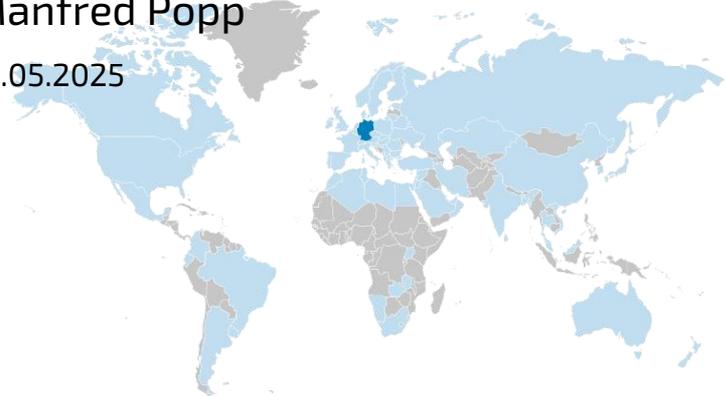
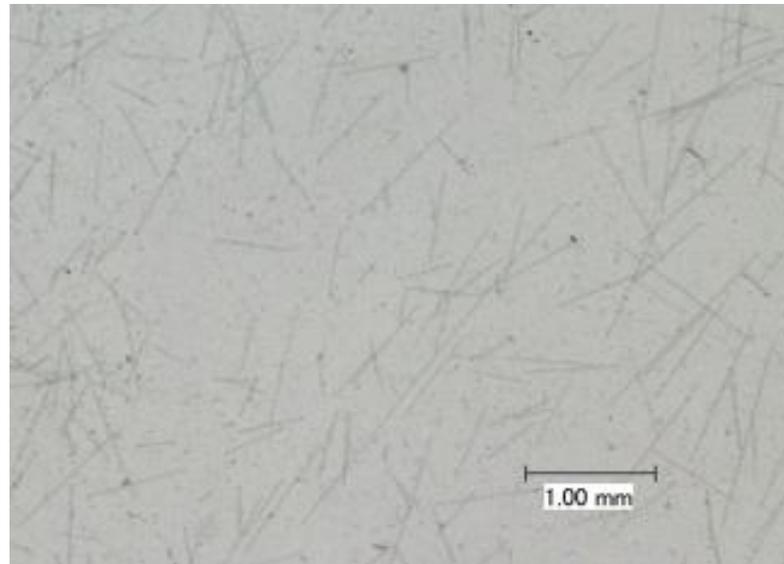


