

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Innovatives ressourceneffizientes Webmaschinenkonzept“

Zuwendungsempfänger/-in:

C. Cramer GmbH & CO. KG

Umweltbereich

(Umweltschutz, Energie- und Ressourceneffizienz)

Laufzeit des Vorhabens

21.12.2017 – 30.04.2021

Autoren

Dr. Christopher Lenz, Ilona Dierschke, Marcus Lodde

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Datum der Erstellung

09.11.2021

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Vorhaben-Nr. NKa3-003372
Titel des Vorhabens: „Innovatives ressourceneffizientes Webmaschinenkonzept“	
Autoren: Dr. Christopher Lenz, C. Cramer GmbH & CO. KG Ilona Dierschke und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	Vorhabensbeginn: 21.12.2017
	Vorhabensende (Abschlussdatum): 30.04.2021
Zuwendungsempfänger: C. Cramer GmbH & Co. KG Eper Straße 45-47 48619 Heek	Veröffentlichungsdatum: 30.04.2021
	Seitenzahl: 43
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
<p>Kurzfassung:</p> <p>Die Fa. C. Cramer GmbH & Co. KG ist etablierter Zulieferer von Geweben in der Luftfahrtbranche. Im Bereich der Gewebe umfasst das Produktportfolio Flächengewichte zwischen 55 und 2000 g/m² aus Carbon, Aramid und anderen gängigen Verstärkungsfasern in Feinheiten zumeist zwischen 22 und 1600 tex. Die Verarbeitung von groben IM-Garnen (>12K) (= 12.000 Filamente) im Webprozess zu den angestrebten Gewebekonstruktionen war bisher auf konventionellen Webmaschinen nicht möglich. Gemeinsam mit einem Entwicklungspartner konnte die Fa. Cramer eine Lösung auf Prototypenebene entwickeln, die dann in diesem Vorhaben in eine großtechnische Verfahrenslösung überführt wurde. Ziel des Vorhabens war die Reduzierung des bei der Herstellung von IM-Carbongeweben anfallenden Ausschuss- und Abfallanteils um ca. 72 % von bisher 25 % auf 5 %. Ferner sollte der Energieverbrauch um 10 % im Vergleich zum bisherigen Prototypenprozess gesenkt werden.</p> <p>Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über ein Messprogramm ermittelt, welches ressourcenrelevante Daten im bestehenden Prototypenprozess und im großtechnischen Verfahren erhoben hat. Auf Basis einer jährliche Produktionsmenge von 18 t Gewebe konnte der Gewebeausschuss um 94,9 % entsprechend 4.303 kg/a und der Energieverbrauch um 69,1 % entsprechend 21.899 kWh/a gesenkt werden und damit die Ziele deutlich übertroffen werden. Es können insgesamt 69,995 t CO₂ vermieden werden.</p> <p>Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der innovativen Webmaschine ist der erstmalige großtechnische Einsatz dieser Technik in der Bundesrepublik Deutschland realisiert worden. Das Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl von Webereien in unserem Marktumfeld übertragbar.</p>	
Schlagwörter: Webmaschine, Servotechnik, IM-Garne	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project-No.:
Report Title:	
Authors: Dr. Christopher Lenz, C. Cramer GmbH & CO. KG Ilona Dierschke und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	Start of project: 21.12.2017
	End of project: 30.04.2021
C. Cramer GmbH & Co. KG Eper Straße 45-47 48619 Heek	Publication Date: 30.04.2021
	N of Pages: 43
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
<p>Summary:</p> <p>C. Cramer GmbH & Co. KG is an established supplier of fabrics in the aviation industry. In the area of fabrics, the product portfolio includes areal weights between 55 and 2000 g/m² made of carbon, aramid and other common reinforcing fibers in fineness mostly between 22 and 1600 tex. The processing of thick IM yarns (> 12K) (= 12,000 filaments) in the weaving process was previously not possible on conventional weaving machines for the desired fabric constructions. Together with a development partner, Cramer was able to develop a solution on a prototype level, which was then converted into a large-scale process solution in this project. The aim of the project was to reduce the amount of scrap and waste generated in the manufacture of IM carbon fabrics by approx. 72% from previously 25% to 5%. Furthermore, the energy consumption should be reduced by 10% compared to the previous prototype process.</p> <p>The results of the project were determined using a measurement program that collected resource-relevant data in the existing prototype process and in the large-scale process.</p> <p>On the basis of an annual production volume of 18 t of fabric, it was possible to reduce the fabric waste by 94.9% corresponding to 4,303 kg / a and the energy consumption by 69.1% corresponding to 21,899 kWh / a, thus significantly exceeding the targets. A total of 69.995 t of CO₂ can be avoided.</p> <p>With the successful commissioning of the innovative weaving machine, the first large-scale use of this technology in the Federal Republic of Germany has been realized. The system concept can be transferred to the majority of weaving mills in our market environment.</p>	
Keywords: weaving machine, servo technology, IM yarns	

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1. Einleitung	7
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	7
1.2 Ausgangssituation	7
2. Vorhabensumsetzung	10
2.1 Ziel des Vorhabens.....	10
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	11
2.3 Umsetzung des Vorhabens	12
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	26
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	26
2.6 Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle	27
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	27
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	27
3.2 Stoff- und Energiebilanz	28
3.3 Umweltbilanz	34
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	34
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	36
4. Übertragbarkeit	36
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	36
4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit.....	37
5. Zusammenfassung/Summary	37
5.1 Zusammenfassung	37
5.2 Summary	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Webmaschine [www.wikiwand.com/de/Webmaschine].....	8
Abbildung 2: Unterschiedliche Ursachen für hohe Abfallmengen.....	9
Abbildung 3: Schaftprüfstand.....	18
Abbildung 4: Unterschiedliche Materialvarianten durch einfachen Artikelwechsel	25
Abbildung 5: Energieaufnahme Prototypmaschine.....	32
Abbildung 6: Energieaufnahme innovative Webmaschine.....	33
Abbildung 7: Amortisierung der Projektkosten.....	36
Abbildung 8: Amortisierung der Projektkosten.....	40
Figure 9: Amortisation of project costs	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umwelteffekte auf Jahresbasis	10
Tabelle 2: Projektplan	12
Tabelle 3: Produktionsmengen der drei Chargen im Überblick.....	27
Tabelle 4: Anzahl, kumulierte Länge, Fehlernummern der erfassten Fehler in den unbeschichteten Geweberollen	29
Tabelle 5: Erfasste Fehler in den beschichteten Chargen	30
Tabelle 6: Gegenüberstellung der ermittelten Abfallmengen Prototyp- und innovative Webmaschine	30
Tabelle 7: Zusammengefasste Abfallbilanz einer typischen Produktionsmenge von 3.800 lfm je Produktionsbatch	31
Tabelle 8: Erwartete und tatsächlich erreichte Materialströme und Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahme	34
Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Prototypmaschine versus Innovative Webmaschine.....	35
Tabelle 10: Erwartete und tatsächlich erreichte Materialströme und Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahme	39
Table 11: Exprected and gained material effects and energy consumption after realization of new machine concept	42

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

C. Cramer & Co. (CCC) gehört zu einer der ältesten deutschen Webereien für Industriegewebe. Innerhalb des Unternehmens wird die gesamte Prozesskette ausgehend vom Garn über die Webereivorbereitung, die Gewebe- und Gelegeherstellung sowie die Veredelung abgedeckt. Zusammen mit Engineered Cramer Composites (ECC) und unserer Tochterfirma Cramer Fabrics Incorporated (CFI) in den USA bietet unser familiengeführtes Unternehmen eine breite Produktpalette von mehr als 2.000 Produkten aus unterschiedlichen Einsatzmaterialien an. Seit mehr als sieben Jahrzehnten ist Cramer ein bekannter Innovationsführer sowie ein verlässlicher Partner in der Welt der High-Tech Textilien. Unsere maßgeschneiderten Lösungen werden in unterschiedlichen Branchen auf der ganzen Welt eingesetzt.

Das Kerngeschäft des Unternehmens wird vom Hauptstandort in Heek von derzeit 270 Mitarbeitern geführt. Daneben sind bei unserer amerikanischen Zweigstelle CFI weitere 45 Mitarbeiter beschäftigt.

Die Bedeutung der ECC-Produkte hat aufgrund der Anwendung in unterschiedlichen High-Tech-Branchen in den letzten Jahren einen immer größer werdenden Stellenwert in unserem Produktportfolio erlangt. Aufbauend auf der langen Erfahrung in der Herstellung von Produkten für den Faserverbundeleichtbau seit 1980 wurden im Hause Cramer zahlreiche Entwicklungen im Bereich Prozess- und Maschinenteknik zur Verarbeitung von Carbon-, Aramid- und anderen häufig im Leichtbau eingesetzter Fasern getätigt. Aufgrund der erreichten hohen Qualität unserer Produkte sind wir seit 1987 zertifizierter Zulieferer der Luftfahrtbranche. Dabei bieten wir Produkte auf Gewebe- und Gelegebasis an, die bei Bedarf auch mit unterschiedlichen Bindern oder Harzsystemen beschichtet werden können.

1.2 Ausgangssituation

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, ist Cramer bereits seit vielen Jahren etablierter Zulieferer von Geweben in der Luftfahrtbranche. Im Bereich der Gewebe umfasst unser Produktportfolio Flächengewichte zwischen 55 und 2000 g/m² aus Carbon, Aramid und anderen gängigen Verstärkungsfasern in Feinheiten zumeist zwischen 22 und 1600 tex.

Zwei wichtige Trends in der Leichtbaubranche waren in den letzten Jahren die Verwendung von sog. IM-Carbon-Fasern (IM = Intermediate Modulus) und die Anwendung thermoplastischer Matrixmaterialien. Die Vorzüge von thermoplastischen Matrixmaterialien stellen insbesondere die deutlich besseren Reparatur- und Recyclingmöglichkeiten sowie eine gute Schlagzähigkeit im Vergleich zu üblichen duroplastischen Matrizes dar. Carbonfasern vom IM-Typ zeichnen sich durch eine deutlich verbesserte Steifigkeit im Vergleich zu sonst eher üblichen sog. HT-Fasern (HT = High Tenacity) aus. Mit solchen Fasern lassen sich die Leichtbaupotentiale von faserverstärkten Kunststoffen noch besser ausschöpfen. Ursprünglich sollte die aus diesem Projekt resultierende Maschinenteknik für ein großes Luftfahrtprojekt eingesetzt werden, bei dem eine Kombination aus IM-Carbonfasern mit einer thermoplastischen Matrix zu Organoblechen weiterverarbeitet werden sollte. Aufgrund der derzeitigen Luftfahrtkrise wurde die laufende und bereits fast abgeschlossene Materialqualifikation jedoch im Dezember 2020 auf unbestimmte Zeit gestoppt. Den zuvor beschriebenen Branchentrends folgend haben sich jedoch

inzwischen bereits neue Projekte aufgetan, in denen die neue Technologie zum Einsatz kommen soll.

Bei IM-Carbonfasern sind insbesondere solche Typen hochinteressant, die in groben Titern $>12K$ (= 12.000 Filamente) angeboten werden, da diese neben den verbesserten mechanischen Eigenschaften auch einen verhältnismäßig zu den Eigenschaften günstigen Preis bieten. Typisch für IM-Fasern im Vergleich zu HT-Fasern ist ein deutlich feinerer Einzelfilament-Titer. Dies bedeutet insbesondere für grobe Garne eine deutlich schwierigere Verarbeitung, da feinere Einzelfilamente empfindlicher sind und die Garne somit eher zur Flusenbildung und Garnschädigung neigen. Die Verarbeitung von groben IM-Garnen ($>12K$) im Webprozess stellt somit eine sehr große Herausforderung dar und ist in der geforderten Gewebekonstruktion, insbesondere für die hohen Qualitätsansprüche der Luftfahrtbranche, auf konventionellen Webmaschinen nicht möglich.

Grundsätzlich besteht ein Gewebe aus zwei sich rechtwinklig verkreuzenden Fadensystemen, den Kett- und Schussfäden. Der prinzipielle Aufbau einer Maschine zur Gewebeerstellung ist in Abbildung 1 dargestellt.

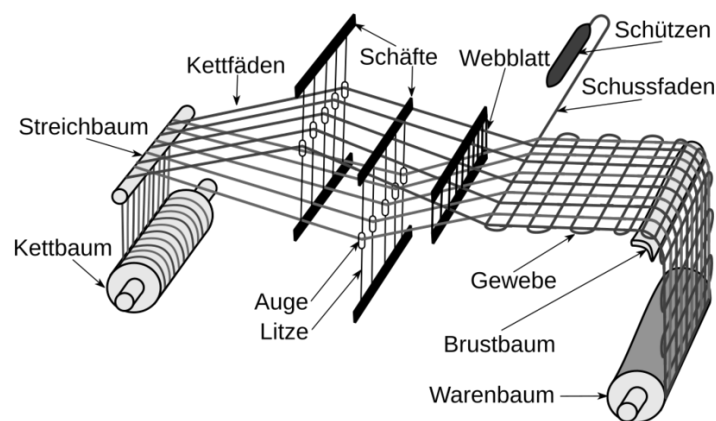


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau einer Webmaschine [www.wikiwand.com/de/Webmaschine]

Die Kettfäden werden von einem Gatter oder wie in der Abbildung dargestellt von einem Kettbaum in der benötigten Anzahl und Fadendichte zur Verfügung gestellt und verlaufen in Produktionsrichtung durch die Webmaschine. Der sog. Streichbaum lenkt die Kettfäden in die Webebene und dient gleichzeitig dem Spannungsausgleich während des Webprozesses. Mit Hilfe der Schäfte werden die in Weblitzen geführten Kettfäden in Gruppen auf- und abwärts bewegt um das sog. Webfach zu bilden, welches dem Schusseintrag dient. Zum Eintrag des Schussfadens stehen unterschiedliche Verfahren, wie das im Bild dargestellte Prinzip des Webschützens, zur Verfügung. Für Verstärkungsmaterialien, wie Carbonfasern, hat sich der Schusseintrag über Stangengreifer etabliert, da dieses Prinzip besonders fadenschonend und damit schädigungsarm arbeitet. Der eingetragene Schussfaden wird anschließend mit dem Webblatt an die Gewebekante angeschlagen, um die eingestellte Schussdichte zu erzielen. Das Gewebe wird schließlich über den Brustbaum abgezogen und auf dem Warenbaum aufgewickelt.

Die Verarbeitung von IM-Carbongarnen führt aufgrund der zuvor beschriebenen, speziellen Garncharakteristik und der hohen Ansprüche an die herzustellenden Gewebe zu zahlreichen Schwierigkeiten:

- Herstellung von Kettbäumen wegen hoher Schädigungsanfälligkeit der Garne nicht möglich. Daher Zuführung vom Gatter notwendig
- Schädigung und Verdrehen der Kettfäden in Litzen
- Schädigung der Kettfäden am Greifer infolge des fest vorgegebenen Fachschlusses
- Verklappungsfreier Schusseintrag mit konventionellen Systemen mit Überkopf-Abzug der Spule und beidseitigem Greifer nicht möglich
- Stauchung des Schussfadens durch Rietanschlag
- Generell sehr hohe Faserschädigung infolge nicht angepasster Fadenleitelemente

Aufgrund der genannten Schwierigkeiten ist eine Herstellung der gewünschten Gewebe auf konventioneller Webmaschinenteknik nicht möglich. Für die Verarbeitung bändchenförmiger Garne gibt es zwar grundsätzlich verfügbare Webmaschinenteknik am Markt, diese sind aber auf die Verarbeitung Kunststoff-ummantelter Bändchen ausgelegt. Eine Verarbeitung trockener Faserbändchen ist nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde bei der Firma Cramer ein eigener maschinentechnischer Ansatz entwickelt, um hochqualitative Gewebe aus groben IM-Carbongarnen herstellen zu können. Das entwickelte Konzept wurde in unserem Unternehmen in einem Maschinenprototyp basierend auf einer alten Stangengreiferwebmaschine umgesetzt. Dabei wurden zentrale Maschinenkomponenten wie Greifer, Schussschere und Fachbildung sowie Prozessabläufe speziell für die Verarbeitung von groben IM-Garnen angepasst. Die Ansteuerung der einzelnen Bewegungsabläufe und Funktionen erfolgte dabei im Wesentlichen über Exzenter, Kurvenscheiben und andere starre Getriebe sowie vereinzelt über pneumatische Aktorik.

