

## Rückhalteraten von Filtermaterialien für Kühlschmierstoff bei der Nasszerspanung von FVK

# Filtermaterialien für die FVK-Nasszerspanung

S. Kleinhenz

Faserverstärkte Kunststoffe (FVK) bieten aufgrund ihrer hervorragenden gewichtsbezogenen Steifigkeiten ein enormes Potenzial bewegte Massen zu reduzieren. Bei der Nasszerspannung solcher Materialien gibt es Vorbehalte durch fehlendes Wissen in der Handhabung und der Wechselwirkung des Kühlschmierstoffes (KSS) mit den Matrixmaterialien. Der Beitrag befasst sich mit der richtigen Handhabung des KSS in der Filtration und der Auslegung des Filtrationsmediums für einen stabilen Prozess beim zerspanenden Endanwender.

### STICHWÖRTER

Faserverbundwerkstoffe, Fräsen, Kühlschmierstoff

## Filter materials for FRP machining – retention rate for filter materials during the wet machining of fiber-reinforced plastics

Due to their excellent weight-related stiffness, fiber-reinforced plastics (FRP) offer enormous potential for reducing the weight of moving masses. When it comes to wet machining these products, end users often lack knowledge on handling the cooling fluid and its reaction with FRP materials. This article shows in detail how to handle the cooling fluid and how to determine the filtration media for a stable use during the machining process of FRP.

## 1 Motivation und Problemstellung

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Nassbearbeitung von FVK (faserverstärkte Kunststoffe) im Vergleich zu Trockenbearbeitung eindeutige Prozessvorteile mit sich bringt [1]. So lassen sich durch den Einsatz von Kühlschmierstoffen positive Auswirkungen auf den Werkzeugverschleiß, die Bearbeitungszeit, die Staubbelastung sowie die Bearbeitungsqualität beobachten [2]. Aufgrund der feinen, abrasiven Partikel ist jedoch eine sorgfältige Filtration des Kühlschmierstoffes zum Schutz diverser Maschinenteile, des zu bearbeitenden Werkstücks und des Werkzeugs von oberster Priorität [1].

Im Rahmen des IGF-Vorhabens 20284 N „Kuschmierstoff für die Nasszerspanung faserverstärkter Kunststoffe“ wird in Kooperation mit der Forschungsvereinigung Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e.V. ein quantitativer und qualitativer Vergleich von Filterbeuteln und Filtervliesen durchgeführt und bewertet [3]. Dabei werden die Filter auf ihren CFK (kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff)-Rückhalt und das Filtrat auf seine Partikelgrößenverteilung untersucht.

## 2 KSS-Kreislauf und Filtrationsmechanismen

Zur Vermeidung beziehungsweise Verringerung einer Temperaturbelastung im Zerspanprozess werden aktuell überwiegend Kühlschmierstoffe eingesetzt. Diese erlauben neben einer Abfuhr der Prozesswärme aus der Kontaktzone Werkzeug-Werkstück durch Kühlung auch eine Reduktion von Reibwärme durch Schmierung und den Abtransport von Partikeln. Damit tragen

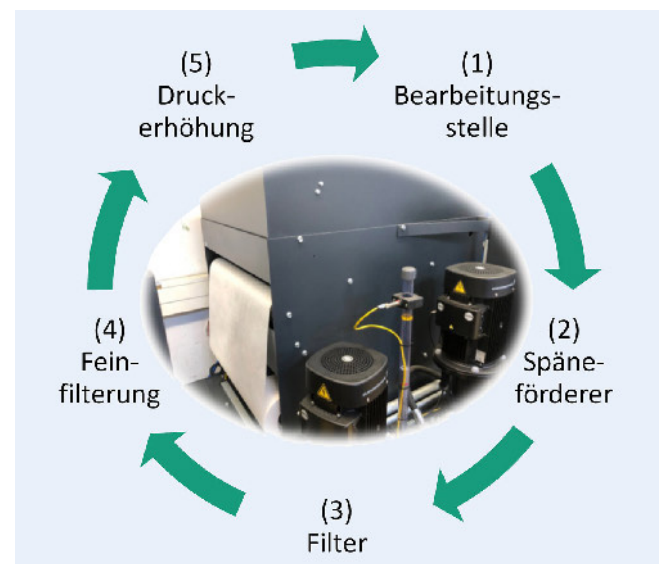


Bild 1. Stationen im Kühlschmierstoffkreislauf [6]. Bild: Fraunhofer IPA

KSS zu einem hohen Leistungsniveau einer Vielzahl spanender Fertigungsprozesse bei [4]. Der Kühlschmierstoff befindet sich maschinenseitig in einem geschlossenen Kreislauf. Nach seinem Einsatz wird der mit Fasern, Staub und Werkzeugabrieb verunreinigte Kühlschmierstoff wieder aufbereitet und dem Prozess erneut zugeführt. Hierbei durchläuft er mehrere Stationen, wie in Bild 1 zu sehen [5].

