



# Abschlussbericht

Anlage zur Herstellung von Spinnvliesstoffen  
im innovativen CaMoFil-Verfahren

MANN+HUMMEL GmbH |  
Hindenburgstraße 45 | 71638 Ludwigsburg

UMWELT  INNOVATIONS  
PROGRAMM

**MANN +  
HUMMEL**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>1</b>
<b>Berichts-Kennblatt</b> .....	<b>2</b>
<b>Report Coversheet</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens .....	4
1.2 Ausgangssituation .....	4
<b>2 Vorhabenumsetzung</b> .....	<b>5</b>
2.1 Ziel des Vorhabens .....	5
2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung .....	10
2.3 Umsetzung des Vorhabens.....	11
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	12
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	12
<b>3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung</b> .....	<b>13</b>
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung .....	13
3.2 Stoff-, Energie- und Umweltbilanz .....	13
3.2.1 Umweltentlastungen durch signifikante Flächengewichtsreduzierung.....	13
3.2.2 Umweltentlastung durch einen signifikant geringeren Prozessenergiebedarf.....	14
3.2.3 Umweltentlastung durch einen signifikant geringeren Prozessenergiebedarf.....	14
3.2.4 Ergebnisse des Gutachtens der LGA Immissions- und Arbeitsschutz GmbH .....	15
3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	16
3.4 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	17
<b>4 Übertragbarkeit</b> .....	<b>18</b>
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	18
4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit.....	18
<b>5 Zusammenfassung/Summary</b> .....	<b>20</b>
5.1 Zusammenfassung.....	20
5.2 Summary .....	21

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fertigungsprozess der innovativen Spinnvliesanlage .....	5
Abbildung 2: Mehrschichtiger Strukturaufbau eines CaMoFil-Filtermediums) .....	6
Abbildung 3: Schematische Darstellung des Moduls zur Vliesherstellung .....	7
Abbildung 4: Verfahrensfleißbild der neuartigen Spinnvliesanlage.....	9
Abbildung 5: Hochlaufkurve der Filtermedienfertigung in den Jahren 2018 bis 2022 .....	10
Abbildung 6: Produkte in der RFQ-Phase.....	10
Abbildung 7: CO <sub>2</sub> -Einsparung durch Materialeffizienz .....	14

Abbildung 8: Signifikante Reduktion des Prozessenergiebedarfs pro Kilogramm .....	14
Abbildung 9: Signifikante Reduzierung der zurückzulegenden Kilometeranzahl .....	15
Abbildung 10: Umsatzprognose Vliesstoffherstellung in Deutschland .....	16
Abbildung 11: Stand der Technik: Meltblown-Anlage .....	18

|

**BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Zusammenfassung**

**Abschlussbericht zum Vorhaben**

„Anlage zur Herstellung von Spinnvliesstoffen im innovativen CaMoFil-Verfahren“

**Zuwendungsempfänger**  
MANN+HUMMEL GmbH

**Umweltbereich**  
Ressourceneffizienz und Energieeinsparung

**Laufzeit des Vorhabens**  
Von 19.05.2017 bis 30.04.2019

**Autor**  
Günter Tettinger

**Datum der Erstellung**  
31.10.2020

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

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen des UBA:</b>	<b>Projekt-Nr.: Nka3 - 003272</b>
<b>Titel des Vorhabens:</b> „Anlage zur Herstellung von Spinnvliesstoffen im innovativen CaMoFil-Verfahren“	
<b>Autoren:</b> Tettinger, Günter	<b>Vorhabenbeginn:</b> 19.05.2017
	<b>Vorhabenende:</b> 30.04.2019
<b>Zuwendungsempfänger:</b> MANN + HUMMEL GmbH Hindenburgstr. 45 71638 Ludwigsburg	<b>Veröffentlichungsdatum:</b> 31.10.2020
	<b>Seitenzahl:</b> 22
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.	
<b>Kurzfassung:</b> Die MANN+HUMMEL GmbH, als Teil der MANN+HUMMEL-Gruppe, ist ein weltweit führender Experte für Filtrationslösungen sowie Entwicklungspartner und Serienlieferant der internationalen Automobil- und Maschinenbauindustrie. Im Rahmen des Investitionsvorhabens hat die MANN+HUMMEL GmbH das hoch innovative CaMoFil-Verfahren, welches in einem Kooperationsprojekt mit dem Sächsischen Textilforschungsinstitut entwickelt wurde, in einer erstmaligen, großtechnischen Anlage realisiert. Dabei wurde der Standort Marklkofen zur zentralen Versorgungsstelle für Vliesstoffe der gesamten Unternehmensgruppe aufgebaut und die Vliesherstellung als Kernkompetenz erschlossen. Das neuartige CaMoFil-Verfahren bietet hierbei im Vergleich zum herkömmlichen Meltblown-Prozess hinsichtlich der erreichten Funktionalität, Qualität, aber auch der realisieren Umweltentlastungen maßgebliche Vorteile. So ermöglicht die Umsetzung des Vorhabens beispielsweise nicht nur den Verzicht auf das bisher benötigte Trägermaterial, sondern darüber hinaus können die vier unterschiedlichen Vlies-Grades aufgrund der erreichten Anlagen- und Prozessflexibilität zukünftig auf einer zentralen Anlage hergestellt werden. Bisher war hierfür je Grade jeweils eine separate Anlage nötig. Mit der erfolgreichen Umsetzung des Vorhabens sind zum einen signifikante Einsparungen hinsichtlich der erreichten Prozessenergieeffizienz verbunden und zum anderen werden maßgebliche Materialeinsparungen aufgrund des reduzierten Flächengewichts bei gleichbleibender Filterleistung erzielt.	
<b>Schlagwörter:</b> Spinnvlies – CaMoFil-Verfahren – Ressourceneffizienz	
<b>Anzahl der gelieferten Berichte:</b> Papierform: Elektronischer Datenträger:	<b>Sonstige Medien:</b>

## Report Coversheet

<b>Reference-No. Federal Environmental Agency:</b>	<b>Project-No.: Nka3 - 003272</b>
<b>Report Title:</b> "Plant for the production of spunbonded nonwovens using the innovative CaMoFil process"	
<b>Author:</b> Tettinger, Guenter	<b>Start of project:</b> 05/19/2017
	<b>End of project:</b> 04/30/2019
<b>Performing Organisation:</b> MANN + HUMMEL GmbH Hindenburgstr. 45 71638 Ludwigsburg	<b>Publication Date:</b> 10/31/2020
	<b>No. of Pages:</b> 22
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
<b>Summary:</b> MANN+HUMMEL GmbH, as part of the MANN+HUMMEL Group, is one of the world's leading experts for filtration solutions, as well as a development partner and series supplier to the international automotive and mechanical engineering industries. As part of the investment project, MANN+HUMMEL GmbH has implemented the highly innovative CaMoFil process, which was developed in a cooperation project with the Saxon Textile Research Institute, in a first-time, industrial-scale plant. The Marklkofen site has been developed into the central supply point for nonwovens for the entire group of companies and the production of nonwovens has been developed as a core competence. Compared to the conventional meltblown process, the new CaMoFil process offers significant advantages in terms of functionality, quality, and environmental relief. For example, the implementation of the project not only makes it possible to dispense with the previously required carrier material, but also to produce the four different grades of nonwovens on a centralized line in the future due to the achieved system and process flexibility. Previously, a separate line was required for each grade. The successful implementation of the project results in significant savings with regard to the achieved process energy efficiency on the one hand, and significant material savings due to the reduced weight per unit area while maintaining the same filter performance on the other hand.	
<b>Keywords:</b> Spunbond – CaMoFil process – Resource efficiency	

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die MANN+HUMMEL GmbH, als Teil der MANN+HUMMEL-Gruppe, ist ein weltweit führender Experte für Filtrationslösungen sowie Entwicklungspartner und Serienlieferant der internationalen Automobil- und Maschinenbauindustrie. Die Unternehmensgruppe gliedert sich in die vier Geschäftsbereiche Automobil Erstausrüstung, Automobil Ersatzgeschäft, Industriefiltration und Wasserfiltration. Sie entwickelt und vertreibt hauptsächlich Luft-, Öl-, Kraftstoff- und Innenraumfilter und Filtersysteme für die automobilen Erstausrüstung und das Ersatzgeschäft. Anwendungen für Raum- und Prozessluftfiltration für die Industrie sowie Membranfilter für die Wasserfiltration runden das Portfolio ab. MANN+HUMMEL ist mit über 60 Standorten auf fünf Kontinenten vertreten. Im Automobil- und Industriebereich ist das Unternehmen in allen Märkten weltweit aktiv, im Bereich Wasserfiltration vor allem in Asien, Europa und Südamerika.

## 1.2 Ausgangssituation

Der hochspezialisierte Filtrationsmarkt ist ein stetig wachsender Absatzmarkt für Vliesstoffe. Die vermehrte Erzeugung von Feinststäuben durch technische Prozesse, partikelempfindliche Produktionstechniken und nicht zuletzt der Verschmutzungsschutz von technischen Komponenten, wie z. B. Heiz- und Klimageräten, erfordern immer leistungsfähigere Filtermedien.

Dieser Bedarf an umweltfreundlich hergestellten, synthetischen Filtermedien mit hoher Abscheideleistung im Feinstpartikelbereich steigt ständig an. Neben einer hohen Abscheideleistung werden Forderungen nach Filtermedien mit möglichst niedrigem Luftwiderstand und langer Nutzungsdauer immer stärker. Weiterhin kommt dem Gesundheitsschutz der Fahrzeuginsassen sowie dem Schutz von empfindlichen technischen Fahrzeugkomponenten durch wirksame Abscheidung von Pollen, Schadstoffen, Luftschwebstoffen und Abriebteilchen eine gesteigerte Bedeutung zu.

Beim Stand der Technik wird das Filtermedium im sogenannten Meltblown-Verfahren hergestellt (s. hierzu auch Abschnitt 3.4). Dieser Prozess ist gekennzeichnet durch die Extrusion eines thermoplastischen, Filamentformenden Polymers durch eine lineare Düse, die mehrere hundert kleine Öffnungen beinhaltet. Dabei strömt heiße Luft neben der linken und rechten Seite der Düsen spitze aus, welche die Polymerströme sehr schnell unterzieht. Die hierbei entstehenden, feinen und dünnen Filamente werden anschließend mit hoher Luftgeschwindigkeit auf ein Siebband geblasen, um ein fein filterndes, selbstgebondetes Meltblown-Vlies zu erhalten. Der Energiebedarf des Verfahrens, insbesondere im Bereich der elektrischen Heizsysteme in der Extrusion, ist infolgedessen eine zentrale Schwachstelle des Meltblown-Verfahrens. Darüber hinaus muss im Zuge des Verfahrens die Luft zur Unterströmung des Polymers auf ca. 75°C erhöht werden, was die Energieintensität weiter steigert.