Mit der Prototypenmaschine konnte bereits Gewebe aus groben IM-Garnen in den erforderlichen Gewebekonfigurationen produziert und damit das Grundprinzip validiert werden. Eine Produktion derartiger Gewebe im großtechnischen Maßstab ist jedoch bisher nicht möglich gewesen. Aufgrund der nicht ausgereiften Maschinentechnik und fehlenden Flexibilität in der Prozesseinstellung entstanden im Rahmen der Qualifikationsproduktionen nicht recycelbare Abfallmengen von ca. 25 %, welche sich zusammensetzen aus Abfall während der Gewebeproduktion (Kantenabfälle, fehlerhaftes Schussmaterial) und wegen unzureichender Qualität aussortierter Gewebe und mit Polymer beschichteter Ware, wie in Abbildung 2 dargestellt. Da die Maschine auf einer konventionellen Webmaschine basiert, verfügt die Anlage zudem über zahlreiche verbaute, aber nicht genutzte Komponenten, die für die Herstellung der angestrebten Produkte nicht erforderlich sind, was den Energieverbrauch der Maschine unnötig erhöht.

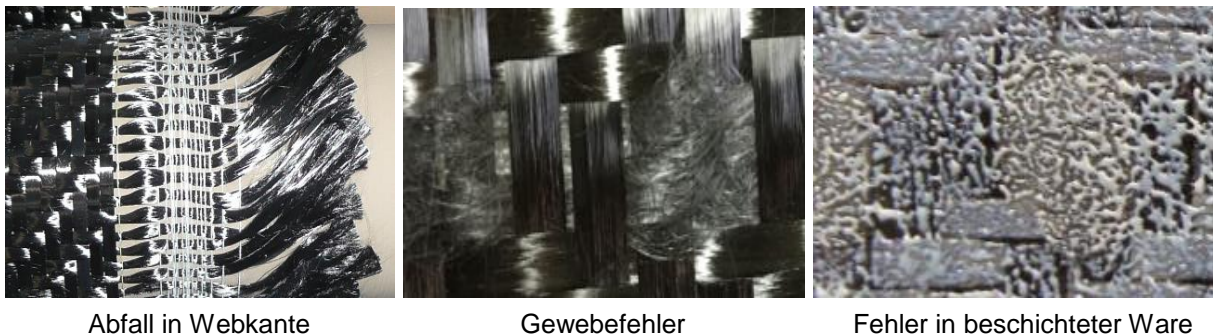


Abbildung 2: Unterschiedliche Ursachen für hohe Abfallmengen

Um die Produktion von IM-Carbongeweben in einen großtechnischen Maßstab zu überführen, wurde gemeinsam mit einem Projektpartner aus dem Bereich Sondermaschinenbau ein neues Maschinenkonzept erarbeitet, welches auf den bisherigen Erfahrungen mit dem bestehenden Maschinenprototyp basiert. Im Rahmen des Vorhabens sollte das entwickelte Maschinenkonzept konstruktionstechnisch ausgearbeitet, aufgebaut und in Betrieb genommen werden, um eine großtechnische Herstellung von Geweben aus groben IM-Carbongarnen zu ermöglichen.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die Reduzierung des bei der Herstellung von IM-Carbongeweben anfallenden Ausschuss- und Abfallanteils um ca. 72 % von bisher 25 % auf 5 %. Diese Reduzierung stellt insbesondere vor dem Hintergrund, dass Carbonabfälle nicht recycelbar sind, eine enorme umweltschutztechnische Verbesserung dar. Ferner sollte der Energieverbrauch bei der Gewebeerstellung durch Rationalisierung der Anlagentechnik um 10 % im Vergleich zum bisherigen Herstellungsprozess gesenkt werden.

Das neu entwickelte Konzept sollte eine deutlich bessere Einstellbarkeit der Prozessgrößen und damit die notwendige Flexibilität bei der Anpassung des Prozesses zur Verarbeitung der groben, hochsensiblen IM-Carbongarne bieten. Diese Flexibilität war insbesondere notwendig, da sich das Verarbeitungsverhalten von IM-Carbonfasern zwischen den unterschiedlichen Garnvarianten stark unterscheidet und damit immer wieder Prozessanpassungen an die jeweiligen Verarbeitungsbedingungen erforderlich sind.

Bei der ursprünglichen Konzipierung des Projekts sollte bei einer jährlichen Kapazität von geplanten 18.000 kg/a Gewebe im Jahr 2021 folgender Umweltnutzen im Vergleich zur bisherigen Prototypanlage realisiert werden, wobei eine Produktion auf konventioneller Webtechnik gar nicht erst möglich wäre:

Medium	Prototyp-Webmaschine	Innovative Webmaschine	Einsparung	Einsparung in %
Gewebeausschuss in kg/a	4.535 (davon 907 beschichtet)	1.270	3.265	72 %
Energie in kWh/a	31.680	28.512	3.168	10 %

Tabelle 1: Umwelteffekte auf Jahresbasis

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

In Zusammenarbeit mit dem Entwicklungspartner wurde im Vorfeld ein Konzept für eine neuartige Webmaschine entwickelt, welches die großtechnische Herstellung von Geweben aus groben IM-Carbontypen ermöglichen sollte. Durch den breiten Einsatz von Servomotoren zur Bewegung der einzelnen Maschinenkomponenten bietet das entwickelte Maschinenkonzept die notwendige Flexibilität hinsichtlich der Prozesseinstellung, um den Prozess exakt an die spezielle Garncharakteristik der unterschiedlichen IM-Garne anpassen zu können. Ferner wurde ein umfassendes Prozessüberwachungskonzept für einen weitgehend fehlerfreien Produktionsablauf implementiert, um insbesondere die Entstehung fehlerhafter Ware und somit von Ausschuss zu vermeiden.

AP 1: Umsetzung Schusszuführung

AP 1.1: Detailkonstruktion Schusszufuhr

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden aufbauend auf dem zuvor entwickelten Konzept die einzelnen Baugruppen des Schusslieferwerks auskonstruiert. Das Lieferwerk besteht dabei aus den wesentlichen Baugruppen

- Spulenabwicklung,
- Abzug,
- Speicher und dem
- Gesamtrahmen, der die Baugruppen miteinander verbindet.

Die Abwicklung setzt sich im Wesentlichen aus einer Spulenaufnahme, einem Antrieb sowie einem Getriebe zusammen. Im Rahmen der Konstruktion wurde eine passende Spulenaufnahme mit pneumatischer Spulenklemmung ausgewählt und eine passende Aufnahme zur Montage im Rahmen konstruiert. Basierend auf notwendigen Drehgeschwindigkeiten und Drehmomenten wurde ein geeigneter Antrieb mit Getriebe spezifiziert, für den ebenfalls eine Montageplatte konstruiert wurde. Der Abzug wiederum besteht aus einem Walzensystem. Hierzu wurde eine Montageplatte zur Integration der einzelnen Abzugswellen sowie Umlenkelemente für die Kraftübertragung konstruiert. Die Kraftübertragung wird mittels einer Kette realisiert, um eine synchrone Walzengeschwindigkeit zu gewährleisten.

Der Speicher dient der Zwischenspeicherung des Schussfadens für den Schusseintrag. Die Speicherung erfolgt über schwenkbare Arme, in denen der Faden über Rollen geführt wird. Zwischen den einzelnen Elementen des Lieferwerks wird der Faden über unterschiedliche Fadenleitelemente geführt und somit sichergestellt, dass der Faden im vorgesehenen Korridor verläuft.

AP 1.2: Durchführung von Einzelkomponententests

Dieses Arbeitspaket diente der Auswahl der Komponenten für die Detailkonstruktion. Dazu wurden insbesondere die Arme des Schlaufenspeichers prototypisch aufgebaut und der korrekte Lauf des Fadens überprüft. Für die Erprobung des Schlaufenspeichers wurde zunächst eine robuste Kordel verwendet, da der generelle Fadenlauf im Vordergrund stand. Eine wichtige Erkenntnis war, dass der Faden seitlich geführt werden muss, um ein Herablaufen von den Rollen zu vermeiden. Dazu wurden seitlich Stangen zur Fadenführung installiert. Auch wurden verschiedene Fadenleitelemente hinsichtlich der Prozesstauglichkeit zur Führung von Carbonsgarnen getestet. Dabei ergaben sich insbesondere Elemente aus Keramik als geeignet.

AP 1.3: Steuerungskonzept und Softwareerstellung

Wesentliche Aufgabe des Lieferwerks ist die Bereitstellung des Schussfadens unter absolut homogener Fadenspannung, wobei der diskontinuierliche Fadenabzug durch den Greifer kompensiert werden muss. Im Rahmen des APs wurden die dazu erforderlichen wesentlichen Stellgrößen (Antriebe) definiert sowie, an welchen Punkten im Prozess welche Prozessgrößen erfasst werden müssen. Für die Erfassung dieser Größen (Fadengeschwindigkeit, Fadenspannung, Abstände,..) wurden zudem geeignete Sensoren ausgewählt. Ferner wurden die benötigten Antriebe ausgelegt und ausgewählt. Zudem wurde eine Bedienoberfläche zur Einstellung und Bedienung des Schusslieferwerks programmiert.

AP 1.4: Beschaffung erforderlicher Zukaufteile

Innerhalb dieses APs wurden die zuvor ausgewählten Zukaufteile beschafft. Dies umfasst teils noch die konkrete Festlegung der zu beschaffenden Teile, die Lieferantenauswahl sowie die eigentliche Beschaffung.

AP 1.5: Teilefertigung

Neben der Beschaffung der Zukaufteile wurden zahlreiche Teile (z.B. Wellenaufnahmen, Maschinenwände, Wellen und andere Fräs- sowie Drehteile) direkt in den Werkstätten der Projektpartner gefertigt.

AP 1.6: Aufbau und Inbetriebnahme Schusszufuhr

Im Rahmen dieses APs wurde das neue Schusslieferwerk zusammengebaut. Dies umfasst die mechanische Montage sowie die elektronische Verschaltung der Komponenten.

Die Antriebstechnik sowie die Bedienoberfläche wurden dabei erst einzeln und im Zusammenspiel, allerdings ohne transportierten Faden getestet. Im Anschluss fanden weitere Tests mit tatsächlicher Lieferung eines Fadens aus Polyester statt, bevor schließlich auch die Förderung eines Carbongarns getestet wurde. Zur Simulation des Schusseintrags wurde eine angesteuerte Aufwicklung aufgebaut, die entsprechend des Greiferbewegungsprofils den Faden aus dem Lieferwerk abzieht. Dazu wurde das typische Bewegungsprofil des Greifers an der Prototypmaschine bei CCC aufgenommen.

Auf Basis der Erkenntnisse aus diesen Tests wurden zahlreiche Anpassungen hinsichtlich der Fadenführungselemente, Antriebswalzen, Steuerung der Antriebe und Überwachung der Prozessgrößen vorgenommen.

AP 1.7: Optimierungsarbeiten Schusszufuhr

Auf Basis der Erkenntnisse aus AP 1.6 wurden zahlreiche Verbesserungsansätze abgeleitet:

Mechanisch betrafen diese insbesondere die Oberflächen der fadenberührenden Elemente. So wurden unterschiedliche metallische und gummierte Oberflächen zum Fadentransport getestet sowie eine Erwärmung des Fadens über Heizstrahler. Mithilfe gummierter Wellen konnten aufgrund der höheren Reibung deutlich höhere Abzugkräfte realisiert werden. Auch kann die Gummierung leichte Spannungsunterschiede ausgleichen. Mittels Heizstrahler konnte zudem die Neigung zur Flusenbildung reduziert werden, da die Faserschicht durch die Wärme aufgeweicht wird und den Faden besser schützt. Zudem wurden unterschiedliche Sensoren zur Überwachung des Fadens erprobt, die eine spätere automatisierte Qualitätsüberwachung ermöglichen sollen. Zur Erprobung wurden die unterschiedlichen Sensoren zunächst in die Prototypmaschine bei CCC integriert und ein Konzept zur Signalanalyse entworfen. Dieses wurde anschließend in das Schusslieferwerk übertragen. Die wesentliche Herausforderung lag dabei in der störungsfreien Erkennung des Fadens durch den Sensor. Mit Hilfe der integrierten Sensorik können nun Fehlstellen im Garn erkannt und die Maschine abgestellt werden.

Es wurden weitere Verbesserungsmaßnahmen am Schusslieferwerk sowohl hinsichtlich der Steuerung als auch der Prozessführung vorgenommen. Hinsichtlich der Prozessführung wurden zusätzliche Fadenführungselemente (Stangen und Ösen) ergänzt, die sich hinsichtlich der Positionierung flexibel einstellen lassen. Auf diese Weise lässt sich der Fadenlauf weiter beruhigen und kontrollieren.

In Bezug auf die Steuerung wurden zunächst Sicherheitseinrichtungen implementiert. Dies umfasst zunächst Sensorik zur Erfassung unzulässiger Betriebszustände (z.B. zu große Auslenkung der Speicherarme des Lieferwerks). Über Positionssensoren werden solche Zustände erfasst und die Anlage gestoppt. Zudem wurden Lichtschranken im kritischen Bereich der drehenden Walzen installiert, um ein gefährliches Eingreifen in den Prozess zu überwachen (Personenschutz).

Hinsichtlich der Bedienung wurde ein Modus zum Anfahren neuer Spulen implementiert. Das Garn wird dazu beim Spulentauch zunächst auf eine andere Spule gewickelt, um den Betriebszustand zu erreichen. Im Anschluss kann dann der Schusseintrag in die Webmaschine erfolgen. Basierend auf den Erfahrungen während der Versuche wurde schließlich die Bedienoberfläche der Steuerung umstrukturiert. Dazu wurden die Einstellparameter Relevanz sortiert und in Ebenen sortiert, die jeweils für unterschiedliche Nutzergruppen zugänglich sind (Bediener/Meister). Im Zuge eines längeren Versuchs wurden zudem noch bestehende Programmfehler ermittelt und beseitigt.

Für den abschließenden Test des Schusslieferwerks an der Prototypmaschine bei CCC wurden schließlich noch die steuerungstechnischen Voraussetzungen an der Webmaschine geschaffen, die eine Verbindung der beiden Maschinen ermöglicht.

AP 1.8: Erstellung Dokumentation und Handbuch Lieferwerk

Im Rahmen des Arbeitspakets wurde ein Handbuch für das Schusslieferwerk verfasst. Das Handbuch umfasst eine Beschreibung des Aufbaus des Apparats sowie der steuerungstechnischen Ausstattung. Zudem wurden die Bedienung sowie die einzelnen

einstellbaren Parameter beschrieben. Daneben wurden die Wartung und die Sicherheitsbestimmungen erläutert. Schließlich wurden noch mögliche auftretende Fehler beschrieben und Fehlercodes aufgelistet, die bei der Fehlerbeseitigung unterstützen.

