kunden</li> <li>• Vertragsformalitäten noch undefiniert</li> <li>• Markenbildung und Marketing</li> <li>• Einmalige und wiederkehrende Transaktionen</li> </ul>
<b>MODULVERMITTLUNG ÜBER SOFTWARE-PLATTFORM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eigens für das Betreiben des Systemhauses gegründetes Unternehmen</li> <li>• Vermittlungsposition zwischen Kunden und Komponentenherstellern</li> <li>• Hersteller: Entweder Verkauf oder Vermietung an den Kunden</li> <li>• Möglichkeit der Kunden, Communities zu bilden (Verleihen von Modulen, Austausch)</li> <li>• Markenbildung und Marketing</li> <li>• Einmalige und wiederkehrende Transaktionen</li> </ul>

Szenario bewertet, um nach außen „aus einer Hand“ auftreten zu können. Zudem bestand Konsens darüber, den Modulbaukasten im Rahmen des Forschungsprojekts ohne Fremdanbieter zu gestalten.

Weiterhin wurden die unterschiedlichen Möglichkeiten für die Rolle des Systemhausbetreibers ausgearbeitet. In 5.3 werden diese Alternativen gegenübergestellt. Im Rahmen des Projekts wurde ein Systemintegrator als möglicher idealer Systemhausbetreiber ausgewählt.

Zusammenfassend stellen die Ziele und Rahmenbedingung Folgendes dar:

- die Wahl eines Systemhauses als eigenständige Gesellschaft, deren Inhaber das Konsortium der Firmen ist,
- sowie die Leitung des Systemhauses durch einen Systemintegrator in Form eines der etablierten Unternehmen aus dem Konsortium.

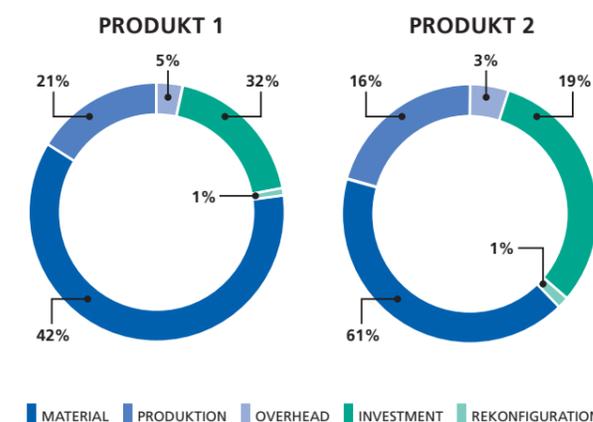
### WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

Nach Abstimmung mit allen Modulverantwortlichen wurde eine Kalkulation der Investment-Kosten sowie der Stückkosten für beide Demonstratoren aufgestellt.

Die den Stückkosten zugrunde liegenden Prozesszeiten und Rekonfigurationsaufwände wurden empirisch an den beiden Demonstrator-konfigurationen am ICT erhoben. Somit ergibt sich die in 5.4 dargestellte Verteilung der Stückkostenanteile für die beiden Demonstrator-Produkte im Rahmen des Projekts.

Insbesondere der geringe Anteil der Rekonfigurationskosten bei Stückzahlen von ca. 40.000 Stück pro Produkt fällt auf. Grund hierfür ist die modulare Steuerungsarchitektur, die die entsprechende Einbindung neuer Module automatisiert ermöglicht.

### 5.4 KALKULATORISCHE STÜCKKOSTEN



**KONZEPTION UND UNTERSUCHUNG VON GESCHÄFTSMODELLEN**

Basierend auf der Auswahl der Ziele und Rahmenbedingungen (Systemhaus, betrieben durch Systemintegrator) sowie der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde ein Businessplan des konkreten Geschäftsmodells entworfen.

Inhalte sind dafür eine Beschreibung von Produkt und Unternehmen. Außerdem wurde eine erste Markt- und Wettbewerbsanalyse durchgeführt, aus der Marketing- und Einführungsvorgehen abgeleitet wurden. Darüberhinaus wurde eine Gegenüberstellung der Chancen und Risiken eines derartigen Geschäftsmodells getätigt und basierend auf einer Szenario-Analyse drei mögliche Finanzierungspläne und -entwicklungen dargestellt.

Der gesamte Businessplan ist zusammenfassend in 5.5 anhand des Business-Models Canvas dargestellt.

