

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



LuFo VI – 1: ADMAS
Förderkennzeichen: 20W1901F
ADvanced Machining And Sealing
Laufzeit: 10/2020 – 03/2024

ViscoTec Schlussbericht



Das dem Bericht zugrunde liegenden Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz* unter dem Förderkennzeichen 20W1901F gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Dieses Dokument und die darin enthaltenen Informationen sind Eigentum der ViscoTec Pumpen- u. Dosiertechnik GmbH. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Zustimmung von ViscoTec nicht kopiert oder Dritten zugänglich gemacht werden.
This document and the information contained herein are the property of ViscoTec Pumpen- u. Dosiertechnik GmbH. They must not be copied or disclosed to third parties without prior ViscoTec written authorization.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Abkürzungsverzeichnis	4
1. Kurze Darstellung.....	5
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	6
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	9
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	12
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	14
2. Eingehende Darstellung	16
2.1. Verwendung der Zuwendung	16
2.1.1. Materialentnahme und Tankstation	16
2.1.2. 2K Dosiersystem mit Endeffektor	17
2.1.3. Ablage- und Kalibrierstation	20
2.1.4. Steuerung für Gesamtprozess.....	21
2.1.5. Verschleißvorhersage	22
2.1.6. Vorversuche.....	23
2.1.7. Abschlussversuche Demonstrator.....	26
2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	30
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	30
2.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung	32
2.5. Bekannter Fortschritt während des Vorhabens	33
2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SB 10, Akaflight Braunschweig.....	5
Abbildung 2: CFK Musterbauteil.....	7
Abbildung 3: Breitenvariables Bauteil.....	8
Abbildung 4: Endeffektor mit Ausgleichskinetik.....	9
Abbildung 5: Projektstrukturplan.....	10
Abbildung 6: Balkenplan.....	11
Abbildung 7: ViscoTec Dosierkopf mit einfacher Auslassdüse.....	14
Abbildung 8: Übersicht Zusammenarbeit.....	15
Abbildung 9: Entnahmesysteme mit Tankstation.....	17
Abbildung 10: Gesamt-Endeffektor.....	18
Abbildung 11: Ablage- und Kalibrierstation.....	21
Abbildung 12: Gesamtübersicht Steuerung.....	22
Abbildung 13: Parameter Verschleißerkennung.....	23
Abbildung 14: Auswahl statischer Mischer.....	24
Abbildung 15: Dosierversuch mit Prototypen.....	25
Abbildung 16: Optimierte Düse mit Z-Ausgleich.....	26
Abbildung 17: Demonstrator Gesamtaufbau.....	27
Abbildung 18: Betankungsvorgang.....	28
Abbildung 19: Versuch Demonstrator 1/2.....	29
Abbildung 20: Versuch Demonstrator 2/2.....	29
Abbildung 21: Vergleich ViscoTec vs. Airborne Edge-Sealing.....	34

Abkürzungsverzeichnis

2K	<i>Zweikomponenten</i>
AP	<i>Arbeitspaket</i>
CFK	<i>Kohlefaserverstärkter Kunststoff</i>
CMK	<i>Maschinenfähigkeit</i>
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i>
HAP	<i>Hauptarbeitspaket</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HSK	<i>Hohlschaftkegel</i>
kg	<i>Kilogramm</i>
ml	<i>Milliliter</i>
mm	<i>Millimeter</i>
RTM	<i>Resin Transfer Molding</i>

1. Kurze Darstellung

1.1. Aufgabenstellung

Damit die Luftfahrtbranche ihre Nachhaltigkeitsziele erreichen kann, muss sie konsequent auf Leichtbau setzen. Nach Stand der Wissenschaft sind CFK-Bauteile am besten geeignet, den Anforderungen hinsichtlich struktureller und dynamischer Stabilität sowie Leichtbau gerecht zu werden. CFK-Bauteile haben zwar per se einen sehr schlechten ökologischen Fußabdruck, bedingt durch den hohen Energieaufwand der Faser- und Verbundherstellung sowie der schlechten Möglichkeiten zum Recycling. Dennoch tragen sie über die Produktlebensdauer aufgrund ihrer überragenden technischen Eigenschaften zu einer positiven Ökobilanz und damit zum Klimaschutz bei. Klimaziel für den Luftverkehr sind laut Erklärung von Toulouse Netto-Null-Emissionen bis 2050.

Schon seit 1972 werden zivile Flugzeuge mit CFK-Flügeln hergestellt. Die SB 10 (Abbildung 1: SB 10, Akaflieg Braunschweig) mit einer Spannweite von 29 m war das erste zivile Flugzeug (Erstflug am 22. Juli 1972), in dem tragende Bauteile aus Kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) eingesetzt wurden. Um Flügelgewicht und -durchbiegung in vernünftigen Grenzen halten zu können, war der Einsatz der damals neuen Kohlenstofffasern im Flügelmittelstück erforderlich.



Abbildung 1: SB 10, Akaflieg Braunschweig

(Quelle: <https://www.akaflieg-braunschweig.de/projekte/sb10/>, Abrufdatum: 06.08.2024)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für die Verwendung in kommerziellen Flugzeugen muss allerdings der Herstellprozess von CFK-Bauteilen hochgradig automatisiert werden, auch für Großbauteile wie Flügel. Die Rohbauteile werden im Resin Transfer Moulding (RTM) Verfahren hergestellt. Um geometrisch genau bestimmte Bauteile zu erhalten, müssen die Kanten mit einem Fräsprozess besäumt werden. Anschließend wird eine Versiegelungsmasse aufgetragen, um die Integrität der Bauteile auf die Nutzungsdauer hin aufrechtzuerhalten und um im Falle von Blitzschlag elektrische Spannungsspitzen an den Faserenden zu vermeiden. Die Gewährleistung der Sicherheit von Passagieren und Crew ist von höchster Priorität. Die automatisierter Kantenversiegelung der CFK-Bauteile im Flugzeugbau kann dazu wesentlich beitragen.

Großbauteile wie z.B. Flügelmittelstücke sind leicht biegeschlaff. Das heißt, jede Umpositionierung des Bauteils führt zu einer Veränderung der Geometrie. Daher sollte die Kantenbesäumung und die Kantenversiegelung möglichst ohne jede Umpositionierung in derselben Aufspannung erfolgen. Daher wurde der Applikator zur Kantenversiegelung so ausgelegt, dass er wie ein Fräswerkzeug in die Spindelaufnahme an der Roboterhand eingerastet werden kann. Letztere ist als Hohlschaftkegel (HSK) ausgelegt, da dies eine weitverbreitete Werkzeugaufnahme für Fräswerkzeuge darstellt.

Die Projektarbeit soll die adaptive Stabilisierung der Prozesse sicherstellen und somit die Wirtschaftlichkeit der Fertigung erhöhen.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das CFK-Musterbauteil wurde von der CTC GmbH aus Stade, einem Unternehmen der Airbus-Gruppe, zur Verfügung gestellt und ist repräsentativ für ein Flügelbauteil der nächsten Generation (Abbildung 2: CFK-Musterbauteil).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

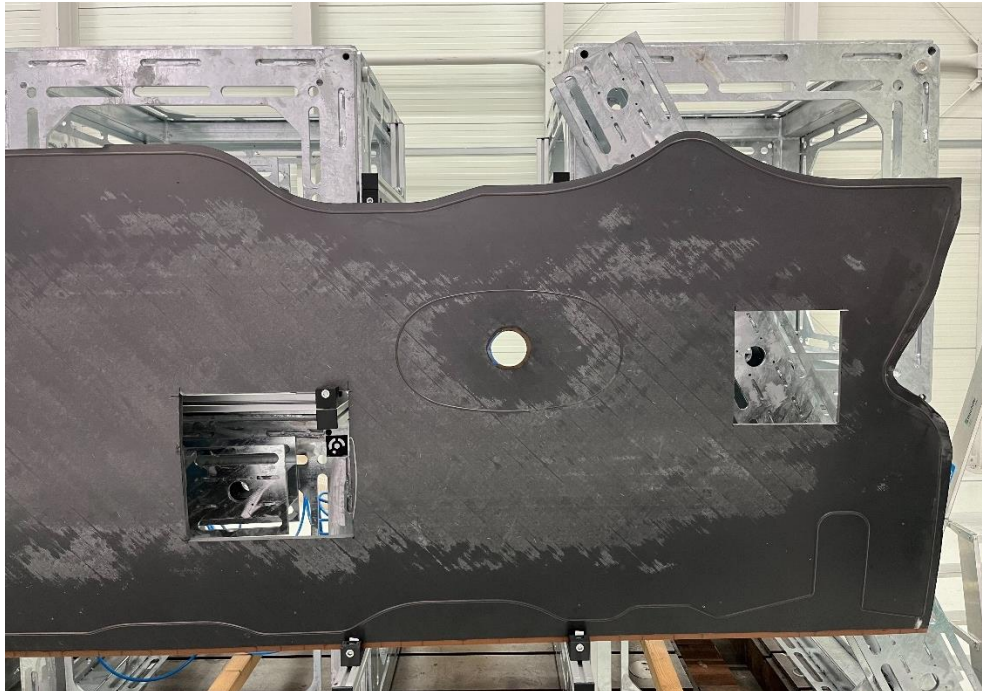


Abbildung 2: CFK-Musterbauteil

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

Als Versiegelungsmaterial war ein zweikomponentiger Epoxidharz-Klebstoff vorgegeben, welcher über eine Zertifizierung zur Verwendung in der Luftfahrtindustrie verfügt (Scotch-Weld EC-2216 des Herstellers 3M). Die hohen Viskositäten von über 40 – 150 Pa*s und Toleranzen der Viskosität von über 50% erfordern eine volumengenaue Dosierung in jedem Betriebszustand. Dies ist eine der Stärken der Pumpentechnologie von ViscoTec, auch bei schwankenden Viskositäten konstante Ergebnisse hinsichtlich Volumenaustrag und Mischungsverhältnis liefern zu können. Dies ist die Grundvoraussetzung zur Erfüllung der geringen Schichtstärke des Dosierauftrags von 0,2 – 0,7mm.

Die Kante des CFK-Musterbauteils ist nicht rundherum gleich dick, sondern belastungsgerecht optimiert. Somit muss der Auftrag der Versiegelungsmasse unter Einhaltung der oben genannten Toleranzen breitenvariabel erfolgen (Abbildung 3: Breitenvariables Bauteil).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abbildung 3: Breitenvariables Bauteil

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

Der Roboter muss genügend Steifigkeit aufweisen, um die Bearbeitungskräfte des Fräsens aufzunehmen. Daher wurde ein frästauglicher Roboter der Firma Mabi gewählt ([CNC Roboter | MABI Robotic \(mabi-robotic.com\)](https://www.mabi-robotic.com)). Diese Roboter weisen eine SIEMENS CNC-Steuerung auf, wie sie in der Werkzeugmaschinen-technik üblich ist. Allerdings weist diese für Knickarmroboter gewisse Einschränkungen auf, hinsichtlich

- Transformation des kartesischen Koordinatensystems für die Bearbeitung in das Rotations-Achskoordinatensystem des Roboters, insbesondere bei Mehrdeutigkeiten in der Transformation
- Einbindung von vorlaufender Sensorik zur Bahnkorrektur. Hier wirkt sich die Zykluszeit zur Berechnung der Bahnkoordinaten gravierend aus. Um die vergleichsweise lange Steuerungszykluszeit des Roboters zu kompensieren, bedarf es eines großen Sensorvorlaufs, der jedoch bei engen Radien der Kantenbahn wiederum zu Problemen bei

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

der Bahnkorrektur führt. 1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.