Da die Bearbeitungsrückstände eine stark abrasive Wirkung haben, ist eine prozesssichere Reinigung des Kühlschmierstoffes

zwingend erforderlich. Andernfalls werden die am Kühlschmierstoffkreislauf beteiligten Elemente wie Pumpen, Ventile, Kühler oder Düsen durch die Rückstände bei der Umwälzung in Mitleidenschaft gezogen. Verunreinigter Kühlschmierstoff wirkt sich auch negativ auf das Bearbeitungsergebnis und die Werkzeugstandzeit aus [6].

Im Allgemeinen handelt es sich bei der Reinigung von Kühlschmierstoffen um eine mechanische Fest-/Flüssig-Trennung. Das primäre Ziel kann in der Entfeuchtung des Feststoffes, der Aufkonzentrierung einer Suspension, der Klärung einer Flüssigkeit, der Klassierung eines Feststoffes nach der Partikelgröße, der Sortierung eines Feststoffes nach Stoffeigenschaften, der Aufreinigung eines Feststoffes durch Waschung oder der Drei-Phasentrennung von einem Feststoff und zwei molekular nicht mischbaren Flüssigkeiten bestehen, wodurch auch ein Extraktionsprozess eingeschlossen wird. Grundlegend muss für die Auswahl einer geeigneten Reinigungsmethode die notwendige Kühlschmierstoffreinheit sowie der benötigte Volumenstrom feststehen. Typischerweise wird KSS unter Verwendung der vier wesentlichen Methoden Magnetabscheidung, Sedimentation, Zentrifugation sowie Filtration gereinigt [5].

Bei der Filtration erfolgt die Partikelabscheidung durch die Anlagerung der suspendierenden Partikel an der Oberfläche oder in den Poren und Zwischenräumen des Filtermediums. Demnach wird zwischen der Tiefenfiltration und der Oberflächenfiltration unterschieden. Zu beachten ist, dass dies eine vereinfachte Darstellung ist, da bei technischen Anwendungen in der Regel die beiden Filtrationsarten kombiniert eingesetzt werden und somit weitere Untergruppen abgebildet werden können [7].

Bei der Tiefenfiltration weisen die Feststoffpartikel einen geringeren Durchmesser als die Filterporen auf. Die Feststoffpartikel werden vor allem durch physikalisch-chemische Mechanismen wie der Adsorption und Adhäsion zurückgehalten. Diese sorgen für eine Anlagerung der Feststoffpartikel in den Kanälen und Poren des Filtermediums. Die optimale Reinigung des Kühlschmierstoffes findet erst statt, sobald sich die Feststoffpartikel in den untersten Poren des Filtermediums anlagern. Somit werden nachfolgende Feststoffpartikel durch den Sperreffekt aufgehalten und am Durchfluss gehindert. Sind alle Poren mit Feststoffpartikeln blockiert, ist der Filter erschöpft und es können keine weiteren Feststoffpartikel zurückgehalten werden. In der Folge kommt es zum Durchbruch des Filters. Bei der Tiefenfiltration wird das Filtermedium immer orthogonal durchströmt und im Regelfall findet kein oder nur ein geringer Druckanstieg statt. Zur Vermeidung eines hohen Druckanstiegs sowie unerwünschter Feststoffpartikel im gereinigten Kühlschmierstoff müssen Tiefenfilter regelmäßig gewechselt werden. Die Tiefenfiltration findet vor allem bei Suspensionen mit einer geringen Feststoffbelastung statt und eignet sich besonders zur Filtration von schwer filtrierbaren Suspensionen [7].

Ist der Durchmesser der abzutrennenden Feststoffpartikel größer oder gleich dem Durchmesser der Filterporen, so handelt es sich um eine Oberflächenfiltration. Primär sind die entscheidenden Rückhalte-mechanismen bei der Oberflächenfiltration der Sperreffekt sowie die Adsorption. Die Siebwirkung entsteht in der obersten Schicht des Filtermediums durch das Wachstum des Filterkuchens. Der Filterkuchen besteht entweder ausschließlich aus den abzutrennenden Feststoffpartikeln oder er ist ein Ge-