Schließlich gehörten die Konstruktionsmodelle und die daraus abgeleiteten, beschrifteten Fertigungszeichnungen sowie die Schaltpläne der Schaltschränke und Maschinenelektronik zur vollständigen Dokumentation der Arbeiten.

AP 2: Ausarbeitung der Webmaschinenkomponenten

AP 2.1 Detailkonstruktion der Webmaschine

Im Rahmen des AP2.1 wurden die einzelnen Baugruppen der Webmaschine sowie die Schnittstellen der einzelnen Komponenten im Detail auskonstruiert. Die Webmaschine ist dabei in die Baugruppen

- Kettlieferwerk,
- Fachbildeeinrichtung,
- Gewebetisch,
- Warenabzug und Warenaufwicklung sowie
- das Gesamtgestell unterteilt.

Das Kettlieferwerk besteht dabei aus einem System von Abzugswalzen, die die Kettfäden in in die Maschine transportieren. Die Walzen sind dabei kaskadiert angeordnet, um einen hohen Umschlingungswinkel bei kompaktem Bauraum zu ermöglichen. Zur Kompensation von Spannungsunterschieden wurden ein Tänzersystem konstruiert, so dass eine homogene Kettfadenspannung sichergestellt wird. Basierend auf den erforderlichen Drehzahlen und Antriebskräften wurden geeignete Antriebe mit passenden Planetengetrieben spezifiziert und ausgewählt. Für die Kraftübertragung auf die Walzen wurde ein Kettenantrieb ausgewählt, um einen synchronen Wellenlauf zu garantieren. Dazu passend wurde ein Kettenspanner zur Einstellung der Kettenspannung ausgewählt und in den Kettenlauf integriert.

Die Fachbildeeinrichtung ist an das Prinzip konventioneller Webmaschinen angelehnt. So werden konventionelle Schäfte verwendet, deren Führungen seitlich an der Maschinenwand befertigt werden. Abweichend von konventionellen Maschinen erfolgt der Schaftantrieb nicht über ein nur bedingt einstellbares Getriebe, sondern über Servomotoren. Zur Übertragung der Drehbewegung der Motoren auf eine rein vertikale Schaftbewegung wurde ein Stangengetriebe ausgelegt und konstruiert. Um den Bauraum einhalten zu können, sind die einzelnen Motoren beidseitig an der Webmaschine kaskadiert angeordnet.

Der Gewebetisch zum Schussanschlag wurde als Schlitten ausgeführt. Auf diese Weise wird die Fadenbelastung reduziert und damit die erzielbare Gewebequalität potentiell verbessert. Die Bewegung des Schlittens wird über ein Zahnriemengetriebe realisiert. Der Warenabzug ist als Anordnung mehrere Wellen ausgeführt, die über ein Kettengetriebe angetrieben werden. Die Warenaufwicklung ist als Zentrumswickler ausgeführt.

Innerhalb des APs wurden die Webgatter durch CCC in Zusammenarbeit mit dem Zulieferer ausgelegt und konstruiert. Das Webgatter ist der Baugruppe „Kettlieferwerk“ zuzuordnen und stellt die Fäden von der Spule zum Einlauf in das Kettlieferwerk bereit. Die Spulen sind dabei in 5 Ebenen übereinander beidseitig am Gatter angeordnet. Am Gatterausgang werden die Fäden

über ein Lochblech geführt. Die Einstellung der Kettfadendichte erfolgt dann über ein verstellbares Riet.

Ferner wurde ein Heizsystem für die Kettfadenzuführung konfiguriert. Dieses besteht aus zwei Heizstrahlermodulen mit Infrarotstrahlern. Über Strahlungs-pyrometer wird dabei die Temperatur der beiden Fadenscharen gemessen und die Leistung der Heizstrahler entsprechend der eingestellten Temperatur geregelt.

AP 2.2: Steuerungskonzept der Webmaschine

Im Rahmen dieses APs wurde das Konzept zur Ansteuerung der Antriebe erstellt. Im ersten Schritt wurden die benötigten Antriebe definiert. Im Anschluss wurde ein Konzept zum Bewegungsablauf, der benötigten Ein- und Ausgangsgrößen sowie deren Verknüpfung erstellt. Schließlich erfolgte die detaillierte Auslegung der einzelnen Teilkomponenten (Motoren, Getriebe, Leistungsteile, Sensoren,..).

Auf Basis des zuvor erstellten Konzepts wurden im weiteren Verlauf des Arbeitspakets die einzelnen Komponenten ausgelegt und konfiguriert. Im Einzelnen wurden die Antriebe für Kettfadenlieferwerk, Schaft und Greifer ausgelegt, die nachfolgend auch für die Tests genutzt wurden (AP 2.3). Alle Systeme werden mit separaten Servomotoren betrieben, wobei die Bewegungsübertragung beim Schaftantrieb über ein Planetengetriebe, beim Greifer über einen Riemen und beim Kettlieferwerk über eine Kette erfolgte.

Die Ansteuerung der Schaftbewegung erfolgt direkt anhand vorgegebener Bewegungskurven aus der Hauptsteuerung. Die Beschleunigungs- und Bremskurven der Auf- und Abbewegung der Schäfte lassen sich dabei anhand fester Stützpunkte und weiterer Parameter wie maximaler Beschleunigungs- und Ruckwerte flexibel steuern. Die Steuerung des Greifers erfolgte ebenfalls von der Hauptsteuerung aus. Auch beim Greifer lässt sich die Bewegungskurve des Greiferhubs frei parametrieren. Zudem können die Zeitpunkte zum Öffnen und Schließen des Greifers frei gewählt werden. So werden ausgesprochen große Freiheitsgrade für die spätere Einstellung des Webprozesses gewährt. Im Kettlieferwerk werden die Walzen wie oben erwähnt über eine Kette angetrieben. Die Abzugsgeschwindigkeit der Walzen wird dabei über die Position des Tänzers gesteuert. Zur Einstellung der Fadenspannung kann der Tänzer zusätzlich über Stellzylinder angesteuert werden. Die Regelung des Kettfadenlieferwerks läuft somit autark vom sonstigen Webprozess und wurde daher auch über eine eigene SPS realisiert.

AP2.3: Einzelkomponententests zu Webmaschinenkomponenten

Um erfolgsentscheidende Maschinenfunktionen vorab zu testen, zusätzlich aufkommende Problemstellungen zu ermitteln und entsprechend Lösungsansätze erarbeiten zu können, wurden einzelne, kritische Komponenten ausgewählt, an denen Tests stattfinden sollten. Definiert wurden

- das Kettlieferwerk,
- der Webgreifer sowie
- der Schaftantrieb.

Neben diesen, vorrangig beim Projektpartner gelaufenen Komponententests wurden weitere Webmaschinenkomponenten an der Prototypanlage bei CCC getestet. So wurde die neue Schussschere mit verschiedenen Garnmaterialien getestet, Verbesserungen abgeleitet (insbesondere hinsichtlich Fadenführungs- und Schneidelemente) und umgesetzt. Zudem wurde

ein breitenverstellbares Riet zur Einstellung der Fadenteilung am Maschineneinlauf umgesetzt und erprobt.

Zu den drei zuvor ausgewählten Komponenten Kettlieferwerk, Schaft und Greifer wurden im Rahmen des Pakets Prüfstände entworfen, um die Funktionsweise der erarbeiteten Konstruktionen zu überprüfen. Die Prüfstände wurden dabei in der Form ausgelegt, dass die wesentlichen Elemente in der späteren Webmaschine eingesetzt werden können. Nachfolgend ist der Prüfstand zur Erprobung des Schaftantriebs dargestellt.

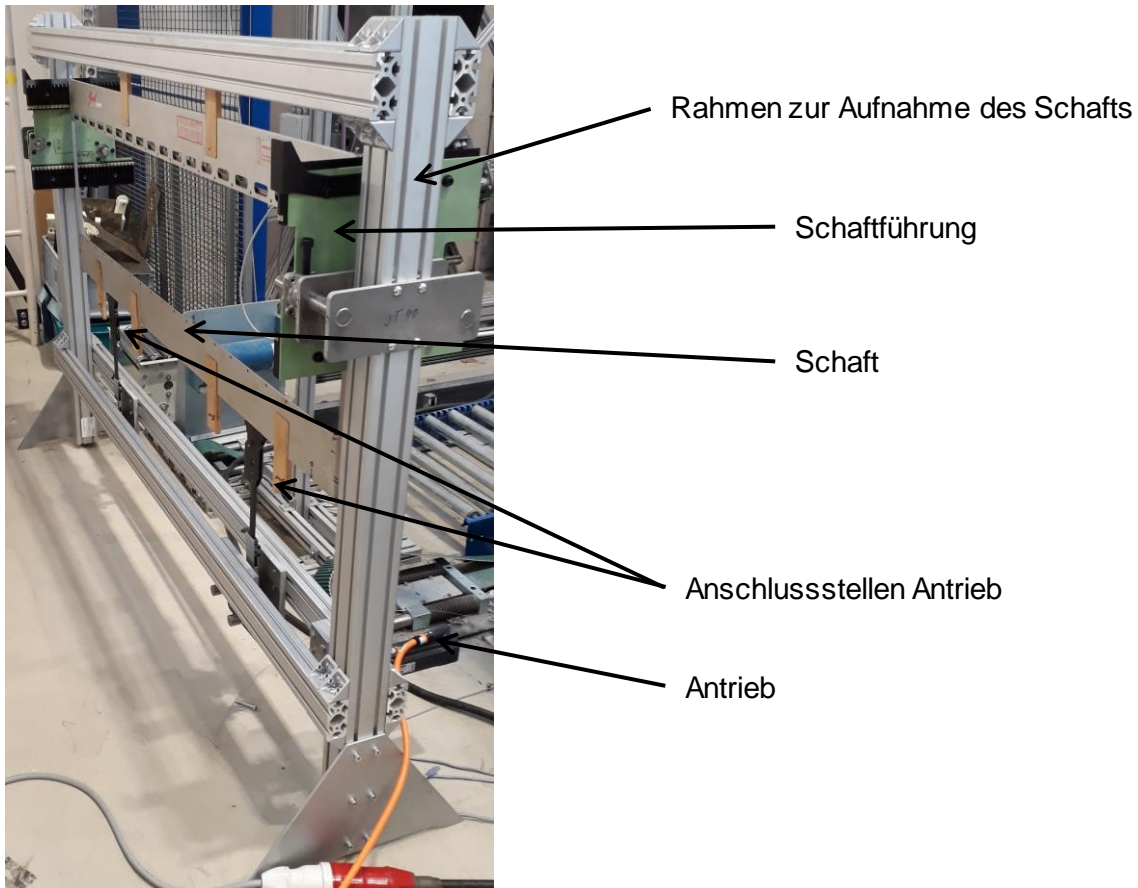


Abbildung 3: Schaftprüfstand

Für die Maschine sollten konventionelle Schäfte und Schaffführungen verwendet werden. Im Prüfstand wurden diese in einen Rahmen aus Konstruktionsprofilen integriert. Zur Realisierung der Bewegung treibt ein Servoantrieb ein Stangengetriebe an, das nach einem Hebelprinzip arbeitet. Der Schaft wurde dabei an zwei Punkten mit dem Gestänge verbunden.

Zur Erprobung des neuen Greifers wurde die Greiferstange inklusive der Führungen und des Antriebs aufgebaut. Die Greiferstange entsprach dabei exakt der später für die Webmaschine vorgesehenen Konstruktion. Greifer und Antrieb wurden für den Prüfstand an einer Platte befestigt. Die Bewegung des Greifers wurde über einen Zahnriemen übertragen. Das Öffnen und Schließen des Greifers lässt sich separat steuern.

Das Lieferwerk wurde für die Erprobung als eigenständiger Anlagenteil aus der Gesamtwebmaschine ausgegliedert und im finalen Konzept umgesetzt. Die Erprobung wird im Rahmen von AP 2.8 beschrieben.

AP 2.4: Beschaffung erforderlicher Zukaufteile

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die für die Umsetzung der Prüfstände erforderlichen Teile beschafft. Zu den Zukaufteilen gehören insbesondere Wellen, Konstruktionsprofile, Befestigungselemente, Normteile, Pneumatik-Komponenten und Antriebstechnik (Motoren, Getriebe, Zahnräder, Zugmittel). Mit den jeweiligen Lieferanten wurden die einzelnen Komponenten spezifiziert und beschafft.

AP 2.5: Teilefertigung

Neben den Zukaufteilen wurden bestimmte Maschinenkomponenten in den Schlossereien der Projektpartner gefertigt. Dazu zählen insbesondere die Seitenwände des Kettlieferwerks sowie diverse Befestigungselemente und Montageplatten.

AP 2.6: Implementierung Programmierung und Steuerung auf Maschine

Im Rahmen des Arbeitspakets wurde das in AP 2.2 erstellte Steuerungskonzept programmiertechnisch umgesetzt. Wie zuvor beschrieben, erfolgt die Steuerung des Kettlieferwerks über eine separate Steuerung. Die Fadenspannung der Kettfäden lässt sich danach individuell einstellen und wird über ein kleines Bedienpanel vorgegeben. Die Liefergeschwindigkeit der Walzen wird dann über die Position des Tänzers gesteuert, wodurch das System autark arbeitet.

AP 2.7: Aufbau und Inbetriebnahme der Webmaschinenkomponenten

Innerhalb des Arbeitspakets wurden die Prüfstände montiert und die elektronischen sowie pneumatischen Funktionen implementiert. Die aufgebauten Prüfstände sind in AP 2.4 beschrieben.

AP 2.8: Testbetrieb der Webmaschinenkomponenten

Zur Überprüfung der Funktionalität der Webmaschinenkomponenten wurden unterschiedliche Tests durchgeführt. Der Greifer wurde zunächst entsprechend vorgegebener Wegfunktionen verfahren und die Positionsgenauigkeit überprüft. Zur Überprüfung der Greif-Funktion wurde ein Stück Faden am Ende des Hubwegs geklemmt vorgelegt. Der Greifer hatte dann die Aufgabe, dieses Fadenstück am Ende der Hubbewegung zu greifen und mitzunehmen. Die Verfahrensgeschwindigkeit betrug dabei der später zu fahrenden Zykluszeit. Nach iterativer Anpassung der Öffnungs- und Schließzeiten des Greiferkopfs konnte dieser Test erfolgreich bewältigt werden.

Zur Erprobung des Schaftantriebs wurde der aufgebaute Prüfstand für eine Dauer von 3 h betrieben und kontrolliert, ob sich das Schwingungsverhalten ändert, Abrieb entsteht, hörbare Unregelmäßigkeiten auftreten oder sonstige Auffälligkeiten entstehen. Zusätzlich wurden die Wegkurven des Schafts geändert. Auch dieser Test konnte ohne Auffälligkeiten bewältigt werden.

Das Kettfadenlieferwerk wurde hinsichtlich der Funktionalität überprüft, indem insgesamt 10 Glasfäden von Spulen abgezogen und durch das Lieferwerk transportiert wurden. Dabei kam es insbesondere darauf an, ob die Walzen genügend Reibung für den Fadentransport aufbringen, ob die Fäden alle gleichmäßig transportiert werden und ob der Tänzer agil genug zum Ausgleich der Fadenspannungsschwankungen reagiert. Daher wurde neben einem kontinuierlichen

Fadentransport auch eine Förderung mit wechselnder Geschwindigkeit simuliert. Die Agilität des Tänzers wurde zusätzlich durch manuelles Ziehen an der Fadenschar überprüft, weil dabei Unstetigkeiten in der Fadenspannung besonders gut spürbar sind. Auch die Tests am Kettfadenlieferwerk konnten am Ende erfolgreich absolviert werden.

