



# Software zur Faserlängenanalyse

Manfred Popp, 08/2019

## Inhalt

1. Einleitung.....	3
2. Installation.....	3
2.1. Systemvoraussetzungen.....	3
2.2. Inhalt des Datenträgers.....	4
2.3. Benutzung des Dongles .....	4
2.4. Programmdateien .....	5
3. Probenvorbereitung.....	5
3.1. Entfernung der Fasermatrix .....	6
3.2. Auswahl des geeigneten Bildaufnahmeverfahrens.....	7
3.3. Probenpräparation .....	9
3.4. Bildaufnahme .....	10
4. Programmoberfläche .....	12
5. Programmfunktionen .....	14
5.1. Korrektur/Kalibrierung der Bildauflösung.....	14
5.2. Menüband „Vorbereiten“ .....	16
5.3. Menüband „Analysieren“ .....	33
5.4. Menüband „Auswerten“ .....	37
5.5. Liste der Bearbeitungsschritte .....	42
5.6. Batch-Queue.....	44
6. Auswertungsbeispiele .....	45
6.1. Normale Vorgehensweise bei guten Ausgangsbildern .....	45
6.2. Vorgehensweise bei verrauschten, kontrastarmen Bildern.....	48

## 1. Einleitung

Sehr geehrter FiVer-Kunde,

vielen Dank für Ihr Vertrauen in das Dienstleistungs- und Softwareangebot des SKZ - Das Kunststoff-Zentrum. Falls unsere Vertriebspartner Ihre Fragen nicht beantworten können, dürfen Sie gerne auch direkt mit uns unter folgender Adresse in Kontakt treten:



SKZ - KFE gGmbH

Kunststoff-Forschung und -Entwicklung

Friedrich-Bergius-Ring 22

97076 Würzburg

Dipl.-Ing. Manfred Popp

Tel.: 0931 / 4104-200

Fax: 0931 / 4104-377

E-mail: cae@skz.de

Als Ergänzung zu den umfangreichen Tooltips innerhalb des Programms, die erscheinen, sobald Sie den Mauszeiger einige Sekunden über einem Bedienelement stehen lassen, soll Sie dieses Handbuch bei der richtigen Auswertung von Faserbildern unterstützen.

## 2. Installation

### 2.1. Systemvoraussetzungen

Für den Betrieb der Software muss Ihr Rechner folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Betriebssystem ab Windows XP, Service Pack 3
- Installiertes Microsoft .NET-Framework V4 oder neuer (ist bei Bedarf auf dem Installationsdatenträger enthalten)
- Hauptspeicher mind. 2 GB (empfohlen 4 GB oder mehr)
- Doppelkern-Prozessor (empfohlen Quadcore, z.B. Intel® i5 oder i7-Familie; die meisten Filter im Programm unterstützen auch mehr als 4 parallele Threads)
- Mind. 200 MB freier Platz auf der Festplatte für temporäre Zwischenergebnisse

## 2.2. Inhalt des Datenträgers

Auf dem Datenträger (CD oder USB-Stick) sind mehrere Verzeichnisse mit folgendem Inhalt angelegt:

**1\_Installierbare\_Version:** In diesem Verzeichnis finden Sie eine Version des Programms, die durch Ausführen der Datei „Setup\_FiVer\_VXXX.msi“ (XXX=Versionsnummer) installiert werden kann. Nach der Installation können Sie das Programm über das Startmenü oder das Icon auf dem Desktop aufrufen. Im Startmenü finden Sie außerdem eine Verknüpfung zu dem Dongle-Tool (siehe Kapitel 2.4), diesem Handbuch als PDF-Datei und eine Möglichkeit zur Deinstallation von FiVer.

**2\_Portable\_Version:** Programme, die auf Microsofts .NET-Framework beruhen, benötigen nicht unbedingt eine Installation, sondern können wie alte DOS-Programme einfach in ein beliebiges Verzeichnis (dieses muss nur die notwendigen Schreibberechtigungen für den angemeldeten Benutzer haben) kopiert und von dort aus direkt gestartet werden. Diese Möglichkeit bietet sich an, wenn Sie das Programm nur für eine begrenzte Zeit testen wollen und dazu Ihr Rechnersystem nicht mit fremden Dateien belasten wollen. Im einfachsten Fall starten Sie das Programm dazu direkt von diesem Verzeichnis des Installationsdatenträgers aus. Eventuelle Verknüpfungen oder einen Eintrag ins Startmenü für den Schnellzugriff müssen Sie dann aber selbst anlegen.

**3\_Infomaterial:** Dieses Verzeichnis enthält zusätzliches Infomaterial wie eine Leistungsbeschreibung des Programms als Präsentation sowie einen Bericht über die Validierung des Programms mit Hilfe computergenerierter Testbilder.

**4\_NET-Framework\_V4:** Ab Windows 8 sind die benötigten Dateien des Frameworks bereits im Lieferumfang des Betriebssystems enthalten. Aber auch bei älteren Windows-Versionen besteht die Möglichkeit, dass das Framework bereits von einem anderen Ihrer benutzten Programme benötigt wurde und deshalb schon vorhanden ist. Falls FiVer trotzdem beim Start auf das Fehlen des Frameworks hinweist, können Sie es über die Setup-Datei in diesem Verzeichnis jederzeit nachinstallieren. Benötigt wird die Version 4.0 oder höher

**5\_Open\_Source:** Wegen eines Fehlers in der Windows Imaging Component (WIC) beim Einlesen von 8 Bit-Graustufenbildern unter Windows 7 verwendet FiVer seit Version 1.80 die Open Source-Grafikbibliothek FreeImage (Details siehe <http://freeimage.sourceforge.net>) zum Laden der Scans. Diese Bibliothek wird unter Anwendung der FreeImage Public License (FIPL) eingesetzt, deren Wortlaut Sie der Textdatei in diesem Verzeichnis entnehmen können. Eigene Änderungen oder Ergänzungen am Quelltext der Bibliothek wurden nicht vorgenommen.

## 2.3. Benutzung des Dongles

Ab Windows XP ist der notwendige Treiber zur Nutzung des USB-Kopierschutz-Dongles bereits im Umfang des Betriebssystems enthalten. Beim ersten Einstecken des Dongles wird dieser daher nach der Meldung „neue Hardware gefunden“ automatisch installiert und der Dongle ist betriebsbereit. Zur Nutzung von FiVer muss der Dongle schon vor dem Programmstart eingesteckt werden und auch

während der Programmausführung am USB-Port verbleiben. Auf dem Dongle wird in verschlüsselter Form abgelegt, bis zu welchem Datum und welcher maximalen Programmversionsnummer Ihre Lizenz gültig ist. Zur Kontrolle können Sie sich diese Lizenzdaten z.B. über das Dongle-Tool anzeigen lassen (siehe nächstes Kapitel).

## 2.4. Programmdateien

Nach der Installation oder bei direkter Verwendung der portablen Version sind folgende Dateien für Sie interessant:

**FiVer.exe:** Dies ist die eigentliche ausführbare Datei der Faserlängenanalyse-Software.

**DongleTool.exe:** Dieses kleine Tool ist hilfreich bei allen Fragen und Aktionen, die Ihre Lizenz betreffen. So können über den ersten, linken Button alle Informationen zu Ihrer Lizenz wie Donglenummer, Kundennummer, Ablaufdatum etc. abgerufen werden. Der zweite, mittlere Button ist hauptsächlich für unsere Vertriebspartner interessant, damit diese die Kontaktdaten eines Kunden an das SKZ übermitteln können. Der rechte Button erlaubt es schließlich, einen Dongle bei unseren Vertriebspartnern oder sogar direkt beim Kunden nachträglich mit geänderten Lizenzdaten zu füllen. Dazu muss eine per E-Mail vom SKZ erhaltene Lizenzerteilungs-Datei (Endung \*.ler) geladen werden, die alle neuen Informationen in verschlüsselter Form enthält. Dadurch ist es z.B. möglich, einen Testzeitraum nachträglich zu verlängern oder die endgültige Vollversion ohne Austausch des Dongles freizuschalten. Damit das DongleTool korrekt funktionieren kann, muss der Dongle bereits vor dem Programmstart eingesteckt werden.



*DongleTool*

**FiVer\_Handbuch.pdf:** Dieses Handbuch als PDF-Datei. Zum Aufruf über die Hilfefunktion in FiVer existiert das Handbuch auch in einer HTML-Version, die für den Ausdruck auf Papier allerdings weniger gut geeignet ist.

## 3. Probenvorbereitung

Auch wenn dieses Handbuch vornehmlich die Bedienung der Software vermitteln soll, darf ein kurzes Kapitel über die Probenpräparation und die Bildaufnahme nicht fehlen. Schließlich können Fehler bei diesen Schritten zu einem schlechten Auswertungsergebnis führen, das durch die Software nicht

mehr zu verbessern ist. Zudem erleichtern Faserbilder mit scharfen, kontrastreichen Kanten dem Algorithmus zur Faserverfolgung die Arbeit, so dass unvollständig erkannte Fasern oder falsche Richtungsentscheidungen an Kreuzungsstellen deutlich seltener vorkommen.

### **3.1. Entfernung der Fasermatrix**

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, Matrix und Fasern nachträglich wieder voneinander zu trennen: das Auflösen der Matrix in einem Lösungsmittel oder die thermische Veraschung. Verstärkungsfasern aus Glas oder Carbon sind gerade bei technischen Thermoplasten wie z.B. Polyamid sehr beliebt, um eine weitere Steigerung von Eigenschaften wie der Steifigkeit, Zugfestigkeit oder Dauergebrauchstemperatur zu erreichen. Solche Thermoplasten sind aber meist sehr beständig gegen viele Chemikalien, um z.B. im Motorraum eines PKWs unter dem Einfluss von Kraftstoffen und Ölen bei hohen Temperaturen eingesetzt werden zu können. Um solche Matrixwerkstoffe chemisch aufzulösen sind daher entsprechend aggressive Lösungsmittel notwendig, die nur in der Umgebung eines mit Abzugseinrichtungen ausgestatteten, chemischen Labors sicher gehandhabt werden können.

Bei Fasern, die thermisch stabiler als das Matrixmaterial sind, ist daher die Veraschung meist einfacher anzuwenden und daher auch im SKZ die üblichere Vorgehensweise. Bei dieser Methode wird die Probe in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre erhitzt, so dass die organische Matrix (Thermoplast) verbrennt und nur die thermisch stabileren Fasern zurück bleiben. Durch Auswiegen der Probe vor und nach der Veraschung kann dabei als erster Schritt zur Charakterisierung des Verbundmaterials der Gewichtsanteil der Fasern ermittelt werden.



*Veraschte Probe eines langglasfaserverstärkten PP*

Bei der Temperaturführung des Veraschungsofens ist zu berücksichtigen, dass viele Öfen die Heizung am Ende des Zyklus einfach ausschalten, um möglichst schnell wieder auf Raumtemperatur zu

kommen, damit die Probe ausgewertet werden kann. Je höher die Veraschungstemperatur gewählt wurde, umso schneller fällt die Temperatur zunächst ab. Durch dieses Abschrecken können sich besonders bei Glasfasern Spannungen und Mikrorisse in den Fasern bilden, die diese Verspröden lassen. Bei der Entnahme der Probenmenge für die Bildaufnahme besteht dann die Gefahr, dass die Fasern zerbrechen und damit das Ergebnis der Längenauswertung verfälschen. Eine langsame Veraschung bei niedrigeren Temperaturen (z.B. 500°C) ist daher gegenüber einer schnellen, hohen Erwärmung (üblich sind 600°C und mehr) vorzuziehen. Auch die Programmierung einer definierten Abkühlkurve kann Verbesserungen bringen, falls der Ofen diese Möglichkeit bietet.

### **3.2. Auswahl des geeigneten Bildaufnahmeverfahrens**

Die zur Verstärkung von Thermoplasten eingesetzten Glasfasern haben meist einen Durchmesser im Bereich von 15 µm, Carbonfasern sind dagegen mit rund 7 µm nur halb so dick. Da dieser Durchmesser innerhalb einer Probe praktisch konstant ist, kann auf eine Analyse der Durchmesser- und Längensverteilung verzichtet und die Auswertung auf die für die mechanischen Eigenschaften wichtige Längensverteilung beschränkt werden. Dies hat den großen Vorteil, dass die notwendige Auflösung der Faserbilder nur so hoch sein muss, dass der Verlauf der Fasern mit ausreichend hohem Kontrast zum Hintergrund sichtbar wird. Dazu reicht es im Extremfall bereits aus, wenn ein Pixel des bildaufnehmenden Geräts (üblicherweise ein Mikroskop oder Scanner) zumindest teilweise von der Faser abgedeckt wird, so dass weniger Licht auf dieses fällt und es daher dunkler als das Nachbarpixel erscheint.

Als bildaufnehmende Geräte haben sich Scanner gegenüber Mikroskopen überall dort durchgesetzt, wo ihre mögliche optische Auflösung ausreicht. Ihre wichtigsten Vorteile lauten:

- Extrem großes Sichtfeld (bis A3 üblich), trotz hoher Detailauflösung
- Hohe Tiefenschärfe bis zu mehreren Millimetern
- Gleichmäßige Ausleuchtung der gesamten Fläche
- Durchlicht und Auflicht möglich
- Unkomplizierte Handhabung
- Relativ schnelle Bildaufnahme
- Im Vergleich sehr preiswert

Besonders bei Langfasern, die bis in den Bereich einiger cm gehen können, ist das große Sichtfeld bei hohen Auflösungen ein enormer Pluspunkt, der bei Mikroskopen nur durch aufwändige Mehrfachaufnahmen und anschließendes Kombinieren („Stitching“) zu einem Gesamtbild zu erreichen ist.

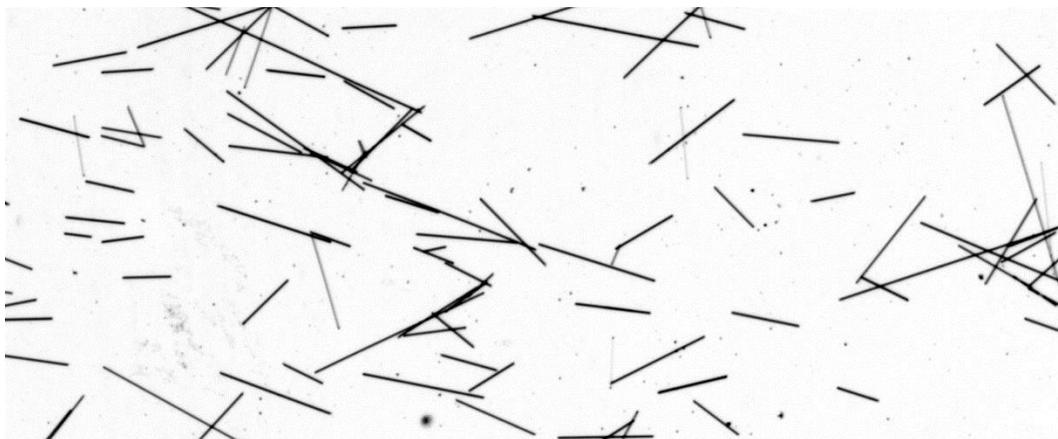
Während Mikroskope durch die Wahl der Vergrößerung eine sehr hohe Detailauflösung erreichen können, ist die Pixelgröße bei Consumer-Scannern auf einen Wert begrenzt, der für die Fotodigitalisierung als übliches Anwendungsgebiet von Scannern ausreichend ist. Da die Analogfotografie durch den Siegeszug der Digitalkameras verdrängt wurde, besteht zudem kaum

mehr eine Nachfrage nach hochwertigen Film- und Flachbettscannern, so dass viele Hersteller und Modelle bereits vom Markt verschwunden sind.

Die größten Sichtfelder erreichen Flachbettscanner, wobei jedoch zu beachten ist, dass die Fasern üblicherweise im Durchlicht aufgenommen werden. Dies entspricht in der Fotografie der Vorgehensweise beim Scan von transparenten Filmstreifen. Dazu muss der Scanner über eine zweite Lichtquelle im Deckel verfügen, die die Probe durchstrahlt. Die Fasern blockieren oder zerstreuen dann das einfallende Licht, so dass es den Bildsensor an dieser Stelle nicht oder nur abgeschwächt erreicht, wodurch die Faser als dunkle Linie vor dem helleren Hintergrund erscheint.

Bei einfachen Flachbettscannern besteht die Lichtquelle im Deckel aus einer vollflächig beleuchteten Mattscheibe, deren Größe lediglich einen Bruchteil des A4-Formats beträgt und oftmals nur die Breite eines 35 mm-Filmstreifens abdeckt. Dies ist für lange Fasern deutlich zu wenig, da besonders bei den längsten Fasern die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass diese Rand des Sichtfelds berühren. Sie werden deshalb von der Auswertung ausgeschlossen, da davon ausgegangen werden muss, dass ein Teil der Faser außerhalb des Sichtfeldes liegt und ihre wahre Länge daher nicht zu ermitteln ist.

Am besten geeignet sind folglich höherwertige Scanner mit Durchlichteinheiten, die mittels eines eigenen Schlittens im Deckel synchron mit der Scanneroptik verfahren werden. Damit lassen sich gleichmäßig ausgeleuchtete Sichtfelder von fast DIN A4-Größe erreichen, die auch für sehr lange Fasern ausreichend sind. Bezüglich der Auflösung erreichen die besten noch am Markt erhältlichen Flachbettscanner Werte bis ca. 2000 DPI, durch die Serienstreuung können einzelne Exemplare jedoch auch deutlich schlechter sein. Diese Werte entsprechen nicht den beworbenen Herstellerangaben, die bis 9600 DPI lauten können, sondern sind mit fotografisch erzeugten Strichmustern gemessen und geben die tatsächlich nutzbare optische Auflösung wieder, mit der zwei nebeneinander liegende, parallele Linien noch unterschieden werden können. Umgerechnet ergeben 2000 DPI eine Pixelgröße von  $12,7 \mu\text{m}$ . Theoretisch würde dies bei Glasfasern bedeuten, dass eine Faser je nach Lage zumindest ein bis zwei Pixel teilweise abdecken und damit verdunkeln kann. Zusammen mit den Beugungseffekten und Unschärfen an den Faserkanten erhält man in der Praxis dann eher 3 bis 4 Pixel breite Faserverläufe im Bild, was für eine Auswertung problemlos ausreicht.



*Durchlichtscan von Glasfasern mit 2400 DPI*

Bei den wesentlich dünneren Carbonfasern würde man erwarten, dass die geringe Abdeckung der Scannerpixel nur einen sehr geringen Kontrast zum Hintergrund bewirkt. Dadurch, dass die Fasern undurchsichtig und tiefschwarz sind, werfen sie jedoch einen recht deutlichen Schatten auf den Bildsensor und erzeugen so selbst auf Flachbettscannern meist ein kontrastreiches Bild. Falls die Breite der Faserspur zu gering ist, kann diese vor der Analyse notfalls über einen speziellen Filter in FiVer aufgedickt werden, um an Engstellen abgebrochene Faserverläufe zu vermeiden. Alternativ lässt sich auch die Scanauflösung von den für Glasfasern üblichen 2400 DPI auf 3200 DPI erhöhen (die Scannertreiber bieten meist eine sinnvolle Auswahl vordefinierter Auflösungsschritte an, zu denen 2400 und 3200 DPI gehören). Dies lässt die Fasern dicker erscheinen, auch wenn die zusätzlichen Pixel kaum weitere optische Informationen enthalten.