Ein weiterer essenzieller Nachteil des herkömmlichen Fertigungsverfahrens ist bedingt durch das zwingend erforderliche Grundträgermaterial (Siebband). Mit dem Einsatz eines Trägermaterials gehen die folgenden Problemstellungen einher:

- Zweigeteilter Fertigungsprozess bestehend aus Herstellung der Filamente und Aufbringen auf das Grundträgermaterial,
- erhöhtes Flächengewicht durch zusätzliches Material.

Aufbauend auf den Nachteilen des Stands der Technik sowie den damit verbundenen ökologischen Problemstellungen plante MANN+HUMMEL die erstmalige Implementierung einer Spinnvliesanlage zur Realisierung des innovativen CaMoFil-Verfahrens.

## 2 Vorhabenumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Im Folgenden die Eckdaten des Investitionsprojekts:

*Investition:* Spinnvliesanlage

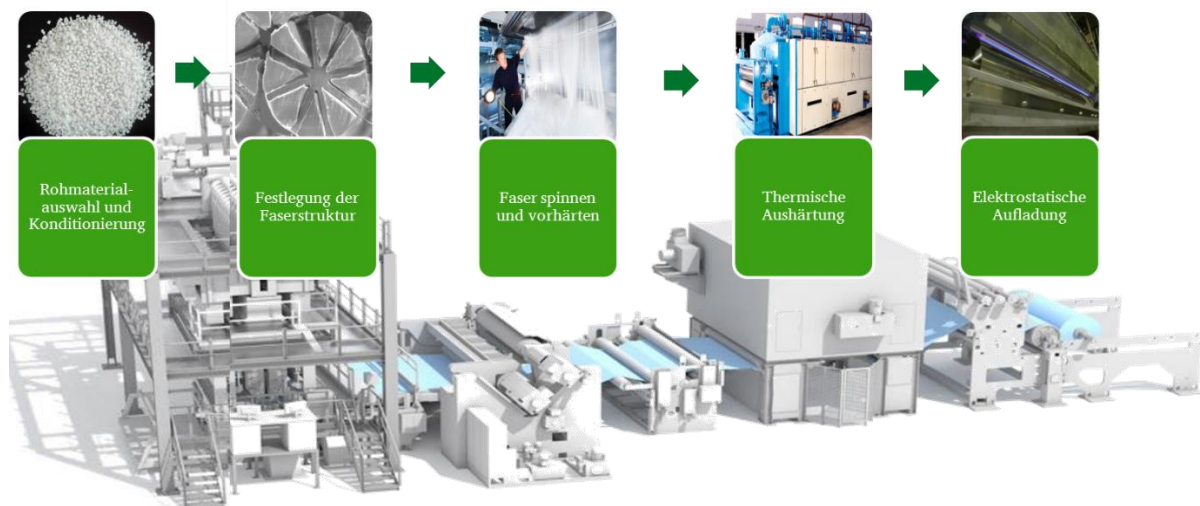
*Investitionsort:* 84163 Marklkofen (Bayern)

*Investitionsvolumen:* 16.614 TEUR

*Anlagenleistung:*

- Produktionsleistung pro Schicht 30.000–40.000 m<sup>2</sup>
- Produktionsgeschwindigkeit bis zu 100 m/min
- Produktionsbreite 1,6 m
- Grammatur 30–200 g/m<sup>2</sup>
- Vliesdicke 0,5–1,5 mm
- Luftdurchlässigkeit 1500–5000 l/m<sup>2</sup>s
- Eingangsstoff Polypropylen

Die Eigenproduktion von Vliesstoffmedien im CaMoFil-Verfahren dient der Elementfertigung für Innenraum-Partikelfilter in Fahrzeugen. Ziel war es, die Vliesstoffherstellung zu einer der Kernkompetenzen von MANN+HUMMEL aufzubauen. Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden die Partikelfilter-Elemente an den Standorten in Himmelkron, Marklkofen, China, Mexiko und Indien gefertigt, wobei nun der Konzernbedarf an Vliesstoffmedien zentral durch den Standort Marklkofen sichergestellt wird. In der folgenden Abbildung ist der Fertigungsprozess der neuen Spinnvliesanlage schematisch dargestellt.



**Abbildung 1: Fertigungsprozess der innovativen Spinnvliesanlage**

Das technische Verfahren wird als Kunststoff-Umwandlungsprozess bezeichnet. Nachfolgend werden die wesentlichen Prozessschritte bis zum fertigen Vlies beschrieben.



### Herstellung der Filamente

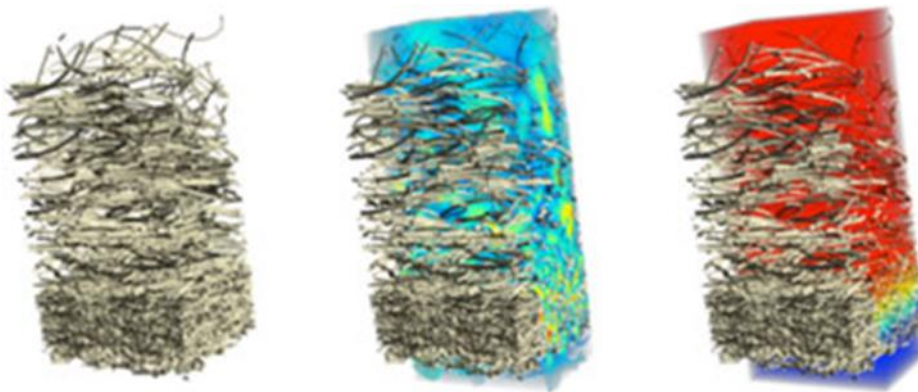
In einem ersten Schritt wird der granulatformige Rohstoff durch eine Saugfördereinrichtung aus Big-Bag-Behältern oder Siloanlagen zu den Mischtrichtern transportiert. Dabei erfolgt die Förderung des PP-Granulates vom Eingabebereich zu den einzelnen Stationen über ein separates, geschlossenes Rohrleitungssystem. Die Kunststoffgranulate werden daraufhin in Zwei-Komponenten Dosiergeräten gravimetrisch dosiert und anschließend in zwei Extruder gefördert. Durch rotierende Schnecken und nachgeschaltete Heizzonen erfolgt hier das Aufschmelzen des Kunststoffgranulats, wobei die entstehende Kunststoffschmelze über ein Rohrleitungssystem in den Spinnbalken gefördert wird.

Im Spinnpaket, welches am Spinnbalken befestigt ist, werden die benötigten Kunststoffäden erzeugt. Pro Meter Spinndüse werden 3.000 bis 7.000 Filamente produziert. Die entstehenden Dämpfe, verursacht durch die austretende Kunststoffschmelze, werden durch eine Monomerabsaugung abgeführt. Um den Durchmesser der erzeugten Kunststoffäden weiter zu verringern, werden die Fäden mittels eines innovativen Lüftungssystems und der zugeführten Prozessluft gestreckt.

Im nachgeschalteten Diffusor werden über zusätzliche Luftzuführungen die verstreckten Kunststoffäden in Verwirbelungsbewegung versetzt. Auf der darunter positionierten Siebandmaschine werden abschließend die Kunststoffäden ungeordnet abgelegt, die Vliesbildung beginnt.

### Herstellung der Vliesstoffe

In einem nachgeschalteten Bandofen, der im Umluftprinzip betrieben wird, erfolgt ein definierter steuerbarer Wärmeeintrag in die Vliesbahn, wobei der Prozessluft kontinuierlich ein Frischluftanteil von 10–15 % beigemischt wird. Die Umluft wird in einzelnen Heizfeldern erwärmt und durchströmt die Vliesbahn. Der Bandofen deckt einen Temperaturbereich von 80 bis 180 °C ab. Vorgesehen ist ein Dauerbetrieb mit 160 °C.



**Abbildung 2: Mehrschichtiger Strukturaufbau eines CaMoFil-Filtermediums (links), Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Struktur (mittig), Druckverlust in den verschiedenen Schichten (rechts)**

Zusätzlich verfestigt ein druckgeregeltes Kalibrierband die Vliesbahn zu einer Vliesstoffbahn. Diese muss nach dem Wärmeeintrag gekühlt werden. Dieser Vorgang erfolgt in einzelnen unmittelbar nachgeschalteten Kühlfeldern. Im Auslauf der Kühleinrichtung ist ein Messsystem positioniert, das die Luftdurchlässigkeit der Vliesstoffbahn während des laufenden Prozesses automatisch kontrolliert. Abschließend wird die Vliesstoffbahn elektrostatisch aufgeladen und zu einer Rolle gewickelt. Diese wird als Mutterrolle bezeichnet. Die Mutterrollen werden anschließend zwischengelagert. 40 % der produzierten Rollen werden selbst verarbeitet, weitere 40 % an das Werk in Himmelkron ausgeliefert und weitere 20 % weltweit verschickt.

In Abbildung 2 ist der mehrschichtige Strukturaufbau eines CaMoFil-Filtermediums dargestellt. Die gezeigten Simulationen wurden in dem zugrunde liegenden Entwicklungs- und Kooperationsprojekt zwischen MANN+HUMMEL sowie des Sächsischen Textilforschungsinstituts e. V. erstellt und verdeutlichen das Funktionsprinzip der mehrschichtigen Filamentstruktur.

### Regranulierung

Nicht verbautes Material wird mittels einer Regranulierungsanlage zu Granulat zurückverarbeitet und wird der Produktion mit bis zu 14,7 % wieder zugeführt. Die produzierten Grade unterscheiden sich nur anhand der Flächengewichte, weshalb das produzierte Regranulat diesbezüglich nicht weiter differenziert werden muss. Die Spinnvliesanlage produziert Vliesstoffbänder mit einer Breite von 1.600 mm, die für die Mutterrolle auf 1.450 mm gekürzt werden. Demnach werden 150 mm der Regranulierung zur Verfügung gestellt. Pro Arbeitstag im Zweischichtbetrieb werden ca. 1.000 kg Regranulat aufbereitet.