AP 2.9: Umsetzung erkannter Optimierungspotentiale

Im Rahmen des Arbeitspakets erfolgte die Umsetzung während der Funktionstests ermittelter Verbesserungspotentiale. Beim Greifer wurden zum einen die Greiferflächen zum Packen des Fadens modifiziert, um die Greifkraft bzw. die Reibung im Greifer zu erhöhen. Dazu wurden unterschiedliche Oberflächen hinsichtlich Rauheit und Geometrie betrachtet. Insbesondere verzahnte Oberflächen haben hier sehr gute Ergebnisse erzielt. Ferner wurde gegen den Durchhang des Greifers beim Schusseintrag ein Stützelement auf der anderen Seite der Greiferbewegung nachgerüstet. Zur verbesserten Positionierung bei der Fadenübergabe wurde zudem ein Positionierelement konstruiert und an der Gegenseite angebracht. Zudem wurde die Dynamik der Greifbewegung durch zusätzliche Federn verbessert.

Beim Schaftgetriebe wurde eine zusätzliche Führung zur Sicherstellung der vertikalen Bewegung installiert. Zudem wurde die Steuerung erweitert, um höhere Freiheitsgrade bei der Gestaltung von Bewegungsprofilen zu haben. So kann damit eine weitestgehend freie Auslegung der Kurven hinsichtlich Standzeiten, Geschwindigkeiten sowie Beschleunigungen in den Umkehrpunkten erfolgen. Schließlich wurde noch die Erhöhung der Leistung des Schaftantriebes erwogen, um weitere Spielräume bei der Dynamik zu erhalten. Aufgrund der anfallenden Kosten und einer nicht sichergestellten eintretenden Verbesserung wurde dieser Ansatz jedoch wieder verworfen.

Beim Kettfadenlieferwerk wurde zunächst die Führung der Tänzer verbessert, um einen leichteren Lauf und somit eine höhere Agilität zu erzielen. Zudem wurden Heizstrahler am Fadeneinlauf ergänzt, um die Flusenbildung zu reduzieren.

AP 2.10: Beurteilung des Funktionalitäts- und Leistungspotentiales

Die Tests zur Beurteilung der Funktionalität wurden bereits weitestgehend im vorherigen Abschnitt im Rahmen der Beschreibung der Tätigkeiten in AP 2.8 beschrieben. Darüber hinaus wurde das Kettfadenlieferwerk noch tiefergehend getestet. Dazu wurde das Lieferwerk hinter der bestehenden Prototypmaschine bei CCC installiert. Bei diesen Tests wurden zunächst einzelne Carbonfäden, später eine gesamte Fadenschar über das Kettfadenlieferwerk zur Webmaschine gefördert. Um die korrekte Arbeitsweise des Tänzers zum Ausgleich der Fadenspannungsschwankungen infolge der Fachbewegung zu erproben, wurde der Webprozess bei unterschiedlichen Prozessbedingungen (Fadenspannungen, Geschwindigkeiten, Einlaufgeometrien) analysiert und auftretenden Fadenspannungsunterschiede sowie Ungleichmäßigkeiten im Fadenverlauf beobachtet. Nach einigen erprobten Parametersets konnte die korrekte Arbeitsweise des Tänzers gezeigt und damit eine wichtige Funktion des Lieferwerks gezeigt werden.

Da das Kettfadenlieferwerk in der beschriebenen Version auch im späteren Projektverlauf an der neuen Webmaschine eingesetzt wurde, sind die hier beschriebenen Arbeiten gleichzeitig der Inbetriebnahme (AP3.7) zuzuordnen.

AP 3: Großtechnische Umsetzung der Webmaschine

AP 3.1: Realisierung noch nicht in AP 2 realisierter Teilfunktionen

Nach der erfolgreichen Erprobung der zentralen Teilfunktionen der Webmaschine in AP 2 erfolgte im weiteren Verlauf die Auskonstruktion der restlichen Maschine. Dies umfasste:

- Anschlagvorrichtung inklusive Antriebe
- Aufnahme Schaftpaket
- Abzugswellen
- Integration Greifarm
- Warenaufwicklung
- Diverse Umlenkwalzen
- Integration Peripheriegeräte
 - o Schussschere
 - o Sensorik
 - o Überwachung
- Seitenwände, Querverbinder, FüÙe

Bei der Konstruktion wurde neben den Grundvoraussetzungen wie mechanischer Stabilität und Montierbarkeit auch eine möglichst gute Zugänglichkeit zur Ware und zum Austausch kritischer Bauteile berücksichtigt.

Auf Basis der Konstruktion erfolgten die detaillierte Spezifizierung der unterschiedlichen Zukaufteile (Profile, Verbindungselemente, Antriebselemente, Riemen, etc.) sowie die Erstellung von Fertigungszeichnungen für die speziell anzufertigenden Teile. Die Herstellung der Dreh-, Wasserstrahl- und Frästeile erfolgte soweit möglich in den Werkstätten der Projektpartner, andere Teile wurden extern gefertigt, insbesondere Teile mit besonders hohen Ansprüchen an die Fertigungsgenauigkeit.

Zudem wurde auf Basis der zuvor erstellten Steuerungsbausteine der bereits realisierten Maschinenkomponenten die Gesamtsteuerung der Maschine aufgesetzt. Der prinzipielle Prozessablauf folgt dabei einer Ereignischronologie, wobei die Zeitpunkte einzelnen Ereignisse sowie weitere Parameter wie Beschleunigungen, Haltezeiten etc. frei programmierbar sind. Diese Freiheitsgrade werden durch die komplett servomotorische Umsetzung der Maschinenantriebe ermöglicht. Die Gesamtabfolge der einzelnen Ereignisse ergibt dann die Gesamtzykluszeit, die wiederum der Nenn-Maschinengeschwindigkeit entspricht, die üblicherweise in „1/min“ angegeben wird.

Die für den Prozess relevanten Parameter wurden ausgewählt und nach Gruppen sortiert. Die Parametrierung der einzelnen Abläufe ist zur übersichtlichen Einstellbarkeit nach den wesentlichen Baugruppen und Maschinenkomponenten unterteilt, wie dies bei Webmaschinen üblich ist.

Basierend auf dem bestehenden Maschinenkonzept, der zu erreichenden Geschwindigkeiten und Kräfte wurden zudem die weiter benötigten Antriebe ausgelegt, spezifiziert und bestellt. Im Einzelnen sind das die Antriebe für:

- Anschlagbewegung
- Warenabzug
- Waren-Aufwicklung
- Duplizierung der bestehenden Schaftantriebs-Lösung

Es erfolgte die programmiertechnische Umsetzung der Maschinensteuerung. Dabei waren insbesondere die Signalflüsse innerhalb der Steuerung sowie die damit verbundene Reaktion der einzelnen Aktoren zu gestalten. Die detaillierte Ausarbeitung und Anpassung der Vielzahl der Einstellgrößen erfolgte dann im Rahmen der Inbetriebnahme.

AP 3.2: Vollständiger Aufbau und Inbetriebnahme der Webmaschine (extern)

Im Rahmen des Arbeitspakets erfolgte die Montage und Inbetriebnahme der Gesamtmaschine beim Projektpartner. Die Maschine wurde zunächst ohne Kettfadenlieferwerk und Kettfaden-Gatter in Betrieb genommen, um die Prozess-Komplexität zu reduzieren und den Platzbedarf ebenfalls einzuschränken. Zur Zuführung der Kettfäden wurde zunächst ein simples Gatter genutzt, von dem die Fäden passiv ablaufen können. Für den Spannungsausgleich wurde ein provisorischer Tänzer konzipiert, der auf den Fäden aufliegt.

Es wurden die noch fehlenden zugekauften Komponenten installiert, die elektronischen Komponenten angeschlossen und der Schaltschrank aufgebaut. Im Anschluss konnte dann die Erprobung der Aktorik sowie die Einstellung der Bewegungsabläufe erfolgen.

AP 3.3: Inbetriebnahme, Test und Optimierungen (extern)

Die aufgebaute Webmaschine wurde zunächst beim Projektpartner in Betrieb genommen. Zunächst wurden die einzelnen pneumatischen sowie elektrischen Funktionen einzeln getestet. Dabei wurden insbesondere die Bewegungsparameter der einzelnen Antriebe (Beschleunigungen, Ruck, Start- und Stoppositionen) so angepasst, dass die sich ergebenden Bewegungsabläufe den angestrebten Charakteristika entsprachen. Im Anschluss erfolgte die Erprobung des Gesamtprozessablaufes als Abfolge der Einzelschritte. Dies erfolgte zunächst ohne eingezogene Fäden. Auf Basis der Erkenntnisse wurden unmittelbar erste Optimierungsarbeiten durchgeführt. So wurde die Überwachung bestimmter Ereignisse zum Start der nachfolgenden Ereignisse implementiert, um Kollisionen der Maschinenteile zu vermeiden. So wurde z.B. der Start der Greiferbewegung an die Erreichung einer vorgegebenen Position der Schäfte gekoppelt. Zudem wurde eine parametrierbare Verschleifung einzelner Prozessschritte umgesetzt, um den Prozessablauf zu beschleunigen. Beispielsweise wurde der Fachschluss so mit der Greiferbewegung verschleift, dass das Fach bereits schließen kann, bevor der Greifer vollständig aus dem Fach gefahren ist.

Daneben wurden im Rahmen des APs Optimierungsmaßnahmen auf Basis der Erkenntnisse aus AP 3.8 (Probetrieb) umgesetzt.

AP 3.4: Einführung von Cramer-Mitarbeitern in die Maschinenbedienung

Die Einführung der Mitarbeiter von Cramer in die neue Maschinenteknik erfolgte permanent über die Projektlaufzeit. So wurden zahlreiche gemeinsame Versuchstage eingelegt, wo Mitarbeiter von Cramer die Versuche beim Projektpartner begleitet haben. Auch bei der Gestaltung der Bedienoberflächen wurden die späteren Anlagenbetreuer von vorneherein eingebunden und deren Bedürfnisse berücksichtigt. Die Inbetriebnahme der Anlage wurde dann komplett von Mitarbeitern von Cramer begleitet, so dass im Rahmen dessen auch die finale Einführung in die Gesamtanlagentechnik erfolgte. Zudem wurde der Probetrieb bei Cramer wiederum von Mitarbeitern des Projektpartners begleitet, so dass das Wissen hier nochmal vertieft und aufgekommene Fragen geklärt werden konnten.

AP 3.5: Testbetrieb möglichst unter Realbedingungen (extern)

Nach erfolgreicher Erprobung der Abläufe in AP 3.3 wurden Fäden zur weiteren Erprobung des Webablaufes eingezogen. Die Kettfäden wurden dabei wie zuvor erwähnt von einem simplen mechanischen Gatter ohne einstellbare Bremsung der Fäden geliefert. Auch musste die Schusszuführung zunächst mit deutlich reduzierter Geschwindigkeit erprobt werden, da das Schusslieferwerk bereits bei C. Cramer in der Erprobung war. Dennoch dienten diese ersten Versuche mit eingezogenen Fadenmaterial der weiteren Einstellung und Erprobung der Anlage. So ließen sich insbesondere die Fachgeometrie und Fachbewegung, sowie die Zeitpunkte für die Greiferbewegungen, die Fadenübergabe und den Gewebeabzug weiter verfeinern. Die Tests lieferten zudem den Nachweis, dass sich mit der neuen Maschinenteknologie grundsätzlich Gewebe erzeugen lassen und z.B. keine Verschiebungen im Warenabzug entstehen. Die weitere Einstellung des Prozesses erfolgte bei C. Cramer im Rahmen der nachfolgenden APs.

AP 3.6: Transfer der Maschine nach C. Cramer (intern)

Nach Abschluss des Probetriebs beim Projektpartner wurde die Maschine für den Versand vorbereitet. Dazu wurden abstehende Anbauteile wie die Signalleuchte und das Bedienpanel demontiert und bewegliche Komponenten temporär befestigt. Die Antriebe wurden abgeklemmt und der Schaltschrank vollständig von der Maschine getrennt. Sorgfältig verpackt erfolgte der Transport der Anlage nach Heek zum Werk von C. Cramer.

Vor Ort wurden die einzelnen Maschinenkomponenten wieder montiert und verkabelt. Beim Wiederaufbau war insbesondere die exakte Ausrichtung der einzelnen Aggregate zueinander äußerst wichtig, um später einen sauberen Maschinenlauf zu gewährleisten. Bei Cramer wurden dann auch erstmals Schuss- sowie Kettlieferwerk, Gatter und Webmaschine in Ihrer Gesamtheit aufgebaut und miteinander verbunden.

AP 3.7: Inbetriebnahme der Webmaschine vor Ort (intern)

Für die Inbetriebnahme mussten die unterschiedlichen Maschinenkomponenten zunächst zueinander ausgerichtet und verbunden werden. Neben der mechanischen Verbindung wurden auch die elektronischen Signalverbindungen aufgesetzt, damit die Maschinen die für den Betrieb erforderlichen Lauf- und Störsignale austauschen können. Zudem wurden die Not-Aus-Kreise der einzelnen Maschinenkomponenten miteinander verschleift.

Daneben mussten die für den Betrieb erforderlichen Versorgungsleitungen (Strom und Luft) gelegt werden. Da die gesamte Maschinenverkabelung bei der Erst-Inbetriebnahme noch

provisorisch verlegt war, wurden bei Cramer zudem eine geordnete Verkabelung der Antriebe und Sensoren über Kabelschächten realisiert.

Nachdem die korrekte Übermittlung aller Signale überprüft wurde, erfolgte die weitere Inbetriebnahme in Form der Erprobung der Bewegungsabläufe. Dazu wurde der Webzyklus ohne eingezogene Fäden durchgefahen und nach und nach die einzelnen Feineinstellungen wie Fachbewegung, Greiferkurve, Warenabzug, Schusszuführung etc. vorgenommen. Die Überprüfung der einzelnen Bewegungen erfolgte zunächst im langsamen Handbetrieb und anschließend im automatischen Ablauf.

AP 3.8: Probetrieb

Nach erfolgreicher Erprobung der Maschinenabläufe ohne eingezogene Fäden im Rahmen von AP 3.7 wurde im Anschluss der Probetrieb mit Carbonfäden durchgeföhrt. Zunächst wurden nur einzelne Fäden in Kettrichtung eingezogen und durch die Maschine bis zur Aufwicklung gefahren. Dies diente insbesondere der Einstellung einer geeigneten Fadenspannung, die einen stabilen Fadentransport unter Berücksichtigung der Fadenschädigung ermöglicht. Nach und nach wurde die Anzahl der Kettfäden bis zu einer Breite von 100 cm erhöht. Nachdem eine homogene Fadenspannung über die Breite eingestellt werden konnte, wurde auch die Greiferbewegung in Interaktion mit den Kettfäden eingeschaltet und feinjustiert (Greiferposition, Hubbewegung) um sicherzustellen, dass der Greifer die Kettfäden nicht beschädigt.