Falls Sie hauptsächlich mit sehr dünnen Fasern arbeiten und die optische Wiedergabe der Überkreuzungsstellen für eine zuverlässigere Auswertung verbessern wollen, bietet sich die Verwendung eines Mittelformatscanners an. Dieser Scannertyp ist für Durchlichtaufnahmen von Vorlagen bis 6 x 9 cm ausgelegt. Wegen des hochwertigen Filmmaterials und der guten Optiken der zugehörigen professionellen Kameras sind dabei höhere Auflösungen für die Digitalisierung gefordert. Die besten Scanner erreichen deshalb bis ca. 4000 DPI, preisgünstigere, neu auf den Markt gekommene Modelle ca. 3200 DPI. Mit einer Pixelgröße von 6,3 bis 7,9  $\mu\text{m}$  kommt man mit der optischen Auflösung damit auch bei Carbonfasern wieder in den Bereich des Faserdurchmessers.

### **3.3. Probenpräparation**

Der erste wichtige Schritt bei der Probenpräparation besteht darin, eine kleine, aber möglichst repräsentative Menge an Fasern in Wasser zu verteilen. Falls sich die Fasern durch leichtes Schütteln nicht von selbst trennen, kann dieser Vorgang durch die Zugabe von z.B. Silanen unterstützt werden, die ähnlich wirken wie Tenside auf Öltröpfchen. Auch mechanische Einwirkungen durch z.B. Ultraschall können die Dispergierung der Fasern verbessern.

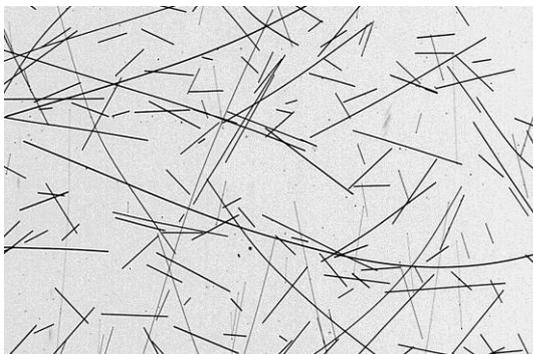


*Petrischale auf dem Flachbettscanner*

Für die Bildaufnahme in Kombination mit einem Flachbettscanner hat sich am SKZ die Methode des Scans in der Flüssigkeit gut bewährt. Dazu werden staubfrei verpackte, hochtransparente Einweg-Petrischalen aus Polystyrol in eine Halterung auf dem Scanner eingelegt und die Dispersion mit den Fasern gerade so weit eingefüllt, dass der Boden benetzt ist. Durch das Ausreiben der Petrischale mit einem spülmittelgetränkten, fusselreien Tuch lässt sich diese Benetzung noch verbessern, so dass ein geringerer Füllstand ausreicht. Die Schärfentiefe eines Flachbettscanners ist dann meist groß genug, auch in der Schwebelage befindliche Fasern vollständig zu erfassen. Da die Fasern eine höhere Dichte als das Wasser haben, sinken diese im Laufe der Zeit ab, so dass etwas Wartezeit vor dem Scan das Ergebnis verbessern kann.

Bei der Anzahl/Konzentration der Fasern in der Petrischale ist zu beachten, dass das Programm zwar mit Kreuzungsstellen umgehen kann, jede Abzweigung stellt aber eine Möglichkeit für eine Fehlentscheidung dar. Wenn jede Faser 20 andere kreuzt ist die Wahrscheinlichkeit daher größer, dass an einem dieser Berührungspunkte das Programm falsch abbiegt, als wenn nur 3 Kreuzungsstellen zu meistern sind. Dies gilt besonders für gekrümmte Fasern, deren Verlauf besonders schwer nachzuvollziehen ist. Mit einer nicht zu hohen Faserkonzentration unterstützen Sie das Programm also aktiv bei seiner Arbeit.

Eine quantitative Beurteilung der Faserkonzentration kann nach der Binarisierung anhand des in der Statusleiste ausgewiesenen prozentualen Faserpixelanteils erfolgen. Scans mit einem hohen Staubanteil sollten dabei 10% nicht wesentlich überschreiten, während für staubarme Bilder die empfehlenswerte Grenze eher bei 5-6% anzusetzen ist.



*Faserdichte akzeptabel*



*Faserdichte zu hoch*

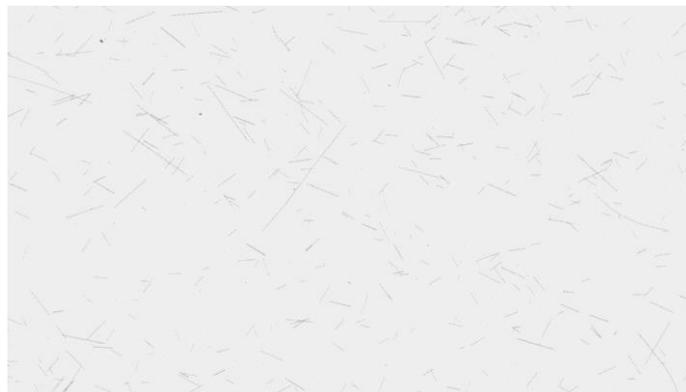
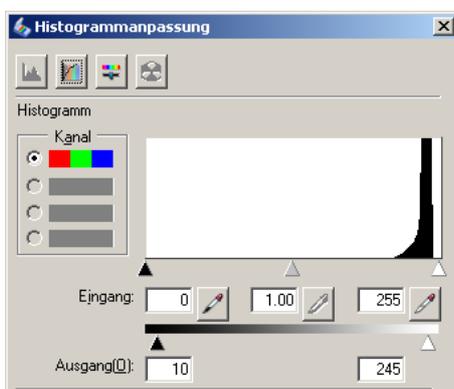
### **3.4. Bildaufnahme**

Intern arbeiten Scanner üblicherweise mit wesentlich mehr Helligkeitsabstufungen als später in der Bilddatei abgelegt werden. Dies ermöglicht einen deutlich größeren Spielraum bei der Aufbereitung des Scans bezüglich der korrekten Belichtung bzw. Helligkeit, weshalb diese Schritte unbedingt im Scannertreiber und nicht nachträglich in einer Bildbearbeitung erfolgen sollten.

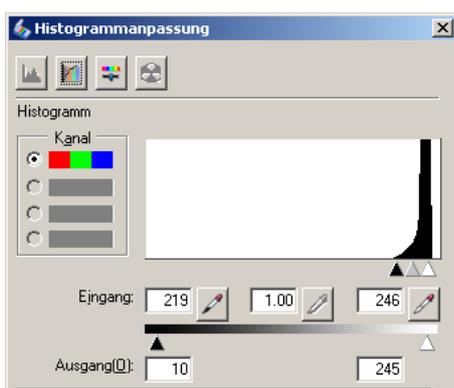
Damit die maximale von FiVer verarbeitbare Bildgröße von 170 Megapixeln (entspricht einem Sichtfeld von ca. 135 x 135 mm<sup>2</sup> bei 2400 DPI bzw. 100 x 100 mm<sup>2</sup> bei 3200 DPI) ausgenutzt werden

kann, muss das Bild als Graustufen-Scan aufgenommen werden. Falls Ihr Scanner die Möglichkeit bietet, die Graustufen nicht mit 8 Bit (256 unterschiedliche Grauwerte), sondern 16 Bit (65536 unterschiedliche Grauwerte) aufzulösen, kann letztere Einstellung die Bildqualität evtl. verbessern. Dies hängt davon ab, ob der Scanner seine höhere interne Graustufenauflösung nur dann bei der Helligkeitsanpassung verwendet, wenn die Scaneinstellung auf 16 Bit steht. Für die Ausgabe des fertigen Bildes reichen 8 Bit Graustufenauflösung auf jeden Fall wieder aus und mehr wird vom JPG-Format auch nicht unterstützt. FiVer kann zudem nur 8 Bit-Graustufenbilder einlesen. Ein kurzer Test mit beiden Einstellungen bei der gleichen Probe kann hier schnell zeigen, ob ein sichtbarer Qualitätsunterschied besteht.

Als Scanauflösung haben sich 2400 DPI bei Glasfasern und 3200 DPI bei Carbonfasern bewährt. Nach dem Vorschau-Scan können Sie mit dem Auswahlwerkzeug den hochauflösend zu scannenden Bereich genauer bestimmen. Durch die abgerundeten Ecken sind die vollen 120 x 120 mm der Petrischalen leider nicht ganz zu verwenden. Bei 3200 DPI ist zudem zu beachten, dass die von FiVer verarbeitbare Bildgröße nicht überschritten wird.



*Unbearbeitetes Histogramm mit zugehörigem Scan*



*Optimierter Schwarz- und Weißpunkt mit zugehörigem Scan*

Als nächster Schritt wird noch am Vorschau-Scan die richtige Helligkeitsverteilung eingestellt. Hierzu bietet jeder bessere Scanner in seinem Treiber die Möglichkeit zur Anzeige und Korrektur des Histogrammverlaufs. Das Histogramm gibt für jeden Helligkeitswert von Schwarz (linkes Ende der X-Achse) bis Weiß (rechtes Ende) an, wie häufig der jeweilige Helligkeitswert im Bild vorkommt (Höhe

der Kurve auf der Y-Achse). Direkt nach dem Vorschau-Scan ist der Hintergrund meist noch hellgrau mit kaum dunkleren Fasern. Entsprechend ist das Histogramm nur ein schmaler Berggipfel. Um Vorder- und Hintergrund bestmöglich voneinander zu trennen, sollten Sie nun den Schwarzpunkt so weit nach rechts und den Weißpunkt nach links verschieben, bis die Regler den Gipfel des Histogramms begrenzen oder sogar leicht beschneiden.

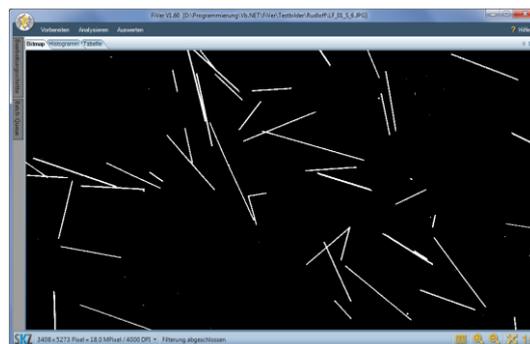
Sobald der finale, hochaufgelöste Scan fertig ist, können Sie das Bild in einem der von FiVer unterstützten Formate abspeichern. TIFF und PNG ergeben dabei prinzipbedingt sehr große Bilddateien, da die verwendeten Komprimierungsalgorithmen auf eine andere Art von Bildinhalt optimiert sind. Für eine kompakte Dateigröße bietet sich daher am ehesten das JPG-Format an. Da dieses verlustbehaftet ist und besonders Bereiche mit harten Kontrasten (in unserem Fall sind dies die besonders wichtigen Faserkanten) von dem Qualitätsverlust betroffen sind, sollten Sie die meist einstellbare Komprimierung nicht zu hoch wählen. Falls Ihr Programm die Qualität in einer Skala von 1-100% angibt, sollten Sie daher nicht unter 90% gehen.

#### 4. Programmoberfläche

FiVer verwendet eine moderne Benutzeroberfläche mit Ribbons („Menübändern“, einer Art Mischung zwischen einer Iconleiste und einem Pull-Down-Menü) und andockbaren Fenstern. Wenn Sie auf einem kleinen Bildschirm oder Beamer mit geringerer Auflösung mehr Platz für das Grafikfenster mit dem Faserbild schaffen wollen, können Sie die Ribbons über die Tastenkombination <Strg + F1> jederzeit ein- und ausblenden. Zusätzlich lassen sich die beiden Listen der Bearbeitungsschritte und der Batch-Queue durch einen Klick auf die kleine Pin-Nadel in der jeweiligen Titelzeile bis auf eine schmale Registerzunge zusammenklappen. Die Ribbons und Listen werden dann nur noch bei Bedarf kurzzeitig eingeblendet.

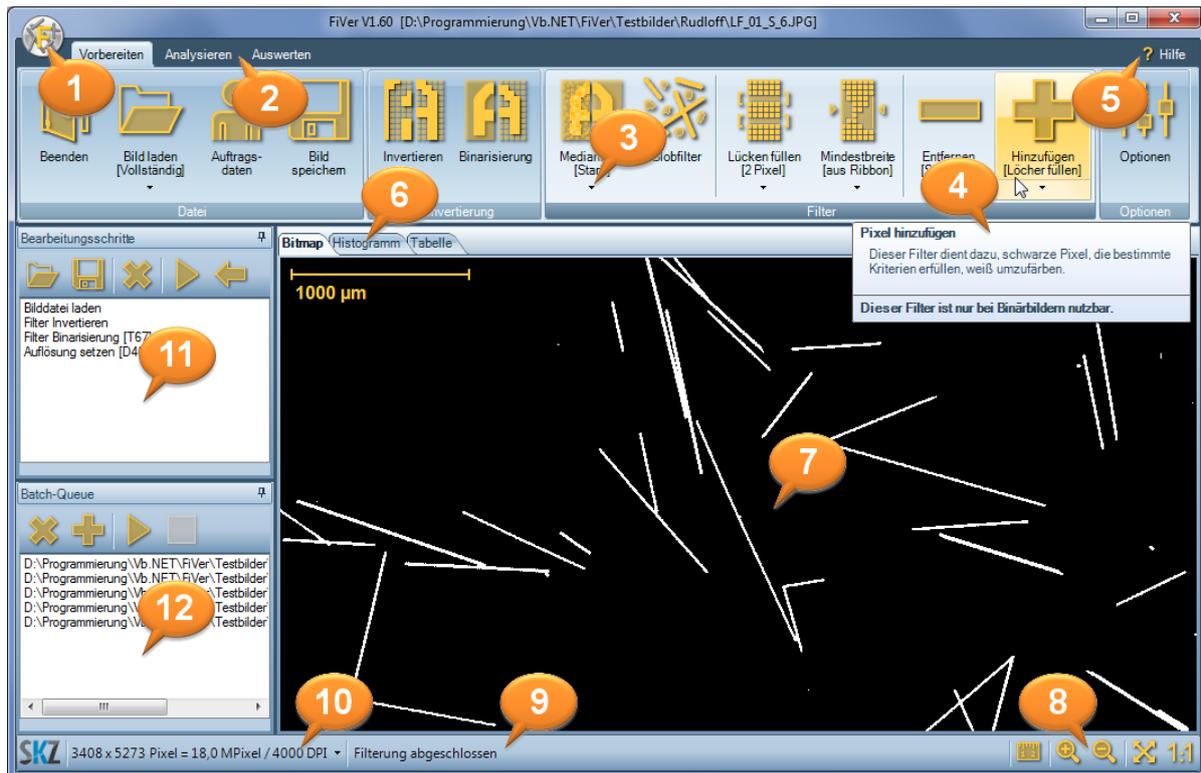


*Normalzustand*



*Minimierte Bedienelemente*

In der folgenden Abbildung sind die einzelnen Bedienelemente des Programms mit einer kurzen Beschreibung aufgelistet. Die genaue Bedeutung der einzelnen Schaltflächen wird dann im Detail in den kommenden Kapiteln besprochen.



Screenshot mit den wichtigsten Bedienelementen

1. Ein Klick auf das Programmicon öffnet einen Dialog mit den Copyright-Hinweisen. Zusätzlich können hier die Lizenzdaten (Seriennummer des Dongles, Kundennummer, Ablaufdatum etc.) angezeigt werden.
2. Ribbons („Menübänder“) mit den Schaltflächen für die Arbeitsschritte „Vorbereiten“ (Aufbereitung des Rohscans über verschiedene Filter), „Analysieren“ (Identifizierung der Fasern) und „Auswerten“ (Berechnung und Darstellung der Längenverteilung)
3. Schaltfläche mit einem Untermenü. Durch Anklicken des kleinen, nach unten weisenden Pfeils klappt das Untermenü mit weiteren Einstellmöglichkeiten aus. Die aktuell gültige Einstellung wird unter der Textbeschreibung der Schaltfläche in Klammern aufgeführt. Ein Klick auf die eigentliche Schaltfläche führt den Befehl dann aus.
4. Wenn Sie mit der Maus mehrere Sekunden lang unbewegt über einem Bedienelement stehen bleiben, wird ein Tooltip mit der genauen Beschreibung dessen Funktion eingeblendet.
5. Über diesen Hilfe-Button oder die Funktionstaste <F1> können Sie das vorliegende Handbuch als HTML-Version aufrufen.
6. Karteireiter zum Wechseln zwischen der Darstellung des Faserbildes, des Histogramms und der Klassentabelle.
7. Grafikbereich zur Darstellung des Faserbildes. Über das Mausrad kann die Darstellung gezoomt und mit der rechten Maustaste verschoben werden.
8. Icons zum Einblenden eines Bildmaßstabs und zur Auswahl verschiedener Zoomstufen.

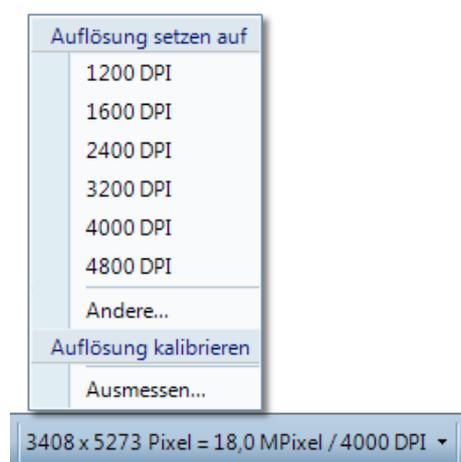
9. Bereich der Statuszeile zur Ausgabe von Meldungen über den zuletzt durchgeführten Bearbeitungsschritt (Dauer der Berechnung, Anzahl der veränderten Pixel etc.)
10. Bereich der Statuszeile mit Informationen über die Größe und Auflösung des aktuell geladenen Bildes. Dieser Teil ist gleichzeitig eine Schaltfläche, über die ein Menü zur Korrektur oder Kalibrierung der Auflösung aufgerufen werden kann, falls die in der Datei enthaltene Angabe falsch oder ungenau ist.
11. Liste der Bearbeitungsschritte. FiVer protokolliert in dieser Liste alle durchgeführten Schritte zur Aufbereitung und Auswertung des Faserscans mit. Diese Liste kann dann für die spätere Anwendung bei weiteren Bildern unter einem frei wählbaren Dateinamen gespeichert und jederzeit wieder geladen werden. So lassen sich standardisierte Bearbeitungsfolgen für verschiedene Auswertungsszenarien (z.B. „Glasfaser\_kurz“, „Carbonfaser\_lang“) verwalten. Über den nach links weisenden Pfeil kann der jeweils letzte Bearbeitungsschritt wieder rückgängig gemacht werden („Undo“-Funktion). Dies kann beliebig oft wiederholt werden, bis nur noch der erste Befehl („Bild laden“ oder „Analyse laden“) in der Liste verblieben ist.
12. Batch-Queue. In diese Liste können über das Icon mit dem Plus-Zeichen beliebig viele Bilddateien geladen werden. Nach einem Druck auf das „Starten“-Icon (nach rechts zeigendes Dreieck, wie die Play-Taste eines MP3-Spielers) werden dann die aktuell in der Liste der Bearbeitungsschritte stehenden Befehle der Reihe nach auf alle Bilddateien in der Batch-Queue angewandt. Somit können mehrere Bilder automatisiert ohne Aufsicht ausgewertet werden.