Um für die sensorgestützte Bahnkorrektur zu einem schnellen regelbaren System zu gelangen, wurde ein zusätzlicher Piezo-Aktuator zwischen Roboterhand und Effektor (Frässpindel bzw. Klebstoff-Dispenser) gesetzt, der dann die Ausgleichsbewegung umsetzen soll.

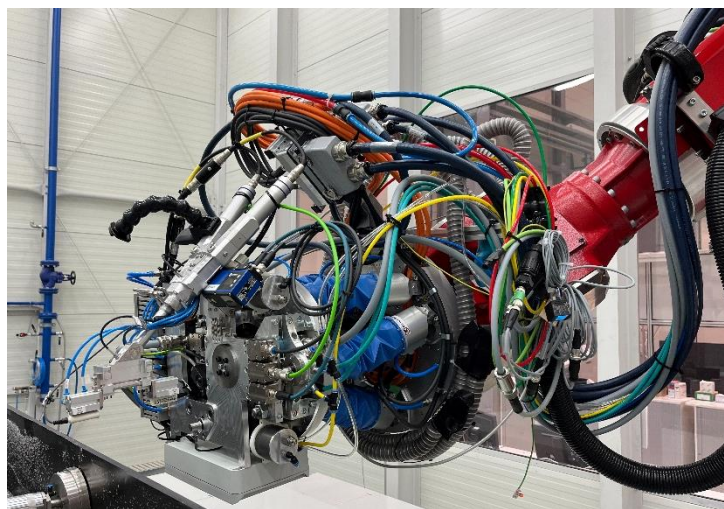


Abbildung 4: Endeffektor mit Ausgleichskinematik

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Eines der Ziele im Projekt war das Vereinen verschiedener Technologien an einer Station. Das Gesamtprojekt war gemäß der unterschiedlichen ein einzelne Hauptarbeitspakete gegliedert (Abbildung 5: Projektstrukturplan).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

HAP: Hauptarbeitspaket
AP: Arbeitspaket
UA: Unterauftragnehmer
Leiter des APs unterstrichen

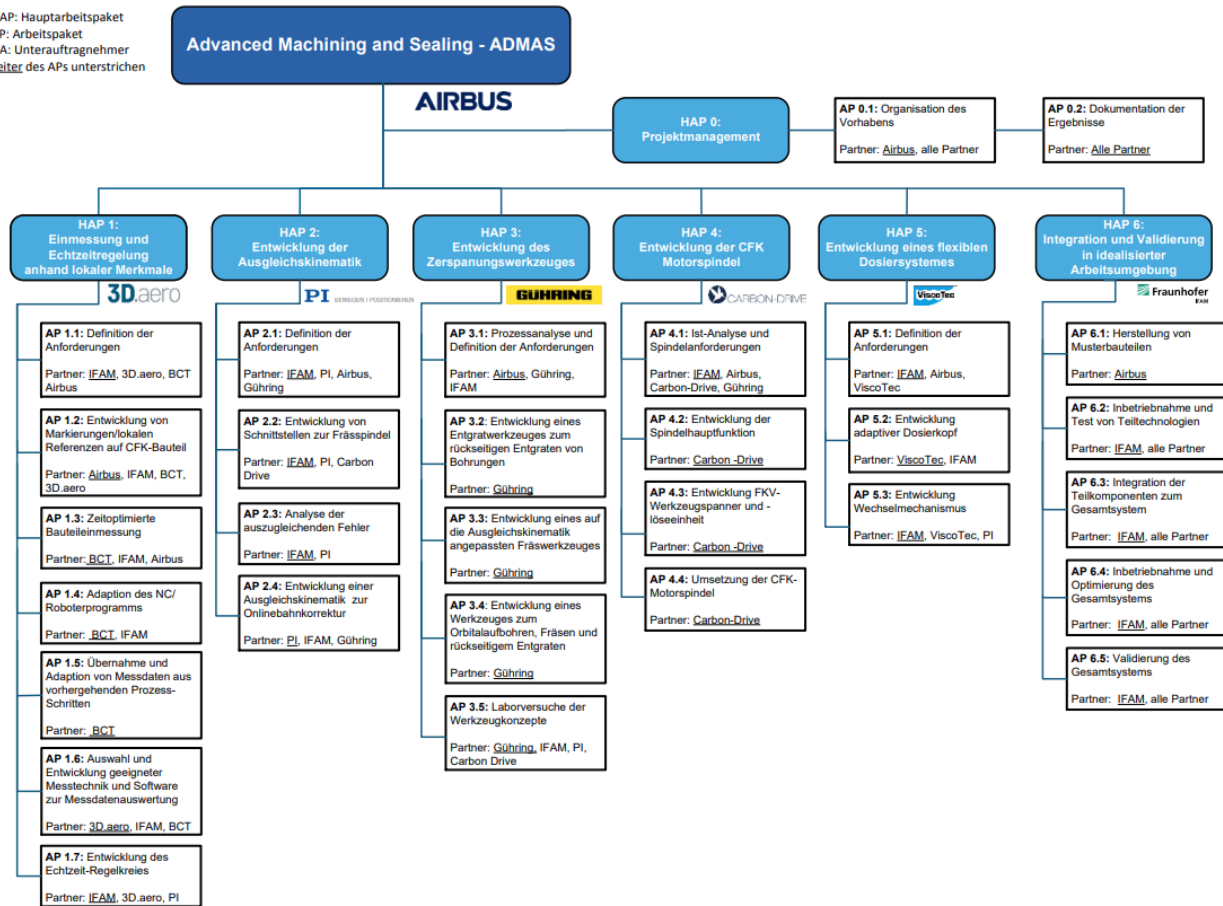


Abbildung 5: Projektstrukturplan

ViscoTec war dabei hauptverantwortlich für das HAP 5, die Entwicklung eines flexiblen Dosiersystems. Das HAP 5 bestand dabei aus drei verschiedenen Unterarbeitsprojekten:

- AP 5.1: Definition der Anforderungen
- AP 5.2: Entwicklung adaptiver Dosierkopf
- AP 5.3: Entwicklung Wechselmechanismus

In den einzelnen Arbeitspaketen ergaben sich Schnittstellen zu anderen Partnern. Der größte Arbeitsaufwand für ViscoTec fiel im AP 5.2 an. Alle Arbeiten wurden dabei von ViscoTec selbst durchgeführt. Es wurden über die gesamte Projektlaufzeit keine Unterbeauftragungen vergeben. Parallel zu den oben bereits aufgeführten Arbeitspaketen erfolgte die Projektleitung sowie die Dokumentation.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Gesamtprojekt begann mit der Definition der Anforderungen für die zu entwickelnden Teiltechnologien und somit HAP 1 – HAP 5.

Nach Erreichen des Meilensteins M1 – Definition der Anforderungen abgeschlossen – konnte das AP 5.2: Entwicklung adaptiver Dosierkopf gestartet werden. Die Entwicklung des Wechselmechanismus erfolgte bereits parallel zur Entwicklung des Dosiersystems. Nach Erreichung der wichtigsten Meilensteine wurden Projekttreffen vereinbart, die jedoch aufgrund von Corona-Beschränkungen nur teilweise vor Ort stattfinden konnten.

Nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten, wurden die Teiltechnologien an einer Demonstratorstation beim Fraunhofer IFAM in Stade integriert und zu einem Gesamtsystem in idealer Arbeitsumgebung zusammengeführt (HAP 6). Erst dort wurden alle Systeme vollständig getestet. Weitere Details sind dem Balkenplan zu entnehmen (Abbildung 6: Balkenplan).

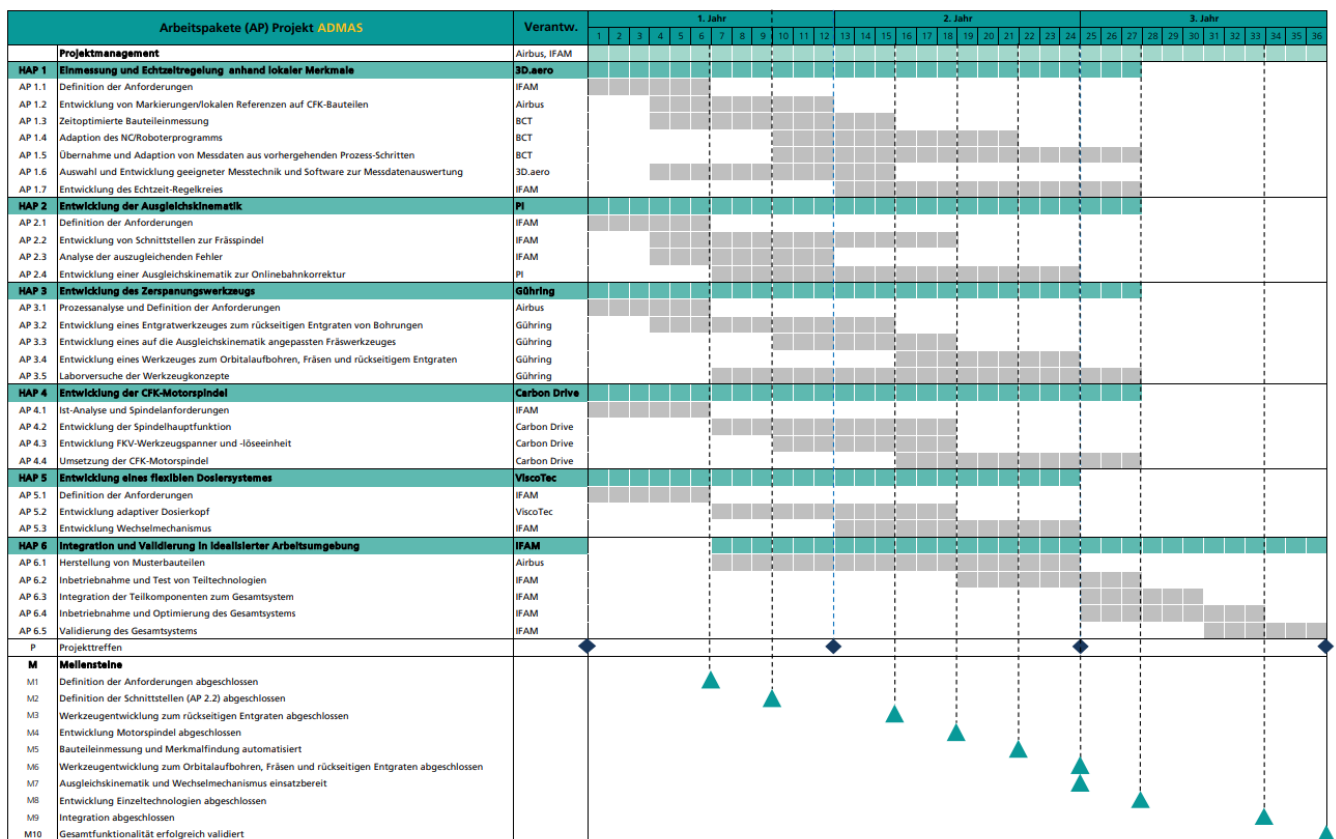


Abbildung 6: Balkenplan

Die ursprünglich geplante Projektlaufzeit war von 01.01.2020 bis 31.12.2022 angedacht. Aufgrund einer verspäteten Genehmigung des Projektes, ergab sich eine Verschiebung auf 01.10.2020 – 30.09.2023. Während des Projektes ergaben sich außerdem folgende Anpassungen:

Änderungsantrag

Durch Anpassungen während der Definitionsphase sowie der Nutzung von Synergieeffekten während des Projekts, konnten die Hauptziele von ViscoTec mit weniger Ressourceneinsatz realisiert werden als ursprünglich geplant. Auch mussten inhaltliche Anpassungen der geplanten Themen vorgenommen werden, wodurch sich ursprünglich geplanten Kosten- und Aufwände im Vergleich zur ursprünglichen Planung etwas reduziert haben. Dies hatte jedoch weder Auswirkung auf die Hauptziele im Projekt noch auf die Projektpartner.