Nachdem der Ablauf der Maschine auf diese Weise erfolgreich erprobt wurde, erfolgte die Einstellung der Schusszuführung. Hier musste insbesondere die Fadenübernahme (Greifer- und Fadenposition, Zeitpunkte zum Öffnen und Schließen des Greifers) sehr sorgfältig eingestellt werden. Nach ersten umsichtigen Erprobungen in langsamer Geschwindigkeit, wurde der Zyklus stetig beschleunigt, wobei stets der störungsfreie Fadenlauf und eine geringe Faserschädigung sichergestellt wurden. Auf diese Weise wurden dann die ersten Gewebemuster auf der neuen Anlagentechnik bei Cramer hergestellt. Nach und nach wurden die einzelnen Prozessparameter angepasst, um einen möglichst ruhigen Maschinenlauf zu erzielen. Mithilfe des eingestellten Prozesses wurden dann erste Gewebemuster gefertigt. Dabei wurde auch die Möglichkeit zum einfachen Artikelwechsel erprobt, was durch die komplett elektronische Ansteuerung der Maschinenabläufe ermöglicht wird. So sind Artikelwechsel hinsichtlich der Bindung binnen weniger Minuten möglich. In Abbildung 4 sind unterschiedliche Bindungsvarianten im Warenabzug dargestellt, die durch einfache Umstellung der Artikeldaten hergestellt werden können.

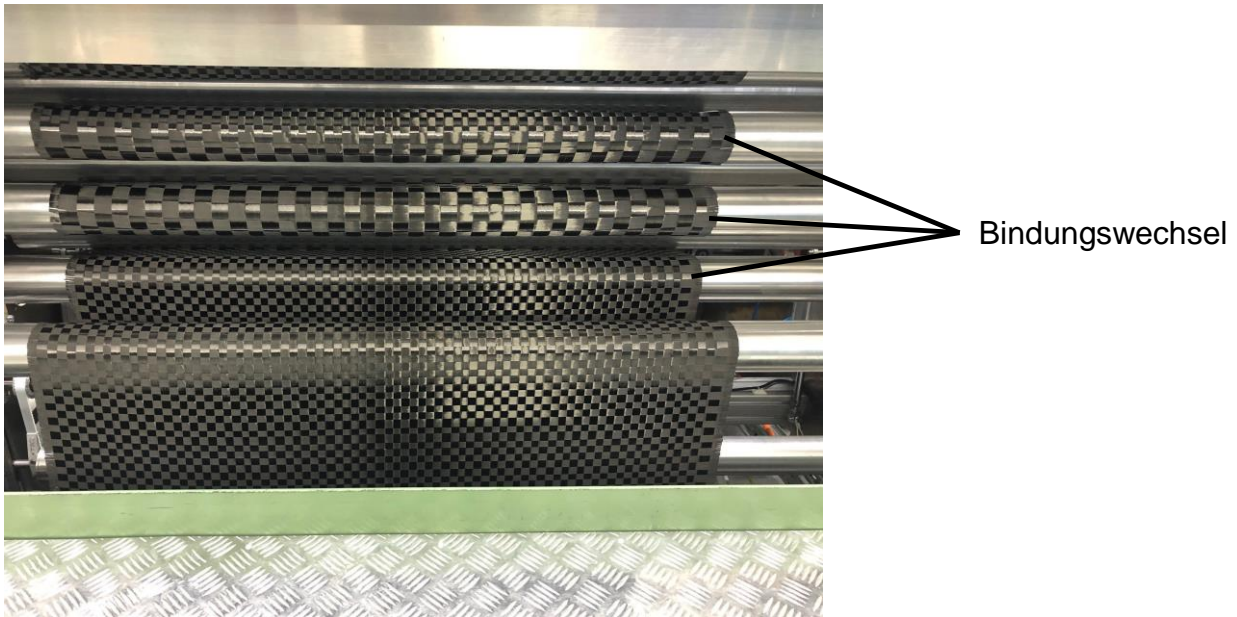


Abbildung 4: Unterschiedliche Materialvarianten durch einfachen Artikelwechsel

Ferner wurde das Überwachungskonzept zur Sicherstellung einer hohen Gewebequalität erprobt. Die unterschiedlichen Sensoren überwachen dabei die korrekten Abläufe in den Maschinenbewegungen und Positionen der kritischen Elemente (z.B. Speicherelemente). Zudem werden potentielle Fehler wie Garnfehler oder Wicklerbildung durch Sensoren überwacht.

AP 3.9: Erstellung Maschinendokumentation, Handbuch, CE

Im Rahmen des Arbeitspakets erfolgte die Erstellung der Maschinendokumentation in Form der Konstruktionsmodelle, abgeleiteter Fertigungszeichnungen sowie Schaltplänen. Zudem wurde vom Projektpartner ein Handbuch geschrieben, indem die unterschiedlichen Funktionalitäten der Maschine sowie die Einstellmöglichkeiten beschrieben sind. Die Einstellungen der Maschine umfassen dabei sowohl die mechanische Einstellung der Maschinenteile als auch die Software hinsichtlich der Prozessparameter.

Für die sicherheitstechnische Abnahme wurde zudem gemeinsam mit dem zuständigen Dienstleister in Sachen Betriebssicherheit eine Begehung der Anlage durchgeführt. Basierend darauf wurden erforderliche Maßnahmen für die CE-Kennzeichnung festgelegt. So wurden an kritischen Stellen beispielsweise Bleche als Eingriffsschutz für bewegte Teile montiert sowie eine Lichtschranke nachgerüstet, die vor unbeabsichtigten Eingriffen in die Anschlagvorrichtung schützt.

AP 3.10: Dauerbetrieb und Erfolgskontrolle

Nachdem in Rahmen von AP 3.8 die Anlage soweit eingestellt wurde, dass eine Gewebeproduktion möglich war, erfolgte die weitere Erprobung im Dauerbetrieb. Im Zuge des Dauerbetriebs der wurden dann die Daten für die Erfolgskontrolle ermittelt, die in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben wird. Zudem erfolgten auf Basis der Erfahrungen in der Gewebeerstellung weitere Feinjustierungen an der Prozesstechnik.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Neben der CE-Kennzeichnung sind keine weiteren Genehmigungen zum Betrieb der Anlage erforderlich.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Für die Erfolgskontrolle wurden unterschiedliche Faktoren als Bewertungsgrundlage herangezogen. So wurden zum einen die bei der Produktion anfallenden Abfallmengen erfasst und mit den zuvor ermittelten Werten für die Prototypanlage verglichen. Zudem wurden der Energieverbrauch beim Betrieb der Anlage gemessen und ins Verhältnis zur Prototypanlage gesetzt.

Bei den Abfallmengen wurden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Kantenabfälle
- Abfall beim Ein- und Abrüsten der Anlage
- Qualitätsbedingter Gewebeausschuss gemäß internem Gewebefehlerkatalog

Die Kantenabfälle lassen sich über simple Messung der abgeschnittenen Schussfadenenden an den Gewebekanten erfassen. Der Abfall beim Ein- und Abrüsten der Anlage wurde für drei Produktionsläufe jeweils gesammelt und gewogen. Zur Erfassung des Ausschusses wurden die produzierten Gewebe sowohl im rohen (unbeschichteten) Zustand als auch nach der Beschichtung einer Qualitätskontrolle unterzogen. Dabei werden enthaltene Gewebefehler klassifiziert und in Form von Fehlerlandkarten dokumentiert. Diese beinhalten dann eine Auflistung über die Anzahl, Art und geometrische Ausprägung der Fehler.

Für die Erfassung der Energieverbräuche verfügt die Firma Cramer über ein globales Energiemanagementsystem, das den Stromverbrauch an einer Vielzahl von Messpunkten über den gesamten Betrieb erfasst. Sowohl die Prototypmaschine als auch die neue Anlage verfügen jeweils über einen eigenen Messpunkt, so dass die Energieverbräuche exakt erfasst werden konnten. Für die Gegenüberstellung wurde der Energieverbrauch der beiden Anlagen jeweils über einen definierten Zeitraum von einer Produktionswoche aufgezeichnet. Diese Werte können dann ins Verhältnis zur produzierten Gewebemenge gesetzt werden, woraus sich der spezifische Energiebedarf der Anlagen ergibt.

2.6 Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle

Wie in vorangegangenen Kapiteln erwähnt, ist das ursprünglich für die Verwertung der Projektergebnisse einplante Luftfahrtprojekt aufgrund der anhaltenden Luftfahrtkrise auf unbestimmte Zeit gestoppt worden. Da sich im Laufe der Projektlaufzeit aber auch andere Absatzmöglichkeiten für Produkte ergeben haben, die sich mit der neuen Maschinentechologie fertigen lassen, wurde die Erfolgskontrolle anhand einer abgewandelten Gewebekonstruktion durchgeführt. Die betrachtete Gewebekonstruktion hat ein Flächengewicht von knapp 200 g/m², als Faser kommt ein IM-Carbongarn mit 12K von der Firma Toray Carbon Fibers Europe zum Einsatz. Das Gewebe wurde mit einer Leinwand 1/1 Bindung und einer Breite von 127 cm gewebt. Für die Erfolgskontrolle wurden drei Produktionslots des Materials in jeweils ansteigenden Mengen produziert, insgesamt ca. 4000 m². Ungefähr 1100 m² wurde nach dem Weben zusätzlich noch mit einem Epoxy-Pulverbinder beschichtet. Nachfolgend sind die entsprechenden Produktionsmengen der einzelnen Chargen aufgelistet.

Produktionslot	Breite [cm]	Produktionsmenge [lfm]	Produktionsmenge [m ²]	Davon beschichtet [m ²]
07200169	127	318	404	0
02045504	127	535	679	390
02045983	127	2.203	2.798	754
GESAMT		3.056	3.881	1.144

Tabelle 3: Produktionsmengen der drei Chargen im Überblick

Die produzierten Geweberollen (unbeschichtet und beschichtet) wurden abschließend einer Warenschau zur Erfassung der enthaltenen Gewebedefekte unterzogen. Auf Basis dessen ließ sich im nachfolgenden Schritt der entstehende Gewebeausschuss ermitteln und mit der erzielten Güte mit dem Prototypverfahren vergleichen. Zudem wurde beispielhaft für einen Auftrag der entstehende Abfall beim An- und Abfahren der Anlage ermittelt. Dazu wurden die anfallen Garn- und Gewebeabfälle gesammelt und gewogen. Schließlich wurde der entstehende Kantenabfall erfasst, der durch den überstehenden Schussfaden an den Gewebekanten entsteht. Hierzu muss die Länge der jeweils links und rechts abgeschnittenen Schussfadenenden gemessen werden. Da diese Längen konstant sind, lässt sich so ganz simpel der entstehende Kantenabfall für eine beliebige Produktionsmenge hochrechnen.

Als letzte Bewertungsgröße wurde die Energieaufnahme der Prototypanlage mit der neuen Anlage verglichen. Dazu wurde der Energieverbrauch über einen definierten Zeitraum von 3 bzw. 5 Tagen gemessen und ins Verhältnis zur produzierten Gewebemenge gesetzt, um einen spezifischen Energieverbrauch zu ermitteln.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Bei der Realisierung des Schusslieferwerks traten folgende Problemstellungen auf:

- Realisierung einer stabilen Regelung zur kontinuierlichen Nachlieferung des Fadens von der Spule trotz diskontinuierlichem Fadenabzug (Problem durch Nachbesserungen an der Regelung und zusätzliche Sensoren z.B. zur Durchmesserüberwachung der Spule gelöst)
- Erzielung eines abgesicherten Prozesses zur Vermeidung von ungewünschten Betriebszuständen (Problem durch Ergänzung von Überwachungsfunktionen mit zugehörigen Sensoren gelöst)
- Hoher Faserabrieb bei Verarbeitung von Carbon. Problem verursacht durch nicht optimale Oberflächen, Geometrien und Anordnungen von Fadenleitelementen und sonstigen Komponenten, die den Fadenlauf bestimmen (Problem zum Teil gelöst durch Modifizierungen der Oberflächen (verschiedenen Gummierungen, Verchromungen der Oberflächen))
- Realisierung einer gesicherten Fadenführung ohne Anlaufen des Fadens am Rand von Fadenleitelementen und damit einhergehenden Schädigungen oder Prozessstörungen (Problem gelöst durch Variation von Fadenleitelementen).
- Zu geringe Fadenspannung → Nachrüsten stärkerer Zylinder
- Unzulässige Systemzustände und damit verbundene Abschaltungen → Debugging der Programmstruktur
- Schusslieferwerk Inbetriebnahme
 - Hohe Dynamik Webprozess → Feinjustierung Regelung, Fadenleitelemente
 - Faserflug → Absaugung nachgerüstet

Bei Ausarbeitung der Webmaschine tragen folgende unvorhergesehenen Probleme auf:

- Schwingung und Durchhang des Greifers in der Bewegung → Anpassung der Bewegungskurve, zusätzliche Führungselemente
- Entstehung von Faserschädigung im Lieferwerk → Zusätzliche Installation von Heizfeldern zum Einstellen einer definierten Temperatur
- Unruhiger Lauf des Schafts → Installation einer zusätzlichen Führung

Kettlieferwerk Inbetriebnahme

- Durchrutschen der Fäden → Erhöhung Umschlingungswinkel Abzug
- Spannungsinhomogenität Fadenschar → Anpassung der Walzenoberfläche
- Zu hohe Fadenspannung beim Liefern der Kettfäden in die Webmaschine → Verringerung des Tännergewichts

Im Rahmen der Projektdurchführung traten somit unterschiedliche Schwierigkeiten auf, was bei einer erstmaligen großtechnischen Umsetzung einer Anlagentechnik jedoch so auch zu erwarten war. Die aufgetretenen Schwierigkeiten konnten jedoch gänzlich gelöst werden, so dass die Projektumsetzung als erfolgreich zu bewerten ist.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Wie in Abschnitt 2.6 erläutert wurden insgesamt 3 Batches des definierten Beispielartikels produziert. Die produzierten Mengen, sowohl unbeschichtete als auch beschichtete Gewebe, wurden zur Qualitätskontrolle dann einer Warenschau unterzogen, wo basierend auf dem internen Fehlerkatalog Gewebedefekte erfasst wurden. In nachfolgender Tabelle sind die Anzahl,

die kumulierte Länge sowie die Fehlernummern der erfassten Fehler in den unbeschichteten Geweberollen aufgeführt.

Charge	Stücklänge [m]	Anzahl Fehler	Menge Fehler [m]	Fehlernummer						
				20	34	35	40	41	42	43
02045983.1.1.01	80	2	0,5				1		1	
02045983.1.1.02	103	0	0							
02045983.1.1.03	103	0	0							
02045983.1.1.04	103	2	2		1	1				
02045983.1.1.05	103	0	0							
02045983.1.1.06	103	2	0,5					2		
02045983.1.1.08	103	3	0,75					3		
02045983.1.1.09	103	4	2					3		1
02045983.1.1.10	103	4	4		3	1				
02045983.1.1.11	103	3	1,5					3		
02045983.1.1.12	103	2	2		2					
02045983.1.1.14	33	0	0							
02045983.1.1.15	33	0	0							
02045983.1.1.16	103	0	0							
02045983.1.1.17	103	2	1				1			1
02045983.1.1.18	103	1	0,5				1			
02045983.1.1.19	103	0	0							
02045983.1.1.20	103	0	0							
02045983.1.1.21	103	2	1					2		
02045983.1.1.22	103	3	2		3					
02045983.1.1.23	206	3	2		1	1		1		
02045983.1.1.24	100	3	1	1	1	1				
02045504.1.1.01	100	1	1		1					
02045504.1.1.02	103	0	0							
02045504.1.1.03	103	2	0,5					2		
02045504.1.1.04	103	0	0							
02045504.1.1.05	103	0	0							
02045504.1.1.06	23	0	0							
07200169.1.1.01	53	1	0,5					1		
07200169.1.1.02	53	0	0							
07200169.1.1.03	53	2	1,5			1		1		
07200169.1.1.04	53	0	0							
07200169.1.1.05	53	3	1,5		1			2		
07200169.1.1.06	53	0	0							
GESAMT	3.056	45	25,75	1	13	5	3	20	1	2

Tabelle 4: Anzahl, kumulierte Länge, Fehlernummern der erfassten Fehler in den unbeschichteten Geweberollen

Die Auflistung der erfassten Fehler in den beschichteten Chargen ist nachfolgend aufgeführt.