### Hinweise

- Alle Programmfunktionen, die typischerweise länger als ein paar Sekundenbruchteile brauchen, lassen sich über die <ESC>-Taste jederzeit abbrechen.

## 5. Programmfunktionen

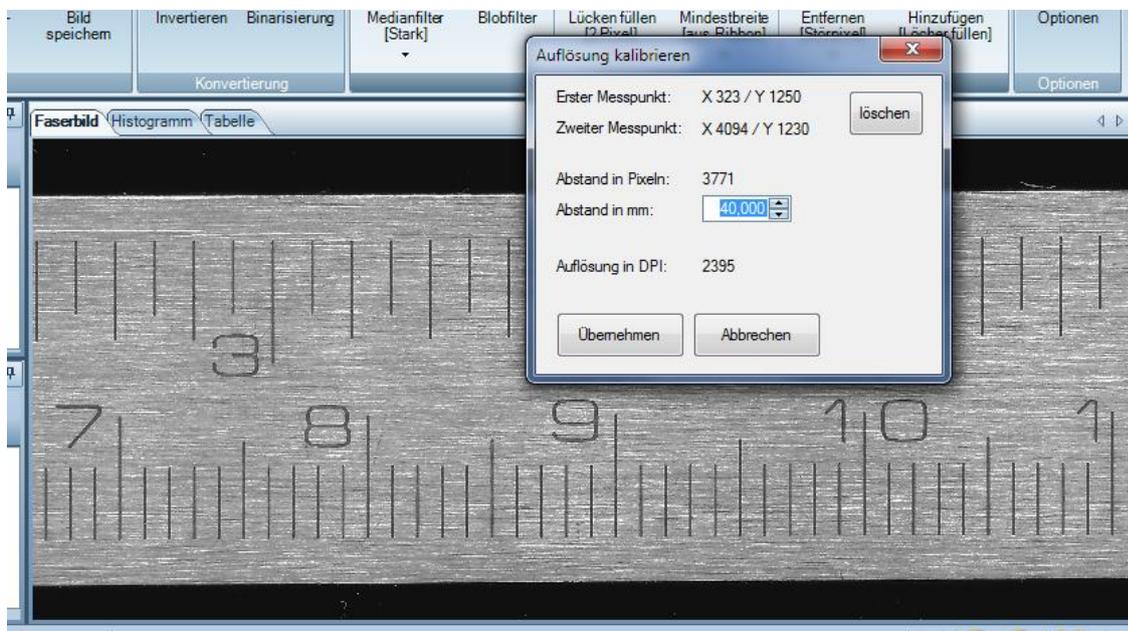
### 5.1. Korrektur/Kalibrierung der Bildauflösung



*Statuszeile mit den Bildinformationen*

In der linken Ecke der Statuszeile werden Ihnen die wichtigsten Daten des aktuell geladenen Bildes angezeigt. Dazu gehört auch die Angabe der Auflösung in DPI (Dots Per Inch = Pixel pro 25,4 mm), über die eine programmintern in Pixeln ermittelte, relative Faserlänge in einen absoluten Wert in  $\mu\text{m}$  umgerechnet werden kann. Üblicherweise speichert die Software des Scanners diese Angabe korrekt in der Bilddatei ab. Sobald Sie das Faserbild in einer Bildbearbeitungssoftware verändern und neu speichern, kann diese Information jedoch verloren gehen. Wie der kleine Pfeil auf der rechten Seite bereits andeutet, ist dieser Teil der Statusleiste daher eine Schaltfläche, bei deren Betätigung ein Untermenü ausklappt. In diesem können Sie unter verschiedenen üblichen DPI-Werten auswählen oder auch einen Dialog zur Angabe eines beliebigen Wertes aufrufen.

Falls Sie eine Bildquelle verwenden, bei der eine DPI-Angabe nicht so einfach ist (z.B. USB-Mikroskop mit verstellbarer Brennweite), können Sie zudem eine Funktion zur Kalibrierung der Auflösung auswählen. Dazu müssen Sie bei der aktuellen Brennweite/Vergrößerung des Mikroskops (die für die Aufnahme der Faserbilder dann auch nicht mehr verändert werden darf!) ein Kalibriernormal mit bekannter Länge aufnehmen. Für Mikroskope gibt es dazu Objektträger mit eingezätzten Maßstäben, für Auflichtaufnahmen kann aber auch ein präziser Stahl-Prüfmaßstab oder die Skala eines mechanischen Messschiebers verwendet werden. Dieses Referenzbild wird dann in FiVer geladen und der Eintrag „Ausmessen“ in dem Untermenü gewählt. Daraufhin erscheint ein Dialogfenster, in dem Sie zum Anklicken zweier Punkte mit bekanntem Abstand aufgefordert werden. Sobald Sie diesen angegeben haben, wird die Auflösung in DPI berechnet, die Sie nun übernehmen oder verwerfen können. Die Änderung der Auflösung wird als Bearbeitungsschritt mit in die Liste aufgenommen, so dass Sie die Korrektur des Wertes auch im Batch-Modus auf eine ganze Anzahl von Bildern anwenden können.



Dialog zur Kalibrierung der Bildauflösung

## Hinweise

- Falls die geänderte Auflösung dauerhaft im Dateikopf des Bildes verankert werden soll, müssen Sie dieses nochmals speichern.

## 5.2. Menüband „Vorbereiten“



### Schaltfläche „Bild laden“

---

FiVer wertet zur Separierung der Fasern von dem umgebenden Hintergrund nur die Helligkeitsunterschiede im Bild aus. Dieses muss daher bereits als Graustufenbild mit 256 Helligkeitsabstufungen (8 Bit pro Pixel, 0 = Schwarz / 255 = Weiß) im JPEG-, TIFF- oder PNG-Format vorliegen. Farbbilder können Sie zu diesem Zweck mit einer Reihe von Freeware-Grafikprogrammen wie GIMP® oder IrfanView® in Graustufen umwandeln lassen, oftmals auch im zeitsparenden Batchbetrieb. Diese Programme können auch dabei helfen, sichtbare Ränder der Probenbehälter oder störende Bildeinblendungen wie Skalen und Textfelder zu entfernen oder das Bild auf eine passende Größe zu beschneiden.

Bedingt durch die interne Speicherverwaltung ist die Größe eines ladbaren Graustufenbildes auf ca. 170 Megapixel beschränkt. Dies entspricht bei 2400 DPI einer Fläche von ca. 135 x 135 mm<sup>2</sup> und bei 3200 DPI ca. 100 x 100 mm<sup>2</sup>. Bei vielen gleichzeitig offenen Anwendungen kann es passieren, dass der für FiVer zugreifbare Speicher selbst zum Laden eines weniger als 170 Megapixel großen Bildes nicht ausreicht. Hier hilft oftmals ein Neustart des Programms oder notfalls des gesamten Rechners, um den Hauptspeicher wieder zu bereinigen.

## Hinweise

- Scans mit vielen Graustufen und einem leichten Rauschen im Hintergrund erreichen im verlustfreien TIFF- und PNG-Format meist nur eine geringe Komprimierung der Dateigröße. In solchen Fällen ist das verlustbehaftete JPEG-Format die bessere Wahl. Die Qualitätsstufe sollte beim Speichern jedoch nicht zu gering gewählt werden (bei Programmen mit von 0-100 steigender Qualitätsstufe: mindestens Stufe 90), um Komprimierungsartefakte an Kanten mit harten Kontrasten zu vermeiden. Diese Kanten sind genau die wichtige Grenze zwischen Fasern und Hintergrund und müssen daher erhalten bleiben.
- Beim Laden eines neuen Bildes wird die Liste der Bearbeitungsschritte automatisch gelöscht. Falls Sie stattdessen die aktuelle Folge von Bearbeitungsschritten auf ein weiteres Bild anwenden wollen, müssen Sie dieses in die Batch-Queue laden und dort das "Start"-Icon anklicken.



## Schaltfläche „Auftragsdaten“

Mit dieser Funktion können Sie beliebige Zusatzinformationen zu dem Auftrag (Kunde, Auftragsnummer, Prüfer, Bildquelle etc.) abspeichern, die später dann auch im Bericht erscheinen können. Umfang und Inhalt der Auftragsdaten sind frei gestaltbar und es ist auch möglich, eine Vorlage für die Textfelder zu erstellen. Dazu legen Sie, falls nötig, im FiVer-Programmverzeichnis (Verzeichnis, in dem die Datei *FiVer.exe* steht) die Datei *Vorlage\_Auftragsdaten.txt* an oder editieren die vorhandene Datei. Der gesamte Inhalt der Datei wird dann bei der ersten Betätigung dieser Schaltfläche in die individuelle Auftragsdatendatei des aktuellen Bildes kopiert.

Sobald Sie die zu einem Bild gehörigen Auftragsdaten ausgefüllt haben, wird im gleichen Verzeichnis eine Textdatei mit dem Namen der Bilddatei und dem Zusatz *\_Auftragsdaten.txt* angelegt (z.B. *Faserscan.jpg => Faserscan\_Auftragsdaten.txt*).

### Hinweise

- Falls Sie Ihre Aufträge über eine Datenbank verwalten lassen, können Sie die die Auftragsdaten-Datei auch von dieser erzeugen und mit den für Sie wichtigen Daten füllen lassen. FiVer verwendet dann diese Datei und zeigt ihren Inhalt auch beim Klick auf die Schaltfläche an.
- Falls keine Vorlage im Programmverzeichnis existiert, werden standardmäßig die Textfelder "Auftraggeber:", "Auftrag:", "Probe:", "Prüfer:" und "Datum:" beim ersten Aufruf der Schaltfläche angelegt.
- Der Umfang der Auftragsdaten ist auf 700 Zeichen begrenzt. Bitte bedenken Sie auch, dass die Textzeilen im späteren Ausdruck des Berichts nicht automatisch umgebrochen werden und daher nicht zu lang sein sollten (max. ca. 100 Zeichen).



## Schaltfläche „Bild speichern“

Falls Sie bestimmte Zwischenschritte der Scanaufbereitung für Dokumentationszwecke benötigen, können Sie den aktuellen Stand des Bildes mit diesem Befehl als Datei speichern. Damit der Befehl auch ohne Benutzerinteraktion im Batchmodus ablaufen kann, wird der Dateiname automatisch aus dem Originalnamen durch Anfügen von Datum und Uhrzeit abgeleitet (z.B. *Faserscan.png => Faserscan\_\_2013-02-21\_12-00-08.png*). Als Dateiformat wird PNG (8 Bit Graustufen oder Farbbild mit Palette) verwendet und die Datei steht im gleichen Verzeichnis wie das Ausgangsbild.



## Schaltfläche „Invertieren“

---

FiVer erwartet bei der Fasersuche helle Fasern vor einem dunklen Hintergrund. Bei Auflichtscans mit offenem Deckel ist diese Bedingung üblicherweise schon erfüllt, da die runden Oberflächen der Fasern das Licht vom Scannerschlitten zumindest teilweise auf den Detektor zurück reflektieren, während die anderen Strahlen den Scanner über die Glasplatte verlassen, so dass Hintergrundbereiche im Bild tiefschwarz erscheinen.

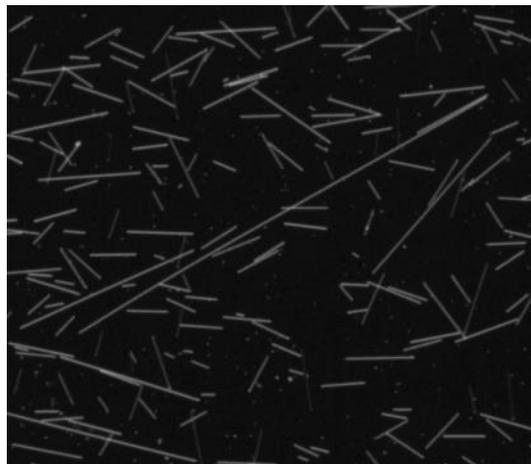
Bei Durchlichtscans wird die Probe von oben über eine zweite Lichtquelle im Scannerdeckel durchstrahlt und das eingefangene Licht im Detektor des Scannerschlittens gemessen. Die Streuung an den runden Flächen der Fasern bewirkt hier, dass die Lichtstrahlen an diesen Stellen abgelenkt werden und nicht mehr im Detektor ankommen. Die Fasern erscheinen daher dunkler vor dem hellen, beleuchteten Hintergrund. Damit auch solche Aufnahmen in FiVer ausgewertet werden können, müssen sie invertiert werden. Dazu wird die Helligkeit jedes Pixels über die Formel

$$\text{neuer Helligkeitswert} = 255 - \text{alter Helligkeitswert}$$

neu berechnet. Aus Weiß wird so Schwarz und aus Hellgrau Dunkelgrau (und umgekehrt).



*Original*



*Invertiert*

### Hinweise

- Die Invertierung des Bildes (falls nötig) sollte direkt am Graustufenbild als erster Aufbereitungsschritt durchgeführt werden, da folgende Filter wie z.B. die Beleuchtungskorrektur teilweise bereits einen schwarzen Hintergrund voraussetzen.



## Schaltfläche „Entrauschen“

Der Median-Filter ist ein sog. Rangordnungsfilter und dient zur Abschwächung bzw. Beseitigung von Rauschen und anderen kleinteiligen Störungen. Dazu werden die Helligkeitswerte der Nachbarn des aktuell betrachteten Pixels in eine Liste eingetragen und der Größe nach sortiert. Über die Einstellung "Mittel" oder "Stark" kann beeinflusst werden, wie viele Nachbarn (3x3 bzw. 5x5) in die Analyse einbezogen werden. Der Wert, der auf dem mittleren Platz der sortierten Liste steht (Median), wird dann dem aktuellen Pixel als Helligkeitswert zugewiesen. Durch die Verwendung des Medians statt des Mittelwertes wirken sich einzelne Störpixel praktisch nicht auf das Endergebnis aus und verschwinden vollkommen. Der notwendige Sortierungsschritt macht den Filter allerdings auch vergleichsweise rechenaufwändig und langsam.

Bei Graustufenbildern glättet der Algorithmus den Hintergrund und die Konturen der Fasern sind schärfer begrenzt. Nach der Binarisierung erhält man so meist weniger Störpixel im Hintergrund und die Fasern haben eine gleichmäßigere Breite.



*Original*



*Entraushtes Graustufenbild*

### Hinweise

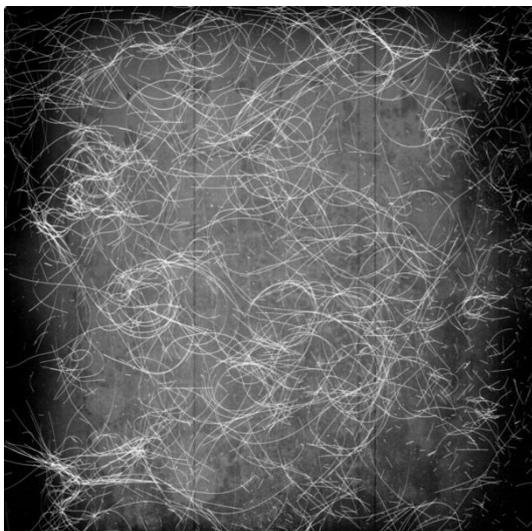
- Bei Fasern von nur 1-2 Pixeln Breite führt der Medianfilter mit der Einstellung „Stark“ mitunter schon zu einer teilweisen Auslöschung. Hier sollte die Einstellung auf „Mittel“ zurückgenommen werden.



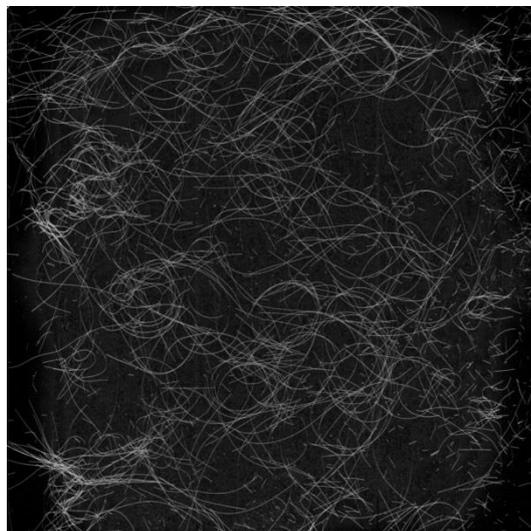
## Schaltfläche „Beleuchtung korrigieren“

---

Besonders bei Mikroskopen nimmt die Helligkeit des Hintergrundes oftmals von der Bildmitte zu den Rändern hin ab. Auch eine ungleichmäßige Füllhöhe in der Petrischale durch einen etwas schief stehenden Scanner kann Helligkeitsunterschiede im Bild verursachen. Diese können es in der anschließenden Binarisierung schwierig machen, einen für alle Bereiche des Bildes gleichermaßen geeigneten Schwellwert zu finden. Dieser Filter versucht daher, die großflächige Helligkeitsverteilung des Bildhintergrundes zu bestimmen und diese vom Originalbild abzuziehen. Nach diesem Schritt sollte der Hintergrund folglich tiefschwarz sein mit einheitlich helleren Fasern im Vordergrund.



*Original*



*Korrigierte Beleuchtung*

### Hinweise

- Die Beleuchtungskorrektur funktioniert nur bei einem dunklen Bildhintergrund. Durchlichtaufnahmen müssen daher vor diesem Schritt ggf. erst invertiert werden.



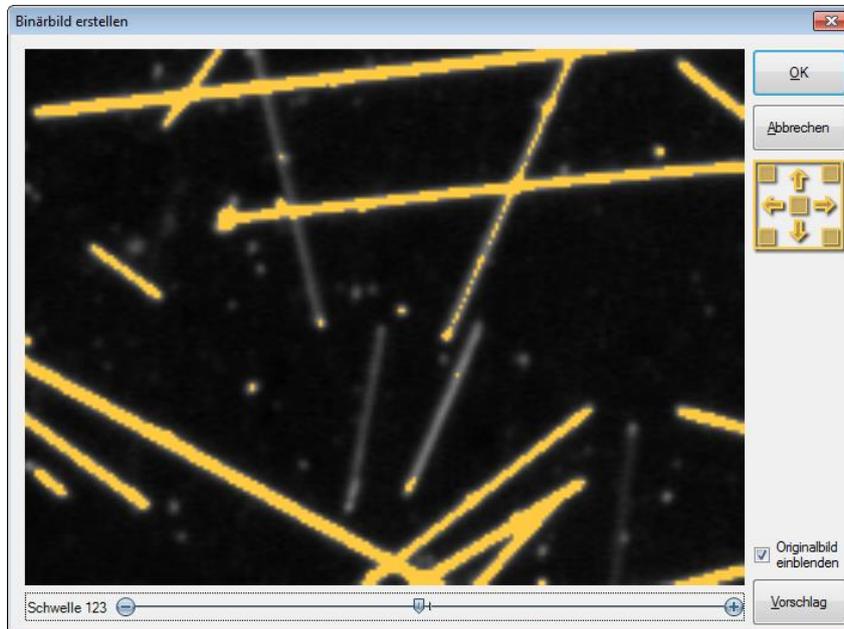
## Schaltfläche „Binarisierung“

---

In diesem Schritt wird das Graustufenbild in ein rein schwarz-weißes Binärbild umgewandelt. Dazu wird in einem Dialogfenster interaktiv eine Helligkeitsschwelle festgelegt, unterhalb derer alle Pixel zu Schwarz und darüber zu Weiß umgefärbt werden.