misch aus abzutrennenden Feststoffpartikeln und dem Filterhilfsmittel. Die Porenweite des Filterhilfsmittels muss geringer sein als die Größe der zu trennenden Feststoffpartikel. Ist der sich bildende Filterkuchen entscheidend an der Filtrationswirkung des Filters beteiligt, wird diese Art der Oberflächenfiltration als Kuchenfiltration bezeichnet. Bei der Oberflächenfiltration findet eine konstante Filtration der Suspension über die gesamte Filtrationsdauer statt. Die Suspension durchströmt bei der konventionellen Oberflächenfiltration und der Kuchenfiltration das Filtermedium vertikal. Bevorzugte Anwendung findet die Oberflächenfiltration bei Suspensionen mit einer hohen Anzahl enthaltener Feststoffpartikel sowie in Bereichen, in welchen die Feststoffpartikel vollständig zurückgehalten werden müssen, zum Beispiel bei der Sterilfiltration. Charakteristisch bei der Oberflächenfiltration ist der zunehmende Strömungswiderstand im Filterapparat mit größer werdendem Filterkuchen und somit steigender Anzahl an abgesehenen Partikeln. Steigt der Druck beträchtlich an, ist dies ein Hinweis auf eine Erschöpfung des Filters. Mit einer Zugabe von kuchenauflöckernden Filterhilfsmitteln kann die Standzeit dieser Filter erhöht werden. Somit findet eine Kombination aus Oberflächenfiltration und Tiefenfiltration statt. Ungeeignet ist die konventionelle Oberflächenfiltration bei schnell blockierenden, in der Regel zähen oder schleimigen Stoffen, da die entstehende Deckschichtbildung eine hohe Druckdifferenz zur Folge hat und die Deckschicht bei der Reinigung des Filters nicht ausreichend entfernt werden kann [7].

Zur Filtration werden unterschiedlichste Filtermedien verwendet. Für eine möglichst optimale Filtrationsleistung ist der Einsatz des richtigen Filtermediums entscheidend. In der metallverarbeitenden Industrie werden zum Beispiel Metallgewebe verwendet. Filtermedien aus metallischen Werkstoffen sind aber in ihrer Porenfeinheit begrenzt, weshalb sich Filtervliesstoffe für die FKV-Bearbeitung durchgesetzt haben. Filtervliesstoffe sind primär Gebilde aus Fasern, die auf unterschiedliche Arten zu einem Vlies, also einer Faserschicht, zusammengefügt und verbunden werden. Die Vliese bestehen aus Viskosefasern, Polyesterfasern oder Polypropylenfasern. Grundsätzlich weist Polyester ein polares und Polypropylen ein unpolares Verhalten auf [8]. Die eingesetzten Öle in Emulsionen bestehen primär aus Kohlenwasserstoffen und zeigen wie Polypropylen ein unpolares Verhalten. Durch Wechselwirkungen, genauer den Van-der-Waals-Kräften, ziehen sich Polypropylen und das Öl aufgrund ihrer Polarität gegenseitig an, sodass Polypropylen besser in der Lage ist, Öl einzubinden [9].

Die Herstellung der Vliese findet in mehreren Phasen statt. Die Vliesbildung wird mit dem Trockenverfahren, Spinnverfahren oder dem Wasserstrahlverfahren durchgeführt. Im nächsten Schritt findet die mechanische (Vernadelung, Wasserstrahlverfestigung), chemische (Binder aus Elastomeren) oder thermische Verfestigung statt. Zuletzt folgt die Veredelung (Ausrüsten, Färben, Beschichten). Das eingesetzte Herstellungsverfahren bestimmt die Eigenschaften des Vliesstoffes und ist damit ausschlaggebend für das Filtrationsergebnis. Im Falle einer Oberflächenfiltration werden gegenüber der Tiefenfiltration deutlich dünnere Vliese angestrebt. Bei der Tiefenfiltration wird das Ziel verfolgt, dass die kleinsten Partikel im Faserlabyrinth hängen bleiben und so die Filtration verbessern. Dadurch baut sich der Filterkuchen bereits in dem Faserlabyrinth auf und breitet sich auf dem Filtervlies weiter aus.