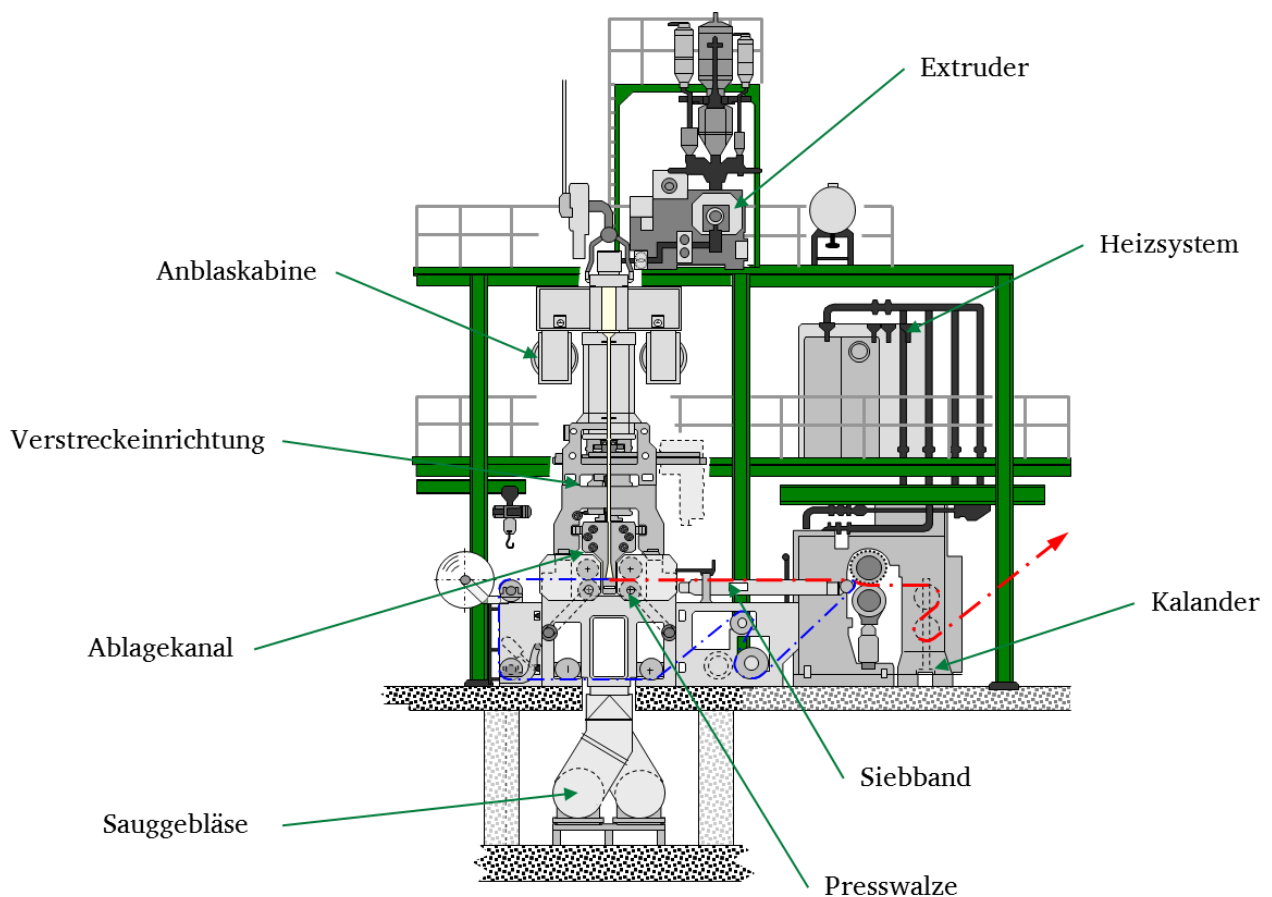


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Moduls zur Vliesherstellung

### Ausbrennofen

Das erhitzte und geschmolzene Granulat wird durch zwei Siebe (grob und fein) befördert, um mögliche Fremdstoffe zu entfernen. Diese Siebe müssen regelmäßig gereinigt werden. Dazu werden diese zunächst in einem elektrisch beheizten Ausbrennofen auf maximal 450 °C erhitzt. Nachgeschaltet werden die freigewordenen Abgase in einer thermischen Nachverbrennung bei 700 °C verbrannt. Anschließend werden die Siebe in einem Ultraschallbecken nachbehandelt.

### **Erläuterung der einzelnen Anlagenkomponenten**

Die Abbildung 3 stellt das Anlagenmodul zur Herstellung des Spinnvlieses schematisch dar, um darauf aufbauend die entscheidenden Einflussgrößen auf den Spinnvliesprozess aufzeigen zu können.

**Polymer:** Die Verarbeitung von folgenden Polymeren ist möglich: Polypropylen MFR 19–35, Polyethylen MFR 20–40, Polyester i.V. 0.64 und Polyamid. Vorwiegend wird jedoch Polypropylen verwendet, von welchem zahlreiche geeignete Typen auf dem Markt verfügbar sind. Grundsätzlich weisen diese Typen den Vorteil einer kontrollierten Rheologie (CR) mit einer engen Molekulargewichtsverteilung auf.

**Luft:** Die Filamente werden durch konditionierte Luft (beginnend in der Anblaskabine) gekühlt und verstreckt, wobei Temperatur und Luftmenge definiert gesteuert werden können.

**Ablage:** Das Ablagesystem wird zur Verwirbelung der Filamente benötigt, um ein Vlies mit guter Deckung und gleichmäßiger Flächengewichtsverteilung realisieren zu können. Die Verteilung der Filamente wird dabei durch aerodynamische Kräfte erreicht. Zur Kontrolle der Luftströme kann die Form der Ablageeinheit verändert werden.

**Siebband:** Über die Geschwindigkeit des Bandes sowie den Polymerdurchsatz kann das Flächengewicht exakt definiert werden.

**Spinnband:** Das Spinnband nimmt Einfluss auf die Filamentablage und muss optimal in den Prozess integriert werden, wobei die Struktur des Bandes die Filamente unterstützt. Dabei gilt es sicherzustellen, dass die Luft, welche zur Verstreckung und Ablage genutzt wird, ohne Widerstand durch das Band strömen kann. Im Gegensatz zum Meltblown-Prozess können die Luftgeschwindigkeit reduziert und die Lufttemperatur auf Umgebungsniveau gesenkt werden. Weiterhin kann dabei auf das Aufbringen auf ein Grundträgermaterial erstmals vollständig verzichtet werden.

**Kalander:** Das Vlies wird durch ein Paar beheizter Presswalzen kalandriert. Eine dieser Walzen kompensiert die Walzendurchbiegung, um einen konstanten Spaltdruck zu gewährleisten. Diese Walze hat eine glatte Oberfläche, wohingegen die zweite Walze eine gravierte Oberfläche besitzt. Zur Erreichung der besten Kombination von Zugkraft und Softness wurde das Design der Gravur kontinuierlich verbessert.

**Wickler:** Die eingesetzte Wickler-Technologie ist auf die geförderte Geschwindigkeit der Anlage abgestimmt. Im konkreten Fall wird ein Wickler mit einer Längstrenneinrichtung eingesetzt. Dadurch wird das Vlies direkt in der geforderten Breite hergestellt. Die Randstreifenabsaugung kann den Randstreifen zum Direkt-Recyclingextruder führen, von wo aus er zurück in den Hauptextruder gelangt.

Abbildung 3 zeigt das zugehörige Verfahrensfließbild der Anlage. Dabei sind die einzelnen Anlagenkomponenten, die Einsatzstoffe sowie der grundsätzliche Prozessablauf ersichtlich.

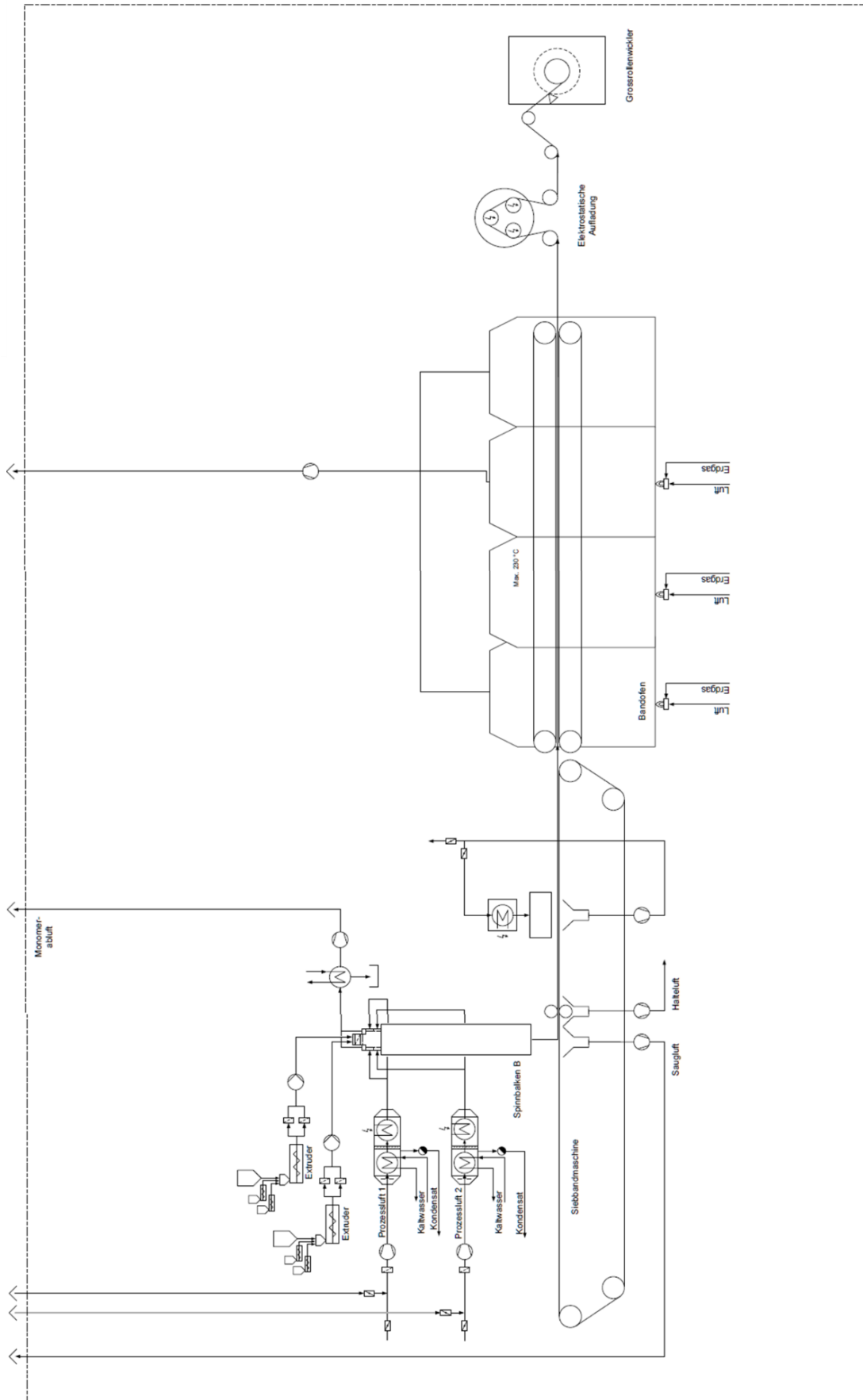
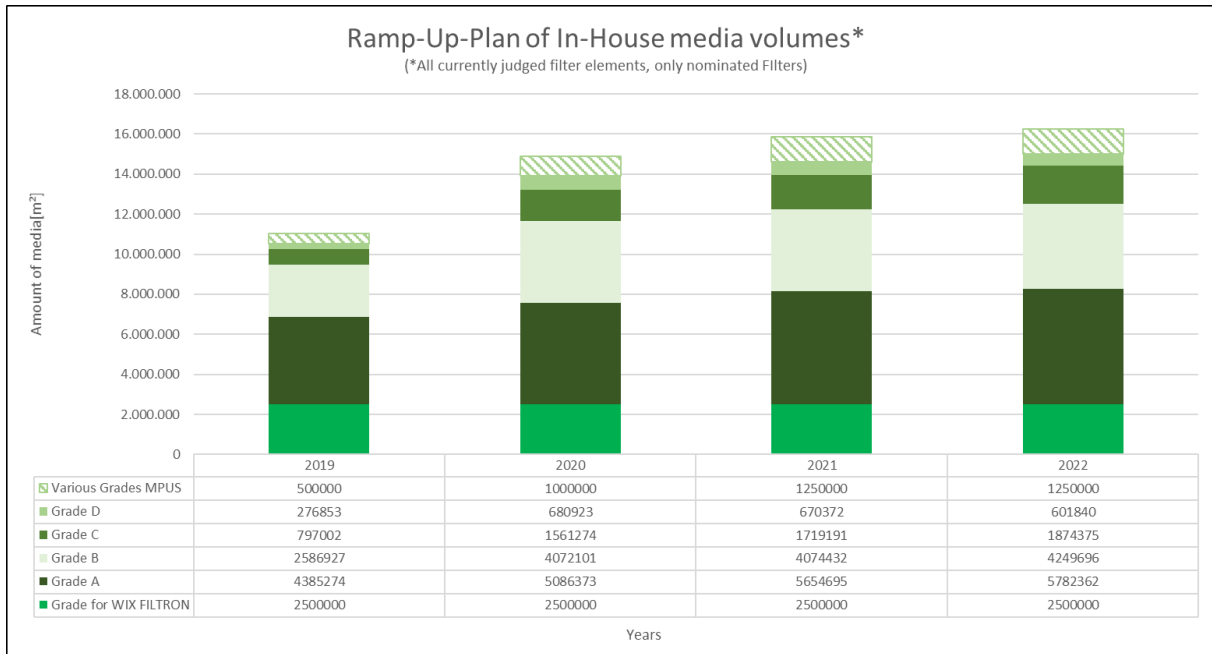