Diese Schwelle sollte so gewählt werden, dass die Fasern durchgängig ohne Unterbrechung und mit möglichst sauberen Kanten verlaufen, gleichzeitig im Hintergrund aber noch keine Störpixel

auftauchen. Für die Berechnung einer sinnvollen Schwelle gibt es auch verschiedene Algorithmen, die jedoch gerade bei Bildern mit geringem Kontrast mitunter keine befriedigenden Ergebnisse liefern. Einer der bekanntesten Algorithmen ist die Methode nach Nobuyuki Otsu, deren berechneter Schwellenwert über die Schaltfläche "Vorschlag" übernommen werden kann.

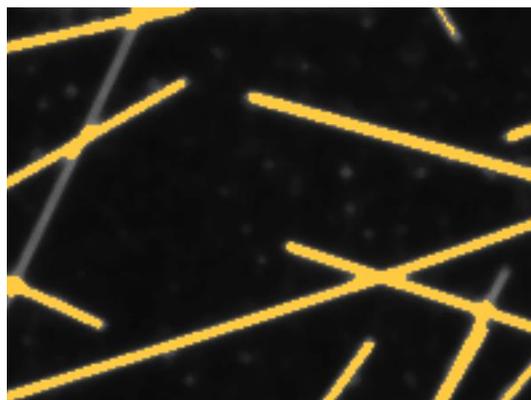


*Dialog zur Festlegung der Binarisierungsschwelle*

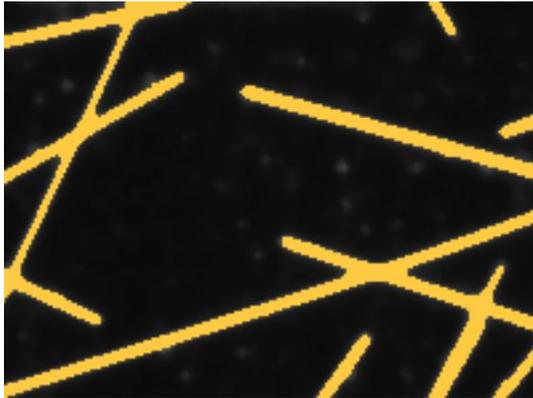
Bei kritischen Bildern mit geringen oder gar schwankenden Helligkeitsunterschieden muss die Schwelle aber meist durch händisches Probieren im Vorschaufenster optimiert werden. Über die Option "Originalbild einblenden" können Sie hier zur besseren Kontrolle das ursprüngliche Graustufenbild in den Hintergrund legen lassen. Alle Pixel über dem Schwellenwert werden dann orange hervorgehoben.



*Schwelle zu niedrig*



*Schwelle zu hoch*



*Schwelle richtig*

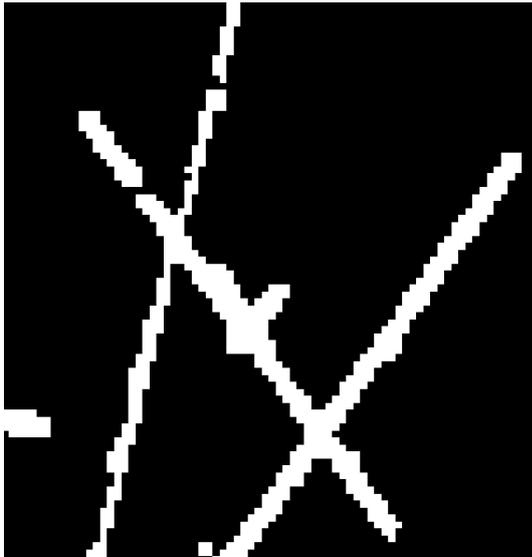
## **Hinweise**

- Der im Dialogfenster gezeigte Bildausschnitt entspricht zunächst genau dem Zentrum der aktuellen Bildschirmdarstellung. Über das Piktogramm mit den Rechtecken können Sie dann schnell in die Ecken oder die Mitte des Bildes springen. Über die rechte Maustaste können Sie den Bildausschnitt auch wie gewohnt verschieben und über das Mousrad zwischen zwei Zoomstufen wählen.
- Der Vorschlag für den Schwellwert basiert nicht auf dem Gesamtbild, sondern lediglich auf dem aktuell angezeigten Vorschau-Ausschnitt. Für ein sinnvolles Ergebnis muss dieser daher sowohl Faser- als auch Hintergrundpixel enthalten.
- Am Ende der Binarisierung wird in der Statusleiste der Anteil der Faserpixel am Gesamtbild in Prozent ausgewiesen. Basierend auf den Erfahrungen bisheriger Faseranalysen kann man die Empfehlung geben, dass der Anteil, besonders bei Langfasern, nicht über 5-6% hinausgehen sollte. Bei vielen Staubpartikeln im Bild kann diese Grenze bis auf ca. 10% angehoben werden. Bei einem höheren Anteil ist dann davon auszugehen, dass die Fasern so dicht liegen, dass Mehrfachkreuzungen und Überdeckungen immer wahrscheinlicher werden, so dass die Erkennungsqualität bei der Fasersuche leidet. In diesem Fall sollten Sie die Verdünnung der Fasern in der Trägerflüssigkeit erhöhen.

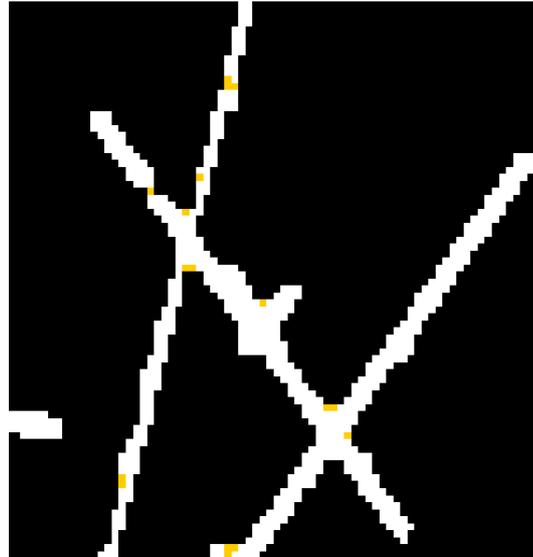


## **Schaltfläche „Lücken füllen“**

Bei geringen Kontrasten zwischen Fasern und Hintergrund kann es vorkommen, dass nach der Binarisierung die Fasern stellenweise durch winzige Lücken unterbrochen sind. Eine ursprünglich lange Faser würde daher fälschlicherweise als mehrere kürzere Fasern interpretiert. Zur Verbesserung der Durchgängigkeit der Fasern sucht dieser Filter daher nach Lücken in längeren Abfolgen weißer Faserpixel und füllt diese auf.



Vorher



Nachher

Falls die Probleme nur ungefähr senkrecht liegende Fasern betreffen (wird bei Verwendung eines Scanners als Bildaufnahmegerät von dem ungünstigen Reflexionsverhalten der senkrechten Fasern auf die horizontal liegende Scannerzeile verursacht), können deren Segmente auch bei der Fasersuche durch einen Winkelfilter ausgeschlossen werden, so dass sie die Längenverteilung nicht verzerren.

### Hinweise

- Faserstücke, die nur 1-2 Pixel breit sind, werden von dem Algorithmus oft ignoriert. In diesen Fällen kann es helfen, die Fasern zunächst über den Mindestbreite-Filter aufzudicken und dann erst die verbliebenen Lücken zu schließen.
- Die Einstellung „2 Pixel“ kann zwar größere Lücken schließen als „1 Pixel“, die Gefahr ist jedoch auch größer, dass im Bereich von Kreuzungsstellen unerwünschte Pixel angelagert werden (siehe letztes Bild).

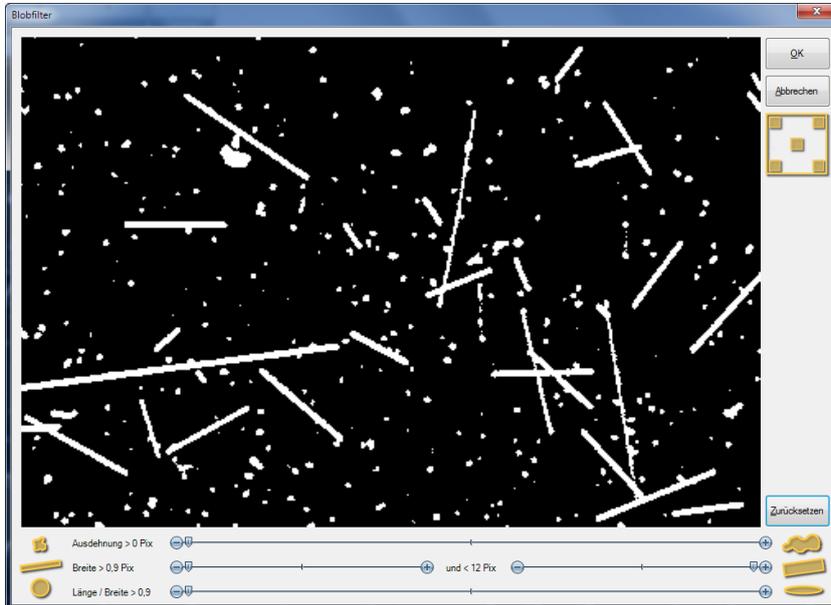


### Schaltfläche „Blobfilter“

Die auch unter dem Namen "Connected-Component Labeling" bekannte Blobanalyse ist eines der grundlegenden Verfahren der Bildanalyse. Bei ihr geht es darum, voneinander isolierte, zusammenhängende Haufen von Pixeln ("Blobs") gleicher Farbe zu identifizieren. Die einzelnen Blobs können dann hinsichtlich ihrer Größe, Gestalt und Orientierung analysiert werden.

FiVer setzt die Blobanalyse dazu ein, Pixelhaufen aus dem Bild zu entfernen, die keine gültigen Fasern darstellen. Dies können Staubpartikel, Luftblasen, aber auch unaufgeschlossene Faserbündel sein.

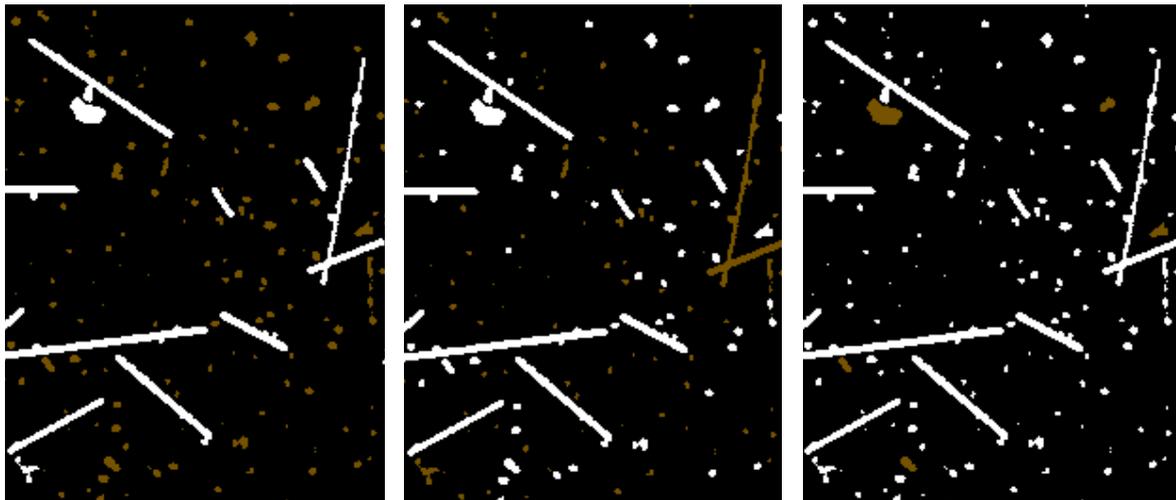
Damit soll verhindert werden, dass der Algorithmus zur Nachverfolgung der Faserverläufe auch in diesen Pixelhaufen nach Fasern sucht, was zu falschen Ergebnissen führen kann. Zur Beurteilung, ob ein Blob einen Fremdkörper oder eine Ansammlung von Fasern darstellt, können insgesamt drei Kriterien angewendet werden, die in einem Dialogfenster interaktiv festgelegt werden.



*Dialogfenster zur Ausfilterung von Blobs durch deren geometrische Eigenschaften*

**Minimale Ausdehnung:** Nur Blobs, deren Breite und gleichzeitig Höhe (maximale Ausdehnung in X- und Y-Richtung) über dem Schwellwert liegt, verbleiben im Bild. Dies ist das am einfachsten zu verstehende und nachzuvollziehende Kriterium, und für viele Bildfehler wie kleine Staubpartikel reicht dieses Kriterium oftmals schon alleine aus.

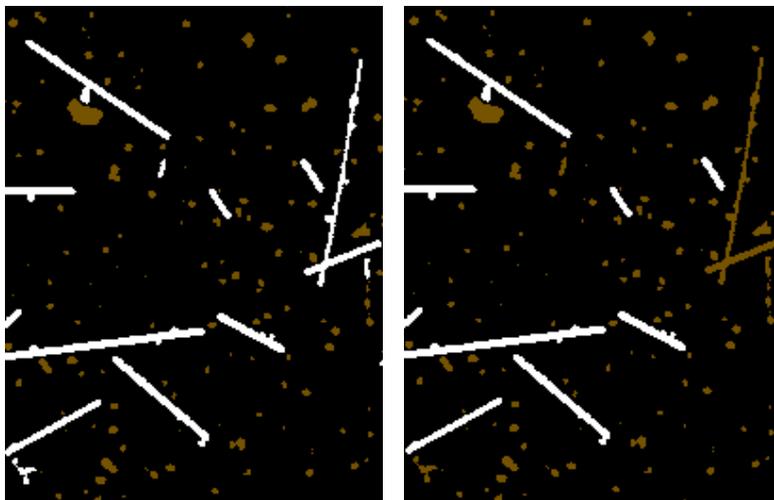
Für die beiden anderen Kriterien wird ein Zwischenschritt berechnet, der auch in Software zur Bildanalyse stäbchenförmiger Partikel angewendet wird. Dazu wird zunächst für jeden Blob die Länge der Außen- und Innenkonturen sowie die Fläche bestimmt. Daraus werden dann die kürzere und längere Seite des umfangs- und flächengleichen Rechtecks bestimmt. Bei überkreuzt liegenden Fasern erhält man damit so etwas wie die mittlere Breite und die ungefähre Gesamtlänge aller Fasern im Blob (beides mit einigen Ungenauigkeiten durch die Überkreuzungs- und Berührstellen). Falls die quadratische Gleichung zur Bestimmung der Rechteckabmessungen nicht lösbar ist (weil der Blob stark verrundet ist und damit der Umfang im Verhältnis zur Fläche geringer ist als bei jedem Rechteck), verwendet FiVer einen alternativen Rechenansatz mit prinzipbedingt größerem Fehler. In jedem Fall ist das verwendete Rechenmodell nur eine grobe Annäherung an die tatsächliche Fasergestalt, so dass die berechneten Abmessungen und Ihre optische Wahrnehmung (z.B. bezüglich des Länge-zu-Breite-Verhältnisses) durchaus etwas differieren können. Trotzdem ist der Blobfilter ein wertvolles Werkzeug zur Aussortierung für die Fasersuche ungeeigneter Bildbestandteile.



*Nur Ausdehnung > 13 Pix*

*Nur Breite > 2,9 Pix*

*Nur Breite < 5,0 Pix*



*Nur Länge / Breite > 3,0*

*Alle Kriterien zusammen*

**Minimale und maximale Breite:** Nur Blobs, deren Breite (Schmalseite) des umfangs- und flächengleichen Rechtecks größer als die untere und kleiner als die obere Schwelle ist, verbleiben im Bild. Mit der unteren Grenze lassen sich teilweise nur schemenhaft als schmale Pixelspur erkennbare Fasern oder Faserfragmente entfernen. Diese können in manchen Fällen über einen speziellen Filter jedoch nachträglich noch so weit aufgedickt werden, dass ihr Faserverlauf bestimmbar wird. Wichtiger ist daher meist die obere Schwelle, um großformatige Störungen wie Luftblasen, Faserbündel oder Abschattungen durch die Petrischale auszuschließen.

**Minimales Länge-zu-Breite-Verhältnis:** Fasern sind lang und schlank, Bläschen und Staub dagegen gedrunen und eher kreisförmig. Das Verhältnis von Länge zu Breite des umfangs- und flächengleichen Rechtecks ist bei Fasern also meist größer als bei Bildstörungen, was eine Unterscheidung erlaubt.

## Hinweise

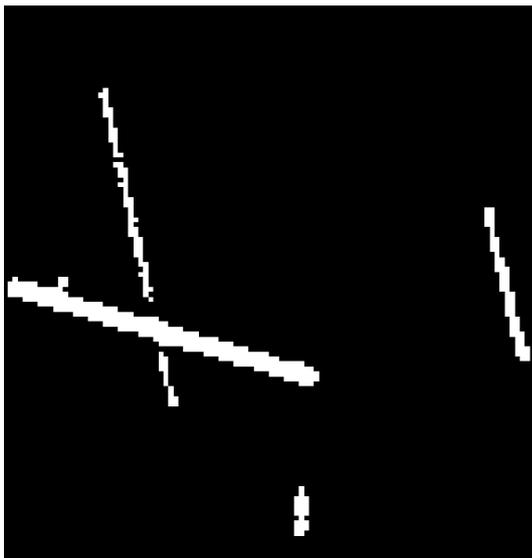
- Blobs, die die Filterkriterien nicht erfüllen, werden dunkelorange markiert, falls die entsprechende Einstellung in den Optionen getätigt wurde. Ansonsten werden sie direkt aus dem Vorschaubild entfernt.
- Über die Schaltfläche „Zurücksetzen“ können Sie alle Filter auf diejenigen Werte zurücksetzen, die keine oder möglichst wenige Blobs entfernen. Ausgehend von diesem Startpunkt können Sie dann schrittweise die Filter nacheinander (am besten in der Reihenfolge, in der die Schieberegler im Dialogfenster angeordnet sind) auf schärfere Werte einstellen, bis möglichst viele Bildstörungen markiert sind, ohne zu viele echte Fasern mit zu entfernen.
- Ein Blob ist ein **zusammenhängender** Bereich von Pixeln. Bei sehr vielen überkreuzten Fasern im Bild kann es sein, dass diese so miteinander verbunden sind, dass sich wenige riesige Blobs bilden, die einen Großteil des Bildes ausfüllen. Berührt z.B. eine Luftblase einen solchen Blob, ist sie Teil dieses Pixelhaufens. Dass sie für sich betrachtet breit und gedrungen ist, wird daher im Gesamtergebnis des riesigen Blobs praktisch untergehen. Damit ein Bildfehler über seine Geometrie erkannt und beseitigt werden kann, muss er also weitgehend isoliert stehen.
- Damit die Filterkriterien interaktiv mit hoher Reaktionsgeschwindigkeit verstellt werden können, bekommt der Filter-Algorithmus im Vorschauenfenster nur den kleinen Bildausschnitt vorgesetzt, den Sie auch auf dem Bildschirm sehen. Bei sehr langen, dicht liegenden Fasern können die Blobs aber sehr groß werden und weit über den Ausschnitt hinausgehen. Teilweise abgeschnittene Blobs, die nach der Justierung der Ausschlusskriterien in der Vorschau als zu entfernen markiert wurden, können bei der anschließenden Analyse des gesamten Bildes somit evtl. doch alle Tests bestehen und im Bild verbleiben (und umgekehrt). Auch der mitunter plötzliche Wechsel eines Blobs zwischen markiert und unmarkiert beim Verschieben des Bildausschnitts hängt damit zusammen.
- Insgesamt wird die Blobanalyse also wesentlich effektiver, wenn die Konzentration der Fasern im Bild nicht zu hoch gewählt wurde und sich diese nicht so häufig mit anderen Fasern überkreuzen, dass riesige Netzwerke von Fasern entstehen.
- Falls das Bild mehr als 65.000 Blobs enthält, wertet das Programm das Bild bis zu dieser Stelle aus und startet dann automatisch weitere Durchläufe, bis das Gesamtbild abgearbeitet ist. Die Zahl an z.B. zu entfernenden Staubpartikeln ist somit praktisch unbegrenzt. Falls die Hervorhebung der entfernten Pixel in den Optionen aktiviert wurde, können diese jedoch nur beim letzten Durchlauf dargestellt werden.