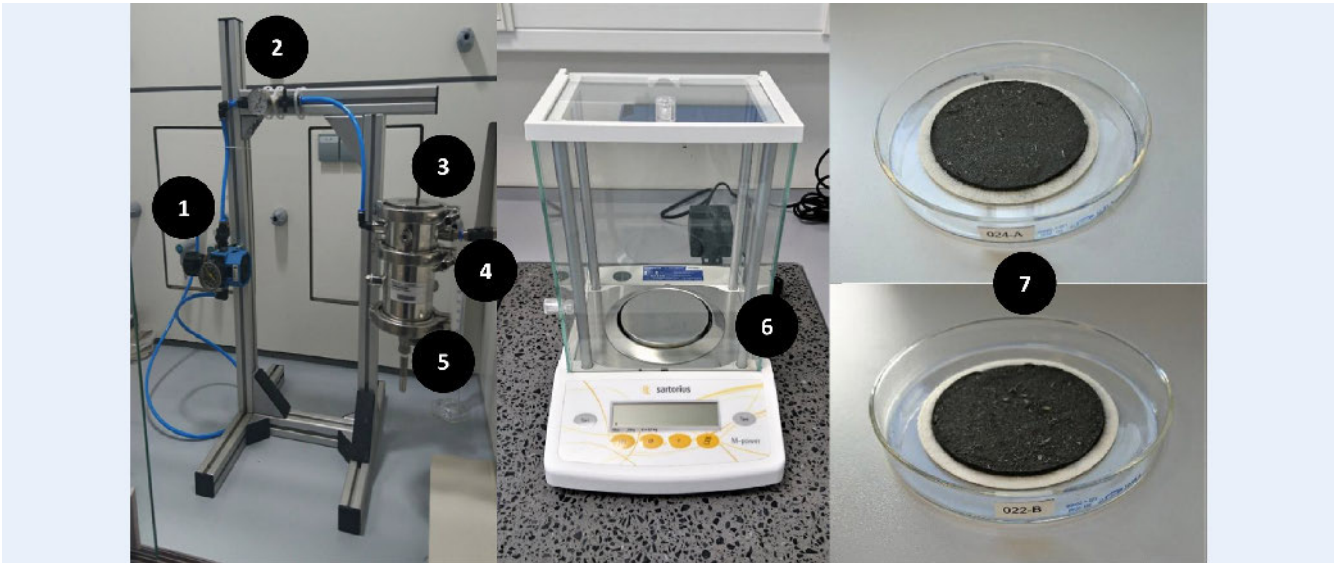


Bild 2. links: Labornutsche, Mitte: Laborwaage, rechts: Filterelemente mit CFK (kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff)-Partikeln. Bild: Fraunhofer IPA

### 3 Versuchsanplanung und -durchführung

Für die Versuchsdurchführung mussten zunächst der Versuchsaufbau im Labormaßstab und die zu verwendenden Filter auf ihrer Reproduzierbarkeit, den Umbauaufwand für verschiedene Filtertypen und die Praxisnähe bewertet werden. Als KSS-Konzentrat wurde ein Referenzprodukt des Verbandes Schmierstoff-Industrie e. V. mit der Bezeichnung VSI034 in einer 7 %-Einsatzkonzentration unter Zusatz von Wasser verwendet. Bei dem Konzentrat handelt es sich um einen emulgierbaren mineralölbasierten KSS mit einem kalkulierten Ölgehalt von 30 % und einer formaldehydfreien Formulierung.

#### 3.1 Versuchsaufbau und -durchführung

In Bild 2 (links) ist der Versuchsaufbau dargestellt und wird im Folgenden genauer beschrieben.

Die aus dem Druckluftsystem entnommene Druckluft strömt zunächst durch einen Druckminderer (1), mit dem der Druck in Stufen von jeweils 50 mbar auf insgesamt 1 bar Überdruck bei Beutelfiltern und atmosphärischen Druck bei Filtervliesen eingeregelt wird. Nachfolgend ist ein Manometer (2) mit einem Druckanzeigebereich von 0 bis 2,5 bar zur Kontrolle verbaut. Durch die Öffnung (3) wird die Suspension bestehend aus 400 g KSS und 4 g CFK-Partikeln der Labornutsche (4) zugeführt, in welcher die Filtermaterialproben mit einer Fläche von 47,78 cm<sup>2</sup> fixiert sind. Abschließend wird das Filtrat über die Öffnung (5) in eine Laborflasche abgefüllt.

Nach jedem Versuch erfolgt eine 2-fache Nachspülung der Labornutsche mit jeweils 50 g Emulsion und dem jeweiligen Systemdruck und eine Reinigung der Nutsche unter Atmosphäre mit 40 g Emulsion und einer Spritzflasche.

In Bild 2 (Mitte) ist die Laborwaage (6) mit einer Genauigkeit von 0,1 mg abgebildet, die zur Gewichtsbestimmung der Filtermaterialien (vor und nach den Filtrationsversuchen) und der CFK-Partikel (zur Herstellung der Suspension) dient. In Bild 2 (rechts) sind zwei ausgestanzte Filterelemente (7) mit einem Filterkuchen aus CFK-Partikeln zu sehen.

#### 3.2 Filtermaterialien

Zur Einbringen der Filtermaterialproben in die Labornutsche wurden runde Scheiben mit einem Durchmesser von je 84 mm aus den zu untersuchenden Filtervliesen ausgestanzt. Die in der Versuchsreihe untersuchten Filtermaterialien werden im Folgenden charakterisiert.