**AKZEPTANZBEFRAGUNG**

Abschließend wurde nach Finalisierung des Businessplans in Kooperation mit dem VMDA eine Akzeptanz-Befragung im Rahmen des Erfahrungsaustausch-Kreises „Technologien und Prozesse“ der AG Hybride Leichtbau-Technologien zu einem derartigen Geschäftsmodell durchgeführt.

Das Ergebnis über die ca. 20 Teilnehmer umfasst eine 2/3-Mehrheit für die Akzeptanz und Interesse an der Teilnahme. Vielfach sind ähnliche Geschäftsmodelle mit anderen Partnern schon angedacht oder in der Umsetzung.

Qualitative Erfolgskriterien für derartige Plattformgeschäftsmodelle wurden anschließend im Rahmen von Workshops definiert. Die auf der Basis einer Abstimmung gewichteten Erfolgskriterien sind in 5.6 zusammengefasst.

**5.6 ERFOLGSKRITERIEN FÜR PLATTFORMBASIERTE GESCHÄFTSMODELLE IM MASCHINENBAU**

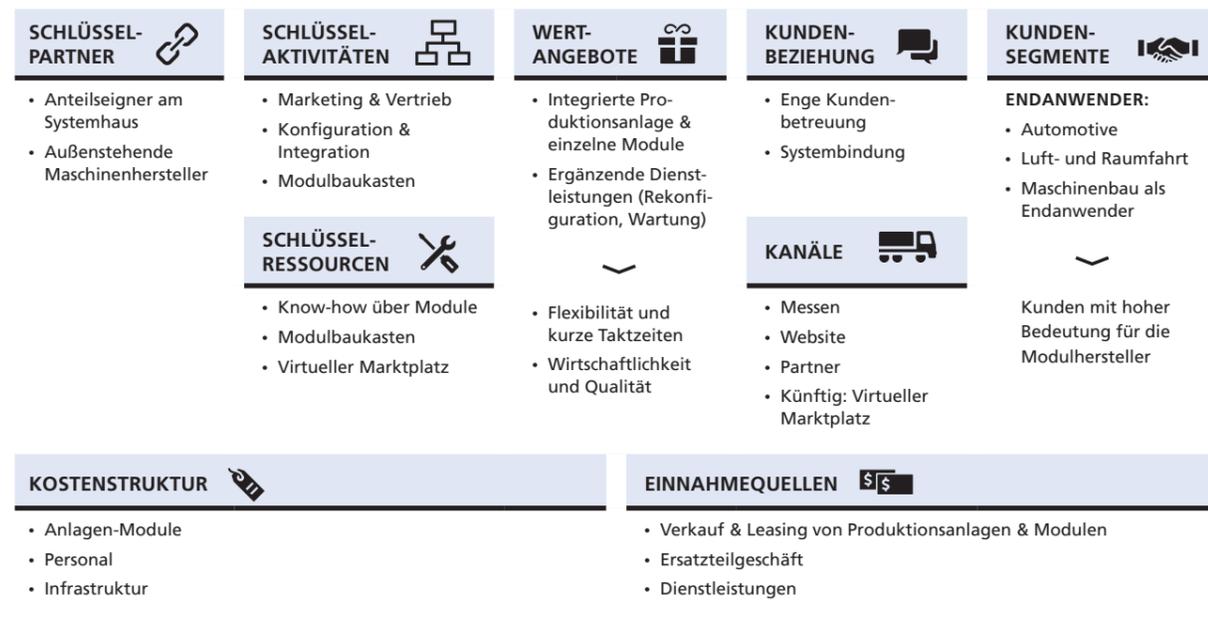
- UNIVERSALITÄT
- VARIANTENVIELFALT
- ONE FACE TO THE CUSTOMER
- WETTBEWERBSVORTEILE
- SKALIERBARKEIT
- SCHUTZRECHTE



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER BEIM WBK INSTITUT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK**

ALEXANDER JACOB  
PROJEKTINGENIEUR & WISS. MITARBEITER  
T +49 1523 950 25 86  
ALEXANDER.JACOB@KIT.EDU

**5.5 BUSINESS-MODELL CANVAS**



AUTOR: DR. WALTER BEGEMANN

# MASCHINENBAU-KOOPERATIONEN FÜR DEN HYBRIDEN LEICHTBAU



Hybride Leichtbaukonzepte erfordern die Kombination verschiedener Werkstoffe im Produktionsprozess. Die unterschiedlichen Materialien sollen dabei an geeigneter Stelle ihre besonderen Eigenschaften optimal einbringen. Eine zunehmende Produktindividualisierung mit kleineren Losgrößen erhöht die Anforderungen an Modularisierung und Automatisierung zusätzlich. Um alle Ansprüche zu erfüllen, lassen sich adäquate Anlagensysteme nur über Kooperationen von Unternehmen realisieren.