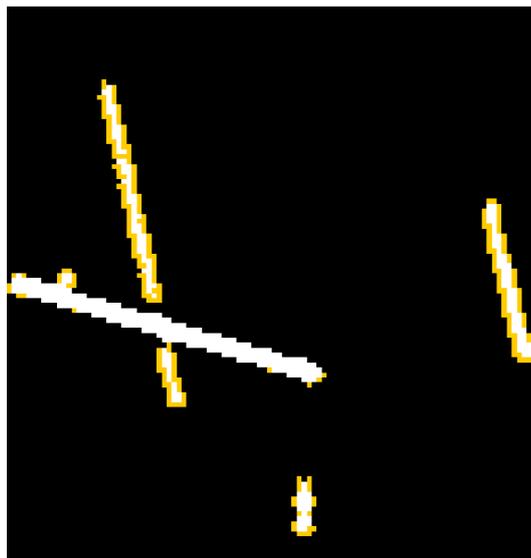
## Schaltfläche „Mindestbreite“

Fasern, die bei der Mikroskopieaufnahme oder dem Scan nicht genau in der Schärfenebene lagen und daher verschwommene Ränder haben, sind nach der Binarisierung oft nur 1-2 Pixel schmal. Um dem Faserverfolgungs-Algorithmus die Arbeit zu erleichtern, können diese Fasern mit dem Mindestbreite-Filter auf das Niveau der anderen Fasern aufgedickt werden. Dazu wählen Sie in den ausklappbaren Einstellungen die gewünschte Mindestbreite in Pixeln aus. Diese sollte der typischen Breite der gut erfassten Fasern entsprechen.

Im Menüband „Analysieren“ ist dazu über das Icon  eine kleine Hilfsfunktion zu erreichen, die es Ihnen erlaubt, die Breite einer Faser durch Anklicken einer repräsentativen Stelle zu vermessen. Der gemessene Wert wird dann automatisch als typische Faserbreite für die Analyse der Faserverläufe übernommen. Wenn Sie bei der Mindestbreite die Option „Einstellung aus Analysieren-Ribbon“ verwenden, greift der Mindestbreite-Filter auch auf diesen gemessenen Wert zu.



Vorher



Nachher

### Hinweise

- Der Mindestbreite-Filter wirkt lokal und kann daher auch Engstellen in ansonsten gut erfassten, breiten Fasern beseitigen, an denen der Faserverfolgungs-Algorithmus bei der Analyse evtl. einen Faserverlauf vorzeitig abbricht.



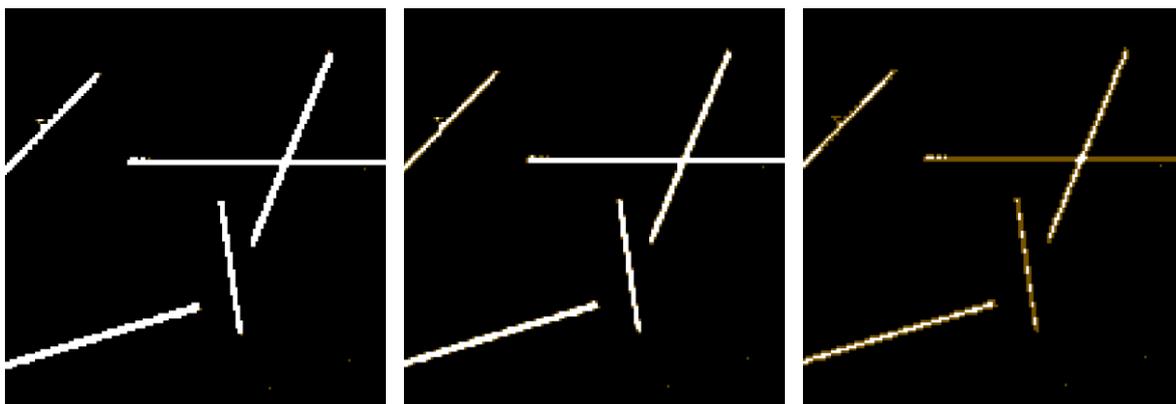
## Schaltfläche „Pixel entfernen“

Mit diesem Filter können alle weißen Faserpixel entfernt werden, die je nach Einstellung weniger als 2, 3 oder 4 weiße Nachbarpixel haben. Als Nachbarn gelten dabei die vier Pixel unmittelbar neben, oberhalb und unterhalb des aktuell betrachteten Faserpixels.

In der schwächsten Einstellung „**Störpixel**“ werden alle weißen Pixel entfernt, die nur einen oder gar keinen weißen Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Neben der Entfernung einzelner stehender Störpixel (die auch von dem wesentlich universelleren Blobfilter gefunden werden) werden so auch ausgefranst wirkende Faserkanten etwas geglättet. Im Gegensatz zu den beiden höheren Filterstufen hat diese erste Stufe kaum Einfluss auf die grundlegende Faserbreite und kann daher meist mehrfach angewendet werden.

Mit der Option „**Verrunden**“ werden alle weißen Pixel entfernt, die zwei oder weniger weiße Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Zusätzlich zur Wirkung der ersten Filterstufe werden so auch Pixel an Außenecken und Treppenstufen entfernt. Besonders bei schräg verlaufenden Fasern hat diese Filterstufe daher schon spürbare Auswirkungen auf die Faserbreite. Bei mehrfacher Anwendung sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass sich die Breite von schräg und gerade verlaufenden Fasern weiterhin nicht um mehr als 1 Pixel unterscheidet.

In der höchsten Einstellung „**Ausdünnen**“ werden schließlich alle weißen Pixel entfernt, die drei oder weniger weiße Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Zusätzlich zur Wirkung der ersten und zweiten Filterstufe werden so auch Pixel an den Faserkanten entfernt. Damit werden schräg und gerade verlaufenden Fasern gleichermaßen verdünnt. Die Wirkung ist allerdings noch stärker als bei Stufe 2, so dass der Filter selbst bei dicken Fasern meist nur ein einziges Mal sinnvoll angewendet werden kann.



*Störpixel*

*Verrunden*

*Ausdünnen*



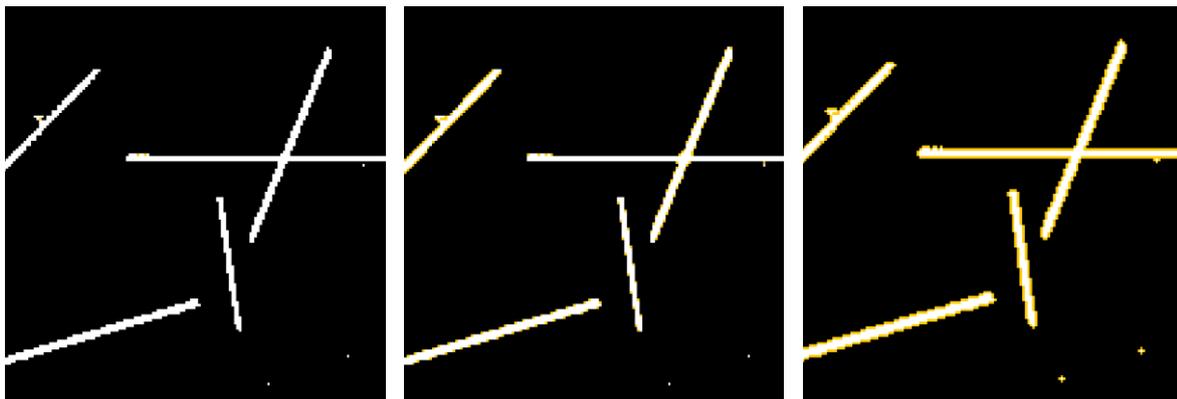
## Schaltfläche „Pixel hinzufügen“

Mit diesem Filter können alle schwarzen Hintergrundpixel in weiße Faserpixel umgefärbt werden, die je nach Einstellung weniger als 2, 3 oder 4 schwarze Nachbarpixel haben.

In der schwächsten Einstellung „**Löcher füllen**“ werden alle schwarzen Pixel weiß umgefärbt, die nur einen oder gar keinen schwarzen Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Neben der Entfernung einzelner Löcher innerhalb der Fasern werden so auch ausgefranst wirkende Faserkanten etwas geglättet.

In der zweiten Stufe „**Verrunden**“ werden alle schwarzen Pixel weiß umgefärbt, die zwei oder weniger schwarze Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Zusätzlich zur Wirkung der ersten Filterstufe werden so auch Pixel an Innenecken und Treppenstufen angelagert.

In der höchsten Stufe „**Verdicken**“ werden schließlich alle schwarzen Pixel weiß umgefärbt, die drei oder weniger schwarze Nachbarn horizontal oder vertikal neben sich haben. Zusätzlich zur Wirkung der ersten und zweiten Filterstufe werden so auch Pixel an den Faserkanten angelagert.



*Löcher füllen*

*Verrunden*

*Verdicken*



## Schaltfläche „Glätten“

Der Median-Filter lässt sich sinnvoll nicht nur auf Graustufen, sondern auch auf binäre Schwarz/Weiß-Bilder anwenden. Dabei vereinfacht sich die Sortierung der Helligkeitswerte auf die Frage, ob ein Pixel mehr weiße oder mehr schwarze Nachbarn hat (die Eigenfarbe des Pixels zählt hier ebenfalls mit). Bei mehr schwarzen Nachbarn wird das Pixel ebenfalls schwarz eingefärbt und umgekehrt. Dadurch verschwinden Störungen im Hintergrund, wenn sie nur wenige Pixel groß sind, und kleine Löcher und ausgefranst Kanten an den Fasern werden aufgefüllt.



Binärbild vorher



Binärbild nachher

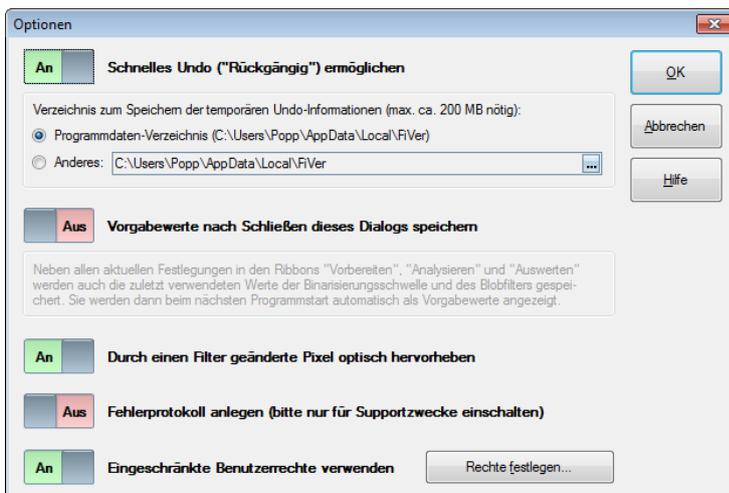
## Hinweise

- Der Filter arbeitet immer mit einer Matrix von 3x3 Nachbarpixeln, die beim Entrauschen der Einstellung „Mittel“ entspricht. Falls Sie eine starke Wirkung wünschen, können Sie den Filter mehrmals hintereinander anwenden.



## Schaltfläche „Optionen“

In diesem Dialogfenster können verschiedene grundlegende Einstellungen für das Programm festgelegt werden.



Dialogfenster „Optionen“

**Schnelles Undo:** Durch automatisch gespeicherte Zwischenstände kann die letzte Aktion schneller rückgängig gemacht werden, dafür wird jedoch mehr freier Platz auf der Festplatte benötigt (ca. 50-200 MB, je nach Zahl der Bearbeitungsschritte). Die Zwischenstände werden standardmäßig im Programmdatei-Verzeichnis abgelegt (dieses Verzeichnis wird von Microsoft für die Ablage programmspezifischer Daten empfohlen; der genaue Pfad wird in Klammern angegeben), auf das der angemeldete Benutzer normalerweise volle Zugriffsrechte hat. Alternativ können Sie auch ein beliebiges anderes Verzeichnis wählen. Optimal ist die Verwendung eines Laufwerks mit hoher Schreib- und Lesegeschwindigkeit. Da die Daten nicht dauerhaft benötigt werden, kann daher bei ausreichend Arbeitsspeicher auch eine RAM-Disk verwendet werden.

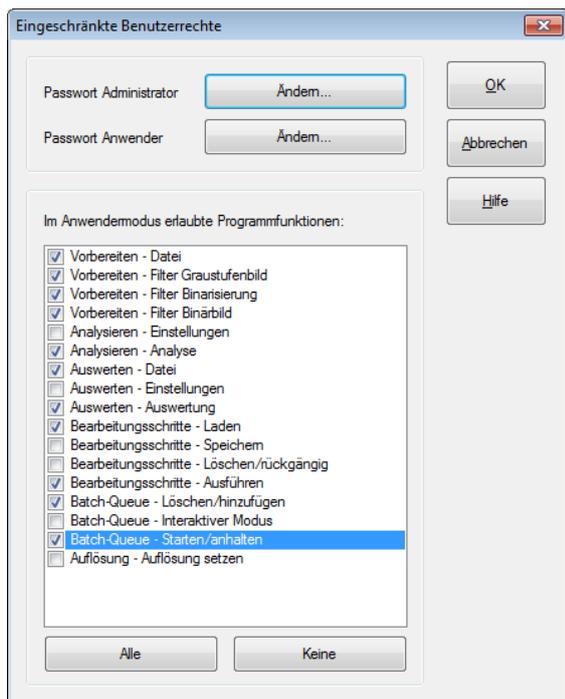
Die normale, langsame Rückgängig-Funktion arbeitet dagegen so, dass nach Löschen eines Schritts in der Liste diese einfach nochmals komplett neu abgearbeitet wird, beginnend mit dem Laden des originalen Faserbildes. Entsprechend ist dieser Weg, abhängig von der Länge der Liste, üblicherweise um den Faktor 10 bis 100 langsamer, dafür benötigt er keinen zusätzlichen Speicherplatz für Zwischenergebnisse.

**Vorgabewerte speichern:** Wenn Sie diese Option einschalten, werden beim Schließen des Dialogfensters alle derzeitigen Filter- und Ausgabe-Einstellungen gespeichert. Dazu gehören alle Einträge in den drei Menübändern inkl. der bei vielen Filtern möglichen Auswahloptionen (z.B. „Störpixel“, „Verrunden“ oder „Ausdünnen“ beim Filter „Pixel entfernen“), aber auch die festgelegten Filterwerte in den Dialogfenstern „Binarisierung“ und „Blobfilter“ und die Einstellungen des interaktiven Batchmodus. Diese Werte werden dann beim nächsten Programmstart automatisch als Vorgabewerte geladen. Damit die Werte nicht versehentlich überschrieben werden, schaltet sich die Speichern-Option nach jeder Benutzung wieder aus.

**Pixel optisch hervorheben:** Bei aktivierter Option werden die von einem Filter veränderten Pixel nicht einfach gelöscht bzw. hinzugefügt, sondern farblich hervorgehoben. Gelöschte Pixel werden dabei dunkelorange und neu hinzugefügte Faserpixel hellorange markiert. Sie können so leichter beurteilen, ob der Filter die Qualität des Faserbildes tatsächlich verbessert hat oder ob die Filtereinstellungen noch optimiert werden müssen. Die Hervorhebung bleibt so lange sichtbar, bis Sie den nächsten Filter anwenden.

**Fehlerprotokoll anlegen:** Da diese Funktion die Arbeitsweise des Programms verlangsamen kann, sollten Sie die Option nur einschalten, wenn Sie der FiVer-Support dazu auffordert.

**Eingeschränkte Benutzerrechte:** Wenn Sie verhindern möchten, dass normale Anwender bestimmte fortgeschrittene Programmfunktionen verwenden und/oder Einstellungen ändern können, dann können Sie mit dieser Option die Nutzerrechte einschränken. Das Programm fragt dann bei jedem Start nach einem Passwort, das entscheidet, ob der uneingeschränkte Administrator-Modus oder der funktionell beschnittene Anwendermodus aktiv werden. Wie diese Passwörter lauten und welche Programmfunktionen gesperrt oder erlaubt sind, können Sie in dem Dialogfenster festlegen, das über die Schaltfläche „Rechte festlegen“ aufgerufen wird.



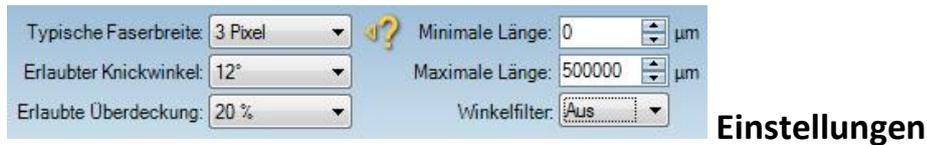
Dialogfenster „Eingeschränkte Benutzerrechte“

**Passwort ändern:** Sie müssen sowohl für den Administrator als auch den oder die Anwender jeweils ein Passwort vergeben. Dieses kann zwischen 3 und 20 Zeichen lang sein und Klein- und Großbuchstaben sowie Ziffern enthalten. Sonderzeichen sind nicht erlaubt. Wurde noch nie ein Passwort definiert, trägt die jeweilige Schaltfläche die Beschriftung „Festlegen“ statt „Ändern“.

**Erlaubte Programmfunktionen:** Nur die in der Liste abgehakten Funktionen stehen dem Anwender nach der Anmeldung zur Verfügung, alle anderen sind in der Benutzeroberfläche ausgegraut und nicht anklickbar. Die ersten 9 Einträge entsprechen dabei den Schaltflächen-Gruppen in den 3 Ribbons, die restlichen beziehen sich auf einzelne Icons in der Liste der Bearbeitungsschritte oder der Batch-Queue. Auch die Änderung der Bildauflösung über die Schaltfläche in der Statusleiste am unteren Bildschirmrand kann gesperrt werden.