Charge	Stüklänge [m]	Anzahl Fehler	Menge Fehler [m]	Fehlernummer						
				20	34	35	40	41	42	43
02045983.1.1.01	80	2	0,5				1		1	
02045983.1.1.02	103	0	0							
02045983.1.1.03	104	0	0							
02045983.1.1.04	103	0	0							
02045983.1.1.05	100	0	0							
02045983.1.1.06	104	0	0							
02045504.1.1.01	100	1	1		1					
02045504.1.1.03	103	0	0							
02045504.1.1.05	104	0	0							
GESAMT	901	3	1,5		1		1		1	

Tabelle 5: Erfasste Fehler in den beschichteten Chargen

Da die Fehleranzahl der überprüften beschichteten Rollen auch in den Daten der unbeschichteten Rollen enthalten ist, erfolgt die weitere Betrachtung der Fehleranzahl anhand der Daten der unbeschichteten Ware, da zudem die Stichprobe größer und damit repräsentativer ist. Bei der insgesamt produzierten Gewebemenge ergibt sich aus der Gesamtbilanz ein längenbezogener Ausschuss von **0,84 %**.

Neben den erfassten Daten zur Fehleranzahl bzw. zum Ausschuss wurden für die Erfolgskontrolle die entstehenden Abfallmengen ermittelt. Dazu zählen die abgeschnittenen Webkanten sowie Faserabfälle beim Anfahren und Abrüsten der Anlage. Die Erfassung der Abfallmengen beim Anfahren und Abrüsten der Anlagen wurde repräsentativ für einen Webauftrag durchgeführt. Dabei wurden alle anfallenden Garn- und Gewebereste gesammelt und gewogen, die als Abfall angefallen sind. Eine Gegenüberstellung der ermittelten Abfallmengen ist in nachfolgender Tabelle zu finden.

Abfallart	Prototypmaschine	Innovative Webmaschine
Webkante links	11,5 cm	0,5 cm
Webkante rechts	11,5 cm	0 cm
Webkante insgesamt	23 cm	0,5 cm
Abfall Anfahren Anlage	4.413 g	1.287 g
Abfall Abrüsten Anlage	843 g	1.081 g

Tabelle 6: Gegenüberstellung der ermittelten Abfallmengen Prototyp- und innovative Webmaschine

Die Unterschiede in den Abfallmengen lassen sich wie folgt begründen:

- Webkanten: Mithilfe der neuen Maschinenkinematik der neuen Webmaschine entfällt die sonst erforderliche Webkante links und rechts fast vollständig. Lediglich an der Schusseintragsseite muss ein kurzes Stück der abstehenden Kante abgeschnitten werden, da die Schussschere derzeit nicht näher an die Webkante positioniert werden kann. Eine Abänderung der Befestigung soll aber auch diese 5 mm Kante noch eliminieren
- Abfall Anfahren: Durch die elektronische statt wie bisher mechanische Einstellung der Bewegungsabläufe der Maschine können die Prozesseinstellungen deutlich schneller und wiederholbarer eingestellt werden. Ein längeres Einfahren der Anlage (sonst ca. 10-15 m) entfällt daher
- Abfall Abrüsten: Durch den etwas längeren Fadenlauf der Kettfäden in der neuen Anlage verbleibt am Produktionsende eine etwas höhere Menge an Kettmaterial in der Anlage, das nicht mehr verarbeitet werden kann.

Für die zusammengefasste Abfallbilanz werden nun die anfallenden Abfallmengen bilanziert. Davon wird von einer typischen Produktionsmenge von 3.800 lfm je Produktionsbatch ausgegangen, da dies der typischen Spulenlänge der Kettfäden entspricht.

Abfallart	Menge
Produktionsmenge [lfm]	3.800
Produktionsmenge [m ²]	4.826
Produktionsmenge [kg]	931,42
Qualitätsbedingter Ausschuss [m ²]	40,54
Qualitätsbedingter Ausschuss [kg]	7,82
Kantenabfall [kg]	1,83
Abfall An- & Abfahren Anlage [kg]	2,37
Gesamtabfallmenge [kg]	12,02
Gesamtabfallmenge [%]	1,29

Tabelle 7: Zusammengefasste Abfallbilanz einer typischen Produktionsmenge von 3.800 lfm je Produktionsbatch

Wenn man dies in Verhältnis zur Referenz-Ausschussmenge von **25 %** setzt, die während der Produktion vor Projektbeginn mit der Prototypanlage angefallen sind, wird der signifikante Qualitätsgewinn besonders deutlich. Das ursprünglich gesetzte Ziel einer Ausschussmenge von 5-7 %, was sonst übliche Ausschusswerte bei konventioneller Gewebeerstellung sind, wird somit ebenfalls deutlich übertroffen.

Die Messung der Energieaufnahme der Prototypmaschine erfolgte über einen Zeitraum von knapp 3 Tagen, in denen im Drei-Schichtsystem produziert wurde. Die gemessene Energieaufnahme über diesen Zeitraum ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die Wirkleistung ist dabei jeweils auf einen Zeitraum von 15 Minuten gemittelt.

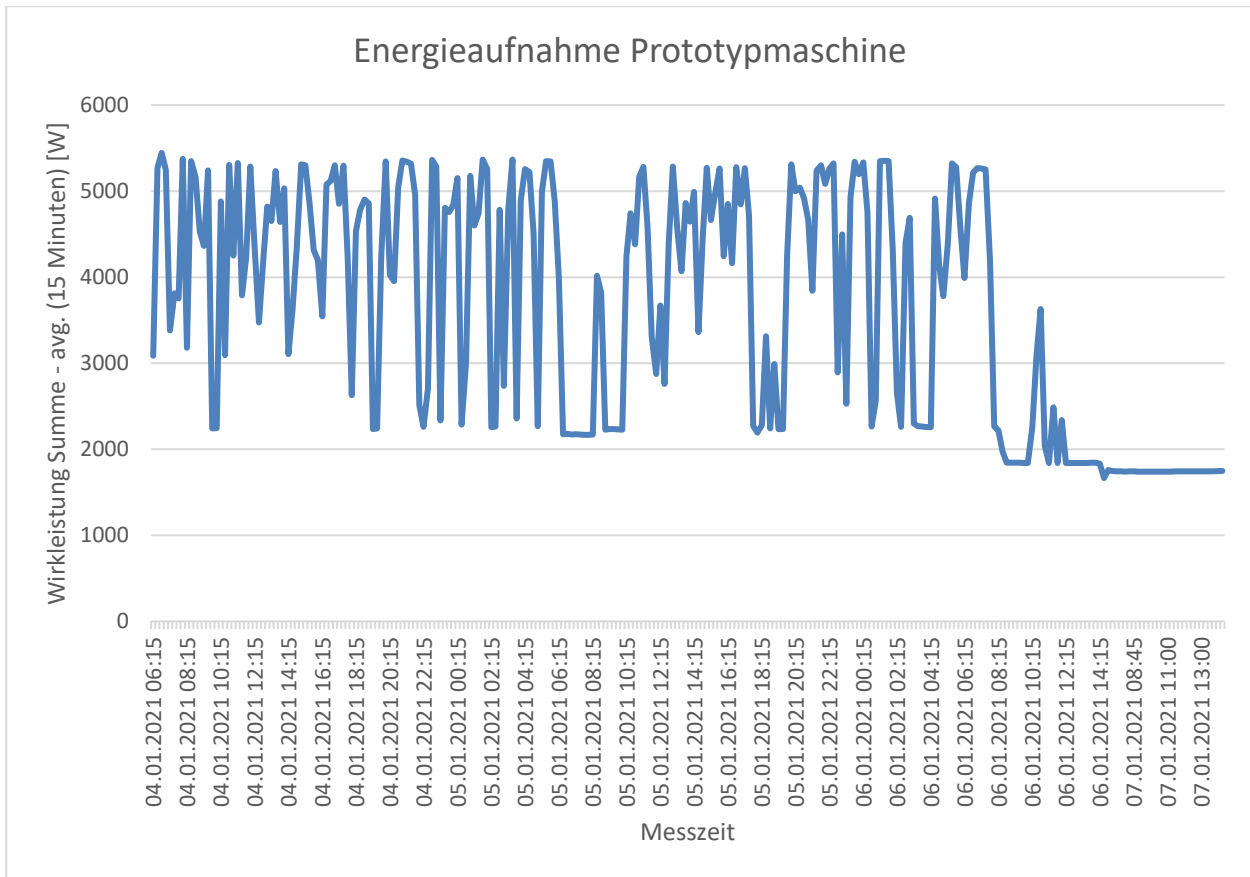


Abbildung 5: Energieaufnahme Prototypmaschine

Kumuliert ergibt sich im Messzeitraum ein Energieverbrauch von 229,424 kWh. In diesem Zeitraum wurden insgesamt 720 m Gewebe produziert, so dass ich ein spezifischer Energieverbrauch von 32,75 kWh/ 100 m Gewebe ergeben.

Die Energieaufnahme der neuen Maschine wurde über einen Zeitraum von 5 Tagen gemessen, in denen jeweils im 1-Schichtbetrieb gefahren wurde. Der gemessene Energieverbrauch ist in nachfolgender Abbildung dargestellt, wobei die Energieaufnahme ebenfalls jeweils auf eine Dauer von 15 Minuten gemittelt wurde.

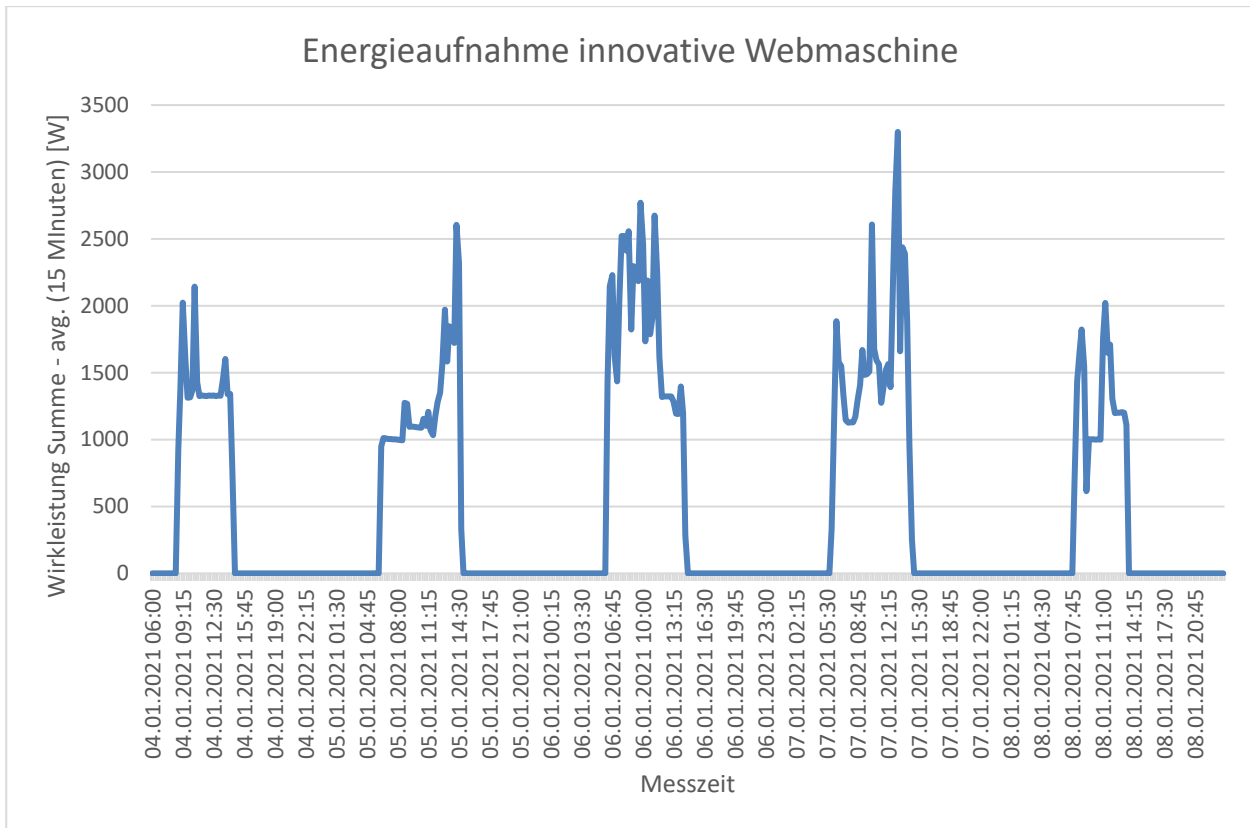


Abbildung 6: Energieaufnahme innovative Webmaschine

Kumuliert ergab sich ein Energieverbrauch von 56,008 kWh im betrachteten Zeitraum. Dabei wurde eine Länge von 420 m durch die Anlage gefahren. Daraus ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 13,335 kWh/ 100 m Gewebe.

3.3 Umweltbilanz

Zur Erstellung der Umweltbilanz wird das ursprünglich anvisierte Verwertungsszenario herangezogen, um Effekte bewerten zu können. Im Rahmen dessen war eine jährliche Produktionsmenge von 18 t Gewebe vorgesehen. Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Daten zu Ausschuss und Energieverbrauch wurden die erzielbaren Umwelteffekte mit der innovativen Webmaschine berechnet und in Tabelle 8 zusammengefasst.

Medium	Prototyp-Webmaschine	Innovative Webmaschine erwartet	Innovative Webmaschine Referenzmenge	Innovative Webmaschine Skaliert
Gewebemenge [kg/a]	18.000	18.000	749	18.000
Gewebeausschuss [kg/a]	4.535	1.270 (-72 %)	9,7	233 (-95 %)
Strom [kWh/a]	31.680	28.512 (-10 %)	449	10.788 (-66 %)
Spezifischer Energieverbrauch [kWh/kg]	1,76	1,58	0,6	0,6
Strom: CO ₂ -Menge ¹ [t/a]	13,5	12,2	0,19	4,61
Gewebeausschuss: CO ₂ -Menge ² [t/a]	63,7	17,8	0,14	3,25
Summe CO ₂ -Menge [t/a]	77,4	30,0	0,33	7,43

Tabelle 8: Erwartete und tatsächlich erreichte Materialströme und Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahme

Aus den Zahlen wird deutlich, dass mit der neuen, innovativen Webmaschine die angestrebten Umwelteffekte sogar deutlich übertroffen werden. Insbesondere die sehr geringe Abfallmenge durch Ausschuss und Kantenabfälle führt zu sehr positiven Umwelteffekten, da Carbonfaserabfälle nicht vollwertig recycelt werden können, sondern nur in Form minderwertiger Produkte (Kurzfaserschnitt, Pulver) weitergenutzt werden können oder deponiert werden.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Wie in vorangegangenen Abschnitten erläutert, hat sich das Verwertungsszenario durch die anhaltende Luftfahrtkrise in der Form geändert, dass das geplante Projekt zum Einsatz der neuen Gewebestrukturen auf unbestimmte Zeit gestoppt wurde. Da sich inzwischen aber neue Projekte für eine potentielle Verwertung angekündigt haben, wurde die Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand einer neuen Projektanfrage durchgeführt, bei der die Stärken der innovativen Webtechnik zum Tragen kommen sollen. In diesem Großprojekt soll ein Gewebe auf Basis einer T800-Fasertypen vom Hersteller Toray Carbon Fibers Europe produziert werden. Bei der Faser handelt es sich um eine grobe IM-Carbonfaser mit 24K und einem speziellen Sizing. Innerhalb des Projekts wurde anfangs eine Gewebemenge von 7.500 kg/a benötigt, die im weiteren Verlauf auf bis zu

¹ 1 kWh Strom = 427 g CO₂, Quelle: KfW

² DAS, S.: Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites, in: The International Journal of Life Cycle Assessment, Heft 3 (16) 2011, S. 268–282, Für den Prozess der Kohlenstofffaserherstellung (CF HIGH) werden laut (Das) bezogen auf ein Kilogramm Kohlenstofffaser, 27,06 kWh/kg CF an Erdgas und 20,02 kWh/kg CF an elektrischer Energie benötigt. **1 kg Kohlenstofffaser = 14,015 kg CO₂**; (1 kWh Strom = 427 g CO₂, 1 kWh Gas = 202 g CO₂, Quelle: KfW)

60.000 kg/a steigen kann. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die Produktionsszenarien auf Basis der Prototypmaschine sowie auf Basis der neuen Maschinenteknik kalkuliert. Dabei wurden folgende Randbedingungen berücksichtigt:

- Daten zu Ausschuss, Abfall und Energieverbrauch wie zuvor ermittelt
- Betreuungsaufwand neue Maschine halb so hoch wie bei Prototypmaschine (höhere Prozessgüte)
- Garnpreis: 55 €/kg

Unter Berücksichtigung der erforderlichen Mengen, Produktionsgeschwindigkeiten sowie Investitionskosten wurden für beide Maschinenansätze die jeweiligen Produktionskosten berechnet. Dabei wurden auch die Einsparungen hinsichtlich Energieverbrauch und Abfallreduzierung berücksichtigt. Die zusätzlichen Ersparnisse durch die Ausschussreduzierung wurde jedoch noch nicht eingerechnet, sondern separat berechnet.