Abbildung 4: Verfahrensfließbild der neuartigen Spinnvliesanlage

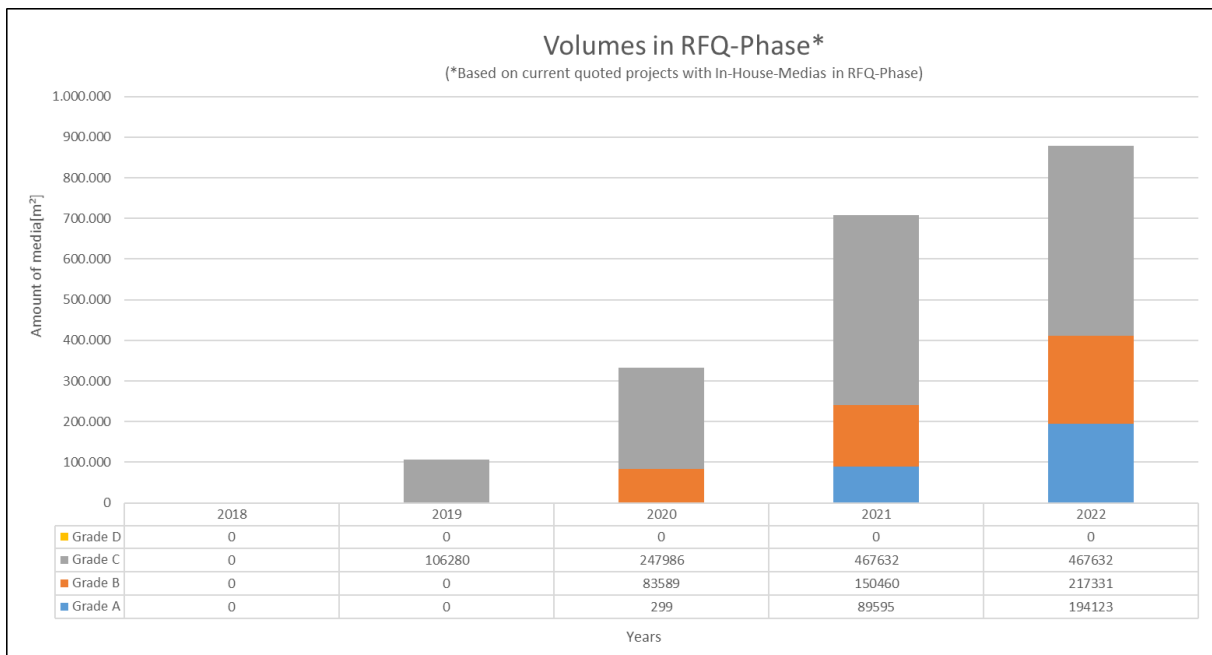
## 2.2 Auslegung und Leistungsdaten der technischen Lösung

In Abbildung 5 ist die Hochlaufkurve basierend auf bislang freigegebenen Filterelementen, unterteilt in die unterschiedlichen Filter-Grades, dargestellt. Im Jahr 2019 konnten bereits etwa 11 Mio. Quadratmeter Filtermedien hergestellt werden. Für das Jahr 2022 werden derzeit mit 16 Mio. Quadratmeter geplant.



**Abbildung 5: Hochlaufkurve der Filtermedienfertigung in den Jahren 2018 bis 2022 (Planwerte)**

Abbildung 6 zeigt die geplanten Produktionsmengen je Grade, deren zugehörige Produkte bzw. Produktfamilien sich derzeit noch in der RFQ-Phase befinden. Im Jahr 2022 ist mit einer weiteren Produktionssteigerung von etwa 0,85 Mio. Quadratmeter zu rechnen.

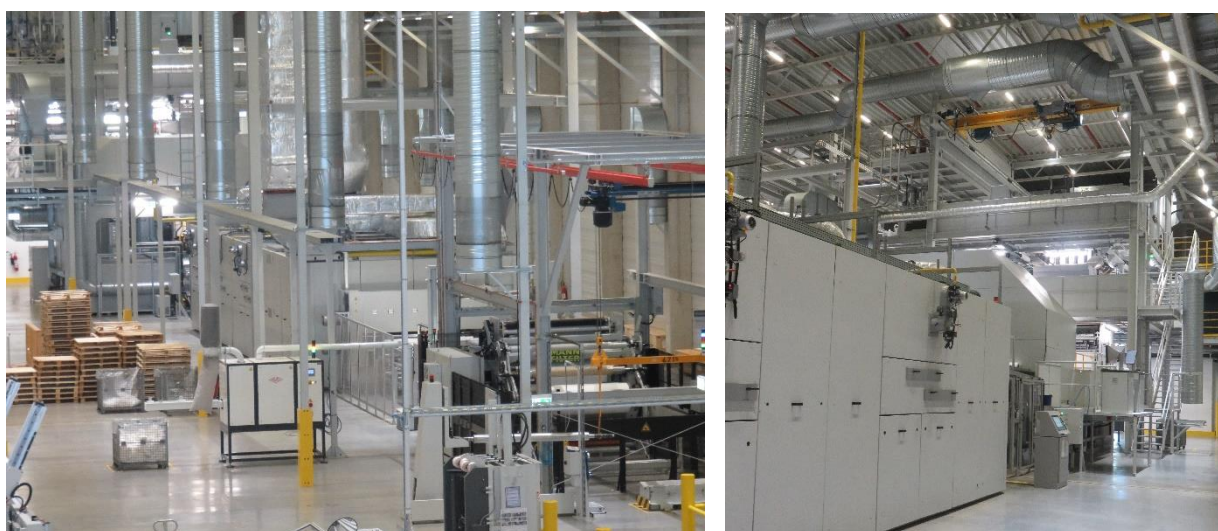


**Abbildung 6: Produkte in der RFQ-Phase, die perspektivisch auf der Anlage gefertigt werden**

## 2.3 Umsetzung des Vorhabens

Das Investitionsvorhaben wurde mit Bestellung der Anlage im Mai 2017 begonnen. Die Arbeiten bei MANN + HUMMEL bestanden zunächst aus baulichen Maßnahmen (Schacht für Winkelstützwände, Lüftung, Außenwandöffnungen, Stahlbau etc.) am Standort Marklkofen. Währenddessen wurde die Anlage bei dem Lieferanten Reicofil gebaut und sukzessive an MANN + HUMMEL ausgeliefert.

Im Zuge der Installation vor Ort sowie beim Einlaufen traten jedoch diverse Mängel auf, die eine Nacharbeit bzw. Optimierung des Herstellers notwendig machten. Im Rahmen der Inbetriebnahme und der ersten Testläufe zeigte sich, dass die vier Grades im Kleinserienbetrieb erfolgreich hergestellt werden konnten. Sowohl die Flachware als auch die Weiterverarbeitung zu Innenraumfilterelementen erfüllte die Vorgaben bzw. Anforderungen ausgezeichnet. Beim 24-Stunden-Lauf (Basis für die Abnahme) traten beim Grade C nach ca. 23 Stunden optische Streifen auf der Vlies-Oberfläche auf, woraufhin die Anlage gestoppt werden musste. Die optischen Streifen wiesen verringerte mechanische Eigenschaften auf. Dabei lag die Ursache für diese nicht ausreichend verfestigten Stellen im Vlies (Fusselbildung an der Oberfläche) im Ofen, der daraufhin umgebaut bzw. optimiert (u. a. wurden die Luftführung geändert) wurde.