Derzeit eröffnet gerade die Digitalisierung dem Maschinen- und Anlagenbau neue Geschäftspotenziale. Digitale Services und Produkte ermöglichen den Kunden Umsatzsteigerungen z.B. über Produktionserhöhungen, Qualitätsverbesserungen, geringeren Wartungsaufwand etc. Vielfach steht man hier allerdings noch am Anfang. Der VDMA begrüßt es daher sehr, dass es im Projekt MoPaHyb gelungen ist, eine gemeinsame Kommunikation unter den Anlagenkomponenten auf der Basis von OPC UA zu implementieren. Dies eröffnet die Möglichkeit einer Datenerfassung und -nutzung für die Fortentwicklung und Modifikation der Gesamtanlage im Sinne von Industrie 4.0.

DIE KOOPERATIONSPARTNER PRÜFEN DIE AUF DER ANLAGE GEFERTIGTEN BAUTEILE.



Wird das kooperative Gesamtsystem systematisch entwickelt, kann es für Anbieter wie Kunden nachhaltige wirtschaftliche Vorteile bedeuten. Das von den Anbietern gemeinsam erarbeitete Know-how wird von den Kunden genutzt und trägt entsprechend zur Kundenbindung bei. Auf der Anbieterseite bleibt allerdings das tragende Absatz- und Haftungsrisiko.

Insgesamt stellt das kooperative Geschäftsmodell die beteiligten Unternehmen vor organisatorische, technische und wirtschaftliche Herausforderungen. Die bislang ungewohnten Formen der Zusammenarbeit werden aber künftig dazu beitragen, die Wettbewerbsfähigkeit der Partner zu stärken.

Voraussetzung für betriebsübergreifende Netzwerke ist eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit dem Ziel einer langfristigen gewinnbringenden Partnerschaft für alle Beteiligten. Verknüpft damit sind neben dem Anlagenkomponentenangebot der Einzelfirma häufig Dienstleistungsangebote zur Systemintegration, die dem Kunden einen Mehrwert bieten, aber auch erheblich zur Wertschöpfung der Anbieter beitragen. Gerade mittelständische Unternehmen nutzen Dienstleistungen als Wettbewerbsfaktor noch zu wenig und können daher von Kooperationen profitieren.



**MOPAHYB-ANSPRECHPARTNER BEIM VDMA AG HYBRIDE LEICHTBAU-TECHNOLOGIEN**

DR. WALTER BEGEMANN  
PROJEKTLEITER  
T +49 69 6603-1932  
WALTER.BEGEMANN@VDMA.ORG

# ZUSAMMENFASSUNG

ALLE PROJEKTBETEILIGTEN BEIM ABSCHLUSSSYMPOSIUM IM NOVEMBER 2018 AM FRAUNHOFER ICT



Durch die hohe Innovationskraft hat sich der deutsche Maschinen- und Anlagenbau eine weltweit führende Position erarbeitet und gilt als Ausrüster der Welt. Um diesen Vorsprung im aktuellen Spannungsfeld zunehmend individualisierter Produkte und volatiler Märkte zu erhalten, bedarf es kontinuierlicher Weiterentwicklung. Der hybride Leichtbau als Kombination von Faserverbund und Metall bietet durch Funktionsintegration und die Reduktion des Bauteilgewichts ein hohes Potenzial und stellt einen Wachstumsmarkt dar. Um an diesem Wachstumsmarkt zu partizipieren, schlossen sich unterstützt durch den VDMA zehn Industrieunternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Automatisierungs- und Steuerungsbranche, der optischen Qualitätssicherung sowie Bauteilhersteller und ein OEM mit den beiden Karlsruher Forschungsinstituten im Projekt „Modulare Produktionsanlagen für hochbelastbare Hybridbauteile“, kurz „MoPaHyb“, zusammen.

Im Projekt MoPaHyb wurde von den Konsortialpartnern eine modulare Anlagenarchitektur für die wirtschaftliche Herstellung hybrider Bauteile entwickelt. Einzelne Module für die verschiedenen Prozessschritte wie Fügeoperationen, Handhabung und Qualitätssicherung werden dabei über eine Leitsteuerung zu einer Gesamtanlage verbunden, welche durch den Austausch einzelner Module für die Produktion anderer Bauteile rekonfiguriert werden kann. Die Ansteuerung der Modulfunktionen basiert erstmals in einer Produktionsanlage dieser Größenordnung auf einem serviceorientierten Ansatz. Die Konfiguration, Inbetriebnahme und Rekonfiguration einer solchen Produktionsanlage erfolgt über einen sogenannten Modulbaukasten, der den Prozess des Anlagenengineerings deutlich verkürzt. Dieser aufgabenorientierte Engineeringprozess erlaubt eine schnelle Konfiguration der Anlage bis hin zur automatisierten Generierung des Ablaufsteuerungscodes.