Mengen-szenario [kg/a]	Prototypmaschine			Innovative Webmaschine			
	Abfall-menge [kg/a]	Energie-verbrauch [kWh/a]	Produktions-kosten [€/m]	Abfall-menge [kg/a]	Energie-verbrauch [kWh/a]	Produktions-kosten [€/m]	Kosten-ersparnis Ausschuss [€/a]
7.500	1.875	9.825	18,29	97	4.001	16,86	55.513
15.000	3.750	19.650	18,29	194	8.001	16,94	111.026
30.000	7.500	39.300	18,23	387	16.002	16,87	222.051
60.000	15.000	78.600	18,20	774	32.004	16,92	444.102

Tabelle 9: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Prototypmaschine versus Innovative Webmaschine

Es ergibt sich mit der neuen Technologie unter Berücksichtigung der Produktionskosten und der Ausschussreduzierung also bereits eine Kostenersparnis von 109.996 €/a für die geringste angenommene Produktionsmenge von 7.500 kg/a. Beim größten angenommenen Produktionsszenario von 60.000 kg/a steigert sich diese Kostenersparnis sogar auf 751.302 €/a. Auf Basis der somit erzielbaren Kostenersparnisse wird nachfolgend die Amortisierung der Projektkosten betrachtet.

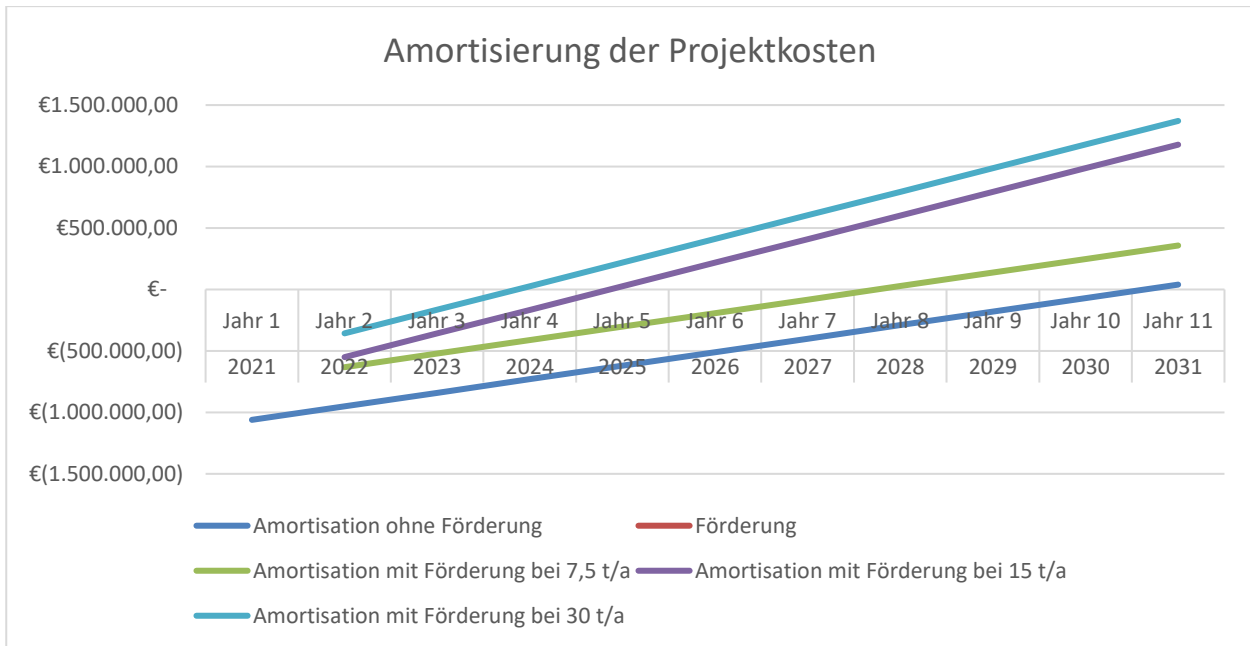


Abbildung 7: Amortisierung der Projektkosten

Es wird deutlich, dass sich beim kleinsten betrachteten Produktionsszenario die Amortisierung der Projektkosten im Jahr 8 nach Projektende erreicht wird. Ohne Förderung wäre die Amortisierung gar erst im Jahr 11 erreicht. Bei den größeren betrachteten Produktionsszenarien ergibt sich eine Amortisierung der Projektkosten im Jahr 4 bzw. 5 nach Projektende.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die im Rahmen des Vorhabens umgesetzte Maschinentechnologie bietet eine deutlich höhere Flexibilität als am Markt erhältliche Webmaschinentechnik, mit der eine Herstellung der angestrebten Produkte unmöglich ist. Bewegungsabläufe in konventionellen Webmaschinen werden fast ausschließlich mechanisch, z.B. über Exzenter, gesteuert und bieten somit lediglich geringfügige und umständliche Einstellmöglichkeiten der Prozessgrößen. Zudem existieren auf dem Markt bisher keine maschinentechnischen Lösungen, die speziell zur Verarbeitung grober IM-Carbonfasergarne ausgelegt sind. Somit handelt es sich beim umgesetzten Maschinenkonzept um eine Lösung, die über bestehende technische Möglichkeiten hinausgeht.

4. Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Generell lässt sich die Projektdurchführung als größtenteils positiv bewerten. Insbesondere die enge Zusammenarbeit mit dem Entwicklungspartner war ein wichtiger Schlüssel für den erzielten Projekterfolg. So wurden die Mitarbeiter der Firma Cramer frühzeitig in die Maschinenausarbeitung genauso wie bei den praktischen Erprobungen hinzugezogen. Auf diese Weise war es stets möglich, die Wünsche und Anregungen der Cramer-Mitarbeiter z.B. hinsichtlich Einstellmöglichkeiten und Ergonomie in die weitere Ausarbeitung miteinfließen zu lassen. Da Mitarbeiter von Cramer einen Großteil der Maschinentestläufe begleitet haben, war bei Maschinenübergabe schließlich kaum zusätzlicher Schulungsbedarf zur Einweisung nötig.

Zudem haben sich die gezielten Erprobungsphasen kritischer Maschinenkomponenten zum frühen Zeitpunkt ausgezahlt, da so potentielle Problemstellen der neuartigen Maschinenteknologie früh erkannt wurden und Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden konnten.

Ein wesentliches Verbesserungspotential liegt in der zeitlichen Planung. So haben insbesondere zum Teil sehr lange Lieferzeiten bestellter zentraler Komponenten wie Motoren und Getriebe den Projektfortschritt mehrfach stark gebremst. Eine frühzeitigere Bestellung hätte hier eine Vermeidung von Projektverzögerungen vermeiden können. Zudem weist die Maschinenteknik aufgrund der hohen Flexibilität so viele Freiheitsgrade in den Einstellmöglichkeiten auf, dass die Prozesseinstellung sehr komplex und anspruchsvoll ist. Hier besteht ggf. Potential für ein Nachfolgeprojekt, in welchem die Prozesseinstellung im Fokus steht. Denkbar wäre hier z.B. die Entwicklung eines selbst einstellenden Prozesses auf Basis von KI. Den Bedarf dafür wird der weitere Betrieb der Anlage zeigen.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Zunächst ist vorgesehen, die neue Maschinenteknik innerhalb des Unternehmens zu vervielfältigen und in größerer Stückzahl einzusetzen. Als ersten Schritt wurde bereits der Bau eines weiteren Schuss- und Kettlieferwerks angestoßen. Für einen Transfer der Technik über das Unternehmen hinaus sind aufgrund der hohen Prozesskomplexität zunächst weitere Schritte zur Erzielung eines robusten und gut beherrschbaren Produktionsprozesses notwendig. Aufgrund der im Projekt gesammelten Erfahrung wird die Beherrschbarkeit des Prozesses innerhalb der Firma aber als gut angesehen. Grundsätzlich ist die Maschinenteknik durch die große Flexibilität hinsichtlich der Prozesseinstellung aber auch für weitere Garntypen und -aufmachungen einsetzbar. So existieren zahlreiche weitere potentielle Anwendungen für Gewebe aus groben Carbonsfasern in der Automobil-, Sport- oder Medizintechnik sowie im Maschinenbau oder in der Verpackungsindustrie. In Deutschland sind ca. 10 weitere Unternehmen tätig, die diese innovative Verfahrensweise in ihre Produktion übernehmen können. In Europa sind weitere 15 Marktbegleiter bekannt, die ebenfalls das gesamte Konzept übernehmen können.

5. Zusammenfassung/Summary

5.1 Zusammenfassung

Einleitung

Die C. Cramer GmbH & Co. KG ist seit vielen Jahren etablierter Zulieferer von Geweben in der Luftfahrtbranche. Im Bereich der Gewebe umfasst das Produktportfolio Flächengewichte zwischen 55 und 2000 g/m² aus Carbon, Aramid und anderen gängigen Verstärkungsfasern in Feinheiten zumeist zwischen 22 und 1600 tex.

Zwei wichtige Trends in der Leichtbaubranche waren in den letzten Jahren die Verwendung von sog. IM-Carbon-Fasern (IM = Intermediate Modulus) und die Anwendung thermoplastischer Matrixmaterialien. Die Vorzüge von thermoplastischen Matrixmaterialien stellen insbesondere die deutlich besseren Reparatur- und Recyclingmöglichkeiten sowie eine gute Schlagzähigkeit im Vergleich zu üblichen duroplastischen Matrices dar. Carbonfasern vom IM-Typ zeichnen sich

durch eine deutlich verbesserte Steifigkeit im Vergleich zu sonst eher üblichen sog. HT-Fasern (HT = High Tenacity) aus. Mit solchen Fasern lassen sich die Leichtbaupotentiale von faserverstärkten Kunststoffen noch besser ausschöpfen.

Bei IM-Carbonfasern sind insbesondere solche Typen hochinteressant, die in groben Titern >12K (= 12.000 Filamente) angeboten werden, da diese neben den verbesserten mechanischen Eigenschaften auch einen verhältnismäßig zu den Eigenschaften günstigen Preis bieten. Typisch für IM-Fasern im Vergleich zu HT-Fasern ist ein deutlich feinerer Einzelfilament-Titer. Dies bedeutet insbesondere für grobe Garne eine deutlich schwierigere Verarbeitung, da feiner Einzelfilamente empfindlicher sind und die Garne somit eher zur Flusenbildung und Garnschädigung neigen. Die Verarbeitung von groben IM-Garnen (>12K) im Webprozess stellt somit eine sehr große Herausforderung dar und ist in der geforderten Gewebekonstruktion, insbesondere für die hohen Qualitätsansprüche der Luftfahrtbranche, auf konventionellen Webmaschinen nicht möglich. Für die Verarbeitung bändchenförmige Garne gibt es verfügbare Webmaschinenteknik am Markt, diese sind aber auf die Verarbeitung mit Kunststoff ummantelter Bändchen ausgelegt. Eine Verarbeitung trockener Faserbändchen ist nicht möglich.

Aus diesem Grund wurde bei der Firma Cramer ein eigener maschinentechnischer Ansatz entwickelt, um hochqualitative Gewebe aus groben IM-Carbongarnen herstellen zu können. Das entwickelte Konzept wurde in unserem Unternehmen in einem Maschinenprototyp basierend auf einer alten Stangengreiferwebmaschine umgesetzt. Dabei wurden zentrale Maschinenkomponenten wie Greifer, Schussschere und Fachbildung sowie Prozessabläufe speziell für die Verarbeitung von groben IM-Garnen angepasst. Die Ansteuerung der einzelnen Bewegungsabläufe und Funktionen erfolgte dabei im Wesentlichen über Exzenter, Kurvenscheiben und andere starre Getriebe sowie vereinzelt über pneumatische Aktorik.

Vorhabenumsetzung

Ziel des Vorhabens war die Reduzierung des bei der Herstellung von IM-Carbongeweben anfallenden Ausschuss- und Abfallanteils um ca. 72 % von bisher 25 % auf 5 %. Diese Reduzierung stellt insbesondere vor dem Hintergrund, dass Carbonabfälle nicht recycelbar sind, eine enorme umweltschutztechnische Verbesserung dar. Ferner sollte der Energieverbrauch bei der Gewebeerstellung durch Rationalisierung der Anlagentechnik um 10 % im Vergleich zum bisherigen Herstellungsprozess gesenkt werden.

Das neu entwickelte, großtechnische Konzept sollte eine deutlich bessere Einstellbarkeit der Prozessgrößen und damit die notwendige Flexibilität bei der Anpassung des Prozesses zur Verarbeitung der groben, hochsensiblen IM-Carbongarne bieten. Diese Flexibilität war insbesondere notwendig, da sich das Verarbeitungsverhalten von IM-Carbonfasern zwischen den unterschiedlichen Garnvarianten stark unterscheidet und damit immer wieder Prozessanpassungen an die jeweiligen Verarbeitungsbedingungen erforderlich sind.

Durch den breiten Einsatz von Servomotoren zur Bewegung der einzelnen Maschinenkomponenten bietet das entwickelte Maschinenkonzept die notwendige Flexibilität hinsichtlich der Prozesseinstellung, um den Prozess exakt an die spezielle Garncharakteristik der unterschiedlichen IM-Garne anpassen zu können. Ferner sollte ein umfassendes Prozessüberwachungskonzept einen weitgehend fehlerfreien Produktionsablauf ermöglichen, um insbesondere die Entstehung fehlerhafter Ware und somit von Ausschuss zu vermeiden.

Ergebnisse

Zur Erstellung der Umweltbilanz wird das ursprünglich anvisierte Verwertungsszenario herangezogen, um Effekte bewerten zu können. Im Rahmen dessen war eine jährliche Produktionsmenge von 18 t Gewebe vorgesehen. Auf Basis der in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Daten zu Ausschuss und Energieverbrauch wurden die erzielbaren Umwelteffekte mit der innovativen Webmaschine berechnet und in Tabelle 10 zusammengefasst.