Kostenneutrale Laufzeitverlängerung

Während des Projektes kam es im Gesamtverbund zu Verzögerungen bei einigen Entwicklungsthemen. Dies hatte Auswirkungen Tests, Integration und Validierung am Gesamtsystem (HAP 6). Mehrere Teiltechnologien, unter anderem die Dosiertechnik von ViscoTec, konnte aufgrund von Abhängigkeiten von anderen Projektpartnern, nicht integriert und getestet werden. Da der Dosierprozess am Ende der Prozesskette steht, mussten außerdem zunächst die vorangegangenen Teilprozesse abgeschlossen sein. Im Verbund wurde daher eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung um 6 Monate beantragt, welche am 11.09.2023 auch genehmigt wurde. Das Projekt wurde somit am 31.03.2024 beendet.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der technisch-wissenschaftliche Stand zur Kantenversiegelung bei CFK-Bauteilen umfasst verschiedene Methoden und Materialien, die zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, der Langlebigkeit und des Schutzes vor Umwelteinflüssen eingesetzt werden. Hier sind einige der wichtigsten Aspekte:

1. Notwendigkeit der Kantenversiegelung:

- **Schutz vor Delamination und Faserentblözung:** CFK-Bauteile sind anfällig für Delamination und Faserentblözung an den Kanten, was zu einer Beeinträchtigung der strukturellen Integrität führen kann.
- **Verbesserung der Umweltbeständigkeit:** Kantenversiegelung schützt die Kanten vor Feuchtigkeit, Chemikalien und anderen Umwelteinflüssen, die das Material schädigen könnten.

2. Materialien für die Kantenversiegelung:

- **Epoxidharze:** Diese sind weit verbreitet aufgrund ihrer hohen Adhäsion und mechanischen Eigenschaften. Aus dem oben genannten Grund der vorhandenen Spezifikation wurde ein solches Material in diesem Forschungsvorhaben verwendet.

- **Polyurethan:** Dieses Material bietet gute Flexibilität und Beständigkeit gegen Abrieb und Chemikalien.
- **Acryllacke:** Werden oft für weniger anspruchsvolle Anwendungen verwendet, wo hohe mechanische Festigkeit nicht erforderlich ist.

3. Methoden der Kantenversiegelung:

- **Pinsel- oder Sprühauftrag:** Dies sind die einfachsten Methoden und eignen sich für kleine Serien oder Einzelanfertigungen und nur für niederviskose Materialien.
- **Tauchverfahren:** Diese Methode wird verwendet, um eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten, besonders bei komplexen Geometrien. Auch dieses Verfahren kommt nur für selbstnivellierende, niederviskose Materialien zum Einsatz.
- **Automatisierte Verfahren:** Für die Serienfertigung werden oft Roboter eingesetzt, die eine präzise und gleichmäßige Anwendung der Versiegelungsmaterialien ermöglichen. Daher kam für dieses Projekt nur ein robotergestützter Auftrag infrage.

4. Technologische Entwicklungen (Ausblick):

- **Nanoverstärkte Beschichtungen:** Verwendung von Nanopartikeln zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften und der Abriebfestigkeit der Versiegelung.
- **UV-härtende Beschichtungen:** Diese ermöglichen eine schnelle Aushärtung und können die Produktionszeiten verkürzen.
- **Selbstheilende Beschichtungen:** Diese innovativen Materialien können kleine Beschädigungen selbstständig reparieren und somit die Lebensdauer der Bauteile verlängern.

Diese genannten neuen Beschichtungen sind bislang noch nicht für die Anwendung in der Luftfahrtindustrie zertifiziert.

Grundlegende Betrachtung zur Einbindung von vorlaufenden Sensoren zur Bahnkorrektur von Robotersteuerung finden sich beispielsweise in F. Garnich, Laserbearbeitung mit Robotern, Springer-Verlag 1992. Die mangelnde Echtzeitfähigkeit der Robotersteuerung die Sensordaten zur Bahnkorrektur zu verarbeiten, bedingt einen Vorlauf des Sensors. Ursache ist die zeitaufwendigen Transformationsberechnungen der Sensorkorrekturwerte vom kartesischen ins Achskoordinatensystem des Roboters. Komplexe Bearbeitungskonturen bedingen daher in der Regel eine weitere Achse für den vorlaufenden Sensor. In diesem Forschungsprojekt musste allerdings aus Gewichts- und Komplexitätsgründen auf diese Zusatzachse verzichtet werden.

Im Forschungs-Projekt AGREED konnten schon wichtige Voraussetzungen geschaffen werden: Insbesondere an die damalige Entwicklung eines Tankreservoirs für die Versiegelungsmassen sowie einer einfachen Auslassdüse (Abbildung 7: ViscoTec Dosierkopf mit einfacher Auslassdüse) konnte angeknüpft werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

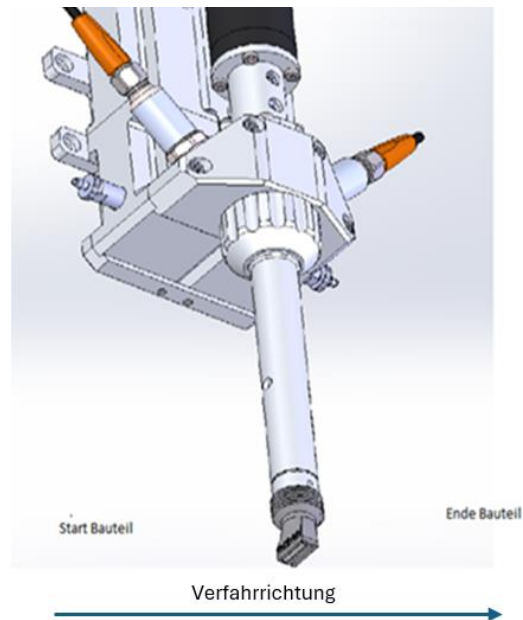


Abbildung 7: ViscoTec Dosierkopf mit einfacher Auslassdüse
(Quelle: ViscoTec, 2021)

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das HAP 5 wurde vor allem in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Fraunhofer IFAM bearbeitet. Bei einzelnen Themen gab es jedoch auch Abstimmungsbedarf mit weiteren Projektpartnern (Abbildung 8: Übersicht Zusammenarbeit). So wurden die Anforderungen an den Dosierauftrag hauptsächlich mit AIRBUS als Ersteller der Spezifikationen (AIPi) und Qualitätsanforderungen abgestimmt. Weiterhin gab es Schnittstellen mit 3D Aero bezüglich der Implementierung des Sensors zur Breitenmessung, PI und Gühring bezüglich der Schnittstelle zum Hexapod.

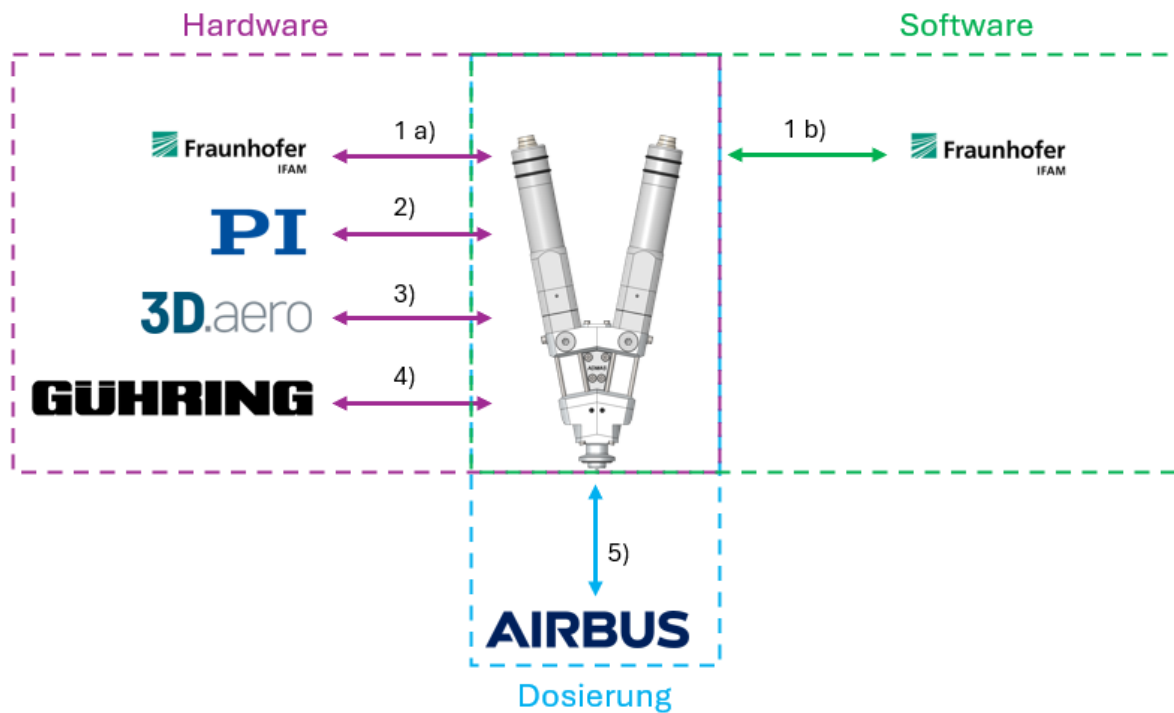


Abbildung 8: Übersicht Zusammenarbeit

(Quelle: ViscoTec, 2024)

- 1 a) Schnittstellen Hardware: bspw. Aufbau Endeffektor, Steckverbindungen zum Roboter, räumliche Gegebenheiten (Tankstation, Ablagestation & Medium Versorgung)
- 1 b) Schnittstelle Software: bspw. Kommunikation der Steuerungen, Übergabe von Parametern
- 2) Schnittstelle Hardware: Anbindung Dosierendeffektor am Hexapod, Positionierung Dosiersystem und Auftragsdüse zu Bauteil
- 3) Schnittstelle Hardware: Montage und Integration vorlaufender Sensor
- 4) Schnittstelle Hardware: Anbindung und Wechselmechanismus Dosierendeffektor am Hexapod
- 5) Dosierauftrag: Abstimmung Dosierauftrag (Qualität, Material, Spezifikationsanforderungen)

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung

Im Rahmen des Projekts war ViscoTec nicht nur für den reinen Dosier- bzw. Materialauftrag zuständig, sondern für den gesamten Fluidhandling Prozess. Hierfür waren mehrere Komponenten nötig. Die Zuwendung wurde daher für folgende Themen verwendet:

2.1.1. Materialentnahme und Tankstation

Bei dem zu verwendenden Dosiermaterial handelt es sich um ein zweikomponentiges Epoxidharz vom Hersteller 3M mit der Bezeichnung Scotch-Weld EC-2216 B/A. Für die automatisierte Dosierung wurde dies in zwei getrennten Gebinden vorgelegt. Hierfür wurden so genannte Hobbocks, das sind Eimer mit einem Fassungsvermögen von ca. 20kg, verwendet. In dieser Gebindeform liegen die Materialien meist in höherer Qualität (bzgl. Homogenität, Luftblasenfreiheit, etc.) vor als bspw. in kleinen Kunststoff Kartuschen. Um das Material in einem späteren Prozessschritt entsprechend zu dosieren, muss es zunächst aus den Hobbocks entnommen werden. Dieser Prozessschritt ist Stand der Technik, daher konnte hierfür auf ein Standard-Entnahmesystem von ViscoTec zurückgegriffen werden. In der Regel wird dann das Dosiersystem von diesen Systemen aus direkt über Schlauchleitungen versorgt. Die Schlauchleitungen müssen dazu individuell ausgelegt werden und schränken die Bewegungsfreiheit eines Handlingsystems (z.B. Roboter) extrem ein. Um das Gesamtziel zu erreichen, war dies zwingend zu vermeiden.