Faserlängenmessung mit FiVer V2

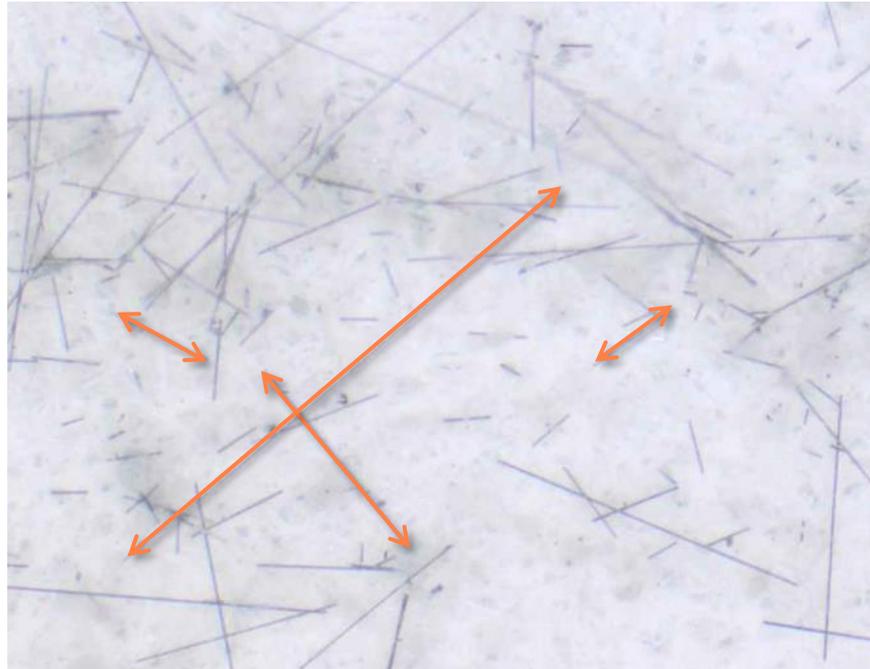
Manfred Popp
13.05.2025



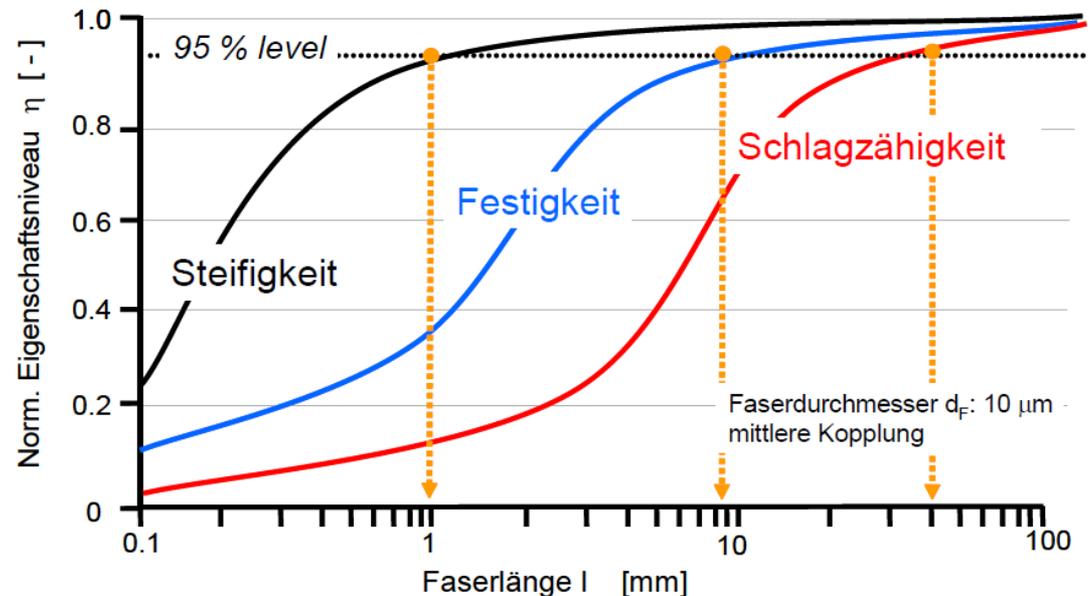
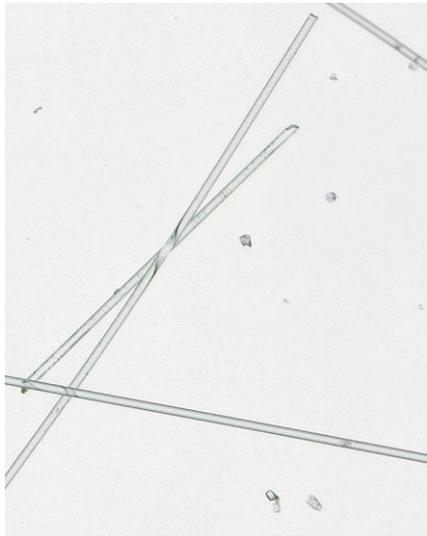
- Die wichtigste bestehende Norm für die Bestimmung der Längenverteilung von Verstärkungsfasern ist die ISO 22314 „Plastics – Glass-fibre-Reinforced products – Determination of fibre length“ aus dem Jahr 2006.
- Sie bezieht sich konkret auf Glasfasern mit einer Länge bis 1 mm, in Sonderfällen bis 5 mm. Einschränkendes Element ist dabei die Bilderfassung über ein Mikroskop, da bei ausreichender Vergrößerung der Bildausschnitt zu klein ist, um längere Fasern komplett zu sehen.



- Die eigentliche Messung der Faserlänge erfolgt durch manuelles Anklicken der Endpunkte in einer geeigneten Software. Um den Aufwand vertretbar zu halten, werden nur ca. 300 Fasern ausgewertet. Dabei sollen explizit nur ganze Fasersegmente erfasst werden („Measure manually the length of all the **complete** fibres...“), **keine kurzen Bruchstücke.**



- Diese kurzen Bruchstücke sind aber die Überreste von Fasern, die im Verarbeitungsprozess so geschädigt wurden, dass sie im Bauteil nicht mehr zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften beitragen. Ein nicht unerheblicher und vor allem schwankender Gewichtsanteil der vom Rohstoffhersteller zugefügten Fasern geht also für die Verstärkungswirkung verloren, was bisher ignoriert wird.