Damit Sie die Option „eingeschränkte Benutzerrechte“ einschalten können, müssen beide Passwörter festgelegt und mindestens eine Programmfunktion freigegeben sein. Um zu verhindern, dass der Anwender diese Einstellungen selbst verändern kann, ist der Aufruf des „Optionen“-Dialogfensters grundsätzlich immer gesperrt und taucht daher auch nicht der Liste der Wahlmöglichkeiten auf.

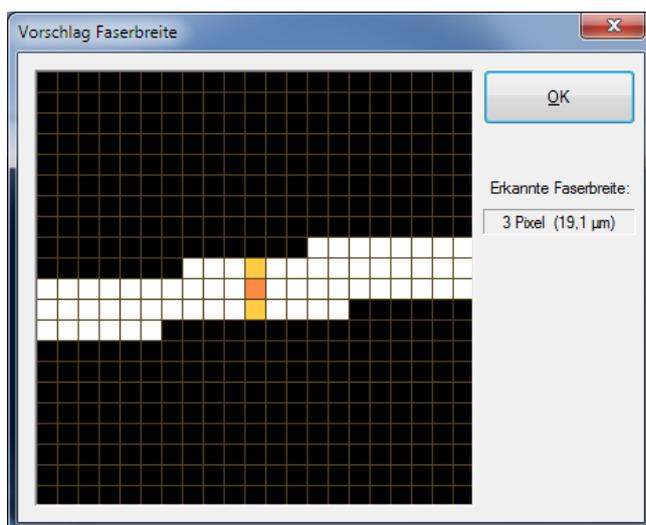
### 5.3. Menüband „Analysieren“



**Typische Faserbreite:** Diese grobe Vorgabe wird vom Programm genutzt, um Abzweigungen und doppelt liegende Fasern anhand der Breitenänderung zu erkennen. Um die Breite einer Faser im Bild auszumessen, können Sie das Fragezeichen-Icon  anklicken. In der Statusleiste wird daraufhin der Hinweis „Bitte weißes Faserpixel anklicken“ eingeblendet. Sie sollten sich nun eine möglichst typische Faser heraussuchen und ein Pixel dieser Faser an einer ungestörten Stelle (d.h. nicht an einer Berührungs- oder Kreuzungsstelle mit einer anderen Faser) anklicken. Im erscheinenden Dialogfenster wird dann der Faserausschnitt rund um das angeklickte Pixel zusammen mit der ermittelten Faserbreite dargestellt. Zur Bestimmung der Breite wird die Anzahl der aufeinanderfolgenden Faserpixel horizontal, vertikal und in den beiden Diagonalenrichtungen gezählt und der kleinste Wert als Faserbreite gesetzt.

Der ebenfalls ausgewiesene Wert in  $\mu\text{m}$ , der sich über die Bildauflösung ergibt, soll Ihnen an dieser Stelle nur einen Anhaltspunkt geben, um grob falsche DPI-Angaben zu diesem Zeitpunkt noch erkennen zu können. Für eine genaue Ausmessung der Faserbreite zur Angabe im Prüfprotokoll ist dieser Wert dagegen viel zu ungenau.

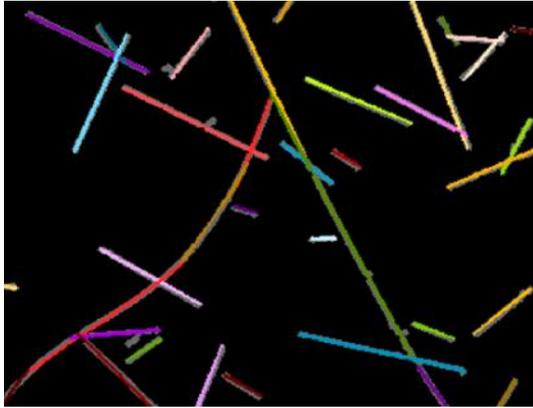
Wenn Sie die Breite mehrfach bestimmen und das Ergebnis immer wieder zwischen zwei Werten schwankt, dann bringt der kleinere Wert erfahrungsgemäß eher die bessere Erkennungsleistung bei der Analyse der Faserverläufe. Hier kann es sich aber lohnen, evtl. beide Varianten auszuprobieren.



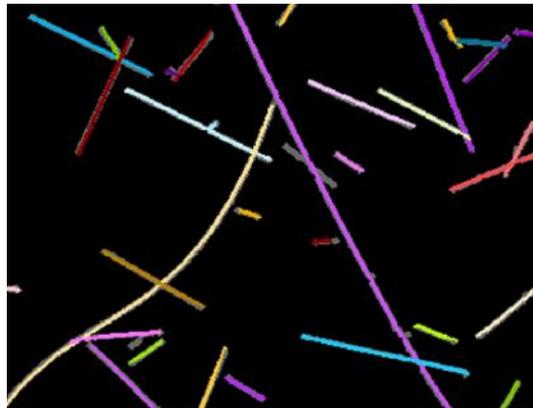
*Dialogfenster zur Bestimmung der Faserbreite*

**Erlaubter Knickwinkel:** Hiermit kann gesteuert werden, ab welcher Grenze Biegungen im Faserverlauf als Beginn einer neuen Faser gewertet werden. Generell ist dies die Einstellgröße, deren

Veränderung üblicherweise den größten Einfluss darauf hat, ob der Analysealgorithmus die Fasern in der vollen Länge erkennt und an Kreuzungsstellen den richtigen Weg weiter verfolgt. Die Optimierung dieser Einstellung auf die geometrische Gestalt (Länge und Krümmung) der auszuwertenden Fasern ist daher ein sehr wichtiger Schritt, der letztendlich nur durch Ausprobieren und Einsatz des Rückgängig-Befehls möglich ist.



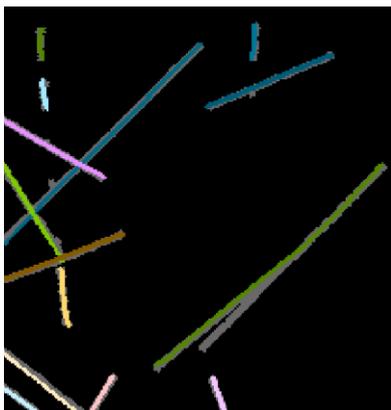
*Knickwinkel 0°*



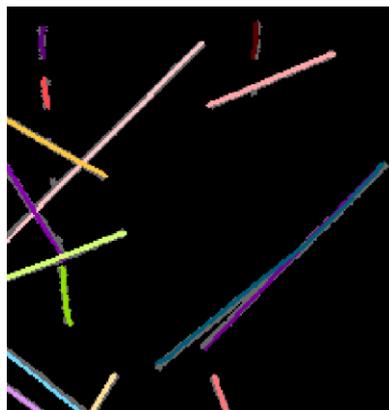
*Knickwinkel 16°*

**Erlaubte Überdeckung:** Wenn mehrere verfolgte Fasern mehr als diesen Prozentsatz ihrer Länge deckungsgleich verlaufen, wird nur die längste Faser in die Auswertung übernommen. Die Einstellung „Aus“ bewirkt, dass beliebige Überdeckungen erlaubt sind. Werte im Bereich 20 bis 30% sind oft ein guter Ausgangspunkt für weitere Optimierungen.

Falls viele Fasern nach spitzwinkligen Kreuzungs- oder Berührungspunkten deckungsgleich verlaufen, weil beide Faser weiter verfolgt werden, obwohl eine der Fasern an der Berührstelle eigentlich zu Ende wäre, können Sie durch Reduktion der erlaubten Überdeckung Einfluss auf den Algorithmus nehmen.



*Überdeckung max. 5%*



*Überdeckung max. 50%*

**Minimale/maximale Länge:** Falls das Bild viel Staub und Flusen enthält, die als Fasern interpretiert werden, können Sie festlegen, dass Fasern, deren Länge unter der angegebenen Schwelle liegt (Bedingung: kleiner), bei der Suche komplett ignoriert werden. Falls umgekehrt bekannt ist, dass die Fasern eine bestimmte Länge nicht überschreiten können (z.B. weil Schnittglasfasern fester

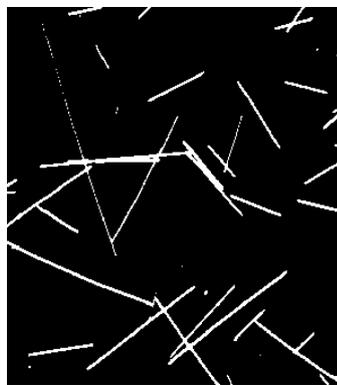
Ausgangslänge eingesetzt wurden), können Sie auch eine Obergrenze für die erlaubte Faserlänge festlegen. Falls sich zwei Schnittglasfasern an ihren Enden so berühren, dass sie vom Programm als eine doppelt so lange Faser interpretiert werden, wird die ermittelte Länge nicht in die Faserliste aufgenommen und kann so das Ergebnis nicht verfälschen. Falls Sie keine Eingrenzung der Faserlängen möchten, tragen Sie bei der minimalen Länge bitte 0  $\mu\text{m}$  und bei der maximalen 500000  $\mu\text{m}$  (größter erlaubter Wert => entspricht 500 mm) ein.

**Winkelfilter:** Bei Durchlichtscans transparenter Fasern erscheinen ungefähr senkrecht liegende Fasern meist wesentlich blasser. Dies liegt daran, dass bei dieser Orientierungsrichtung trotz der Streuung in der Faser immer noch der Großteil des eingestrahnten Lichts die Scannerzeile erreicht. Die Verwendung eines flüssigen Präparationsmediums wie Wasser verschlechtert dies weiter, da der Brechungsindex der üblichen Flüssigkeiten sehr nah an dem von Glas liegt. Die Strahlablenkung an der Grenzschicht zwischen Glasfaser und Umgebungsmedium fällt dadurch geringer aus und noch mehr Licht erreicht den Detektor.

Stellt man die Binarisierungsschwelle passend zum Großteil der kontraststarken Fasern ein, zerfallen die blassen senkrechten Fasern oft in Einzelsegmente. Diese würden bei der Fasersuche als kurze Einzelfasern interpretiert, was das Ergebnis der Längenverteilung verzerren kann. Über den Winkelfilter können Sie daher festlegen, dass jede Faser, die zumindest ein Teilstück enthält (wichtig bei gekrümmten Fasern), dessen Orientierung um weniger als den gewählten Winkel von der Senkrechten abweicht, von der Längenanalyse ausgeschlossen wird. Solche Faserstücke bleiben dann im Kontrollbild dunkel ausgegraut.



*Graustufenbild vom Scanner*



*Binärbild mit segmentierten senkrechten Fasern*



*Bewertete Fasern bei einem Winkelfilter von 20°*

### Hinweise

- Wie im Kapitel zur Auswahl des geeigneten Bildaufnahmeverfahrens bereits geschildert, besteht das Problem eher darin, ein bildgebendes Gerät zu finden, das bei ausreichendem Sichtfeld die dünnen Glas- und Carbonfasern überhaupt mit wenigstens einigen Pixeln Breite erfassen kann. Entsprechend sind auch die internen Algorithmen des Programms auf die Analyse von schmalen Pixelbändern optimiert, wobei die höchste Erkennungsleistung (und auch die meiste Erfahrung)

im Bereich von 3 bis 4 Pixel breiten Fasern liegt. Die Auswahlliste zur Vorgabe der typischen Faserbreite endet daher bereits bei 6 Pixeln.



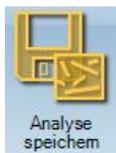
## Schaltfläche „Fasern suchen“

---

Diese Schaltfläche startet den Algorithmus zur Nachverfolgung des Verlaufs der Einzelfasern. Maximal können 65.000 Fasern pro Bild identifiziert werden. Sind mehr enthalten, bleibt ein entsprechend breiter Abschnitt am unteren Bildrand unbearbeitet. Zur leichteren Kontrolle des Verlaufs an Überkreuzungs- und Berührungsstellen werden die erkannten Fasern **zufällig** in einer von 50 vorgegebenen Farben koloriert.

### Hinweise

- Fasern, die den Rand berühren, werden nicht berücksichtigt, da höchstwahrscheinlich nicht ihre gesamte Länge im Bildausschnitt zu sehen ist.



## Schaltfläche „Analyse speichern“

---

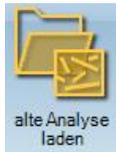
Speichert alle notwendigen Informationen inkl. des Bildes mit den erkannten Fasern ab, um die nachfolgenden Auswertungsschritte auch zu einem späteren Zeitpunkt durchführen zu können. Gleichzeitig wird auch eine lesbare ASCII-Datei mit der Länge jeder gefundenen Faser in  $\mu\text{m}$  angelegt. Diese kann dann z.B. für spezielle eigene Auswertungen in eine Tabellenkalkulation eingelesen werden.

Die Dateinamen ergeben sich automatisch durch Anhängen der Zusätze *\_Analyse.png* (Bild mit den farblich markierten Fasern) bzw. *\_Einzelfasern.txt* (Textdatei mit den Faserlängen) an den Dateinamen des ursprünglichen Faserbildes (z.B. *Faserscan.jpg* => *Faserscan\_Analyse.png* und *Faserscan\_Einzelfasern.txt*). Die Dateien werden im Verzeichnis des aktuell geladenen Faserbildes abgelegt.

### Hinweise

- Die Bedeutung der Spalten in der Datei *XXX\_Einzelfasern.txt* ist im Kopf der Datei selbst ausführlich erklärt.

## 5.4. Menüband „Auswerten“



### Schaltfläche „Alte Analyse laden“

Über diese Schaltfläche können Sie eine alte, abgespeicherte Analyse zur Anzeige der Verteilungsfunktion und der berechneten statistischen Kennwerte laden.

Wenn Sie im Laden-Dialog mehrere Dateien anklicken, werden deren Ergebnisse für die folgenden Auswertungen und Statistiken zusammengefasst. Damit können Sie z.B. Proben von mehreren Entnahmestellen kombinieren, um das Ergebnis repräsentativer zu machen. Maximal können die Ergebnisse von 300.000 Fasern zusammengefasst werden. Sobald diese Schwelle erreicht ist, werden alle weiteren Dateien ignoriert.

#### Hinweise

- Bei zusammengefassten Auswertungen aus mehreren Dateien wird, falls es im gleichen Verzeichnis gefunden wird, das Faserbild der alphabetisch ersten Datei geladen. Bei Ausdruck des Berichts werden auch die Bearbeitungsschritte dieser ersten Datei stellvertretend für die gesamte Auswertung aufgelistet.
- Um das Speichern des Histogramms und der Tabelle im Batch-Modus automatisieren zu können, bekommt die zusammengefasste Auswertung den Dateinamen der ersten Analysedatei mit dem Zusatz *\_Multi* als Bezeichnung.

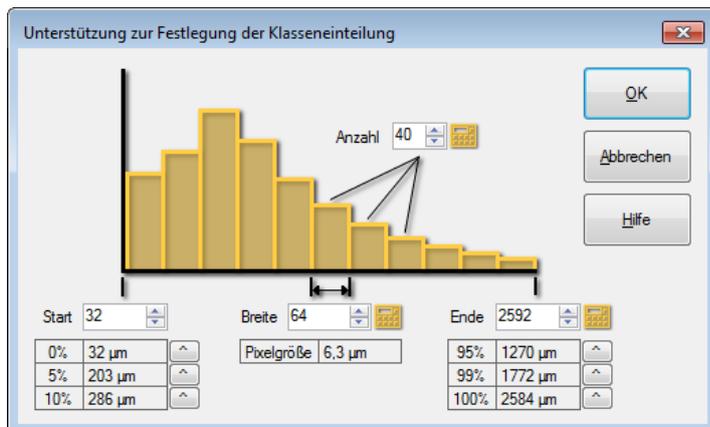
Klassierung Start:	0 %	µm	Kriterium:	Häufigkeit
Klassierung Ende:	100 %	µm	Einheit:	µm
Anzahl Klassen:	30	?	Maximum linke Y-Achse:	Automatik
Skalierung:	linear		Maximum rechte Y-Achse:	Automatik

### Einstellungen

**Klassierung Start/Ende:** Bei der Angabe des Startwertes der ersten und des Endwertes der letzten Klasse können Sie wahlweise echte Längen (Eingabe einer Zahl) in µm (oder mm bzw. nm, je nach eingestellter Einheit) oder Prozentwerte (Eingabe einer Zahl mit angehängtem Prozentzeichen) angeben. Ein Startwert von 5% und Endwert von 90% würde dabei bedeuten, dass die kürzesten 5% und längsten 10% der Fasern bei der Festlegung der Klassengrenzen ignoriert werden. Neben den vorgeschlagenen Prozentwerten aus der ausklappbaren Liste können Sie händisch beliebig andere Werte (erlaubt sind nur ganze Zahlen) in das entsprechende Textfeld eingeben.

**Anzahl Klassen:** Anzahl der Intervalle, in die der Längenbereich zwischen Start- und Endwert aufgeteilt werden soll. Möglich sind maximal 320 Klassen. Über die Schaltfläche mit dem Fragezeichen können Sie ein Dialogfenster aufrufen, das Ihnen mit einigen zusätzlichen Angaben und

Komfortfunktionen die Festlegung der Klasseneinteilung erleichtern soll. Bei der äquidistanten logarithmischen Darstellung sind diese Hilfen leider nicht nutzbar.



Dialogfenster zur Festlegung der Klasseneinteilung

Die kleinen Tabellen unter dem Histogramm listen die jeweiligen Quantilenwerte auf, die über die benachbarten „^“-Schaltflächen in die Eingabefelder für Start und Ende übernommen werden können. Über die „Taschenrechner“-Schaltflächen können Sie sich zudem wahlweise die Anzahl der Klassen (aus dem Start- und Endwert sowie der Breite), die Breite einer Klasse (aus dem Start- und Endwert sowie der Anzahl) oder den Endwert (aus dem Startwert, der Anzahl und der Breite) berechnen lassen.

Erlaubt sind dabei nur ganzzahlige Werte, weshalb z.B. der Endwert ggf. angepasst wird, damit die Rechnungen glatt aufgehen. Falls Sie feiner aufgelöste Werte benötigen, können Sie vor dem Aufruf des Dialogfensters eine andere Einheit (siehe drittnächster Absatz) einstellen, die dann verwendet wird.

**Skalierung:** Neben der normalen, linearen Skalierung kann die X-Achse auch auf eine logarithmische Darstellung umgestellt werden. Dabei werden die Klassengrenzen jedoch verzerrt. Falls Sie auch in der logarithmischen Darstellung optisch immer gleich breite Klassen haben möchten, können Sie die Option „log. äquidistant“ wählen.

**Kriterium:** Neben der Anzahl und der Häufigkeit (Anzahl der Fasern in dieser Längenklasse, bezogen auf die Gesamtzahl Fasern in der Auswertung) kann wahlweise auch der Längenteil (Aufsummierte Länge der Fasern in dieser Längenklasse, bezogen auf die Gesamtlänge an Fasern in der Auswertung) grafisch dargestellt werden. In der Tabelle werden automatisch immer alle Möglichkeiten aufgeführt.