Die in Tabelle 1 dargestellten Filtervliese der Firma Apodis (AJH, AN APN) [10] und der Firma Reber Systematic GmbH (HF) [11] bestehen aus 100 % Polyester oder der Untergruppe der Polyethersulfonen. Die verschiedenen Filtermaterialien unterscheiden sich vor allem im eingesetzten Herstellungsprozess bei der Verfestigung. Innerhalb einer Herstellungsreihe variieren die Filtervliese hingegen primär in ihrem jeweiligen spezifischen Gewicht. Dadurch bedingt ändern sich die mechanischen Eigenschaften wie Luftdurchlässigkeit, Vliesdicke und zulässige Kräfte.

Die vier Filterbeutelreihen der Firma Eaton Electric GmbH unterscheiden sich neben dem konstruktiven Aufbau auch in den Filtrationsleistungen, die über Abscheideraten oder Abscheideeffizienzen angegeben werden. Die „Snap-Ring“- und „DuraGAF“-Filterbeutel sind einlagige Filterbeutel. Die Angabe zu abscheidbaren Partikelgrößen findet durch die Abscheiderate statt. Diese gibt an, welche Partikelgröße, zum Beispiel „25 µm“, zurückgehalten wird. Diese Filtrationsleistung wird jedoch nicht vollständig erreicht, vielmehr muss von einer 90 prozentigen Wahrscheinlichkeit ausgegangen werden. Tabelle 2 spiegelt die wichtigsten Informationen zu den beiden Filterbeutelreihen wider. Das Kürzel PE steht für die Polyester-Filterbeutel der Snap-Ring-Filterbeutelreihe, „Pexl“ für die Polyester-Filterbeutel der DuraGAF-Filterbeutelreihe [12].

Die „AccuGAF“- und „ProGAF“-Filterbeutel sind mehrlagige Filterbeutel. Die abscheidbaren Partikelgrößen werden durch Abscheideeffizienzen angegeben. Genauer wird dargestellt, welche Partikelgrößen mit welcher Wahrscheinlichkeit zurückgehalten werden. Tabelle 3 gibt die zugehörigen Informationen wieder. Das Kürzel „AGF“ steht für die Polypropylen-Filterbeutel der Accugaf-Filterbeutelreihe, „PGF“ für die Polypropylen-Filterbeutel der ProGaf-Filterbeutelreihe [12].

Tabelle 1. Beschreibung der Filtervliese [10,11].

Bezeichnung	Gewicht	Luftdurchlässigkeit (L/m <sup>2</sup> s)	genadelt	thermisch verfestigt	kalandert	wasserstrahl verfestigt
AJH 70	70	6000	x	x		
AN 60 K1	60	4100	x	x		
AN 80 K1	80	3500	x	x		
AJH 100	100	4500	x	x		
AJH 130	130	3700	x	x		
AN 130 K1	130	3300	x	x		
APN 270 K1	270	630	x	x	x	
AN 300 K1	300	540	x	x	x	
100 HF	100	5000	x	x		x
130 HF	130	4000	x	x		x

Tabelle 2. Beschreibung der Filterbeutel Snap-Ring und DuraGAF [12].

Bezeichnung	Abscheiderate (µm)	Material
PE-1-P01S-40L	70	Polyester
PE-5-P01S-60L	60	Polyester
PE-10-P01S-60L	80	Polyester
PE-25-P01S-60L	100	Polyester
PEXL-1-P01H-30L	130	Polyester
PEXL-5-P01H-30L	130	Polyester
PEXL-10-P01H-30L	270	Polyester
PEXL-25-P01H-30L	300	Polyester

### 3.3 Filtertrocknung und Auswertung

Nachdem die Suspension aus KSS und CFK-Partikeln in den Filterproben gefiltert wurde, war eine Filtertrocknung notwendig, um die überschüssige Flüssigkeit aus den Filterproben auszutrocknen. Dabei haben Vorversuche ergeben, dass eine Trocknung über 16 Stunden bei 85 °C ausreichend ist. Damit die Einbindung des Kühlschmierstoffes in den Filter als Kompensation herangezogen werden konnte, wurde jede Versuchsreihe mit und ohne

Partikelbelastung durchgeführt und einer dreifachen Wiederholung unterzogen. Anschließend wurde vom Gewicht der mit Partikeln belasteten Filter die durchschnittliche Gewichtszunahme der partikelfreien Filter sowie die Einwaage des jeweiligen Filters abgezogen und in einen prozentualen Zusammenhang zur eingebrachten CFK-Menge gebracht. Dieser Faktor wird im Folgenden als CFK-Rückhalterate bezeichnet.