Das Dosiersystem wurde daher nicht direkt über Schlauchleitungen versorgt, sondern über Materialtanks, die als Pufferspeicher dienen. Um die Tanks zu befüllen, ist daher eine Tankstation entwickelt worden. Der Befüllvorgang erfolgt über Medienkupplungen. Da diese in der Regel nur für bestimmte Fluide, meist Hydraulikflüssigkeiten, nicht aber Chemikalien, vorgesehen sind, musste daher die Kompatibilität mit dem hier vorliegenden Epoxidharz getestet werden. Im Rahmen von Versuchen konnte dies erfolgreich nachgewiesen werden. Die weiblichen Kupplungsstücke wurden auf einer Grundplatte fixiert, welche wiederum mit entsprechender Sensorik ausgestattet war. Über Schläuche mit den Entnahmesystemen verbunden, stellt dies die Tankstation dar (Abbildung 9: Entnahmesysteme mit Tankstation).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

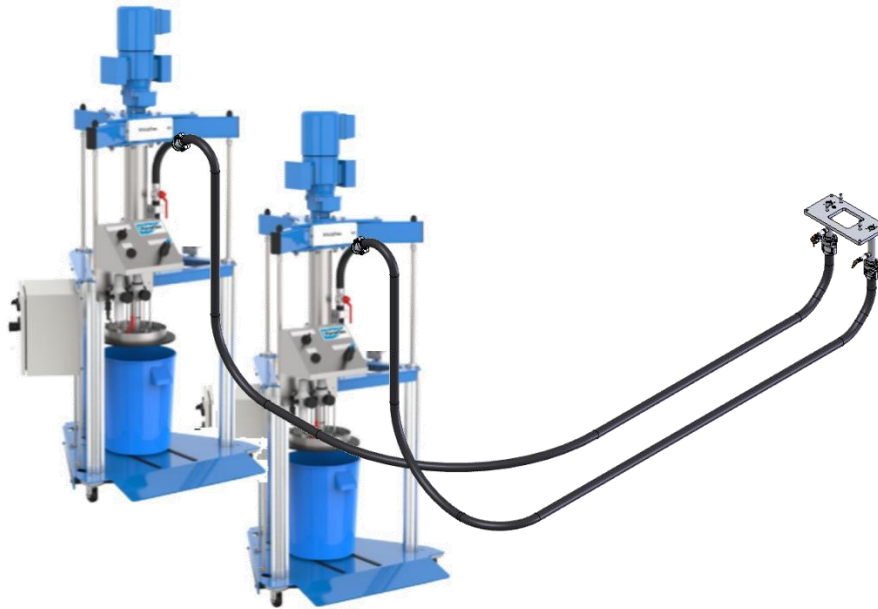


Abbildung 9: Entnahmesysteme mit Tankstation

(Quelle: ViscoTec, 2024)

2.1.2. 2K Dosiersystem mit Endeffektor

Als Endeffektor wird die Baugruppe bezeichnet, welche vorne am Roboter geführt wird (Abbildung 10: Gesamt-Endeffektor).

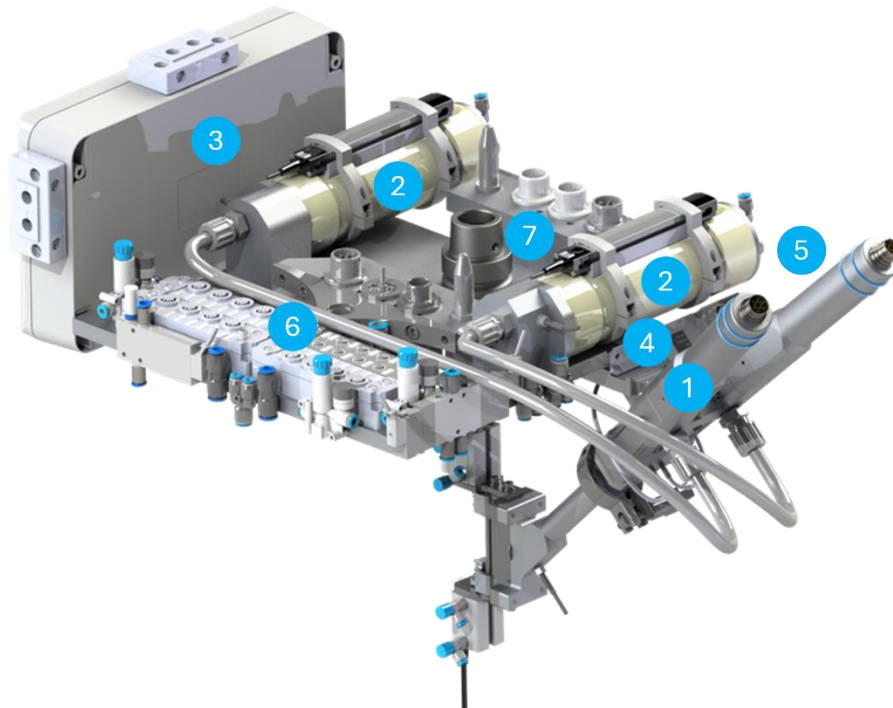


Abbildung 10: Gesamt-Endeffektor

(Quelle: ViscoTec, 2024)

Hier befinden sich, montiert auf einer Grundplatte, die Unterbaugruppen:

- 1) 2K Dosiersystem:
 - Über das Dosiersystem werden die beiden Komponenten (Harz und Härter) volumetrisch und im gewünschten Mischungsverhältnis dosiert. Es besteht im Wesentlichen aus zwei verbauten Exzentrerschneckenpumpen sowie zwei Servoantrieben. Über zwei separate Materialeingänge werden die Komponenten mit einem gewissen Vordruck den Pumpen zugeführt, sodass jeweils die erste Kammer der Pumpe befüllt wird. Die Kammern besitzen ein definiertes Volumen. Über die Rotation des Rotors durch den Servoantrieb werden pro Umdrehung die Kammern nach vorne, zum Pumpenausgang gefördert. Somit besteht eine volumetrische Dosierung.
- Eines der Ziele für den Endeffektor war es, diesen möglichst klein und leicht zu gestalten, um die zu bewegende Masse des Roboters möglichst gering zu halten. Da die Materialeigenschaften des EC-2216 B/A keine grundsätzliche Neuentwicklung eines Dosiersystems erforderten, konnte als Basis ein bestehendes, kleines und leichtes Dosiersystem aus dem ViscoTec Portfolio verwendet werden, welches dann projektspezifisch weiterentwickelt wurde.

- 2) Materialtanks:
 - Die Materialtanks dienen, wie oben beschrieben, als wiederbefüllbarer Pufferspeicher für die beiden Komponenten und versorgen gleichzeitig das 2K Dosiersystem mit Harz und Härter. Über das männliche Kupplungsstück wird über die Tankstation Medium in die Behälter befüllt. Im Behälter befindet sich ein Kolben, welcher mit pneumatischer Druckluft beaufschlagt wird. Dichtungen und Gleitringe am Kolben stellen sicher, dass dieser zwischen Luft und Medium abdichtet und dennoch im Inneren des Zylinders gleiten kann. Die Füllmenge pro Tank beträgt 150ml. So kann in der Theorie mindestens ein Sealingvorgang ohne Unterbrechung (Tankvorgang) durchgeführt werden. An der Außenseite des Tanks befinden sich Füllstandsensoren, um den Inhalt des Tanks auf 0,1% genau zu erfassen. Bei einem voreingestellten Wert kann so automatisch die Anforderung an einen Betankungsvorgang gestellt werden.

- 3) Motion controller:
 - Im Rahmen von Vortests wurde festgestellt, dass die Leitungslänge zwischen dezentraler Steuerung und Antrieb am Dosiersystem, sowie dem dazwischenliegenden Kupplungsstück, keine fehlerfreie Ansteuerung der Antriebe zulässt. Daher mussten am Endeffektor selbst noch Motion-Controller und Leitungen mit Signalverstärker eingesetzt werden, um eine präzise Ansteuerung der Antriebe zu gewährleisten. Dies ist Grundvoraussetzung für eine genaue Dosierung. Um die sensiblen Bauteile vor Staub und Schmutz zu schützen, wurden die Motion-Controller in einer Box untergebracht.

- 4) Z-Ausgleich:
 - Im Rahmen der Vorversuche hat sich herausgestellt, dass die Berührung der Düse zum Bauteil während der Dosierung zu jederzeit gegeben sein muss, um präzise und saubere Sealing Ergebnisse zu erhalten. Aufgrund der komplexen Kontur des Bauteils sowie der 360° Orientierungsanforderung an das Dosiersystems (oben, unten, links, rechts) und den damit verbunden Umorientierungen des Endeffektors, wurde die federnde Lagerung mit bestimmter Vorspannkraft von Düse auf das Bauteil als zusätzliche Sicherheitskomponente definiert. Die Federkraft ist dabei so ausgelegt, dass das Dosiersystem in allen Orientierungsrichtungen eine gewisse Vorspannkraft erzeugt und einen Weg von +/-5mm ausgleichen kann.

- 5) Sensor zur Breitenmessung:
 - Die Dosiergeschwindigkeit des Dosiersystems hängt von mehreren Faktoren ab (gewollte Schichtstärke, Bahngeschwindigkeit des Roboters, Bauteilbreite) und wird während des Prozesses live und dauerhaft angepasst, um für jede Breite des Bauteils eine konstante Schichtstärke zu erreichen. Ein vorlaufender Sensor nimmt die Breite der zu sealenden Bauteilkante auf und gibt diese an die Steuerung weiter. Dort wird der Volumenstrom des Dosiersystems laufend berechnet und entsprechend angepasst.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- 6) Diverse Boxen und Ventile:
 - Für die Ansteuerung der Komponenten und die Verbindung zur Dosiersteuerung werden mehrere Beckhoff Zentralverteiler und Pneumatikventile benötigt, welche direkt am Endeffektor sitzen.

Über eine HSK-Aufnahme wird der Endeffektor am Roboter bzw. in der Spindel des Partners Carbon Drive befestigt. Die Medienversorgung (Druckluft, Spannung, Signale) erfolgt über Kupplungsstecker.