**Abbildung 7: Spinnvliesanlage**

Außerdem wurde eine Versuchsmatrix erstellt, die diverse Einstellparameter (z. B. Medien-spezifikation) beinhaltet, um für alle vier Grades im jeweiligen 24-Stunden-Lauf die prozessfähige Produktion sicherstellen zu können. Nachdem der Kleinserienbetrieb die Anforderungen des Unternehmens an den Prozess vollumfänglich erfüllt hatte, lag der Fokus der weiterführenden Projektaktivitäten auf der Großserienproduktion. Oberstes Ziel war die Stabilität des Produktionsprozesses im Dauerbetrieb. Diese konnte im November 2018 erreicht werden – ab diesem Zeitpunkt begann der Hochlauf der Serienproduktion. Im Januar 2019 konnten die ersten in Serie hergestellten Produkte mit eigenem Filtermaterial ausgeliefert werden.

Seit dem ersten Quartal 2019 wurden sukzessive die (Filter-) Produkte aus dem Hause MANN + HUMMEL auf die hauseigenen Filtermedien umgestellt. Im ersten Halbjahr 2019 wurden zunächst 33 Produktfamilien im CaMoFil-Verfahren produziert, im zweiten Halbjahr bereits 60. Seit Mitte des Jahres 2020 ist die Umstellung abgeschlossen, insgesamt 95 Produktfamilien werden nun mit Filtermedien aus der geförderten Anlage hergestellt.



Abbildung 8: Links: Endprodukt; rechts: Wickler

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die Einrichtung und der Betrieb der Anlage bedurften einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung gemäß § 3 BImSchG in Verbindung mit Nummer 10.23 des Anhangs 1 zur 4. BImSchV.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Erfasst werden sämtliche, den Anlagenbetrieb betreffende Daten. Von hoher Relevanz ist vor allem die produzierte Menge und der dabei angefallene Ausschuss. Der Materialbedarf (in Form von Granulat) wird dabei ebenso erfasst wie die, für die Produktion notwendige, Energie (Strom, Gas etc.). In den einzelnen Anlagenkomponenten werden die relevanten Prozessparameter von geeigneter Messtechnik aufgezeichnet. Sämtliche Betriebsdaten werden in einer zentralen Steuerung gebündelt und in einer verwertbaren Form abgespeichert. Dadurch sind die Prozesstechniker in der Lage, den Anlagenstatus jederzeit zu überwachen und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen.

Die nachfolgenden beiden Abbildungen zeigen den Strom- und Gasbedarf der Anlage im Zeitraum Januar bis Juli 2020. Dabei ist ersichtlich, dass die Verbräuche nicht von der Ausbringungsmenge abhängen. Relevant ist hierfür stattdessen die Grammat, d. h. das Flächengewicht des Vliesstoffs.

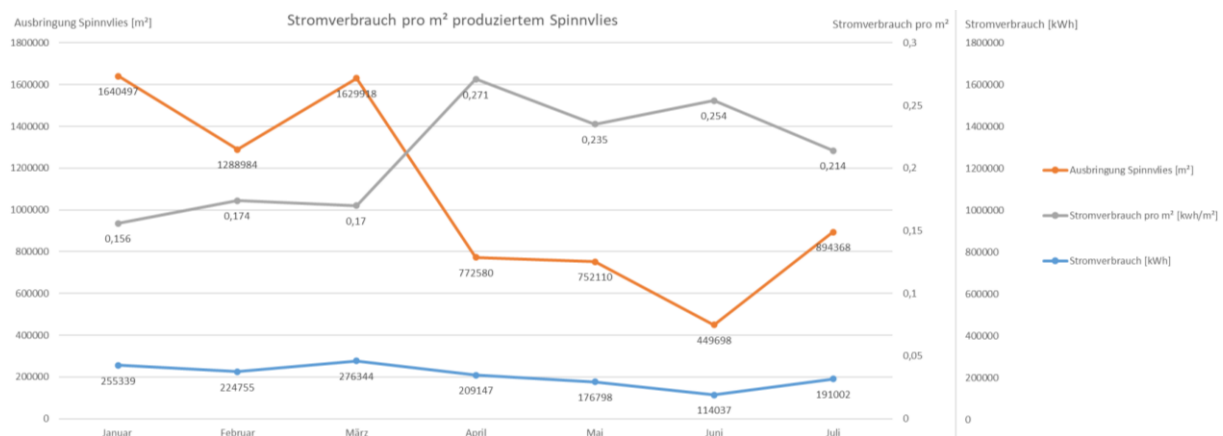


Abbildung 9: Stromverbrauch im Jahr 2020

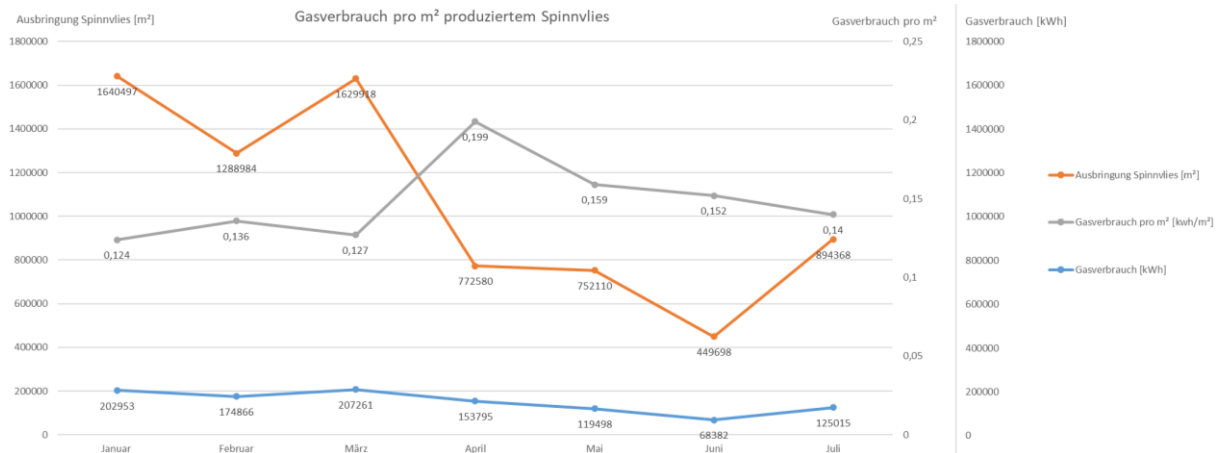


Abbildung 10: Gasverbrauch im Jahr 2020

### 3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

#### 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Das Vorhaben wurde wie geplant umgesetzt, wenngleich nicht in der ursprünglich veranschlagten Zeit – was jedoch bei komplexen Großprojekten die Regel ist. Die Prozessqualität ist höher als ursprünglich angenommen, da die Materialschrumpfung im Prozess deutlich geringer ausfällt als erwartet, was die Möglichkeit einer schnelleren und breiteren Fertigung eröffnete. Dies führte zu einer Steigerung der Jahresausbringungsmenge von 23 Mio. Quadratmeter auf 28 Mio. Quadratmeter und einer höheren Wirtschaftlichkeit als im Projektantrag dargestellt. Insgesamt ist die Vorhabensdurchführung äußerst positiv zu bewerten.

#### 3.2 Stoff-, Energie- und Umweltbilanz

##### 3.2.1 Umweltentlastungen durch signifikante Flächengewichtsreduzierung bei gleichbleibender Filterleistung

Vor der Umsetzung des Investitionsvorhabens wurden bei MANN+HUMMEL Filtermaterialien mit einem Flächengewicht von im Mittel 120 g/m² verarbeitet. Durch die erstmalige großtechnische Realisierung der Spinnvliesanlage kann das Flächengewicht bei gleicher Filterleistung auf durchschnittlich 100 g/m² reduziert werden. Bei einem angestrebten jährlichen Output von 23.200.000 m² Vlies entspricht dies einer Differenz von 529 t Kunststoffgranulat, im wesentlichen Polypropylen, das eingespart wird. Das zugehörige CO<sub>2</sub>-Äquivalent beträgt hierbei, laut der ProBas-Datenbank des Umweltbundesamts, 3,6 kg CO<sub>2</sub>/kg Granulat<sup>1</sup> (PP).

Bezogen auf 529 t eingespartes Granulat, ergibt sich damit eine maximale jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung von 1906 t. Abbildung 10 verdeutlicht den Sachverhalt. Dargestellt ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des neuen (grün) sowie des bisherigen (grün und rot) Prozesses über die einzelnen Vlies-Grades. Die CO<sub>2</sub>-Reduktion ist pro Grade jeweils über der Säule in Tonnen angegeben.

<sup>1</sup>Quelle: <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={A68D728E-A0C5-4CAC-A5C2-321883DD2680}>; abgerufen am 15.08.2016



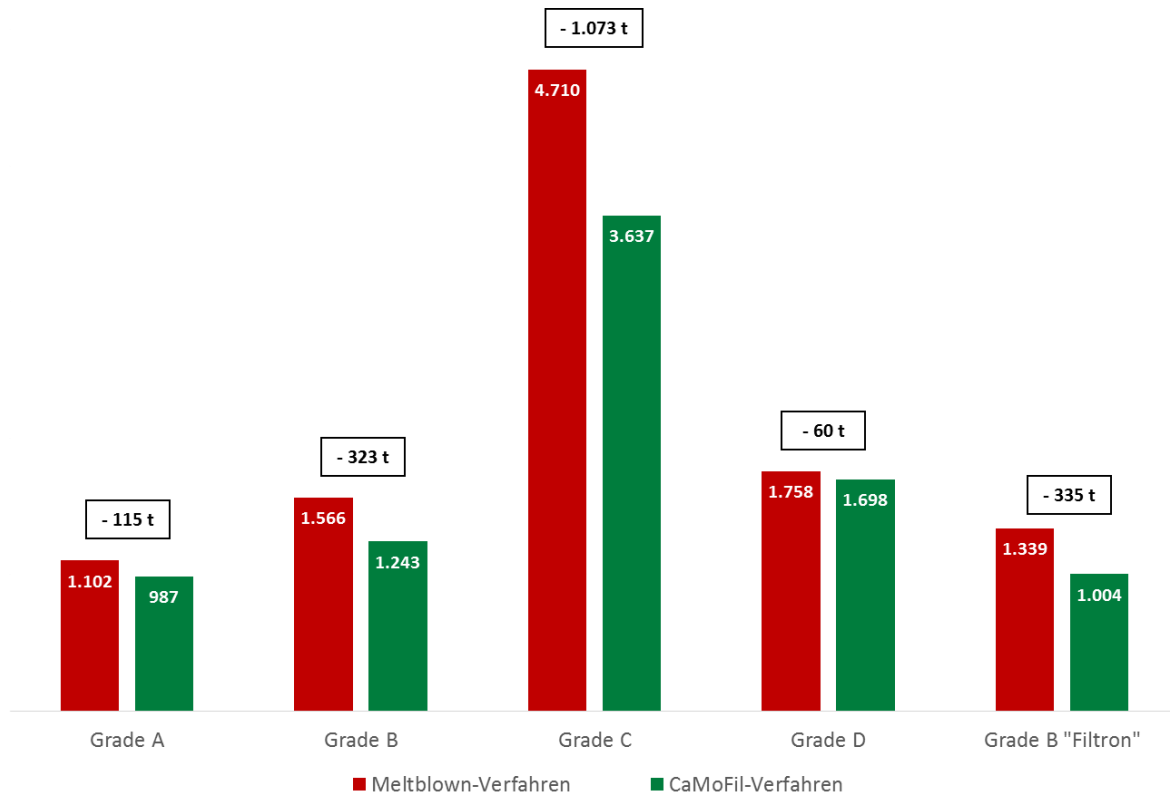


Abbildung 11: CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Materialeffizienz [t CO<sub>2</sub>]