**Einheit:** Für lange Fasern können die Darstellungen (Histogramm und Tabelle) von µm auf mm und für sehr kurze auf nm umgeschaltet werden.

**Maximum linke/rechte Y-Achse:** Um die Verteilungskurven unterschiedlicher Proben besser miteinander vergleichen zu können, können Sie an dieser Stelle die Skalenendwerte der beiden Y-Achsen des Histogramms (Klassenergebnisse links und kumulierte Ergebnisse rechts) manuell

festlegen. Für eine automatische Skalierung wählen Sie bitte den Eintrag „Automatik“ aus der jeweiligen ausklappbaren Liste aus oder lassen Sie das Eingabefeld einfach leer.

### Hinweise

- Bei der Einsortierung der Fasern in die Klassen gilt die Bedingung „Faserlänge ist größer gleich der linken Klassengrenze und kleiner als die rechte Grenze“.
- Die rechte Grenze der letzten Klasse wird intern daher so angepasst, dass eine Faser mit der bei „Klassierung Ende“ eingegebenen Länge gerade noch in der letzten Klasse enthalten ist.
- In der ersten bzw. letzten Zeile der Tabelle können Sie überprüfen, wie viele Fasern bezüglich ihrer Länge unter dem Start- bzw. über dem Endwert liegen.
- Da bei der logarithmischen Darstellung die Null als Startwert nicht definiert ist, ermittelt das Programm bei Bedarf die passendste Zehnerpotenz als Skalenminimum.
- Falls Ihr Histogramm einen sehr zerklüfteten Verlauf hat, kann es helfen, die Anzahl der Klassen zu reduzieren, damit diese ausreichend belegt sind.



### Schaltfläche „Histogramm anzeigen“

---

Darstellung der einzelnen Klassenergebnisse und des aufsummierten (kumulierten) Ergebnisses als Balkendiagramm und Kurve. Als Option können Sie bestimmen, ob die Skalierung der X-Achse vor der Darstellung noch etwas optimiert wird. Ohne Optimierung beginnt die Achse direkt an der linken Grenze der ersten Klasse und die Achsenbeschriftung startet ebenfalls mit diesem Zahlenwert und zählt dann in sinnvollen Intervallen hoch (z.B. 218, 318, 418...  $\mu\text{m}$ ). Mit Optimierung setzt das Programm das Skalenminimum auf einen schönen runden Wert und zählt dann ebenfalls hoch (z.B. 200, 300, 400...  $\mu\text{m}$ ). Die erste Klassengrenze hat dann aber üblicherweise etwas Abstand zur Y-Achse.

Mit Betätigung der Schaltfläche wechselt die Darstellung automatisch zu dem Karteireiter des Histogramms.



### Schaltfläche „Histogramm speichern“

---

Beim Speichern der Histogrammdarstellung haben Sie die Auswahl aus 3 möglichen Auflösungen (1, 2 und 5 Megapixel) und 3 Schriftgrößen (klein, mittel und groß). Für Bildschirmpräsentationen bis hin

zu großen gedruckten Postern sollte damit ein bestmöglicher Kompromiss aus Qualität und Bildgröße möglich sein.

Abgelegt wird das Histogramm im gleichen Verzeichnis wie die aktuell geladene Bilddatei oder Analyse und der Dateiname ergibt sich durch Anhängen der Endung *\_Histogramm\_Häufigkeit.png* (oder *\_Histogramm\_Anzahl.png* bzw. *\_Histogramm\_Längenanteil.png*, je nach gewähltem Kriterium) an den Basis-Dateinamen.



## Schaltfläche „Tabelle anzeigen“

---

Detaillierte Ausgabe der Klassenergebnisse für alle Darstellungskriterien (Anzahl, Häufigkeit und Längenanteil), der Quantile der Häufigkeits- und Längenanteil-Verteilung für 10/25/50/75/90/95 und 99% sowie weiterer statistischer Kennwerte wie Mittelwert und Standardabweichung. Die genaue Definition der einzelnen Kennwerte können Sie den Tooltips entnehmen, die erscheinen, sobald Sie mit dem Mauszeiger einige Sekunden auf dem jeweiligen Textfeld verharren

Mit Betätigung der Schaltfläche wechselt die Darstellung automatisch zu dem Karteireiter der Tabelle.



## Schaltfläche „Tabelle speichern“

---

Ausgabe der Tabelle und der statistischen Kennwerte als Textdatei für die Weiterverwendung z.B. in einer Tabellenkalkulation. Der Dateiname ergibt sich automatisch durch Anhängen des Zusatzes *\_Tabelle.txt* an den Dateinamen des ursprünglichen Faserbildes (z.B. *Faserscan.jpg* => *Faserscan\_Tabelle.txt*). Die Datei wird im Verzeichnis des aktuell geladenen Faserbildes abgelegt.

### Hinweise

- Die Bedeutung der Spalten in der Datei *XXX\_Tabelle.txt* ist im Kopf der Datei selbst ausführlich erklärt.



## Schaltfläche „Bericht drucken“

---

Über diese Schaltfläche können Sie einen Bericht mit allen wichtigen Informationen auf einem Drucker ausgeben lassen. Den Umfang des Berichts können Sie über die ausklappbaren Optionen noch genauer festlegen:

**Standarddrucker verwenden:** Falls aktiviert, wird automatisch der festgelegte Standarddrucker für die Ausgabe des Berichts verwendet. Dies hat den Vorteil, dass der Dialog zur Auswahl des Druckers übersprungen werden kann, so dass der Befehl auch im Batch-Modus sinnvoll eingesetzt werden kann.

**Überschrift:** Maximal 60 Zeichen lange Überschrift, die über den Ausdruck des Berichts gesetzt werden soll. Falls Sie die Überschrift leer lassen, erscheint der Titel „FiVer – Faserlängenauswertung“

**Auftragsdaten:** Ausgabe der frei festlegbaren Auftragsdaten.

**Bildausschnitt:** Falls aktiviert, wird ein 2300 x 700 Pixel großer, i.d.R. zentraler Ausschnitt des Bildes mit den farblich hervorgehobenen Fasern mit ausgedruckt. In der linken oberen Ecke wird zudem ein Maßstab zusammen mit der DPI-Angabe eingeblendet.

**Histogramm, Statistik, Quantile, Klassentabelle:** Ausdruck eines Absatzes mit den jeweiligen Angaben.

**Bearbeitungsschritte:** Wenn ausgewählt, werden alle den Bildinhalt beeinflussenden Bearbeitungsschritte zusammen mit den zugehörigen Einstellwerten als Liste ausgedruckt. Bei zusammengefassten Auswertungen wird zudem eine Aufstellung der beteiligten Einzeldateien an diesen Abschnitt angehängt.

### Hinweise

- Bei zusammengefassten Auswertungen stammen Auftragsdaten, Faserbild und Liste der Bearbeitungsschritte von der alphabetisch ersten Datei der Zusammenfassung. Diese ist auf dem Ausdruck besonders gekennzeichnet.
- Falls Sie ein Mal über den Druckerdialog einen anderen als den systemweiten Standarddrucker für die Ausgabe ausgewählt haben, wird dieser temporär zum neuen Standarddrucker, bis FiVer wieder beendet wird.
- Falls Sie das SKZ-Logo im Bericht gegen ihr eigenes austauschen möchten, gehen Sie bitte wie folgt vor:
  - Verkleinern Sie ihr Logo so weit, dass es maximal 600 Pixel breit und 375 Pixel hoch ist (diese Größe reicht, um bei dieser Anwendung selbst hochauflösende Drucker voll auszureizen)
  - Vergrößern Sie den Bildhintergrund (je nach Bildbearbeitungsprogramm oftmals als „Canvas Size“ oder „Leinwandgröße“ bezeichnet) auf 600 x 375 Pixel. Das bisherige Bild sollte in der Mitte sitzen und die neuen Bereiche mit der Farbe Weiß aufgefüllt werden.
  - Speichern Sie das Bild im PNG-Format unter dem Namen „Logo.png“ im Programmverzeichnis von FiVer ab (Verzeichnis, das die Datei „FiVer.exe“ enthält).
  - Falls Ihnen der weiße Rand um das Logo zu gering ist, verkleinern Sie ihr Logo beim nächsten Versuch etwas stärker und führen Sie die weiteren Schritte erneut aus.

## 5.5. Liste der Bearbeitungsschritte



FiVer protokolliert in dieser Liste alle Bearbeitungsschritte mit, die Sie zur Aufbereitung des Rohscans über die Suche nach den Fasern bis hin zur Ausgabe des abschließenden Berichts durchgeführt haben. Wenn Sie diese Liste für einen bestimmten Bildtyp (z.B. „Langfasern Glas, Scan 2400 DPI“) optimiert haben, können Sie sie abspeichern und beim nächsten gleichartigen Auftrag einfach wieder laden. Die Icons über der Liste erlauben dabei verschiedene Aktionen:



### Schaltfläche „Bearbeitungsschritte laden“

Ruft ein Dialogfenster zum Laden einer bestehenden Liste von Bearbeitungsschritten auf. Die Dateien mit den Befehlslisten tragen die automatisch zugewiesene Dateierweiterung \*.FIBsr.



### Schaltfläche „Bearbeitungsschritte speichern“

Ruft ein Dialogfenster zum Speichern der aktuellen Liste von Bearbeitungsschritten unter einem frei wählbaren Verzeichnis und Dateinamen auf.



### Schaltfläche „Alle Bearbeitungsschritte löschen“

Über dieses Icon können Sie alle Bearbeitungsschritte bis auf den ersten löschen. Der erste Bearbeitungsschritt lautet prinzipbedingt immer „Bild laden“ oder „Analyse“ laden, je nachdem, ob Sie mit der Auswertung eines neuen Bildes begonnen oder eine alte Analyse für weitere Auswertungen geladen haben. Da dies immer der Ausgangspunkt ist, darf dieser Befehl in der Liste verbleiben.



### Schaltfläche „Bearbeitungsschritte (erneut) ausführen“

Mit diesem Icon können Sie die gesamte Liste nochmals abarbeiten lassen. Sie können dadurch z.B. abschätzen, wie lang die Analyse eines einzelnen Bildes in der Batch-Queue ungefähr dauern wird.

Falls Sie eine bestehende, gespeicherte Abfolge von Befehlen auf ein einzelnes neues Bild anwenden wollen, können Sie dies alternativ auch ohne Nutzung der Batch-Queue tun. Dazu laden Sie zuerst das Bild (dies löscht die aktuelle Liste) und dann die gewünschte Datei mit den fertigen Bearbeitungsschritten. Über dieses Icon können Sie die Schritte dann abarbeiten lassen. Falls der interaktive Batch-Modus eingeschaltet ist (siehe nächstes Kapitel), können Sie dabei sogar die Binarisierungsschwelle und die Einstellungen des Blobfilters nochmals über die erscheinenden Dialogfenster korrigieren.



## Schaltfläche „Rückgängig (Undo)“

---

Über diese Schaltfläche können Sie den zuletzt ausgeführten Bearbeitungsschritt rückgängig machen und somit schrittweise bis zum ersten Befehl der Liste zurückkehren.

Falls Sie in den Optionen die schnelle Undo-Funktion aktiviert haben, werden dazu bei (fast) jedem Schritt Zwischenergebnisse abgespeichert, so dass unmittelbar zu dem vorherigen Zustand des Faserbildes zurückgesprungen werden kann.

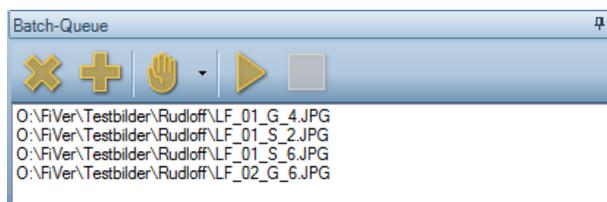
Die normale, langsame Rückgängig-Funktion arbeitet dagegen so, dass nach Löschen eines Schrittes in der Liste diese einfach nochmals komplett neu abgearbeitet wird, beginnend mit dem Laden des originalen Faserbildes. Entsprechend ist dieser Weg, abhängig von der Länge der Liste, üblicherweise um den Faktor 10 bis 100 langsamer.

### Hinweise

- Sobald Sie den Befehl „Bild laden“ oder „Alte Analyse laden“ verwenden, wird die bisherige Befehlsliste gelöscht. Falls Sie die alten Schritte unverändert auch auf das neue Bild anwenden möchten, müssen Sie das Bild daher in die Batch-Queue laden und diese starten.
- Hinter den Bearbeitungsschritten stehen in Klammern die zugehörigen Einstellungen in Kurzform. Falls die Zeile trotzdem zu lang ist, können Sie diese scrollen oder einfach auf das Erscheinen des Tooltips warten, der den aktuellen Befehl ebenfalls komplett aufführt.
- Die mehrfache Anwendung eines Filters mit unterschiedlichen Einstellungen führt normalerweise nicht zu dem gleichen Ergebnis wie die einmalige Anwendung mit der zuletzt gewählten Einstellung. Mehrfach ausgeführte Filter müssen daher korrekterweise auch mehrfach in der Liste auftauchen.
- Die von der schnellen Undo-Funktion verwendeten Zwischenschritte werden nur dann abgespeichert, wenn die Befehle manuell über die Schaltflächen der drei Menübänder ausgelöst wurden. Automatisch über das entsprechende Icon der Bearbeitungsschritte-Liste oder der Batch-Queue abgearbeitete Befehlsfolgen sichern diese Zwischenschritte dagegen nicht, um eine maximale Ausführungsgeschwindigkeit bei geringem Speicherverbrauch zu ermöglichen. Dennoch können auch diese Befehle nachträglich rückgängig gemacht werden (es wird dann automatisch

die langsamere Undo-Funktion verwendet) und händisch neu hinzugefügte Schritte erlauben auch wieder die Nutzung des schnellen Undo.

## 5.6. Batch-Queue



Die Batch-Queue ermöglicht es, die aktuell geladene Liste von Bearbeitungsschritten unbeaufsichtigt und automatisch auf eine größere Zahl von Faserbildern anwenden zu lassen („Stapelbetrieb“). Dazu müssen die Bilder von den Scanbedingungen (Auflösung, Helligkeit) und dem Fasertyp (Länge und Breite, Krümmung) zumindest so weit ähnlich sein, dass sie mit den gleichen Einstellungen der Filter und des Analysealgorithmus ausgewertet werden können. Über folgende Icons können Sie Liste mit Bildern füllen und starten:



### Schaltfläche „Dateiliste löschen“

---

Löscht die komplette Liste mit den Dateinamen der zu bearbeitenden Faserbilder.



### Schaltfläche „Datei hinzufügen“

---

In dem erscheinenden Windows-Dialog können Sie eine oder mehrere (durch gedrückt halten der <Shift>- bzw. <Strg>-Taste beim Anklicken) Bilddateien auswählen, die nach dem Schließen des Dialogs an das Ende der Liste angehängt werden. Durch mehrfaches Aufrufen der Funktion können Sie auch Bilder aus verschiedenen Verzeichnissen in der Liste zusammenfassen.



### Schaltfläche „Interaktiver Batch-Modus“

---

Diese Schaltfläche kann dauerhaft ein- und ausgeschaltet werden, wobei der Ein-Zustand am permanent orangen Hintergrund erkennbar ist. In diesem Modus werden die Bearbeitungsschritte zunächst wie gewohnt automatisch ausgeführt, bis einer der Befehle mit eigenem Dialogfenster (Binarisierung oder Blobfilter) ansteht. Dieses wird dann aufgerufen, so dass Sie innerhalb des automatischen Ablaufs trotzdem interaktiv manuelle Feinadjustierungen für das aktuell geladene Bild vornehmen können. Sobald Sie das Fenster mit „OK“ bestätigen, wird der selbsttätige Ablauf dann wieder aufgenommen. Brechen Sie das Fenster dagegen ab, wird die Ausführung der gesamten Batch-Queue an dieser Stelle beendet. Über den kleinen Pfeil rechts von der Schaltfläche können Sie

ein Untermenü ausklappen, in dem Sie festlegen können, bei welchen der interaktiven Bearbeitungsschritte die Batch-Queue pausieren soll.



### **Schaltfläche „Batch-Queue starten“**

---

Startet die Abarbeitung der Batch-Queue mit der ersten Datei in der Liste. In der Folge werden auf jede der angegebenen Dateien die im darüber liegenden Fenster gelisteten Bearbeitungsschritte der Reihe nach angewendet. Abgearbeitete Dateien werden dann automatisch aus der Liste entfernt, bis diese leer ist.



### **Schaltfläche „Batch-Queue anhalten“**

---

Hält den Batchbetrieb nach vollständiger Abarbeitung der aktuellen Bilddatei an. Falls Sie den Ablauf sofort abbrechen möchten, drücken Sie stattdessen bitte die <ESC>-Taste.

## **6. Auswertungsbeispiele**

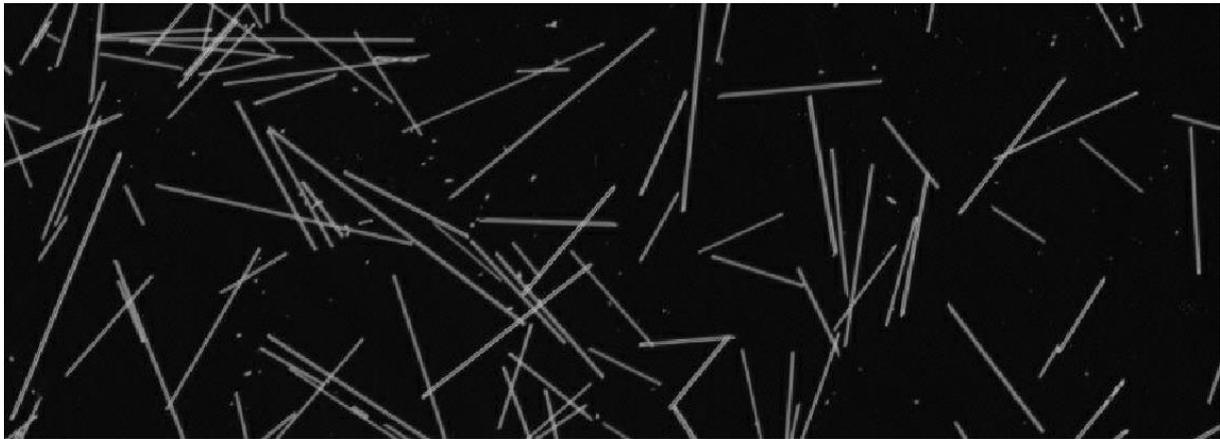
### **6.1. Normale Vorgehensweise bei guten Ausgangsbildern**

Bei guten Aufnahmen reichen nach dem obligatorischen Invertieren (nur bei Durchlichtaufnahmen notwendig, um einen dunklen Hintergrund zu erhalten) und Binarisieren meist der Blobfilter (zum Entfernen von Staubanteilen und anderen Bildfehlern) und evtl. der Mindestbreite-Filter (beseitigt Engstellen im Faserverlauf, an denen die Faserverfolgung evtl. vorzeitig abbricht) als Vorbereitung für die Fasersuche aus.



*Ausschnitt aus dem 2400 DPI-Graustufenscan der Glasfasern in Wasser*

Fiber erwartet bei der Fasersuche helle Fasern vor einem dunklen Hintergrund. Das Bild muss daher zunächst invertiert werden.