2.1.3. Ablage- und Kalibrierstation

Das Vereinen der beiden Technologien Fräsen und Dosieren an einem einzigen Roboter erfordert einen Wechsel des eingesetzten Werkzeugs am Roboter. Für beide Technologien muss daher bei Nicht-Einsatz die Möglichkeit zur Ablage gegeben sein. Für den Dosierendeffektor wurde eine eigene Station konzipiert, in der gleichzeitig einige Tätigkeiten vorgenommen werden können, wie zum Beispiel:

- Montage von Mischer und Düse
- Durchführung des Kalibrierprozesses (in regelmäßigen Abständen)
- Anpassung des Dosierrezepts
- Einstellung von Prozessparametern
- Sonstige Wartungsarbeiten

Hierfür steht dem Bediener ein Touchpanel zur Verfügung, welches mit der Dosiersteuerung verbunden ist (Abbildung 11: Ablage- und Kalibrierstation). Weiterhin kann auf der linken Seite eine Waage platziert werden, welche für den Kalibriervorgang benötigt wird. Auf der rechten Seite befindet sich ein Spülbecher. In diesen wird bereits durchmischtes Medium aus dem statischen Mischer bei Pausen oder Stillstandzeiten der Anlage gespült, um ein Aushärten des Mediums im Mischer zu vermeiden. Diese Position wird von der externen (Roboter-) Steuerung fest einprogrammiert und automatisch angefahren, sobald die Dosiersteuerung den Spülbefehl über einen internen Timer gibt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

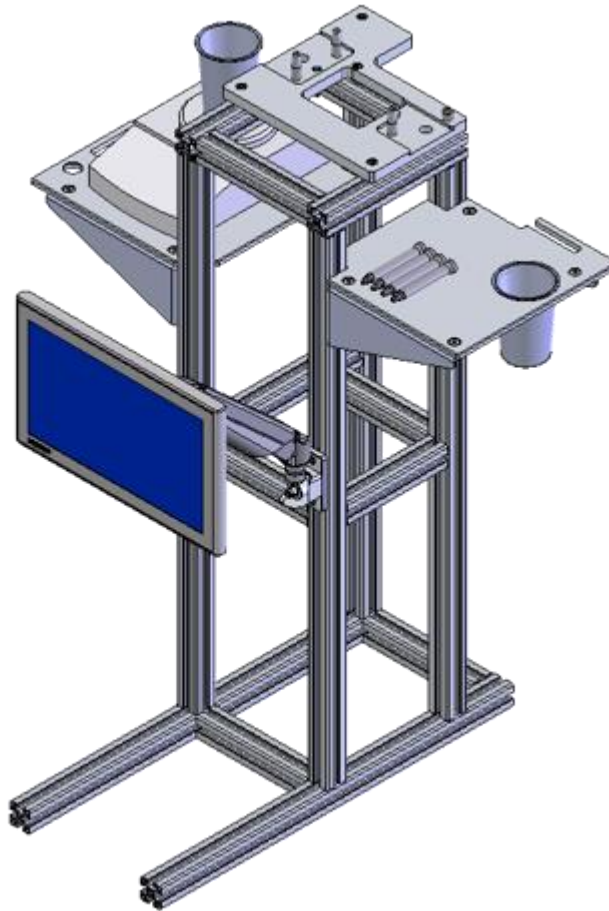


Abbildung 11: Ablage- und Kalibrierstation

(Quelle: ViscoTec, 2024)

2.1.4. Steuerung für Gesamtprozess

Um sämtliche mit der Dosierung zusammenhängende Prozesse zu steuern, wurde eine Steuerung auf Beckhoff Basis konzipiert. Hier werden unter anderem folgende Prozesse gesteuert:

- 2K Dosierung
- Betankungsvorgang
- Düsenfunktion
- Prozessüberwachungen

Über eine Übersicht in der HMI (Abbildung 12: Gesamtübersicht Steuerung) können die einzelnen Teilprozesse und deren Parameter eingestellt und gesteuert werden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

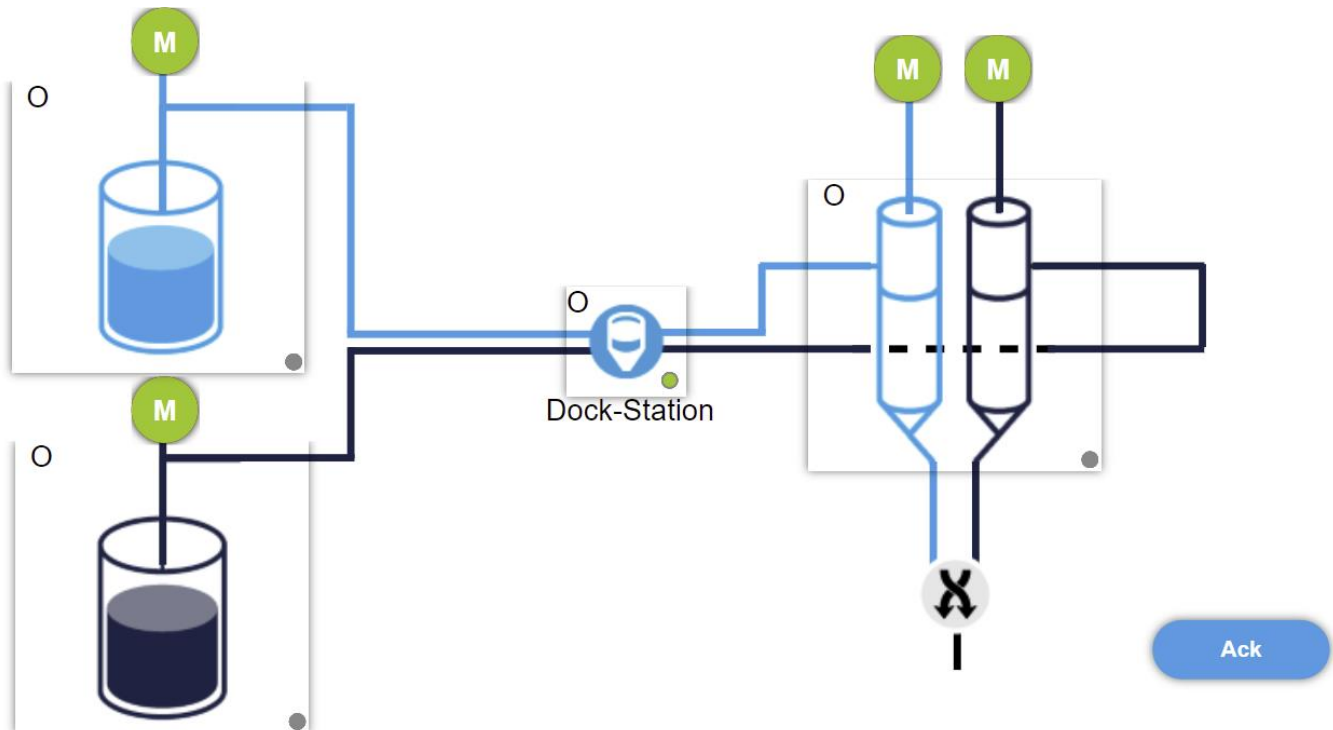


Abbildung 12: Gesamtübersicht Steuerung

(Quelle: ViscoTec, 2024)

Auf der linken Seite werden die Entnahmesysteme schematisch dargestellt. Die „Dock-Station“ in der Mitte stellt die Tankstation dar, über welche bspw. Füllstand und -geschwindigkeit eingestellt werden können. Im rechten Bereich sind Materialtanks, Dosiersystem und Düse dargestellt.

2.1.5. Verschleißvorhersage

Die frühzeitige Erkennung von Verschleiß innerhalb der Dosierpumpe kann ungeplante Stillstandzeiten vermeiden. Hierzu wurden Parameter und deren Auswirkung auf das Hauptverschleißteil der Exzentrerschneckenpumpe – den Stator – genauer untersucht. Die Idee dahinter: Zwischen Rotor und Stator besteht im Neuzustand eine technisch relevante Überdeckung, die sogenannte Dichtlinie. An dieser Stelle tritt der Hauptverschleiß auf, was wiederum Einfluss auf die Genauigkeit der Dosierung hat und somit die Prozessstabilität beeinflusst. Im Rahmen einer Grundlagenstudie wurden Dauerlaufversuche durchgeführt, bei denen über die Zeit verschiedene Prozessparameter aufgenommen wurden. Aus diesen Parametern sollen zukünftig Ausfälle vorhergesagt werden können. Als eindeutigster Parameter wurde die Stromaufnahme des Servoantriebs des Rotors identifiziert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

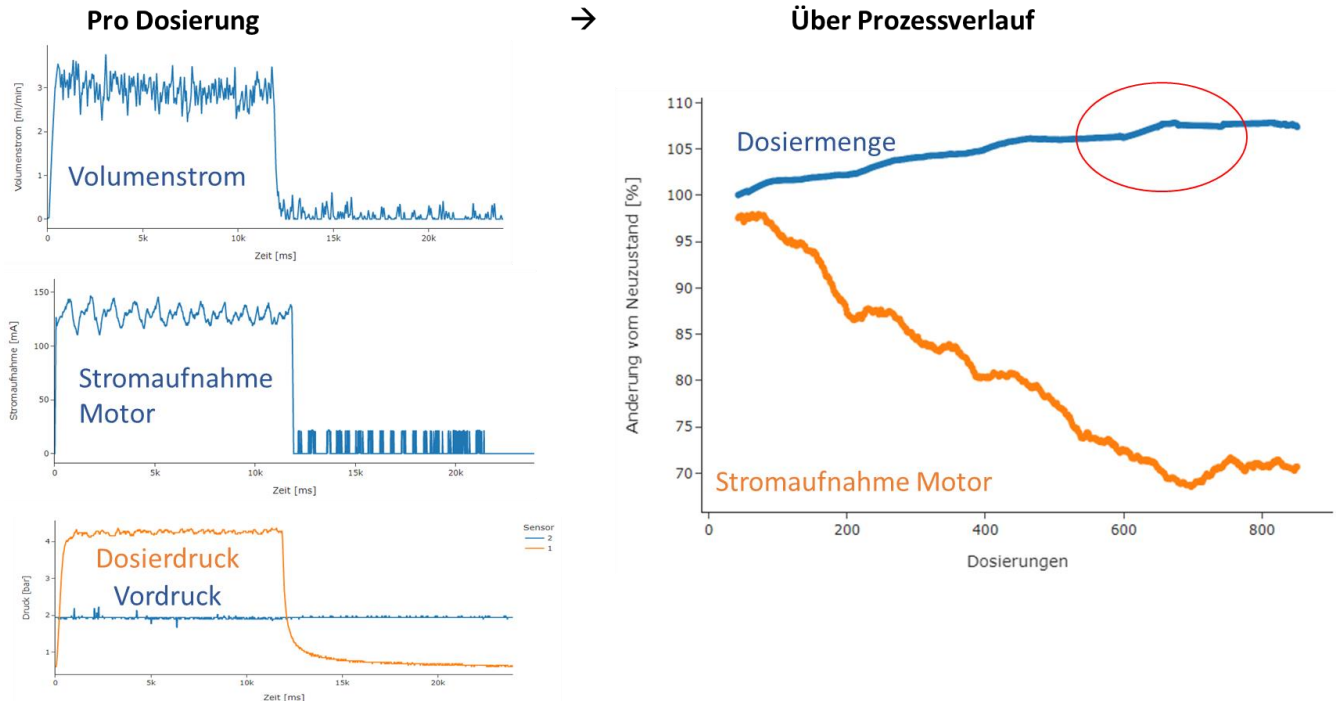


Abbildung 13: Parameter Verschleißerkennung

(Quelle: ViscoTec, 2023)

Die Dosiermenge je Dosierschuss nimmt mit steigender Anzahl an Dosierungen zu. Dies ist ein typisches Bild für mechanischen Verschleiß. Mit steigender Dosiermenge nimmt die Stromaufnahme des Motors ab. Die Änderung der Stromaufnahme erlaubt also Rückschlüsse auf die Änderung der Dosiermenge und den damit verbundenen Verschleiß. Dies wurde mit einer repräsentativen Anzahl an Versuchen wiederholt und validiert.