Medium	Prototyp-Webmaschine	Innovative Webmaschine erwartet	Innovative Webmaschine Referenzmenge	Innovative Webmaschine Skaliert
Gewebemenge [kg/a]	18.000	18.000	749	18.000
Gewebeausschuss [kg/a]	4.535	1.270 (-72 %)	9,7	233 (-95 %)
Strom [kWh/a]	31.680	28.512 (-10 %)	449	10.788 (-66 %)
Spezifischer Energieverbrauch [kWh/kg]	1,76	1,58	0,6	0,6
Strom: CO ₂ -Menge ³ [t/a]	13,5	12,2	0,19	4,61
Gewebeausschuss: CO ₂ -Menge ⁴ [t/a]	63,7	17,8	0,14	3,25
Summe CO ₂ -Menge [t/a]	77,4	30,0	0,33	7,43

Tabelle 10: Erwartete und tatsächlich erreichte Materialströme und Energieverbrauch nach Umsetzung der Maßnahme

Aus den Zahlen wird deutlich, dass mit der neuen, innovativen Webmaschine die angestrebten Umwelteffekte sogar deutlich übertroffen werden. Insbesondere die sehr geringe Abfallmenge durch Ausschuss und Kantenabfälle führt zu sehr positiven Umwelteffekten, da Carbonfaserabfälle nicht vollwertig recycelt werden können, sondern nur in Form minderwertiger Produkte (Kurzfaserschnitt, Pulver) weitergenutzt werden können oder deponiert werden.

Es ergibt sich mit der neuen Technologie unter Berücksichtigung der Produktionskosten und der Ausschussreduzierung also bereits eine Kostenersparnis von 109.996 €/a für die geringste angenommene Produktionsmenge von 7.500 kg/a. Beim größten angenommenen Produktionsszenario von 60.000 kg/a steigert sich diese Kostenersparnis sogar auf 751.302 €/a. Auf Basis der somit erzielbaren Kostenersparnisse wird nachfolgend die Amortisierung der Projektkosten betrachtet.

³ 1 kWh Strom = 427 g CO₂, Quelle: KfW

⁴ DAS, S.: Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites, in: The International Journal of Life Cycle Assessment, Heft 3 (16) 2011, S. 268–282, Für den Prozess der Kohlenstofffaserherstellung (CF HIGH) werden laut (Das) bezogen auf ein Kilogramm Kohlenstofffaser, 27,06 kWh/kg CF an Erdgas und 20,02 kWh/kg CF an elektrischer Energie benötigt. **1 kg Kohlenstofffaser = 14,015 kg CO₂**; (1 kWh Strom = 427 g CO₂, 1 kWh Gas = 202 g CO₂, Quelle: KfW)

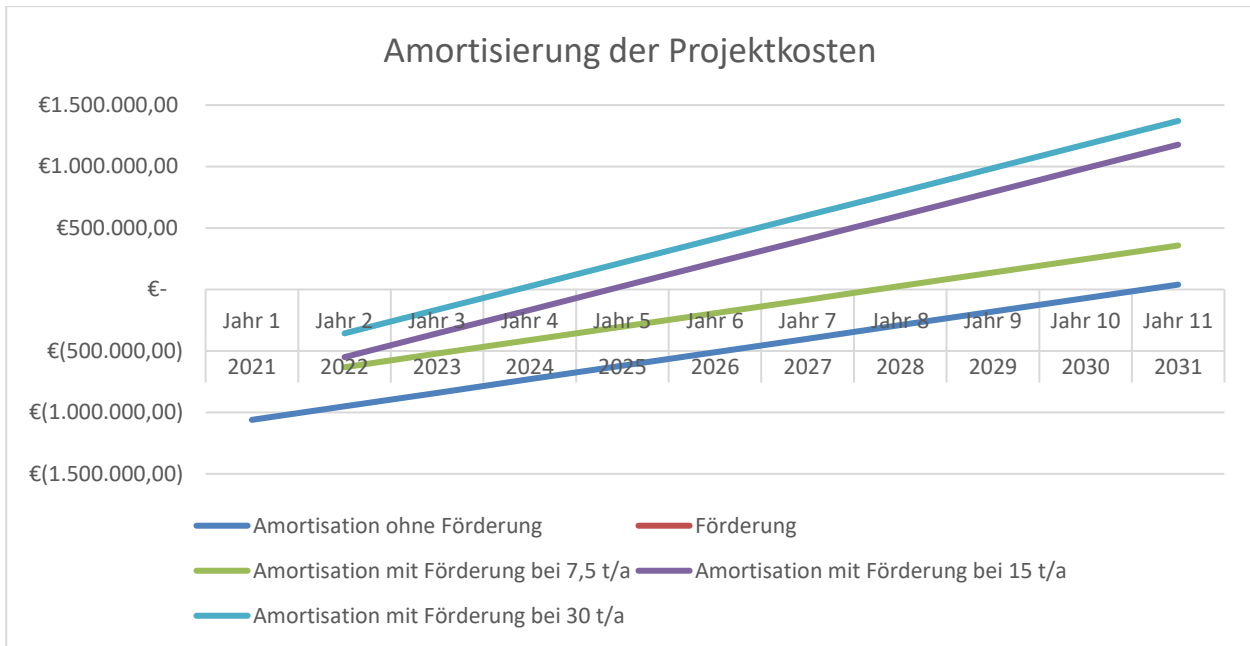


Abbildung 8: Amortisierung der Projektkosten

Es wird deutlich, dass sich beim kleinsten betrachteten Produktionsszenario die Amortisierung der Projektkosten im Jahr 8 nach Projektende erreicht wird. Ohne Förderung wäre die Amortisierung gar erst im Jahr 11 erreicht. Bei den größeren betrachteten Produktionsszenarien ergibt sich eine Amortisierung der Projektkosten im Jahr 4 bzw. 5 nach Projektende.

Ausblick

Zunächst ist vorgesehen, die neue Maschinenteknik innerhalb des Unternehmens zu vervielfältigen und in größerer Stückzahl einzusetzen. Als ersten Schritt wurde bereits der Bau eines weiteren Schuss- und Kettlieferwerks angestoßen. Für einen Transfer der Technik über das Unternehmen hinaus sind aufgrund der hohen Prozesskomplexität zunächst weitere Schritte zur Erzielung eines robusten und gut beherrschbaren Produktionsprozesses notwendig. Aufgrund der im Projekt gesammelten Erfahrung wird die Beherrschbarkeit des Prozesses innerhalb der Firma aber als gut angesehen. Grundsätzlich ist die Maschinenteknik durch die große Flexibilität hinsichtlich der Prozesseinstellung aber auch für weitere Garntypen und -aufmachungen einsetzbar. So existieren zahlreiche weitere potentielle Anwendungen für Gewebe aus groben Carbonsarnen in der Automobil-, Sport- oder Medizintechnik sowie im Maschinenbau oder in der Verpackungsindustrie. In Deutschland sind ca. 10 weitere Unternehmen tätig, die diese innovative Verfahrensweise in ihre Produktion übernehmen können. In Europa sind weitere 15 Marktbegleiter bekannt, die ebenfalls das gesamte Konzept übernehmen können.

5.2 Summary

Introduction

C. Cramer GmbH & Co. KG is a well-established supplier of fabrics for the aerospace industry. In the field of woven fabrics, the product portfolio covers areal weights between 55 and 2000 g/m² made of Carbon, Aramid and other reinforcement fibers in titers between 22 and 1600 tex.

Two important trends of the last years in the lightweight industry were the application of so-called IM carbon fibers (IM = intermediate modulus) and the usage of thermoplastic matrix materials. The advantages of thermoplastic matrix materials are especially there better suitability for repairing and recycling as well a good impact behavior in comparison to conventional thermoset matrix materials. IM carbon fibers show a significantly better stiffness compared to conventional HT yarns (HT = high tenacity). Using this fiber type, the lightweight potential of fiber-reinforced plastics can be exploited even better.

Looking at IM carbon fibers especially yarns with a titers above 12 K (= 12,000 filaments) are interesting for the industry as they offer a reasonable price in relation to the improved mechanical performance. Typical for IM fibers compared to HT types is a significantly lower single filament titer that leads to quite challenging processing properties especially for high titers (>12K) as fine filaments are more sensitive for fiber damage. Due to that and the challenging fabric construction, the desired fabric types could not be produced on conventional weaving technology especially meeting the high quality standards of the aerospace industry. For processing of band-like yarns there is available machine technology on the market, though designed for processing such yarns coated with polymer. Processing of dry, uncoated yarns is not possible.

Because of the explained reasons, the Cramer company developed its own technological approach to produce the desired high quality fabric types based on IM carbon yarns with high titer. The developed concept was realized in form of machine prototype based on an old rapier loom. Central components such as rapier, weft scissor and shed opening as well as process operations were adapted to process thick IM yarns. The control of the single machine operations and functions mainly were realized by eccentric machines, cam disks and other inflexible transmissions or in single cases by pneumatic actuators.

Project implementation

Aim of the project was to reduce the amount of waste during production of the IM fiber based woven fabric by 72 % from now 25 % to 5 %. As carbon waste cannot be recycled this reduction is an enormous ecological improvement. Additionally, the energy consumption of the fabric production should be reduced by 10 % compared to the current production by rationalization of the technology.

The developed new, industrial-scale concept should offer a significantly better adjustability of the process parameters and thereby the necessary flexibility in terms of adjusting the process in order to process the thick but very sensitive IM carbon yarn. This flexibility especially was crucial as the process ability of the different IM fiber grades differs significantly, which requires an accurate process adjustment to the current material conditions.

By utilizing servo drives for the realizing the single machine movements the established machine concept offers the necessary flexibility for process adjustments based on the individual needs of the processed IM fiber type. Additionally a broad process monitoring concept should allow a mostly error free production to avoid weaving defects and fabric waste.

Project results

For creating the environmental record, the initially planned valorisation scenario is used to evaluate the effects. In this scenario an annual fabric production amount of 18 to was planned. Based on the measured data for waste and energy consumption the gained environmental effects by the innovative weaving technology were calculated and summarized in the following table.

Medium	Prototype weaving machine	Innovative weaving machine expected	Innovative weaving machine Reference values	Innovative weaving machine Upscaling
Fabric amount [kg/a]	18,000	18,000	749	18,000
Fabric waste [kg/a]	4,535	1,270 (-72 %)	9.7	233 (-95 %)
Energy [kWh/a]	31,680	28,512 (-10 %)	449	10,788 (-66 %)
Specific energy consumption [kWh/kg]	1.76	1.58	0.6	0.6
Electricity: CO ₂ -amount ⁵ [t/a]	13.5	12.2	0.19	4.61
Fabric waste: CO₂-amount⁶ [t/a]	63.7	17.8	0.14	3.25
Sum CO ₂ -amount [t/a]	77.4	30.0	0.33	7.43

Table 11: Expected and gained material effects and energy consumption after realization of new machine concept

Analyzing the values shows that the expected environmental effects could even been exceeded with the new innovative weaving machine. Especially the very low waste amount due to fabric and selvedge waste leads to very positive ecological effects as carbon waste cannot be recycled but only be further used in downgraded products such as short fibers or powder or has to be disposed.

Considering the production cost and waste reduction already for the lowest assumed production amount of 7.5 t/a cost reduction of about 110,000 €/a can be achieved with the new technology. In the highest assumed production scenario of 60 t/a even cost reduction of 750,000 €/a is

⁵ 1 kWh electricity = 427 g CO₂, source: KfW

⁶ DAS, S.: Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites, in: The International Journal of Life Cycle Assessment, issue 3 (16) 2011, p. 268–282, for the carbon fiber production process (CF HIGH) 27,06 kWh/kg CF of natural gas and 20,02 kWh/kg CF electricity are needed for 1 kg of carbon fiber (DAS)). **1 kg carbon fiber= 14,015 kg CO₂**; (1 kWh electricity = 427 g CO₂, 1 kWh gas = 202 g CO₂, source: KfW)

possible. Based on the possible cost reduction the amortisation of the project costs is showed in the upcoming figure.

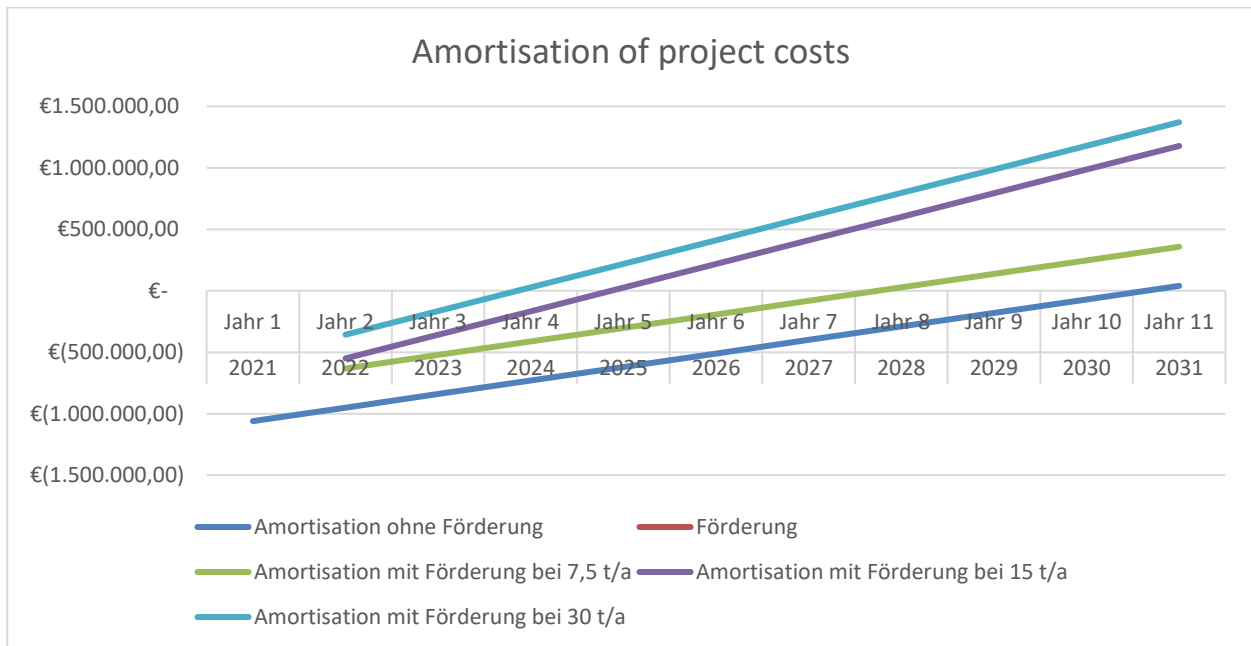


Figure 9: Amortisation of project costs

It becomes obvious that in the smallest assumed production scenario the amortisation of the project costs are achieved in year 8 after project completion. Without funding, the amortisation would just be reached in year 11. In the assumed larger production scenario, the amortisation of the project costs is achieved in year 4 respectively in year 5 after project completion.

Prospects

First of all it is planned to duplicate the new machine technology within the company and to operate a higher number of machines. As a first step it was already started to build another weft and warp supply system. In order to transfer the technology beyond the company, additional steps are necessary to achieve a robust and easily manageable production process due to the high process complexity. However, based on the experience gained in the project, the controllability of the process within the company is considered to be good. In principle, the machine technology can also be used for other yarn types and make-ups thanks to its great flexibility in terms of process settings. There are numerous other potential applications for fabrics made from thick carbon yarns in automotive, sports or medical technology as well as in mechanical engineering or in the packaging industry. There are around 10 other companies in Germany that can incorporate this innovative process into their production. A further 15 competitors are known in Europe who can also adopt the entire concept.