### 3.2.2 Umweltentlastung durch einen signifikant geringeren Prozessenergiebedarf

Weiterhin kann durch das CaMoFil-Verfahren der Prozessenergiebedarf pro Kilogramm Vlies um 70 % gesenkt werden: Statt 4 kWh pro kg Filtermaterial ist beim neuen CaMoFil-Verfahren lediglich ein Energieeintrag von 1,2 kWh nötig. Bei einem Bedarf an aktuell 2.909.981 kg Kunststoffgranulat ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von 11.639.925 kWh, der nun um 8.783.215 kWh auf 2.856.710 kWh gesenkt werden kann. Dies entspricht einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von etwa 2460 t.

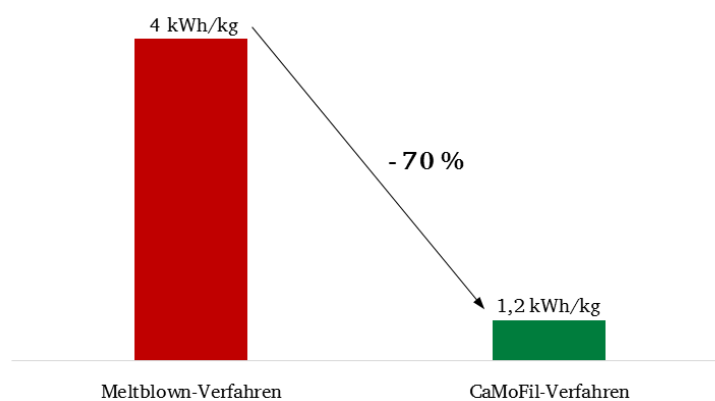
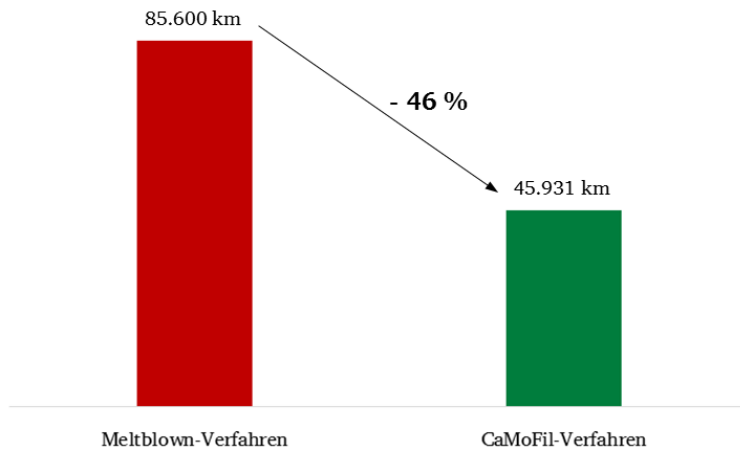


Abbildung 12: Signifikante Reduktion des Prozessenergiebedarfs pro Kilogramm

### 3.2.3 Umweltentlastung durch einen signifikant geringeren Prozessenergiebedarf

Bislang werden vorgefertigte und im Meltblown-Verfahren hergestellte Vliesstoffe an MANN+HUMMEL zugeliefert. Durch das neuartige Herstellungsverfahren sowie die Möglichkeit, direkt am Standort Marklkofen Vliese herzustellen, entfallen jährlich bis zu 364 Lkw-Fahrten mit jeweils etwa 22 Rollen (8000 kg pro Fahrt). Bei einer durchschnittlichen

Entfernung von 286 km pro Lieferanten entspricht dies einer Einsparung von 104.032 km. Für den mit der Umsetzung des Innovationsvorhabens notwendig werdenden Transport von Kunststoffgranulat (20.000 kg pro Fahrt), fallen durchschnittlich lediglich 58.101 km pro Jahr an.<sup>2</sup> Somit kann die jährliche Laufleistung insgesamt um 45.931 km reduziert werden. Bezogen auf einen Durchschnittsverbrauch an Diesel von 35 l/100 km sowie einer CO<sub>2</sub>-Emission von 2,6 kg/l<sup>3</sup> ergibt sich eine gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung von jährlich 42,1 t.



**Abbildung 13: Signifikante Reduzierung der zurückzulegenden Kilometeranzahl**

### 3.2.4 Ergebnisse des Gutachtens der LGA Immissions- und Arbeitsschutz GmbH

Aufgrund der Anforderungen an den Anlagenbetrieb gemäß § 4 BImSchG und dem damit verbundenen Genehmigungsverfahren wurde, in enger Abstimmung mit dem Landratsamt Dingolfing-Landau, die Firma LGA Immissions- und Arbeitsschutz GmbH mit der Erstellung eines Gutachtens, in Bezug auf Fragen der Luftreinhaltung beauftragt. Dabei wurde zunächst untersucht, welche Emissionen beim Betrieb der Anlage entstehen können.

Die Eingangsstoffe liegen granuliert vor, sodass durch das Handling keine partikelförmigen Emissionen entstehen können. Auch Geruchsemissionen sind nicht als relevant zu betrachten, da weder geruchsintensive Stoffe eingesetzt werden noch durch den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage entstehen. Die Einsatzstoffe werden über ein 2-Komponentendosiergerät in den Extruder eingebracht. Hier erfolgt die Vermischung der Stoffe und das Schmelzen. Das schmelzflüssige Kunststoffgemisch wird anschließend über eine Spinnpumpe in den Spinnbalken mit dem Spinnpaket gepresst, in dem die Filamente erzeugt werden. Bis zu den Spinndüsen im Spinnbalken ist die Anlage geschlossen, sodass mögliche gasförmige Emissionen erst an diesem Punkt frei werden können. Die Kunststoffäden werden über ein Lüftungssystem erstarrt und gestreckt, bevor sie im nachgeschalteten Diffusor verwirbelt werden. Die Monomerabsaugung erfasst die gasförmigen Emissionen aus der Kunststoffschmelze am Spinnbalken. Als mögliche Zersetzungsprodukte von dem eingesetzten Material Polypropylen sind gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe zu nennen, die als Gesamtkohlenstoff einzustufen sind. Die Abgase werden in einem wassergekühltem Kondensatbehälter abgekühlt, wodurch kondensierbare Anteile abgeschieden werden. Aufgrund der Kondensation können Aerosole entstehen, die mit der Abluft ins Freie abgeleitet werden können. Im

<sup>2</sup> Aktuell erfolgt die Lieferung von Kunststoffgranulat aus Belgien (Entfernung 800 km). Bei einer 50-prozentigen Aufteilung mit einem deutschen Zulieferer (Entfernung 286 km) ergibt sich eine jährliche durchschnittliche Distanz von 45.931 km.

<sup>3</sup> Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoffverbrauch>; abgerufen am 20.08.2020

daraufliegenden Bandofen werden die Filamente bei 160 °C über Kalanders verschmolzen. Der Bandofen wird im Umluftprinzip betrieben und direkt mit Erdgasbrennern beheizt. Durch den Erdgasbrenner und das Aufschmelzen der Fäden können Emissionen an Stickoxiden, Kohlenstoffmonoxid, Formaldehyd und organische Stoffe entstehen. In der Kühlzone entstehen keine Emissionen, da das Vlies als Festkörper vorliegt.

Das Reinigen der Siebe und Spinnndüsen erfolgt in einem elektrisch beheizten Ausbrennofen bei Temperaturen bis 450 °C. Aufgrund der Zusammensetzung der Einsatzstoffe sind hier Emissionen an Stickoxiden, Kohlenstoffmonoxid, Gesamtkohlenstoff, Benzol und Formaldehyd zu betrachten. Die bei der Produktion anfallenden Abfälle, d. h. Abschnitte vom Vlies, Fehlchargen etc., werden in Big-Bags gesammelt und in einer Regranulierung aufgearbeitet. Die Regranulierung umfasst die Zerkleinerung des Materials und die Granulierung mittels Schmelzen und Formen. Durch die Einwellenzerkleinerung zusammen mit der Befüllung über den darüberliegenden senkrechten Schacht, sind mögliche partikelförmige Emissionen nicht relevant, ebenso wenig wie gasförmige Stoffe, da das Material bereits durch vorhergehende Schritte aufgeschmolzen wurde und somit keine flüchtigen Monomere mehr enthalten sind.

Als emissionsmindernde Maßnahmen wurden eine Monomerabsaugung mit einem durch Kaltwasser gekühlten Kondensatbehälter (Schmelzen der Einsatzstoffe) sowie einer thermischen Nachverbrennung (Ausbrennofen) installiert.

### 3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Hinsichtlich der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit und möglicher Multiplikatoreffekte gilt es zunächst, die Ausgangssituation zu skizzieren. In der folgenden Abbildung ist hierfür die Umsatzentwicklung für die Jahre 2008 bis 2020 der Vliesstoffherstellung in Deutschland (ohne Bekleidung) dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass im Jahr 2016 ein Umsatz von nahezu 1,5 Milliarden Euro prognostiziert wurde, was ein erhebliches Potenzial und eine breite Übertragbarkeit der Technik aufzeigte. Darüber hinaus ist ein kontinuierliches Wachstum ersichtlich, was einhergeht mit der vermehrten Nachfrage im Feinstpartikelbereich für umweltfreundlich hergestellte synthetische Filtermedien.