Mit dieser Erkenntnis kann über eine Softwarelösung eine Verschleißvorhersage umgesetzt werden. Dies wurde im Rahmen des Projekts jedoch nicht implementiert, da im Rahmen des Demonstratoraufbaus (nahezu) kein Verschleiß zu erwarten ist. Grund hierfür ist die geringe Anzahl an Dosierungen.

2.1.6. Vorversuche

Für die Entwicklung der Komponenten, wurden unterschiedliche Versuche durchgeführt.

1) Validierung statischer Mischer

Zunächst musste ein statischer Mischer validiert werden, welcher später am Ausgang des Dosiersystems montiert wird und über den die beiden Komponenten miteinander vermischt werden.

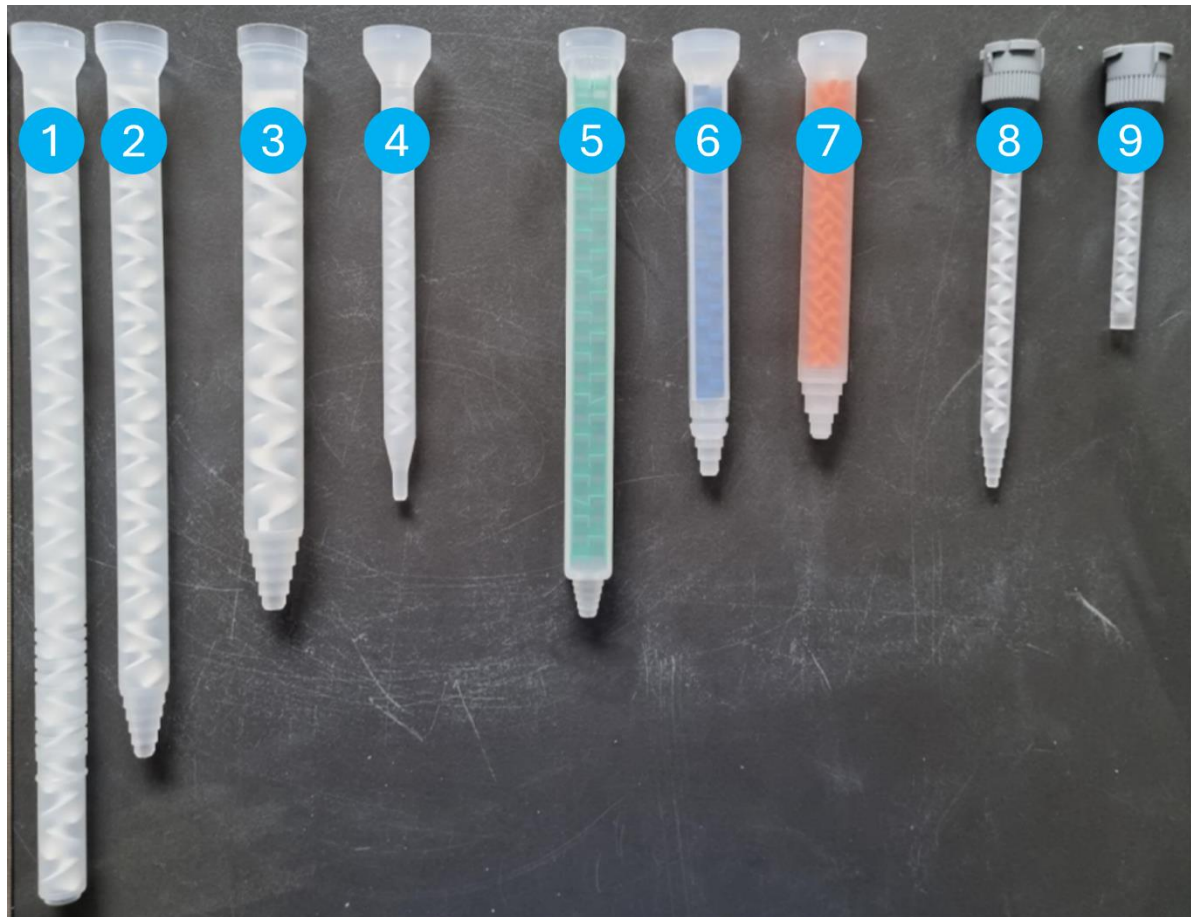


Abbildung 14: Auswahl statischer Mischer

(Quelle: ViscoTec, 2021)

Auswahlkriterien für den Mischer waren:

- Homogene Vermischung bei unterschiedlichen Dosiergeschwindigkeiten
- Möglichst geringer Dosierdruck
- Baugröße

Beim Mischer vom Typ Stamixco (Nr. 7, Abbildung 14: Auswahl statischer Mischer) kann durch die spezielle Gitterstruktur im Mischer gegenüber der klassischen Wendelgeometrie deutlich an Länge eingespart werden. Da auch die beiden anderen Kriterien (geringer Dosierdruck und homogene Vermischung) erfüllt waren, wurde dieser Mischer als am geeignetsten definiert und stellte somit die Basis für die weitere Entwicklung des Dosiersystems sowie der Düse.

2) Dosiersversuche Entwicklungsstadium

Die für den Dosierauftrag entscheidende Komponente ist die Auftragsdüse. Die Entwicklung dieser erforderte mehrere Entwicklungsschleifen und damit verbundene Dosiersversuche.

Als Basis wurde zunächst auf ein Standard Dosiersystem zurückgegriffen, welches über manuell befüllte Kartuschen versorgt wurde. Die Düsenkomponenten selbst wurden größtenteils aus 3D Druck (Abbildung 15: Dosierversuch mit Prototypen) gefertigt. So konnten die Entwicklungsloops relativ kurz, sowie die Kosten möglichst geringgehalten werden.

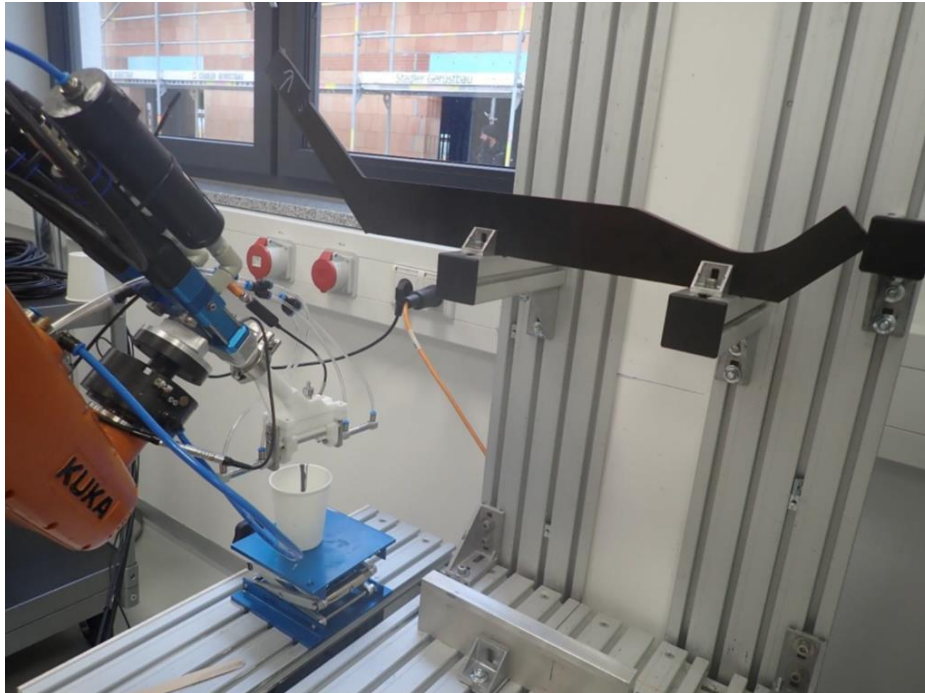


Abbildung 15: Dosierversuch mit Prototypen

(ViscoTec, 2021)

Die Erkenntnisse aus den Versuchen wurden für weitere Optimierungen und Überarbeitungen genutzt. Mit steigendem Projektfortschritt konnten mehrere Komponenten innerhalb der Loops getestet werden. So zum Beispiel die optimierte Dosierdüse inkl. Z-Ausgleich (Abbildung 16: Optimierte Düse mit Z-Ausgleich).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

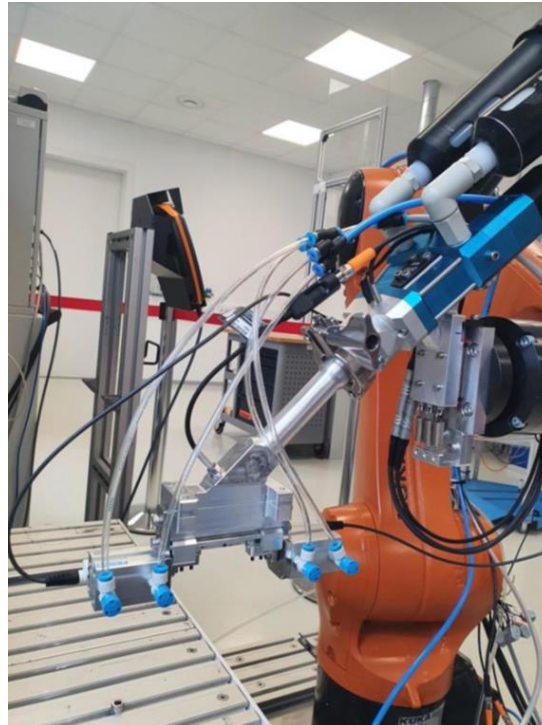


Abbildung 16: Optimierte Düse mit Z-Ausgleich

(Quelle: ViscoTec, 2021)

2.1.7. Abschlussversuche Demonstrator

Die unter 2) beschriebenen Versuche wurden lediglich im Small-Scale durchgeführt, um die grundsätzliche Funktion der Komponenten nachzuweisen.