## 4 Versuchsergebnisse

Um eine Aussage zur Filtrationsleistung treffen zu können, wurde als Bewertungsgröße die CFK-Rückhalterate herangezogen. Dabei bedeutet ein hoher prozentualer Rückhalt eine hohe Reduzierung von Partikeln im KSS. Nachfolgend werden getrennt nach Filtervlies und Beutelfilter die Rückhalteraten aufgezeigt.

### 4.1 Filtervliese

Die untersuchten Filtervliese unterscheiden sich primär in ihrem jeweiligen Gewicht pro Fläche und in der Luftdurchlässigkeit. Die Versuchsergebnisse in **Bild 3** zeigten, dass die verschiedenen Filtervliese deutlich unterschiedliche CFK-Rückhalteraten aufweisen.

Bei den AJH- sowie den HF-Filtervliesen liegen CFK-Rückhalteraten im Bereich von 87,01 % bis 91,41 % vor. Im Gegensatz

Tabelle 3. Beschreibung der Filterbeutel AccuGAF und ProGAF [12].

Bezeichnung	Abscheideeffizienzen (µm)					Material
	> 60%	> 90%	> 95%	> 99%	> 99,9%	
AGF-51-E01E-O-20L	0,2	0,6	0,8	1,5	5	Polypropylen
AGF-53-E01E-O-20L	0,8	1	2	3	5	Polypropylen
AGF-55-E01E-O-20L	1	2	3	5	15	Polypropylen
AGF-57-E01E-O-20L	2	4	5	10	25	Polypropylen
PGF-51-E02E-O-04X	0,15	0,3	0,45	0,5	2	Polypropylen
PGF-55-E02E-O-04X	1	3	6	10	12	Polypropylen