Zusätzlich zu den Arbeiten im Bereich der Steuerungstechnik und Anlagenkonfiguration wurden in einzelnen Teildisziplinen wie der optischen Qualitätsmessung, dem Recycling von Tape-

Verschnitt und der Optimierung der Anhaftungsgüte, um nur einige zu nennen, signifikante Fortschritte erzielt.

Parallel zur technischen Forschung und Entwicklung wurden Geschäftsmodelle erforscht, um eine solche modulare Produktionsanlage erfolgreich am Markt platzieren zu können. Neben einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt ein Businessplan einen möglichen Vertrieb in Form eines Systemhauses.

Der Aufbau und erfolgreiche Betrieb einer Referenzanlage zur Herstellung hybrider Bauteile im industriellen Maßstab zeigt das Potenzial der erarbeiteten Lösung. Die realisierte Anlagenarchitektur kann dabei auch in diversen anderen Branchen und Anwendungsfeldern, wie z.B. der Fertigung von Batteriezellen oder Elektromotoren, Anwendung finden. Durch die Nutzung moderner Kommunikationsprotokolle wie OPC UA bietet die aufgebaute Produktionsanlage eine hervorragende Ausgangsposition, um auch den Anforderungen der digitalisierten Fertigung gerecht zu werden. Die Projektergebnisse stellen eine sowohl qualitative als auch wirtschaftliche Verbesserung der Herstellung hybrider Bauteile dar, wodurch die Projektpartner eine ausgezeichnete Ausgangsbasis im Wachstumsmarkt des hybriden Leichtbaus haben.

Die im Projekt erarbeiteten Ergebnisse in den Bereichen hybrider Leichtbau sowie der Steuerungsarchitektur und der Konfiguration modularer Anlagen sind in den Beiträgen der jeweiligen Forschungspartner erklärt. Sollten Sie Interesse an einem detaillierteren Austausch haben, sind Sie herzlich eingeladen, Kontakt mit den Ansprechpersonen aufzunehmen.

Dank gilt allen Projektpartnern im MoPaHyb-Konsortium, die durch ihr hohes Engagement zum Gelingen des Projekts beigetragen haben. Das Konsortium bedankt sich weiterhin bei dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die Förderung dieses Projekts sowie dem Projektträger Karlsruhe in Person von Herrn Dr. Michael Große für seine Unterstützung.

# AUSBLICK – TRANSFER DER FORSCHUNGSERGEBNISSE IN DIE INDUSTRIE

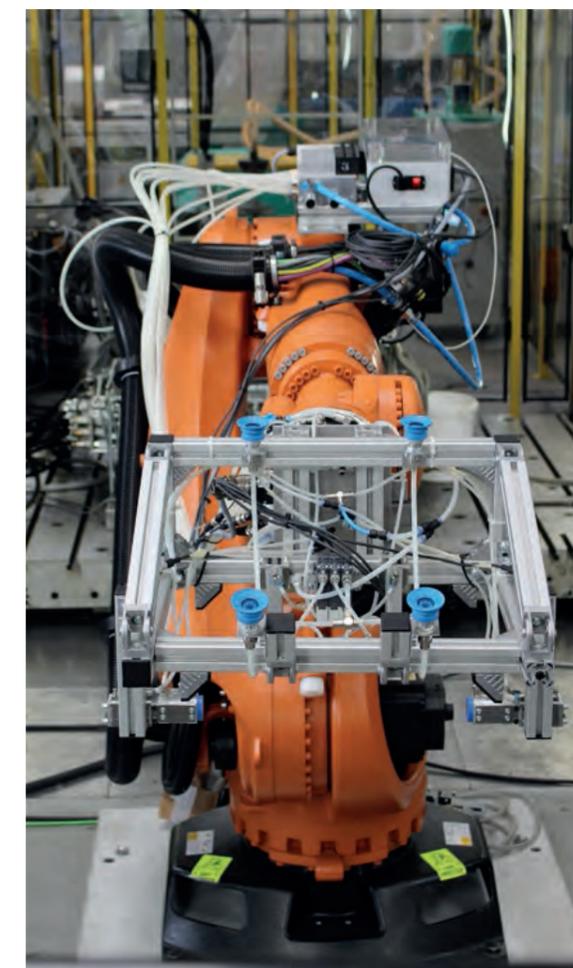
Aufgrund des Erfolgs des Forschungsprojektes und der großen Relevanz der erarbeiteten Projektergebnisse für die deutsche Wirtschaft hat der Fördergeber eine Weiterfinanzierung der akademischen Projektpartner bewilligt. Ziel dieser zusätzlichen Förderung ist zum einen der Erhalt der im Rahmen der regulären Projektlaufzeit aufgebauten Referenzanlage über einen Zeitraum von weiteren fünf Jahren und zusätzlich der Transfer der Projekthalte in die Industrie.