Nach der Integration der Komponenten in den Gesamtaufbau (Abbildung 17: Demonstrator Gesamtaufbau) wurden am Original-Versuchsbauteil noch weitere Tests durchgeführt.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abbildung 17: Demonstrator Gesamtaufbau

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

Diese Versuche umfassten:

- An-/Abkoppeln des Endeffektors
- Betankungsvorgang (Abbildung 18: Betankungsvorgang)
- Funktion Ablage und Kalibrierstation
- Genauigkeitstests Dosiersystem (CMK-Analyse)
- Sealingversuche am Bauteil

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

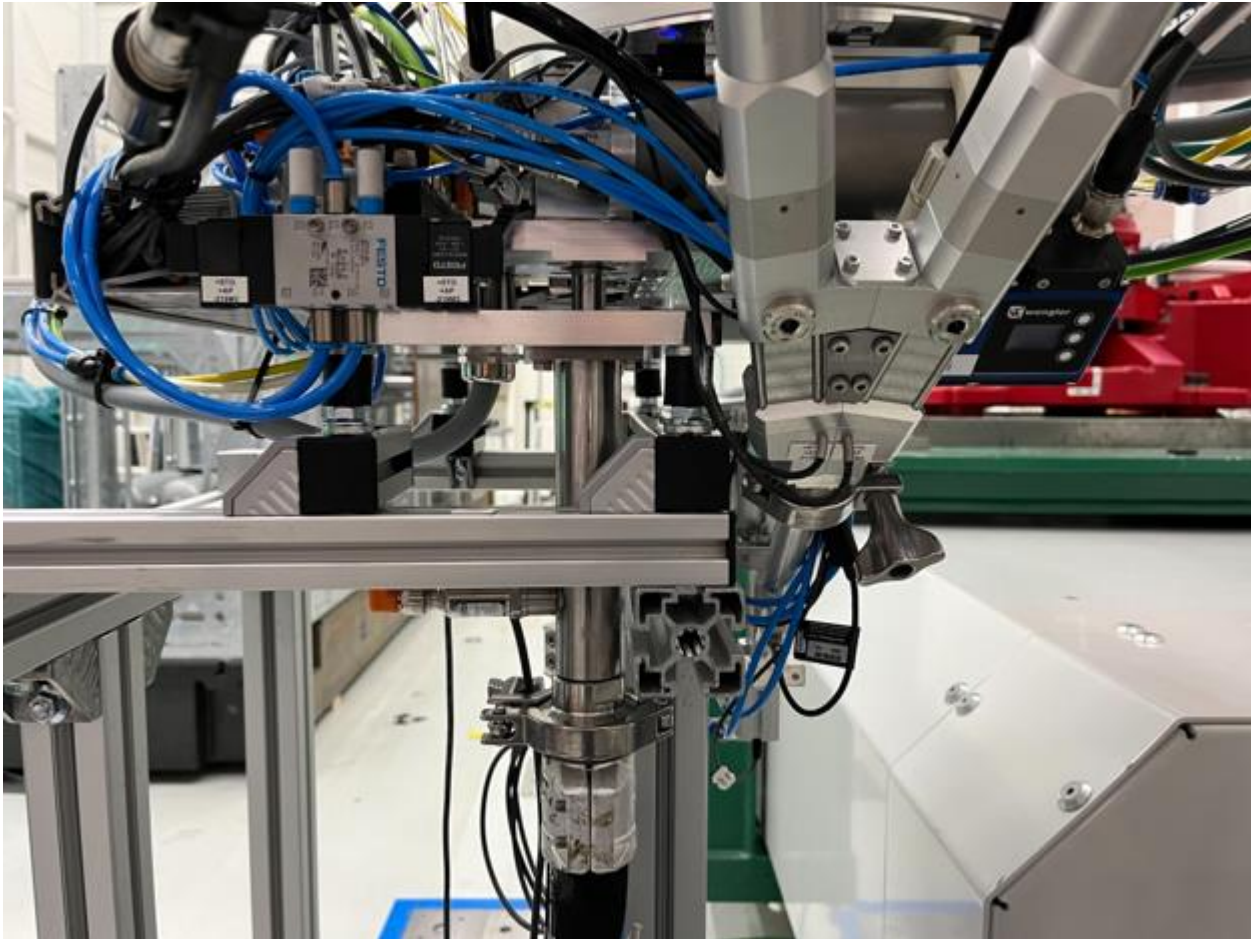


Abbildung 18: Betankungsvorgang

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

Der Betankungsvorgang konnte bei zu niedrigem Füllstand der Tanks von extern (IFAM-Steuerung) gestartet werden. Die Befüllung erfolgte bis zum eingestellten Füllstand an den Materialtanks. Ein Puffer sollte sowohl aufgrund der Trägheit des Betankungssystems sowie als sonstige Sicherheit berücksichtigt werden. Dieser sollte ca. 10% betragen (Befüllung nur bis 90%).

Für die Sealingversuche wurden nacheinander verschiedene Abschnitte des Bauteils mit unterschiedlichen Geometrien getestet (Abbildung 19: Versuch Demonstrator 1/2, Abbildung 20: Versuch Demonstrator 2/2).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

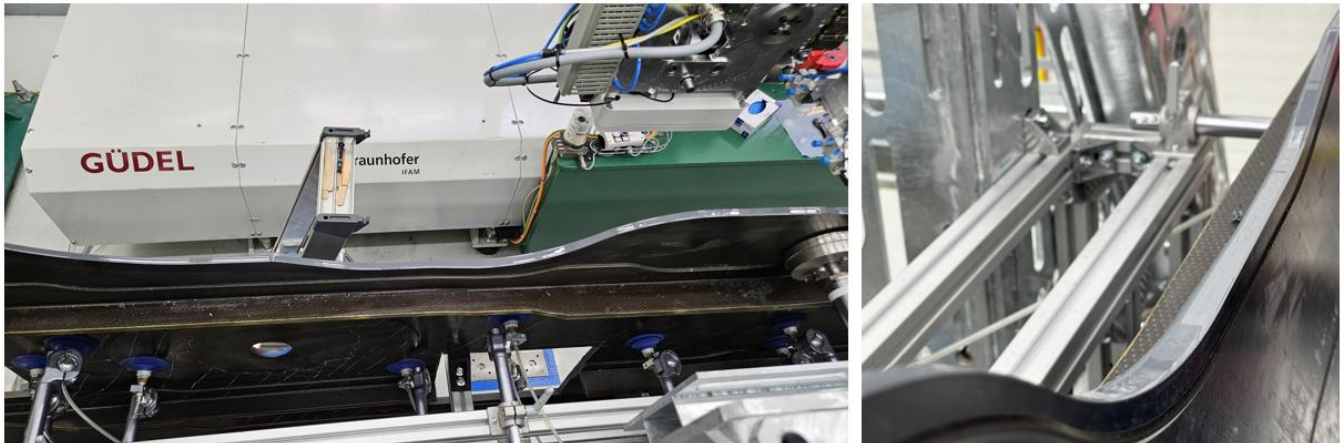


Abbildung 19: Versuch Demonstrator 1/2

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)



Fazit:

- Fräskante wird komplett mit Material benetzt.
- Override Wert passt sich bei Breitensprung an
- Konstante Schichtstärke von 0,45 - 0,50 mm

Abbildung 20: Versuch Demonstrator 2/2

(Quelle: IFAM Fraunhofer, 2024)

Die Funktion aller entwickelten Komponenten konnte nachgewiesen werden. Die live-Anpassung der Dosiergeschwindigkeit erfüllte ihren Zweck. Der Dosierauftrag wurde als stets innerhalb der vorgegebenen AIRBUS Spezifikation (AIPS05-05-009) validiert. Teilweise waren an komplexen Geometrien einige weniger kleine Luftblasen an der Oberfläche des Sealingauftrags zu sehen. Ob diese Luftblasen erst beim Dosierauftrag entstehen oder diese bereits im ursprünglichen Liefergebilde des Materials vorlagen, lässt sich im Nachgang nicht analysieren.

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde separat gemäß Vorgaben des Projektträgers übermittelt.

Wie oben bereits erläutert, konnten die Projektziele mit einem geringeren Ressourceneinsatz als ursprünglich geplant erreicht werden. Daher wurde am 06.12.2022 ein Änderungsantrag mit angepasstem Ressourcenplan, welcher die Positionen Material-, Personal-, und Reisekosten berücksichtigt, eingereicht.

Am Projektende wurden alle Kosten gemäß angepasstem Ressourcenplan aus dem Änderungsantrag abgerufen, jedoch ergab sich eine geringfügig andere Verteilung der Kosten:

- Personalkosten wurden dabei nicht vollständig ausgeschöpft: -2% Abweichung im Vergleich zum Plan.
- Reisekosten wurden ebenfalls nicht vollständig ausgeschöpft: -33% Abweichung im Vergleich zum Plan.

Erläuterung: Es fanden mehrere Veranstaltungen bzw. Projekttreffen in hybrider Form statt. Dadurch konnten Kosten eingespart werden. Anfangs spielte die Coronapandemie noch eine entscheidende Rolle, wodurch Reisen stark eingeschränkt waren.

- Materialkosten wurden vollständig ausgeschöpft: +16% Abweichung im Vergleich zum Plan.
Erläuterung: Die nicht abgerufenen Personal- und Reisekosten wurden stattdessen für Materialien im Projekt verwendet. So konnten Optimierungen umgesetzt werden und ausreichend Ersatzteile für Verschleiß- und Verbrauchskomponenten zur Verfügung gestellt werden.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten haben maßgeblichen Beitrag zur Umsetzung des Projekts geleistet.

Die Notwendigkeit der Entwicklung eines Dosiersystems inklusive Materialversorgung sowie Auftragsdüse für breitenvariable Bauteile war die grundlegende Aufgabenstellung im HAP5. Die Dosierung und die daraus resultierende Versiegelung der Fräskante, ist der letzte Teilprozess, in der Herstellung von CFK-Bauteilen für den Aerospace Bereich. Der Prozess erfordert maximale Wiederholgenauigkeit und Prozessstabilität, da bereits kleinste Fehlstellen inakzeptabel sind.

Aufgrund der Abmessungen der betroffenen CFK-Bauteile, und den damit verbundenen zurückzulegenden Strecken des Roboters inkl. linear Achse waren ausschlaggebend für ein Dosiersystem, welches sich autark bewegt und nicht wie gewohnt direkt mit der Versorgungseinheit über Schlauchleitungen verbunden ist.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dadurch kann sowohl der Prozess stabilisiert werden (Druckverlust), als auch die zu bewegende Masse stark reduziert werden, was wiederum förderlich für die Wiederholgenauigkeit des Materialauftrags auf der CFK-Bauteilkante ist. In Verbindung mit einer autarken Versorgung des Dosiersystems steht dann die Wiederbefüllung und Versorgung der Tanks, welche sich am Endeffektor befinden.

Durch die geometrischen Gegebenheiten des CFK-Bauteils an sich und die daraus resultierende gefräste Bauteilkante erfordern eine Auftragsdüse, welche sich automatisch der variierenden Kantenbreite anpasst und so einen gleichmäßigen Materialauftrag hinsichtlich Schichtstärke und Randschärfe an den Bauteilkanten gewährleistet.

Aufgrund der sehr dünnen Schichtstärke des Sealing-Materials von 0,2mm – 0,7mm (Anforderung Airbus) und aus Erkenntnissen von mehreren Versuchsreihen wurde deutlich, dass auch ein dauerhafter Kontakt der Dosierdüse zum Bauteil unumgänglich ist, da bereits geringste Positionierungsgenauigkeiten von Roboter zu Bauteilkante zu einem fehlerhaften Materialauftrag führen können.

So wurde eine mechanische Ausgleichsvorrichtung am Endeffektor integriert, welche eine dauerhafte Anpresskraft des Dosiersystems bzw. der Auftragsdüse zum Bauteil sicherstellt. Dadurch können Toleranzen des Roboters, der Fräskante sowie Schwankungen bei Umorientierung des Roboters ausgeglichen werden.