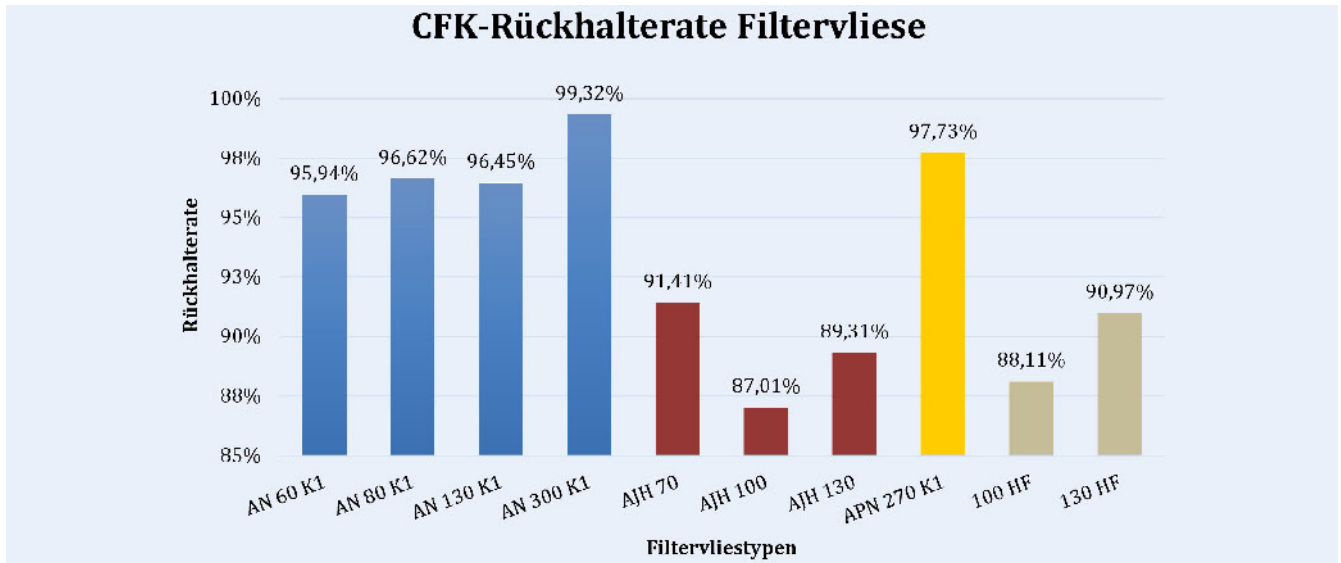


Bild 3. CFK-Rückhaltung der verschiedenen Filtervliese. Bild: Fraunhofer IPA

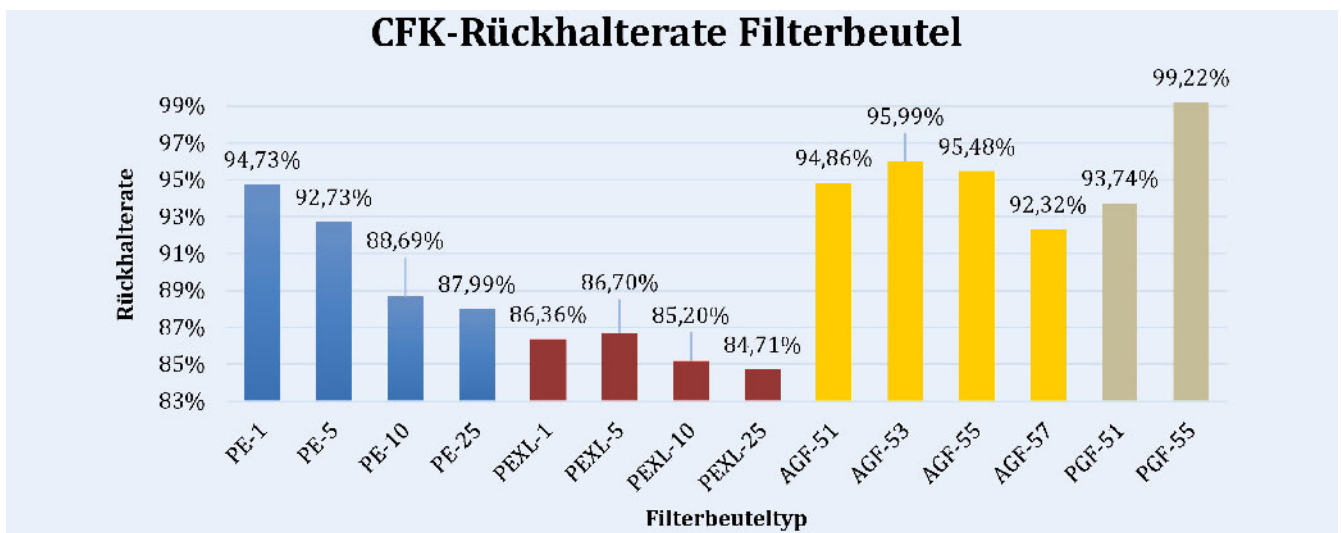


Bild 4. CFK-Rückhaltung der verschiedenen Filterbeutel. Bild: Fraunhofer IPA

dazu weist das Filtervlies APN 270 K1 eine Rückhalterate von 97,73% auf. Beim Einsatz des Filtervlieses vom Typ AN 300 K1 konnten mit 3,9728 g von insgesamt 4,0000 g rund 99,32% der CFK-Partikel zurückgehalten werden, was auf sein hohes Gewicht, der niedrigen Luftdurchlässigkeit und der kalanderten Fläche zurückzuführen ist.

#### 4.2 Beutelfilter

Die Filterbeutel aus der Snap-Ring (PE)- & DuraGAF (Pexl)-Reihe sind jeweils einlagig und bestehen primär aus Polyester. Trotz gleicher Grundmaterialien und Abscheideraten zeigten sie deutliche Unterschiede in ihren jeweiligen CFK-Rückhaltevermögen, wie in Bild 4 dargestellt.

Dabei ist analog zu den Filtervliesen eine maximale Rückhalterate von 99,99% das heißt 4,000 g möglich. Primär ist dies durch die erhöhte Schmutzaufnahmekapazität und der damit verbundenen Porosität der Filterschichten bei der Duragaf-Filterbeutel-

reihe zu erklären. Es ergibt sich im Versuchsaufbau eine geringere Filtrationsleistung der CFK-Partikel. Beide Filterbeutelreihen sind augenscheinlich bereits mit CFK-Partikeln gesättigt. Daher besteht die Vermutung, dass auch die Duragaf-Filterbeutelreihe unter Verwendung von mehr CFK-Partikeln keine deutlich höhere Standzeit erreichen.

Die Filterbeutel aus der AccuGAF (AGF)- und ProGAF (PGF)-Reihe bestehen aus mehrlagigen, immer feiner werdenden Filterlagen aus Polypropylen, das in schmelzgeblasener Form oder in Gewebeform eingesetzt wird. Der primäre Unterschied besteht in der höheren Schmutzaufnahmekapazität und der größeren Volumina der ProGaf-Filterbeutelreihe. Auch unterscheiden sie sich in ihren Abscheideeffizienzen, wodurch nur bedingt ein Vergleich durchgeführt werden kann. Beim CFK-Rückhalt kommt die erhöhte Schmutzaufnahmekapazität der ProGaf-Filterbeutel zum Tragen. Aufgrund der befürchteten Mikrorisse beim PGF-51 wird dieser nicht verglichen. Der AGF-57 hat nur geringfügig schlechtere Abscheideeffizienzen als der PGF-55, hält mit 92,32%