*Invertiertes Graustufenbild*

Die Kanten der Fasern sind scharf abgegrenzt, der Hintergrund zeigt kein auffälliges Rauschen (falls doch => Filter „Entrauschen“ anwenden) und ist gleichmäßig dunkel von der Mitte bis zum Rand (bei Helligkeitsunterschieden => Filter „Beleuchtung korrigieren“ anwenden). Das Bild muss daher vor der anschließenden Binarisierung nicht weiter aufbereitet werden. Diese wurde mit einem Schwellenwert von 57 durchgeführt, bei dem die Fasern in allen Orientierungsrichtungen ohne Unterbrechungen und ohne zu viele Störpixel im Hintergrund erfasst werden.



*Binarisiertes Graustufenbild mit Schwellenwert 57*

Es hängt von der Zielsetzung der Analysen und der eigenen Philosophie ab, ob die sichtbaren (Faser-) Staubpartikel entfernt oder in die Auswertung integriert werden sollen. Falls der Staubanteil interessiert ist es wichtig, dass sein Anteil im Scan möglichst exakt dem Anteil im Bauteil entspricht, was bei der Probenpräparation beachtet werden muss. Beim Herausgreifen einer Probe mit der Pinzette oder dem Spatel aus dem veraschten Fasergewölle würde der leichte Staubanteil, der sich am Boden abgesetzt hat, nicht mit erfasst. In diesem Fall muss daher die gesamte Probe in Wasser gelöst und dann schrittweise auf die Endkonzentration verdünnt werden. Im Beispiel wurden die

Staubpartikel dagegen über die Angabe der Mindestgröße (>9 Pixel) und des Längen/Breiten-Verhältnisses (>3) aussortiert.



*Über den Blobfilter entfernte Staubpartikel (dunkelorange)*

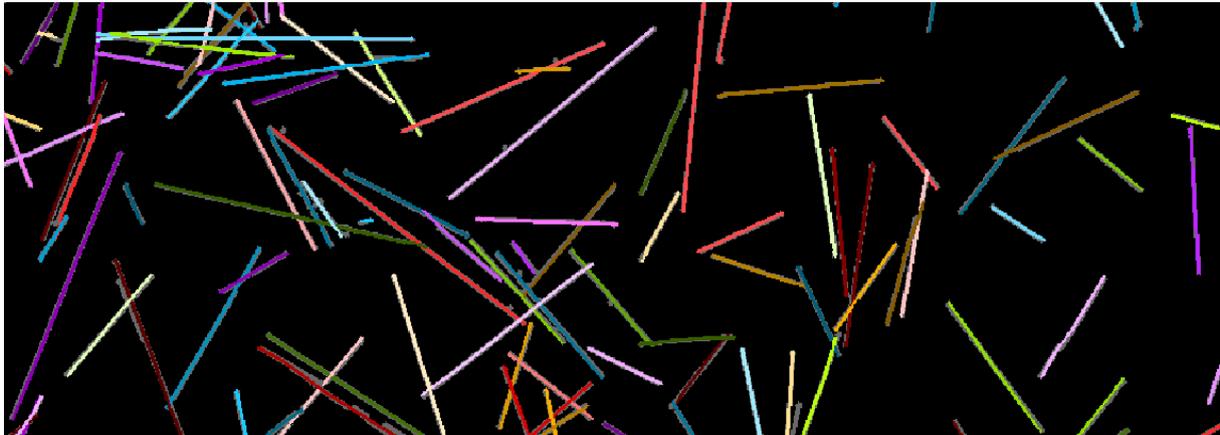
Die Fasern sind bereits scharf begrenzt und recht einheitlich von der Breite. Ein kurzer Test mit und ohne Mindestbreite-Filter ergab jedoch eine nochmals bessere Faserverfolgung nach Verwendung des Filters, da bei genauem Hinsehen doch ein paar einzelne Engstellen in den Fasern existieren. Der Mindestbreite-Filter wurde daher mit einer Einstellung von 3 Pixeln ausgeführt. Falls nötig, können die nach diesem Schritt mitunter etwas ausgefranst Faserkanten mit dem „Glätten“-Filter wieder begradigt werden, was in diesem Fall jedoch nicht wirklich notwendig war.



*Über den Mindestbreite-Filter auf mind. 3 Pixel vereinheitlichte Fasern (hellorange: ergänzte Pixel)*

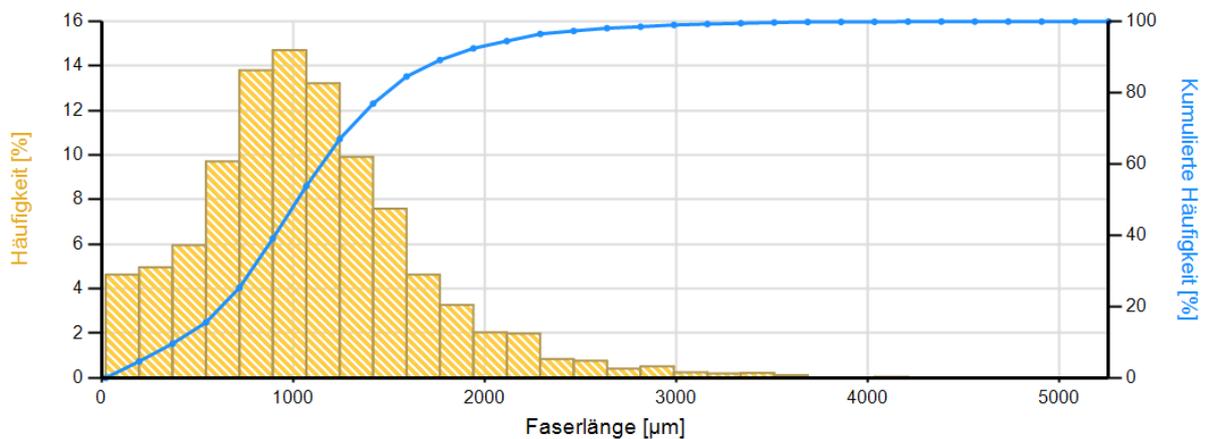
Nach diesem Schritt kann unmittelbar die Fasersuche gestartet werden. Da es sich um steife, gerade Fasern handelt, wurde der erlaubte Knickwinkel mit  $8^\circ$  recht klein gewählt. Bei der erlaubten Überdeckung wurde ein bewährter Standardwert von 20% eingestellt und die typische Faserbreite entspricht den 3 Pixeln, auf die alle engeren Passagen entlang der Faserverläufe im vorherigen Schritt verdickt wurden. Da sich auch die senkrechten Fasern im Ausgangsbild kontrastreich vom Hintergrund abheben, wird der Winkelfilter nicht gebraucht (Einstellung „Aus“) und der

Längenbereich der Fasern wurde auch nicht künstlich eingeschränkt (Minimale Länge: 0 / Maximale Länge: 500000).



Identifizierte Fasern

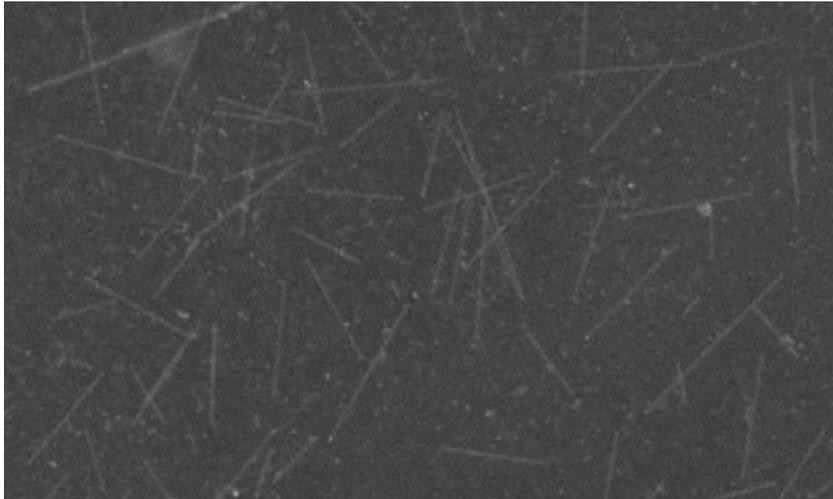
Lohn der Vorarbeiten ist nun ein ausgewertetes Faserbild, das zumindest innerhalb des sichtbaren Ausschnittes keine offensichtlich falsch erkannten Faserverläufe enthält und deshalb auch ein schönes, gleichmäßig geschwungenes Histogramm ergibt. Die gesamte Rechenzeit für alle Bearbeitungsschritte beträgt dabei zusammengenommen weniger als drei Sekunden.



Histogramm der Häufigkeitsverteilung

## 6.2. Vorgehensweise bei verrauschten, kontrastarmen Bildern

Bei kritischen Aufnahmen mit schlechtem Kontrast, unscharfen Faserkanten und verrauschtem Hintergrund sind meist wesentlich mehr Filterschritte notwendig, wobei auch die Reihenfolge von deren Anwendung entscheidenden Einfluss auf das erzielbare Endergebnis hat. Idealerweise sollten solche Aufnahmen mit optimierten Scaneinstellungen wiederholt werden. Falls dies z.B. bei einem Kundenauftrag mit gestellten Bildern nicht möglich ist, muss das Mögliche aus den vorhandenen Aufnahmen herausgeholt werden. Die dazu notwendigen Überlegungen und Strategien zur Optimierung der Bildqualität sollen am folgenden Beispiel genauer erläutert werden:



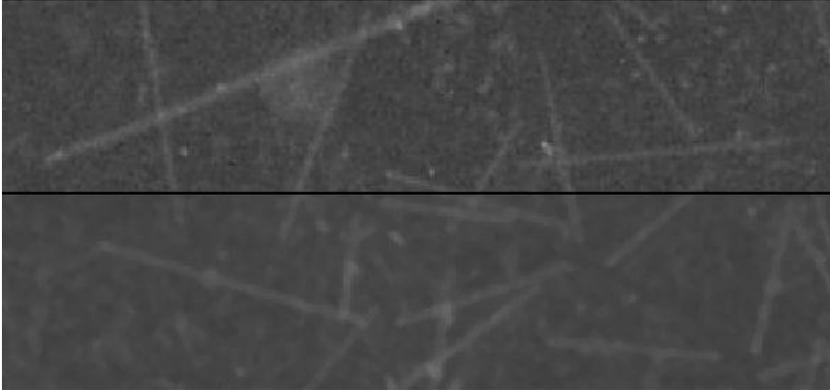
*Ausschnitt des bereits invertierten Ausgangsbildes*

Das menschliche Auge oder besser gesagt das bildverarbeitende Gehirn leistet extrem gute Arbeit bei der Erkennung von Mustern und Strukturen. Nicht wenige optische Täuschungen bauen daher auf der Tatsache auf, dass das Gehirn versucht, unvollständige geometrische Figuren unbewusst zu ergänzen.

Dementsprechend ist es einem menschlichen Betrachter durchaus möglich, die sehr blassen Fasern im Beispiel vom Hintergrund abzugrenzen, obwohl sich die Helligkeitswerte von Hinter- und Vordergrund teilweise schon vermischen. Dies erfordert jedoch sehr viel Aufmerksamkeit und die händische Auswertung mehrerer Bilder mit jeweils tausenden von Fasern wäre nur mit größeren Pausen über mehrere Tage verteilt zumutbar. Die computergestützte Bildverarbeitung ist dagegen schnell, aber es fehlen ihr die kognitiven Fähigkeiten des menschlichen Gehirns. Dementsprechend muss das Bild möglichst so aufbereitet werden, dass die Fasern in ihrer vollen Länge eindeutig sichtbar sind.

### **Schritt 1: Filter Entrauschen**

Das Bild ist insgesamt recht verrauscht und einzelne Pixel im Hintergrund sind bereits so hell wie die Fasern selbst. Der Medianfilter als Entrauschungsfilter glättet zunächst den Hintergrund und die Faserpixel. Obwohl das Bild danach weichgezeichnet aussieht, sind die Fasern bei genauerer Betrachtung gleichmäßiger breit und der Übergang vom Hintergrund zur Faser geschieht nicht allmählich, sondern bei einer definierten Graustufe.



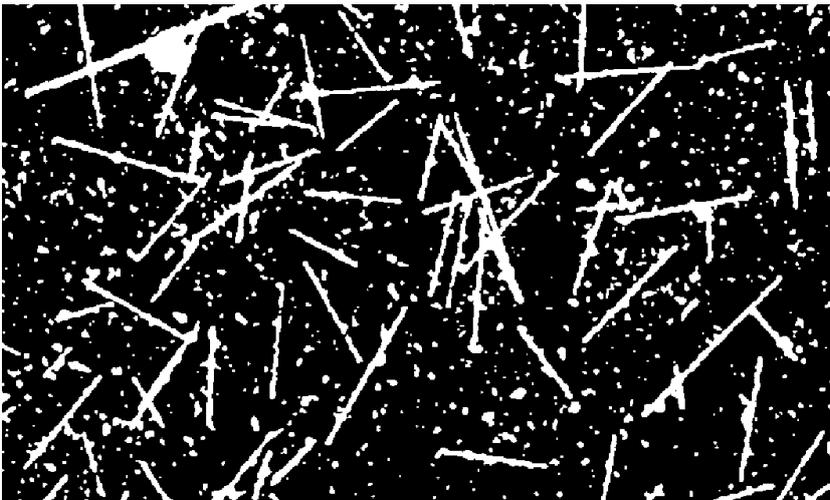
*Obere Hälfte original, untere mit Entrauschungsfilter*

## **Schritt 2: Binarisierung**

Welche Verbesserung der Medianfilter bedeutet, wird auch beim Vergleich der binarisierten Bilder mit und ohne Medianfilter deutlich:



*Binarisierung ohne vorherigen Medianfilter*



*Binarisierung mit vorgeschaltetem Medianfilter*

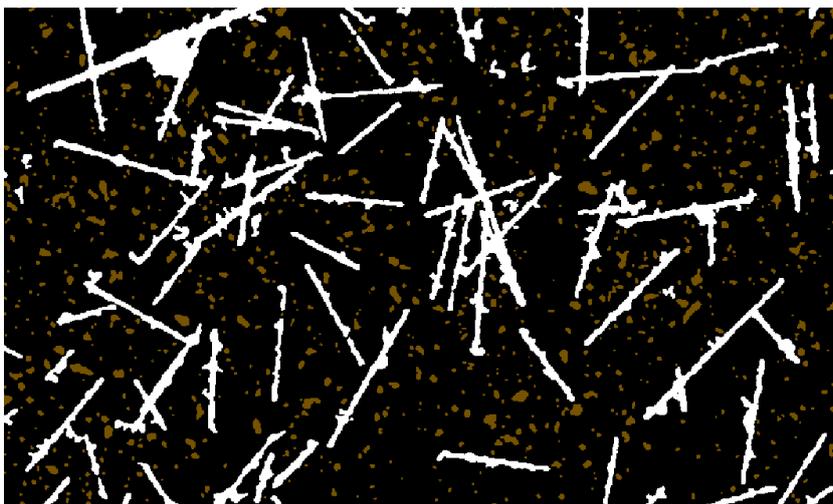
Bei der Stärke des Medianfilters stellte sich durch den Vergleich der binarisierten Bilder heraus, dass die zweifache Anwendung des Filters mit mittlerer Einstellung ein besseres Ergebnis als die einmalige Anwendung der hohen Stufe ergibt.

Die Binarisierungsschwelle musste recht tief gewählt werden, da sonst zu viele Fasern von größeren Lücken (mehr als 1-2 Pixel) durchbrochen wären, die auch durch die Anwendung weiterer Filter nicht mehr zu reparieren sind. Leider bedeutet dies viele fleckige Bildstörungen im Hintergrund, die zu einem unbekanntem Anteil sicherlich auch durch Faserbruch, in der Hauptsache aber durch das Bildrauschen verursacht sind.

### **Schritt 3: Blobfilter**

Glücklicherweise bestehen die noch unterbrochenen Fasern bereits aus relativ langen Segmenten. Wäre dies nicht der Fall, würde die sofortige starke Anwendung des Blobfilters die Gefahr beinhalten, kurze Fasersegmente zusammen mit dem Staub und Rauschen zu entfernen, was die Chance einer Reparatur des Faserverlaufs zunichte machen würde. In diesem Fall müsste man versuchen, zunächst mit einer schwachen Einstellung nur die kleinsten Partikel zu entfernen, dann die Faserlücken zu schließen und schließlich die größeren Flecken in einem zweiten Blobfilter-Schritt zu eliminieren.

Nötig ist der Blobfilter zu diesem Zeitpunkt, weil die folgenden Reparaturschritte das Ziel haben, Blobs mit geringem Abstand miteinander zu verbinden, um Lücken in den Faserverläufen zu schließen. Mit den vielen, dicht gedrängten Flecken im Hintergrund führt dies jedoch dazu, dass etliche Flecke mit benachbarten Fasern verwachsen und deren Gestalt deformieren. Auch können mehrere Flecken zu größeren verbundenen Clustern anwachsen, die nur schwer nachträglich über ihre Geometrie auszusondern sind.



*Vom Blobfilter entfernte Bildstörungen*

## Schritt 4: Filter Mindestbreite

Der Filter zum Lückenfüllen arbeitet besser, wenn die zu verbindenden Segmente schon eine gewisse Ausdehnung besitzen. Es ist daher sinnvoll, den Mindestbreite-Filter vor dem Lückenfüll-Filter einzusetzen, zumal beim Aufdicken auf die Mindestbreite manche Spalten schon geschlossen oder zumindest verkleinert werden. Der Wert für die Mindestdicke wurde eher an die untere Grenze der im Bild zu findenden Fasern angepasst. Falls die Breite der Fasern daher noch zu uneinheitlich ist (mehr als 2 Pixel Differenz zwischen den Fasern), kann der Filter auch unmittelbar vor dem Start der Fasersuche ein zweites Mal mit einem höheren Wert ausgeführt werden.



*Auf die Mindestdicke verbreiterte Fasern*

## Schritt 5: Filter Lückenfüllung

Die einzigen beiden Lücken, die noch eine Chance auf eine automatische Reparatur haben, sind nur ein Pixel breit, weshalb die kleinere Einstellung des Filters reicht. Diese zeigt weniger unerwünschte Nebenwirkungen als die stärkere Variante und ist deshalb immer dann vorzuziehen, wenn ihre Fähigkeiten ausreichen.



*Geschlossene Faserlücken*

**Schritt 6: Filter Glätten**

Die Faserkanten sind nach den letzten Schritten sehr ausgefranst und ungleichmäßig. Durch die Anwendung des Glätten-Filters lässt sich dies noch etwas verbessern.



*Geglättete Faserkanten*

**Schritt 7: Fasersuche**

Die vielen knotenförmigen Auswüchse an den Fasern verleiten den Algorithmus dazu, diese mit kurzen, querliegenden Fasern zu füllen. Da diese kürzer als die „gültigen“ Fasern sind, wurde die Mindestlänge durch Ausprobieren auf einen entsprechend höheren Wert festgesetzt.



*Identifizierten Fasern*

Insgesamt ließ sich so durch die geschickte Kombination verschiedener Filter aus dem denkbar ungünstigen Ausgangsbild doch noch ein brauchbares Ergebnis erzielen.