Des Weiteren wurde als zusätzliche Prozesssicherheit und um einen fehlerfreien Materialauftrag gewährleisten zu können, verschiedene Sensoren eingesetzt, welche zum einen eine Überwachung des Dosierprozesses an sich ermöglichen und zum anderen Rückschlüsse auf mögliche Fehlstellen im Medium geben (z.B. Luftblasen). Die Zusammenführung der umfangreichen Sensorik im fortlaufenden Dosierprozess im Zusammenspiel mit einer intelligenten Dosiersteuerung, ermöglicht ein Maximum an Prozesssicherheit für einen sehr anspruchsvollen und sensiblen Anwendungsbereich. Die Kommunikation und Definition von Schnittstellen zwischen verschiedenen Teilsteuerungen (Roboter, Linear Achse, Dosiersteuerung, Bauteil Vermessung) im Gesamtprozess des Projekts, sind maßgeblich für die erfolgreiche Durchführung eines prozesssicheren Dosiervorgangs.

Die Notwendigkeit von ausführlichen Dosierversuchen zeigt sich durch die Komplexität der zu versiegelnden Bauteilkanten sowie den genauen Anforderungen an den Materialauftrag hinsichtlich Durchmischung, Schichtstärke und Randschärfe. Durch verschiedene Versuchsreihen kann außerdem auf Materialeigenschaften und deren Handling zurückgeschlossen werden, was ausschlaggebende Erkenntnisse für eine zukünftige Serienfertigung bietet.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertung

Die formulierten Ziele des Vorhabens konnten erfolgreich umgesetzt werden und folgende Ergebnisse wurden erreicht:

1. Erstellung eines mobilen Zuführsystems mit Tankstation
2. Erstellung eines adaptiven Dosiersystems
3. Erstellung einer breitenvariablen Düse zur Kantenversiegelung von CFK-Bauteilen
4. Integration geeigneter Sensorik zur Prozessüberwachung
5. Grundlagenstudie für Predictive Maintenance

Die Zusammenarbeit vertiefte das Verständnis für die zukünftigen Fertigungsherausforderungen im Bereich Aerospace. Speziell im Bereich Kantenversiegelung großvolumiger Faserverbundbauteile konnten wichtige Prozessparameter ermittelt werden. Das erarbeitete Prozess- und Anforderungswissen an automatisierte Produktionsprozesse im Luftfahrtbereich werden als Input für künftige Produktentwicklungen genutzt. Die Erprobung lieferte wichtige Daten und Erfahrungswerte zur Risikoabschätzung für zukünftige Serienanwendungen.

Die gewonnenen Erkenntnisse zum mobilen Zuführsystem mit Tankstation werden in konkrete Produktentwicklungsprojekte einfließen. Darüber hinaus kann das erprobte Konzept für zukünftige Projekte im Bereich erneuerbare Energien und Luft- & Raumfahrt eingesetzt werden und bietet eine interessante Alternative für die Materialversorgung zu bekannten Entleersystemen für Kartuschen. Die Umsetzung des mobilen Zuführsystems ermöglicht den Kunden den Einsatz von Großgebinden für ihre Dosiermedien. Dies bringt Verbesserungen im Bereich Produktionsabfälle, da die Entsorgung von Restmaterial und Kartuschen entfällt. Die bessere Materialhomogenität aus Großgebinden bildet die Basis für einen stabilen Dosierprozess und erhöht die Prozessqualität und verringert die Nacharbeit und Ausschussquote. Der Produktionsprozess erfordert dank der höheren Materialbevorratung weniger Werkereingriffe und kann somit leichter automatisiert und kostenoptimiert werden. Darüber hinaus bietet der Bezug von Großgebinden Kostenvorteile in der Materialbeschaffung. Durch das System ohne Materialzuführungsschläuche wird der Bewegungsfreiheit des Roboters verbessert und der Bauraumbedarf innerhalb der Bearbeitungszelle reduziert.

Die Erprobung des Mechanismus zum Abkoppeln der Dosiereinheit ermöglicht zukünftig den Einsatz eines automatisch wechselbaren „Dosierwerkzeuges“ bei Fertigungsprozessen, bei denen verschiedene Technologien für die Bearbeitung der Bauteile zum Einsatz kommen. Diese Funktionalität ist im Bereich der Fräsmaschinen bereits Stand der Technik, aber für automatisierte Dosierprozesse in Kombination mit Robotern noch nicht etabliert. Die Kombinationsmöglichkeit verschiedener Technologien bietet einen enormen Mehrwert in Bezug auf effiziente und flexible Produktionsprozesse.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Regelungssystem aus Dosierdruck-Sensorik, Kantenbreitenerkennung und Verfahrensgeschwindigkeit leistet einen wichtigen Beitrag zum prozesssicheren Medienauftrag und der Prozesskontrolle.

Die Erprobungsergebnisse der breitenvariablen Düse in Kombination mit der Ausgleichseinheit für den Z-Richtungsausgleich und der adaptiven Dosiergeschwindigkeitsanpassung ermöglichen einen automatisierten Prozess der Kantenversiegelung großvolumiger Faserverbundbauteile mit Fräskanten. Die Möglichkeit des Auftrags einer konstanten Schicht für unterschiedliche Dickenbereiche an einem Bauteil mit nur einer Düsenkonstruktion trägt signifikant zur Erhöhung der Designfreiheit und der Prozesssicherheit bei.

Die Verwendung von Beckhoff-Software ermöglicht eine einfache Integration und Datenübergabe zwischen Dosiersystem und Gesamtsteuerung. Dadurch wird die Integration in eine übergeordnete Steuerung eines Handlingsystems deutlich vereinfacht. Diese Erkenntnisse werden in die neue Generation Dosiersteuerungen einfließen und die Kollaboration mit Integratoren erleichtern.

Eine Grundlagenstudie zur Definition von Verschleißparametern, bietet die Möglichkeit, für zukünftige Generationen von Dosiersteuerungen Verschleiß innerhalb der Dosierpumpe frühzeitig zu erkennen und Ausfallzeiten dadurch signifikant zu reduzieren.

Ein weiterer Nutzen aus dem Projekt entsteht durch die Übertragung der Anwendungskennnisse auf Branchen mit ähnlichen Herausforderungen wie z.B. im Bereich Windenergieanlagen, Schienenfahrzeuge und Bootsbau. In diesen Bereichen wird in Zukunft die Umsetzung automatisierter Fertigungsprozesse zur Herstellung großvolumiger Faserverbundbauteile an Bedeutung gewinnen.

2.5. Bekannter Fortschritt während des Vorhabens

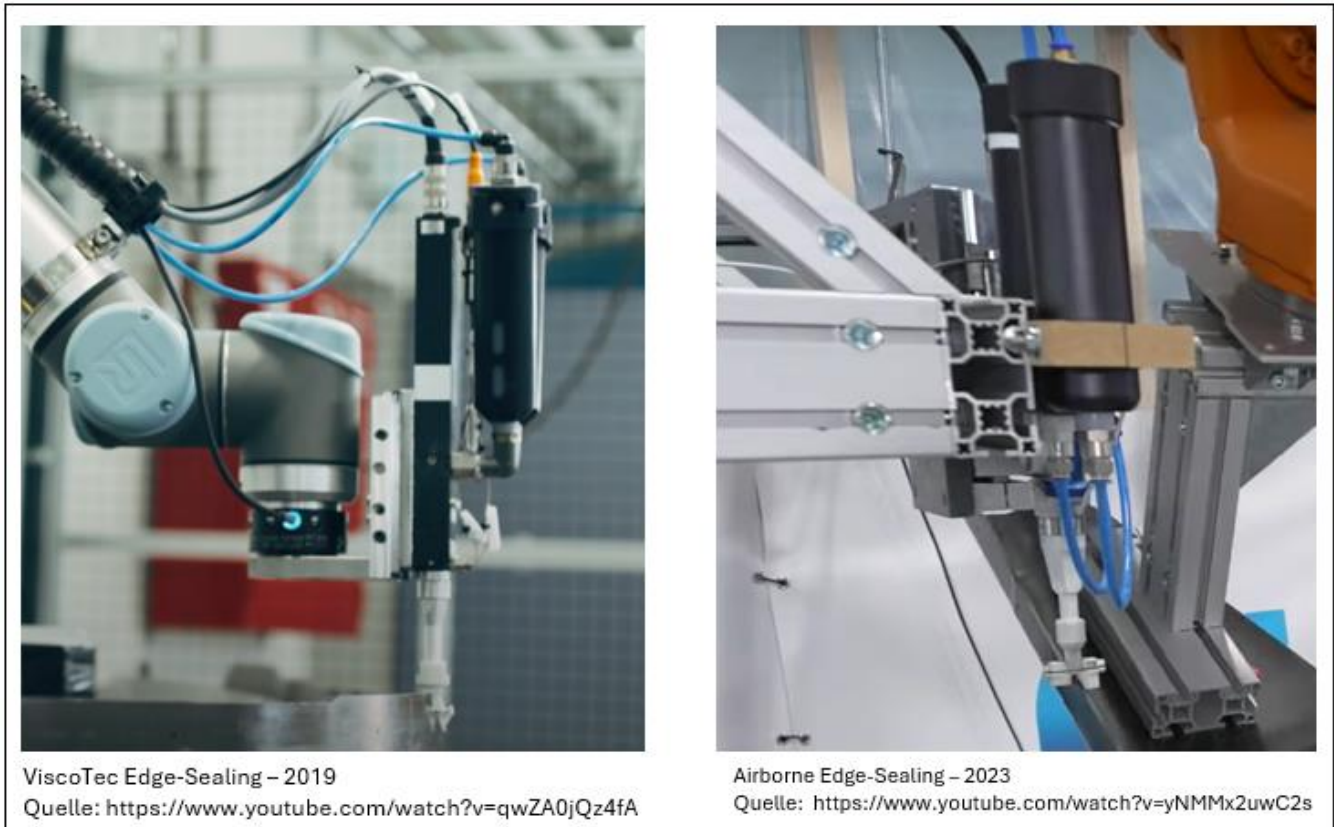
Zu Beginn des Vorhabens waren im Luftfahrt-Bereich von anderen Stellen keine ähnlichen Anwendungsfälle bekannt. Es wurde ausschließlich am eigenen Kenntnisstand von vorherigen, ähnlichen Aufgabenstellungen (siehe Projekt ESEC) angeknüpft.

Während des Projekts ergab sich von Airborne NL, einem niederländischen Unternehmen aus dem Bereich Automatisierungstechnik, eine Veröffentlichung zum Thema Edge-Sealing. Hier wurde jedoch lediglich am Kenntnisstand von ViscoTec von 2020 – also vor Projektstart von ADMAS – kopiert. Es ist auffällig, dass sowohl das Düsenkonzept als auch die Materialzuführung von ViscoTec übernommen wurden und sogar Dosiertechnik einer ViscoTec Marke verwendet wurde (Abbildung 21: Vergleich ViscoTec vs. Airborne Edge-Sealing).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



ViscoTec Edge-Sealing – 2019

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=qwZA0jQz4fA>

Airborne Edge-Sealing – 2023

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=yNMMx2uwC2s>

Abbildung 21: Vergleich ViscoTec vs. Airborne Edge-Sealing

Erklärbar ist dies auch durch eine vorangegangene Zusammenarbeit von ViscoTec und Airborne im Rahmen von Versuchen. Technologieunterschiede oder gar -verbesserungen im Bereich der Dosiertechnik sind innerhalb der Veröffentlichungen nicht erkennbar. Für die von ViscoTec in ADMAS entwickelten Themen, stellt dies also keine Gefahr dar.

2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Es wurde eine Patentanmeldung für die breitenvariable Auftragsdüse vorgenommen:

- Aktenzeichen: DE 10 2024 125 473.4
- Bezeichnung der Erfindung: Breitenvariable Auftragsdüse und Auftragssystem