Abbildung 14: Umsatzprognose Vliesstoffherstellung in Deutschland [Mio. EUR]<sup>4</sup>

Ergänzend zu dem erheblichen Marktpotenzial der eingesetzten Anlagentechnologie ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Möglichkeit der Multiplikatorenwirkung durch die hohe Anlagenflexibilität verstärkt wird. Da sämtliche Grades auf einer Anlage hergestellt werden können, bieten sich den unterschiedlichen Anbietern von Vliesstoffen hier maßgebliche

<sup>4</sup> Quelle: Statista (2016): „Umsatz der Branche Herstellung von Vliesstoff und Erzeugnissen daraus (ohne Bekleidung) in Deutschland von 2008 bis 2013 und Prognose bis zum Jahr 2020 (in Millionen Euro)“

Möglichkeiten der Umweltentlastung und Effizienzsteigerung. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Elektrifizierung des Antriebsstranges im Automobilbereich entwickeln sich hier neue Marktsegmente und zukunftsorientierte Geschäftsfelder, wobei die Anlagentechnologie hierfür aufgrund der hohen Funktionalität und Flexibilität die nötigen Voraussetzungen erfüllt. Angesichts der aufgezeigten erheblichen Flexibilität des Fertigungsprozesses und der Anlagensteuerung bieten sich darüber hinaus zahlreiche Perspektiven, die Erkenntnisse und Technologien auf andere Anwendungsbereiche zu übertragen. Durch die Eigenfertigung von Filtermaterialien ist MANN + HUMMEL nun unabhängig von Lieferanten. Dies führt durch die Möglichkeit einer effizienten Produktion, dem Wegfall der Transportkosten und der Marge der Lieferanten zu signifikanten Kostensenkungen. Seit März 2020 spart das Unternehmen jährlich 2,8 Mio. EUR ein. Dieser Wert basiert auf den bis dato umgestellten Produkten und Produktfamilien und wird mit fortschreitender Umstellung weiter steigen.

Weiterhin wurde die CAPAX nach Inbetriebnahme der Anlage aktualisiert. Dabei wurden vor der Antragstellung drei Szenarien betrachtet:

1. *Worst-Case-Szenario*: Reduziertes Volumen, wichtige Produktgruppe wird zugekauft. Amortisationszeit 4,6 Jahre, IRR 34 %.
2. *Average-Case-Szenario*: Wichtige Produktgruppe wird eigengefertigt, ansonsten gleiche Parameter wie 1. Amortisationszeit 4,3 Jahre, IRR 36 %.
3. *Best-Case-Szenario*: Wichtige Produktgruppe wird eigengefertigt, offensive Hochlaufkurve. Amortisationszeit 3,7 Jahre, IRR 41 %.

Die Nachbetrachtung ergab eine Amortisationszeit von 5,8 Jahren bei einem IRR von 30 %. Die vor Antragstellung festgelegten Parameter wurden dabei unverändert übernommen; einzig die Anschaffungskosten (Überschreitung um 1,7 %) und die produzierte Menge Spinnvlies wurde angepasst. Die Hochlaufkurve konnte nicht wie geplant umgesetzt werden, wodurch weniger Einsparungen erzielt werden konnten, was die Wirtschaftlichkeit verschlechterte. Folgende Gründe konnten hierfür identifiziert werden: Durch den späteren Produktionsstart (SOP) der Spinnvliesanlage verzögerte sich die Umstellung von Fremd- auf Eigenfertigung. Bei den meisten Umstellungen mussten Kundenfreigaben eingeholt werden, die zu weiteren Verzögerungen führten, zudem konnte eine wichtige Produktgruppe bis jetzt nicht umgestellt werden. Weiterhin mussten bei den meisten Umstellungen zeitaufwändige Kundenfreigaben eingeholt werden und teilweise hatten die bisherigen Lieferanten einen hohen Bestand auf Lager, den Mann+Hummel abnehmen musste.

### **3.4 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren**

Beim Stand der Technik wird das Filtermedium im sogenannten Meltblown-Verfahren hergestellt. Dieser Prozess ist gekennzeichnet durch die Extrusion eines thermoplastischen, filamentformenden Polymeres durch eine lineare Düse, die mehrere hundert kleine Öffnungen beinhaltet. Dabei strömt heiße Luft neben der linken und rechten Seite der Düsen spitze aus, welche die Polymerströme sehr schnell unterzieht. Die hierbei entstehenden, feinen und dünnen Filamente werden anschließend mit hoher Luftgeschwindigkeit auf ein Siebband geblasen, um ein fein filterndes, selbstgebondetes Meltblown-Vlies zu erhalten. In der folgenden Abbildung ist eine Meltblown-Anlage des Stands der Technik schematisch dargestellt.

Grundsätzlich werden beim Meltblown-Verfahren Polymere mit einer niedrigen Viskosität verwendet, wie z. B. Polyethylen MFI 20-200, Polyester iV 0,53-0,64, Polyamid und Polyurethan. Die benötigte, hohe Viskosität geht einher mit einer im Vergleich zu anderen Verfahren maßgeblich höheren Schmelztemperatur. Der Energiebedarf des Verfahrens,

insbesondere im Bereich der elektrischen Heizsysteme in der Extrusion, ist infolgedessen eine zentrale Schwachstelle des Meltblown-Verfahrens. Darüber hinaus muss im Zuge des Verfahrens die Luft zur Unterströmung des Polymers auf ca. 75 Celsius erhöht werden, was die Energieintensität weiter steigert.

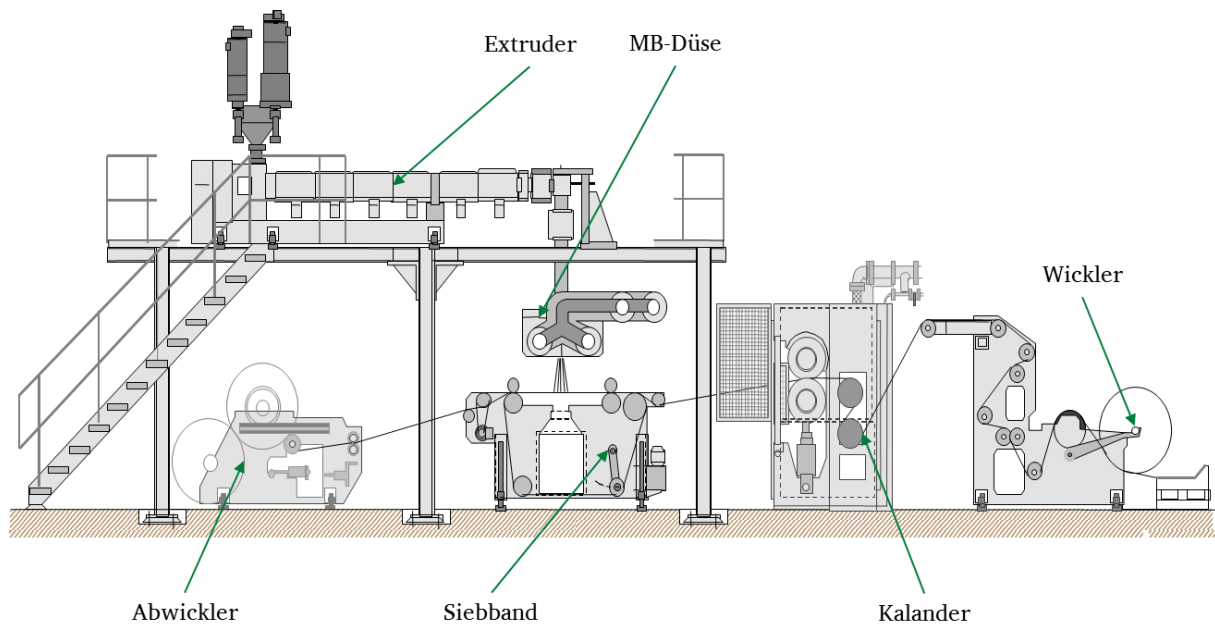


Abbildung 15: Stand der Technik: Meltblown-Anlage

## 4 Übertragbarkeit

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Erfahrungen aus der Praxiseinführung stellen sich überwiegend positiv dar. Insbesondere erweist sich der Prozess als sehr stabil, auch gegen externe Umwelteinflüsse, wie Luftzug oder Temperaturschwankungen. Diese hervorragende Prozessstabilität ermöglicht eine gleichbleibend hohe Produktqualität. Ebenso gestaltete sich der Umstellprozess von bestehenden Produkten und Produktfamilien auf im CaMoFil-Verfahren hergestellte Filtermedien deutlich flexibler dar, als zunächst erwartet.

Bei der Prozessentwicklung und -integration zeigte sich, dass der Zeit- und Abstimmungsbedarf zwischen den beteiligten Projektpartnern immens war, was die Laufzeit des Vorhabens deutlich verlängerte. Einige für den Prozess wesentliche Erkenntnisse konnten dadurch erst auf der Serienanlage erkannt werden. Auch die Beschaffung der Anlage dauerte länger als erwartet, sodass sich die gesamte Projektlaufzeit entsprechend verlängerte. Nicht zuletzt resultieren die genannten Punkte jedoch aus der Tatsache, dass es sich bei dem Vorhaben um die großtechnische Umsetzung eines weltweit einzigartigen Verfahren handelte und demnach keinerlei Erfahrungswerte vorlagen. Das im Rahmen der Projektumsetzung gewonnen Know-how kann nun auf weitere, ähnlich gelagerte Projekte übertragen werden.

### 4.2 Modellcharakter und Übertragbarkeit

In einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsarbeit des Sächsischem Textilforschungsinstituts e. V. in Kooperation mit MANN+HUMMEL (Projektabschluss 2015) wurde eine neue Generation von leistungsfähigen und gleichzeitig

energieeffizienten Filtermedien, die einerseits eine große Menge an Luft ohne großen Widerstand durchlässt und andererseits darin enthaltene Partikel effizient zurückhält, ermittelt.

Es wurden als zielführend Innenraumfiltermedien in Form von elektrostatisch aufgeladenen Vliesen mit Landungskonstanz identifiziert, da diese hohe Abscheidungseffekte über das gesamte Partikelgrößenpektrum aufweisen und folglich die Gestaltung einer offenen Filterstruktur zulassen, die den Energieverbrauch der Lüfter minimiert und eine für den Fahrgastraum ausreichende Frischluftmenge diffundieren lässt. Für ein optimales Gleichgewicht zwischen Abscheidegrad und Staubspeicherkapazität war grundsätzlich eine optimale Wahl von Faserdurchmesser, -dichte, -orientierung sowie der Oberflächenstruktur nötig, welche im Rahmen des Forschungsprojekts identifiziert werden konnte und durch das neuartige Anlagenkonzept zur Herstellung von Filtermedien mittels unterschiedlicher Spinnvliestechnologien erstmalig in die Unternehmenspraxis übertragen werden konnten (die unterschiedlichen Spinnvliestechnologien heben sich durch hohe mechanische Stabilität, Flexibilität im Medienaufbau mittels Baukastensystem, Anwendung angepasster thermischer und mechanischer Verfestigungsarten sowie durch die Einbringung einer langzeitstabilen elektrostatischen Aufladung vom Stand der Technik ab).