Durch das Commitment der Modulhersteller, die entwickelten Produktionsmodule weiterhin den Forschungspartnern zur Verfügung zu stellen, entsteht am Fraunhofer ICT ein Transferzentrum Hybrider Leichtbau. Neben den bestehenden Modulen wird die Anlage um weitere Module zur Funktionalisierung von Oberflächen erweitert. Durch eine Adapterplatte mit Heißkanalumlenkung werden ebenfalls andere Werkzeuge im Spritz-Pressen-Verbund eingesetzt werden können, was weiterführende Prozess- und Materialentwicklungen ermöglicht. Hierdurch entsteht eine einmalige Versuchslandschaft für die konsequente Weiterentwicklung hybrider Leichtbautechnologien.

Neben dem Transferzentrum Hybrider Leichtbau wird am wbk Institut für Produktionstechnik eine schnell rekonfigurierbare modulare Schulungsanlage aufgebaut. Diese Schulungsanlage dient als Lernplattform für Industrie und Studenten, um neue Ansätze in der Steuerungstechnik und der Konfiguration modularer Anlagen zu vermitteln. Sie dient weiterhin der aktiven Weiterentwicklung der modularen Steuerungsarchitektur, um auch zukünftigen Anforderungen in der Produktionstechnik begegnen zu können.

Zur Vermittlung der Projektergebnisse werden das Fraunhofer ICT und das wbk Institut für Produktionstechnik ein Workshop- und Schulungsangebot ausarbeiten. Dies soll Interessierten die Möglichkeit geben, praxisnah zu lernen und an den Forschungsergebnissen zu partizipieren.

DAS TRANSFERZENTRUM HYBRIDER LEICHTBAU STEHT MEHRERE JAHRE FÜR SCHULUNGEN ZUR VERFÜGUNG



## IMPRESSUM

### HERAUSGEBER



Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



wbk Institut für Produktionstechnik

Kaiserstraße 12  
76131 Karlsruhe

[www.kit.edu](http://www.kit.edu)

Karlsruhe © KIT 2019

### AUTOREN

Das MoPaHyb-Konsortium:

Dr. Matthias Graf (Konsortialführer)

Dr. Michael Große (Projekträger)

Prof. Jürgen Fleischer

Prof. Frank Henning

Markus Schäfer

Patrick Moll

Sascha Kilian

Dr. Hubert Stadtfeld

Ronny Müller

Uwe Krauter

Manuel Wöhrle

Martin Büsch

Markus Wilhelm

Alexander Jacob

Dr. Walter Begemann

### GESTALTUNG & SATZ

grundmanggestaltung

Agentur für Design & Marken,  
Karlsruhe

### STAND

Juli 2019

### BILDNACHWEIS

U1: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT; S5: Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau; S10: Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG; S14 1.1 (links): Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT; S14 1.1 (rechts): Adient Engineering and IP GmbH; S15 1.2: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT; S20: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik; S21 2.10, 2.12–2.13: Siemens AG; S24–25 3.1–3.4: Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau; S26–27 3.5–3.7: Arburg GmbH + Co KG; S28–29 3.8–3.10: ARaymond GmbH & Co. KG; S30–31 3.11–3.13: TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG; S32–33 3.14–3.16, 3.18: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik; S33 3.17: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT; S34 3.19: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), wbk Institut für Produktionstechnik; S35–37 3.21–3.25: VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH; S38–41 4.1–4.5: Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT; S45–47 Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Unser Dank für die gute Mitarbeit gilt allen Partnern, die im Projekt MoPaHyb mitgewirkt haben. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert (Förderkennzeichen: 02P14A178) und vom Projekträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

### GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

### BETREUT VOM



PTKA  
Projekträger Karlsruhe  
im Karlsruher Institut für Technologie