(3,6928 g) gegenüber 99,22 % (3,9688 g) jedoch deutlich weniger CFK-Partikel zurück. Das bessere Ergebnis des PGF-55 ist der erhöhten Schmutzaufnahmekapazität geschuldet. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass auch feinere CFK-Partikel in den unteren Schichten zurückgehalten werden. Daher scheint der PGF-55 am besten geeignet für die Filtration von CFK-Partikeln.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Versuchsreihe untersuchte den Einfluss der Filtration auf die Rückhalterate von Partikeln bei der Zerspanung von FVK. Hierbei soll den Endanwendern ein Einblick in die Möglichkeit der Reduzierung der Partikelast im KSS-System durch Variation des Bandfiltervlieses oder durch Integration eines Beutelfilters gegeben werden. Wie in den Auswertungen zu sehen, ist es bereits mit einfachsten Mitteln wie etwa einem Filtervlieswechsel möglich, die Anlage zu verbessern. Bei einer Worst-Case Auslegung AJH 100 mit 87,01 % kann im Vergleich zu einer Best-Case Auslegung AN 300 K1 mit 99,32 % die Rückhalterate um rund 12,31 % erhöht werden.

Beim Einsatz von Beutelfiltern hat sich gezeigt, dass für die Filtration von FVK-Partikeln die mehrlagigen, immer feiner werdenden Filter mit hoher Schmutzsättigung von Vorteil sind.

In weiteren Folgeversuchen muss die Schmutztragekapazität der verschiedenen Filter untersucht werden, um ein genaues Bild über die zu erwartenden Kosten für Filterhilfsmittel im Prozess zu erhalten.

### Literatur

- [1] Moser, S.: CFK Nassbearbeitung klar im Vorteil. Stand: 2017. Internet: [www.produktion.de/technik/cfk-nassbearbeitung-klar-im-vorteil-117.html](http://www.produktion.de/technik/cfk-nassbearbeitung-klar-im-vorteil-117.html). Zugriff am 10.05.2021

- [2] Beckenlechner, R.: Einsatz von Kühlschmierstoff KSS in der CFK-Zerspanung. Stand: 2018. Internet: [www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/Kuehlschmierstoff.html](http://www.ipa.fraunhofer.de/de/referenzprojekte/Kuehlschmierstoff.html). Zugriff am 10.05.2021
- [3] DGMK: Kühlschmierstoffe für die Nasszerspannung faserverstärkter Kunststoffe. Stand: 2020. Internet: [dgmk.de/projekte/kuehlschmierstoffe-fuer-die-nasszerspannung-faserverstaerker-kunststoffe/](http://dgmk.de/projekte/kuehlschmierstoffe-fuer-die-nasszerspannung-faserverstaerker-kunststoffe/). Zugriff am 10.05.2021
- [4] Klocke, F.: Fertigungsverfahren 1. Zerspanung mit geometrisch bestimmter Schneide. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2018
- [5] Brecher, C.; Weck M.: Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1. Maschinenarten und Anwendungsbereiche. Berlin: Springer Vieweg Verlag 2019
- [6] Grindaix Magazin: Reinigung von Kühlschmierstoffen. Stand: 2020. Internet: [grindaix.de/magazin/reinigung-von-kuehlschmierstoff/](http://grindaix.de/magazin/reinigung-von-kuehlschmierstoff/). Zugriff am 10.05.2021
- [7] Sartor, M.: Untersuchungen zum Einfluss elektrokinetischer Repulsationseffekte auf die Tiefenfiltration mit partikulären Schüttbetten. Dissertation, Universität des Saarlandes, 2006
- [8] Bonnet, M.: Kunststofftechnik. Grundlagen, Verarbeitung, Werkstoffauswahl und Fallbeispiele. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2016
- [9] Kurzweil, P.: Chemie. Grundlagen, technische Anwendungen, Rohstoffe, Analytik und Experimente. Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag 2020
- [10] N. N.: Produktdatenblatt Filtervliese. Firmenbroschüre, APODIS GmbH, Salach. Stand: 2016. Internet: [www.apodis.de/filtration/filtervliese/](http://www.apodis.de/filtration/filtervliese/). Zugriff am 10.05.2021
- [11] N. N.: Produktdatenblatt Filtervliese. Firmenbroschüre, REBER SYSTEMATIC GmbH & CO.KG, Reutlingen, 2016
- [12] N. N.: Produktdatenblatt Filterbeutel. Firmenbroschüre, Eaton Electric GmbH, Nettersheim, 2016



**Simon Kleinhenz**, M. Eng.

Bild: Fraunhofer IPA

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA  
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart  
Tel. +49 711 / 970-1568  
[simon.kleinhenz@ipa.fraunhofer.de](mailto:simon.kleinhenz@ipa.fraunhofer.de)  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)