Im Rahmen des Investitionsvorhabens wurden erstmals die Forschungsergebnisse, als Grundlage für die Realisierung dieses hoch innovativen Verfahrens, auf die Unternehmenspraxis übertragen. Es wurden die Filtermedienherstellung vom Technikummaßstab auf eine industrielle Vliesbildungs- und Verfestigungsanlage hochskaliert und somit erstmals Spinnvliese in dem neu entwickelten CaMoFil-Verfahren hergestellt. Durch das umgesetzte Demonstrationsvorhaben wurde der vorgestellte CaMoFil-Prozess erstmalig in einer großtechnischen Anlage realisiert, was mit erheblichen Umweltentlastungen einhergeht.

Die durch das Investitionsvorhaben erreichten Ergebnisse des Filtermediums hinsichtlich Qualität, Stabilität und Leistungsfähigkeit konnten in der Vergangenheit nur im Meltblown-Verfahren unter deutlich höherem Material- und Energieeinsatz erreicht werden. Durch das Investitionsvorhaben besteht nun die Möglichkeit, auf das entsprechende Trägermaterial zu verzichten, da die notwendige Formgebung der Kunststofffilamente sowie deren Applikation und Anordnung auf dem Siebband unter Einsatz und Kombination innovativer Technologien und Anlagenkomponenten für den Fertigungsprozess von entscheidender Bedeutung war. Erstmals können spezielle Polymere für den Automotive-Bereich verwendet werden. Darüber hinaus ist die Kombination aus Spinnvliesverfahren sowie integrierter Öfen zur thermischen Verfestigung der Filamente im Vergleich zum Stand der Technik absolut neuartig. Durch dieses innovative Verfestigungskonzept kann das Filtermedium luftdurchlässiger gestaltet werden, was in einem maßgeblich verbesserten Strömungsverhalten resultiert. Vor dem Hintergrund zahlreicher unterschiedlicher Vliesvarianten, bietet das neuartige Anlagenkonzept erhebliche Vorteile. Es ist durch das Vorhaben möglich, die Vliesvarianten um ca. 80 % zu reduzieren und darüber hinaus die vier Arten von Grades auf einer Anlage herzustellen. Diese Grades unterscheiden sich hinsichtlich Faserdurchmesser, Flächengewicht und Luftdurchlässigkeit und konnten vor der Umsetzung des Innovationsprojektes nur in separaten Anlagen realisiert werden. Bedingt durch eine maßgebende Anlagenflexibilität und eine in Bezug auf das zu fertigende Grade adaptive Prozess- und Verfahrenssteuerung können aktuell alle vier Arten auf einer Anlage produziert werden.

## 5 Zusammenfassung/Summary

### 5.1 Zusammenfassung

#### Einleitung

Das Familienunternehmen Mann+Hummel GmbH mit Hauptsitz in Ludwigsburg ist Weltmarktführer auf dem Gebiet der Filtration und betreibt mehr als 60 Standorte auf fünf Kontinenten. Das Unternehmen hat nun durch die Inbetriebnahme einer innovativen Anlage zur Herstellung von Spinnvliesen am Standort in Marklkofen sein Kerngeschäft in der Vliesherstellung gestärkt.

#### Vorhabenumsetzung

Das Investitionsvorhaben wurde mit Bestellung der Anlage im Mai 2017 begonnen. Die Arbeiten bei MANN + HUMMEL bestanden zunächst aus baulichen Maßnahmen am Standort Marklkofen. Währenddessen wurde die Anlage bei dem Lieferanten Reicofil gebaut sowie sukzessive an MANN + HUMMEL ausgeliefert und in Betrieb genommen. Nachdem der Kleinserienbetrieb die Anforderungen des Unternehmens an den Prozess vollumfänglich erfüllt hatte, lag der Fokus der weiterführenden Projektstätigkeiten auf der Großserienproduktion. Oberstes Ziel war die Stabilität des Produktionsprozesses im Dauerbetrieb. Diese konnte im November 2018 erreicht werden – ab diesem Zeitpunkt begann der Hochlauf der Serienproduktion. Im Januar 2019 konnten die ersten in Serie hergestellten Produkte mit eigenem Filtermaterial ausgeliefert werden. Seit dem ersten Quartal 2019 wurden sukzessive die (Filter-) Produkte aus dem Hause MANN + HUMMEL auf die hauseigenen Filtermedien umgestellt. Im ersten Halbjahr 2019 wurden zunächst 33 Produktfamilien im CaMoFil-Verfahren produziert, im zweiten Halbjahr bereits 60. Seit Mitte des Jahres 2020 ist die Umstellung abgeschlossen; insgesamt 95 Produktfamilien werden nun mit Filtermedien aus der geförderten Anlage hergestellt.

#### Ergebnisse

In einem dreijährigen und durch das Umweltinnovationsprogramm geförderten Vorhaben wurde das CaMoFil-Verfahren im Unternehmen etabliert. Die neue Herstellungsanlage ist äußerst effizient und der einjährige Testbetrieb übertraf die Erwartungen. Die Produktionsgeschwindigkeit beträgt bis zu 100 m/min, so dass die vorhergesagten 23 Mio. m<sup>2</sup> übertreffend bis zu 28 Mio. m<sup>2</sup> pro Jahr feinflterndes Vlies hergestellt werden können. Die Prozessführung ist überaus stabil und erlaubt das einfache Umrüsten für die Herstellung von vier unterschiedlichen Filterqualitäten mit einer Grammatur von 30–200 g/m<sup>2</sup> und einer Dicke von 0,5–1,5 mm. Die Luftdurchlässigkeit der aus Polypropylen gefertigten Produkte beträgt 1500–5000 l/m<sup>2</sup>s. Im Gegensatz zum herkömmlichen Meltblown-Verfahren erfordert das CaMoFil-Verfahren nicht nur eine geringere Polymerviskosität, sondern auch geringere Temperaturen und somit deutlich weniger Prozessenergie. Verglichen mit dem Meltblown-Prozess werden jährlich bis zu 4.408,1 t/a CO<sub>2</sub>-Äquivalente eingespart. Das Meltblown-Verfahren ist gekennzeichnet durch die Extrusion durch eine lineare Düse, die mehrere hundert kleine Öffnungen enthält. Dabei strömt seitlich der Düsenspitze heiße Luft aus. Die hierbei entstehenden feinen Filamente werden anschließend mit hoher Luftgeschwindigkeit auf ein Siebband geblasen, um ein Vlies zu erhalten. Diese Heißluftdüsen sind beim CaMoFil-Verfahren nicht erforderlich. Es folgt eine Extrusion an einem Spinnpaket in einem geschlossenen Ofen, an welchem 3000–7000 Filamente zugleich extrudiert werden. Die Filamente werden auf einer Siebbandmaschine ungeordnet abgelegt und in einem nachfolgenden Ofen verfestigt. Das innovative CaMoFil-Verfahren ist somit wesentlich robuster, energieeffizienter und vielseitiger.

## **Ausblick**

Das innovative Herstellungskonzept wurde in diesem Vorhaben erstmalig im großtechnischen Maßstab umgesetzt und hat somit Modellcharakter. Der überaus überzeugende Testbetrieb lässt vermuten, dass die Technologie in der Zukunft branchenweite Verbreitung finden wird, auch da aufgrund innovativer Technologien wie der Elektromobilität der Bedarf an Filtern steigen wird.

## **5.2 Summary**

### **Introduction**

The family-owned company Mann+Hummel GmbH, headquartered in Ludwigsburg, is the world market leader in the field of filtration and operates more than 60 locations on five continents. The company has now strengthened its core business in nonwovens production by commissioning an innovative spunbonding line at its Marklkofen site.

### **Project Implementation**

The investment project was started with the order of the plant in May 2017. The work at MANN + HUMMEL initially consisted of structural measures at the Marklkofen site. In the meantime, the plant was built by the supplier Reicofil and successively delivered to MANN + HUMMEL and put into operation. After the plant had fully met the company's requirements for the process in small series, the focus of further project activities was on large series production. The primary objective was to ensure the stability of the production process in continuous operation. This was achieved in November 2018. From this point on, the ramp-up of series production began. In January 2019, the first series-produced products with the company's own filter material could be delivered. Since the first quarter of 2019, the (filter) products from MANN + HUMMEL have been successively converted to the company's own filter media. In the first half of 2019, 33 product families were initially produced using the CaMoFil process, and by the second half of the year this number had risen to 60. The conversion has been completed since mid-2020, and a total of 95 product families are now being produced with filter media from the subsidized plant.

### **Project results**

In a three-year project supported by the Environmental Innovation Program, the CaMoFil process was established in the company. The new production plant is extremely efficient, and the one-year test operation exceeded expectations. The production speed is up to 100 m/min, so instead of the predicted 23 million m<sup>2</sup> of fine filtering fleece more than 28 million m<sup>2</sup> can be produced per year. The process control is extremely stable and allows easy changeover to produce four different filter qualities with a grammage of 30-200 g/m<sup>2</sup> and a thickness of 0.5-1.5 mm. The air permeability of the products made of polypropylene is 1500-5000 l/m<sup>2</sup>s. In contrast to the conventional meltblown process, the CaMoFil process not only requires a lower polymer viscosity, but also lower temperatures and thus significantly less process energy. Compared to the meltblown process, up to 4,408.1 t/a CO<sub>2</sub> equivalents are saved annually. The meltblown process is characterized by extrusion through a linear nozzle containing several hundred small openings. Hot air flows out to the side of the nozzle tip. The resulting fine and thin filaments are then blown onto a spin belt at high air speed to produce a nonwoven. These hot air nozzles are not required for the CaMoFil process. An extrusion follows on a spinneret in a closed furnace, on which 3000–7000 filaments are extruded simultaneously. The filaments are deposited in a random order on a spin belt and solidified in a subsequent oven. The innovative CaMoFil process is therefore much more robust, energy efficient and versatile.



**Outlook**

In this project, the innovative manufacturing concept was implemented on a large scale for the first time and thus has model character. The extremely convincing test operation leads to the assumption that the technology will be widely used throughout the industry in the future, also because the demand for filters will increase due to innovative technologies such as electromobility.