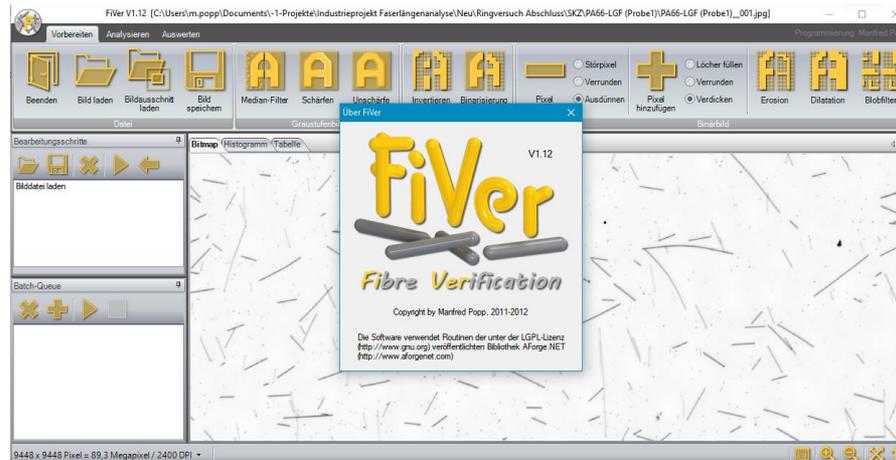


Seit 2009 Langfaserverarbeitung als Forschungsschwerpunkt am SKZ (Glas und Carbon in technischen Thermoplasten)

- Großprojekt FaNuPot auf dem IMC von KraussMaffei mit weiteren Industriepartnern
- Entwicklung des Faser-Direct-Compoundierens (FDC) mit Arburg



- Es war klar, dass im Rahmen dieser Projekte viele hundert Faserlängenanalysen anfallen werden
- Die bekannten und teilweise auch schon im SKZ eingesetzten Systeme kamen nicht mit längeren und überkreuzten Fasern zurecht oder benötigten manuelle Unterstützung
- Daher wurde ab 2011 mit FiVer ein eigenes Programm entwickelt, dessen erste kommerzielle Version 2012 erschien
- Mit der Schweizer IST AG, Dr. Schmid, haben wir seit Ende 2012 auch einen Vertriebspartner, der hauptsächlich im Ausland tätig ist

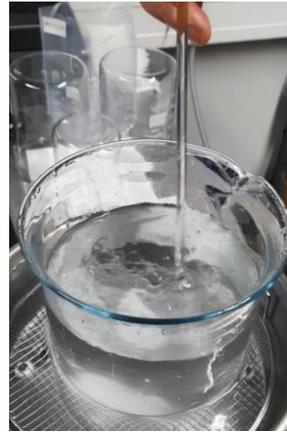


- Im Zeitraum 2021 bis 2024 wurden zwei Industrieprojekte mit namhaften Teilnehmern aus den Bereichen Materialherstellung/Compondierung, Anlagentechnik und Verarbeitung am SKZ durchgeführt
- Deren Ziel war es, die Faserlängenanalyse so weit zu standardisieren, dass die Ergebnisse unterschiedlicher Labore vergleichbar werden
- Dazu wurden alle Schritte hinsichtlich ihrer Einflussgrößen untersucht und Handlungsempfehlungen erarbeitet
- Diese wurden auch in der parallel entwickelten Version 2 von FiVer umgesetzt





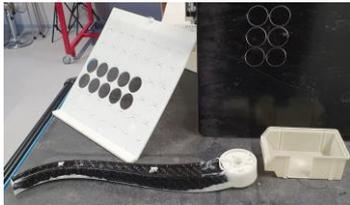
Veraschung



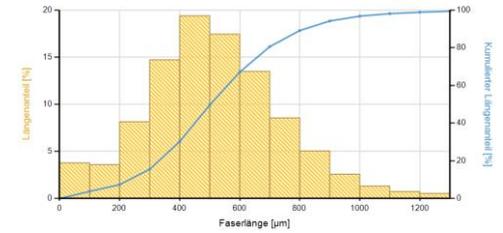
Aufbereitung



Bilderfassung



Probenentnahme



Auswertung

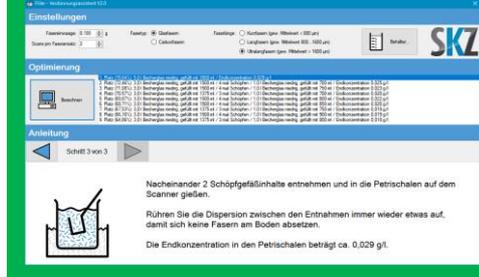
Handlungsempfehlungen und Anleitungsvideos



Proben-
entnahme

Veraschung

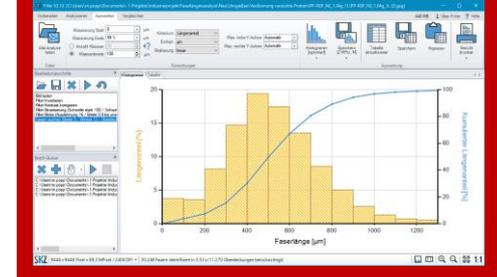
Verdünnungsassistent



Aufbereitung

Bilderfassung

FiVer



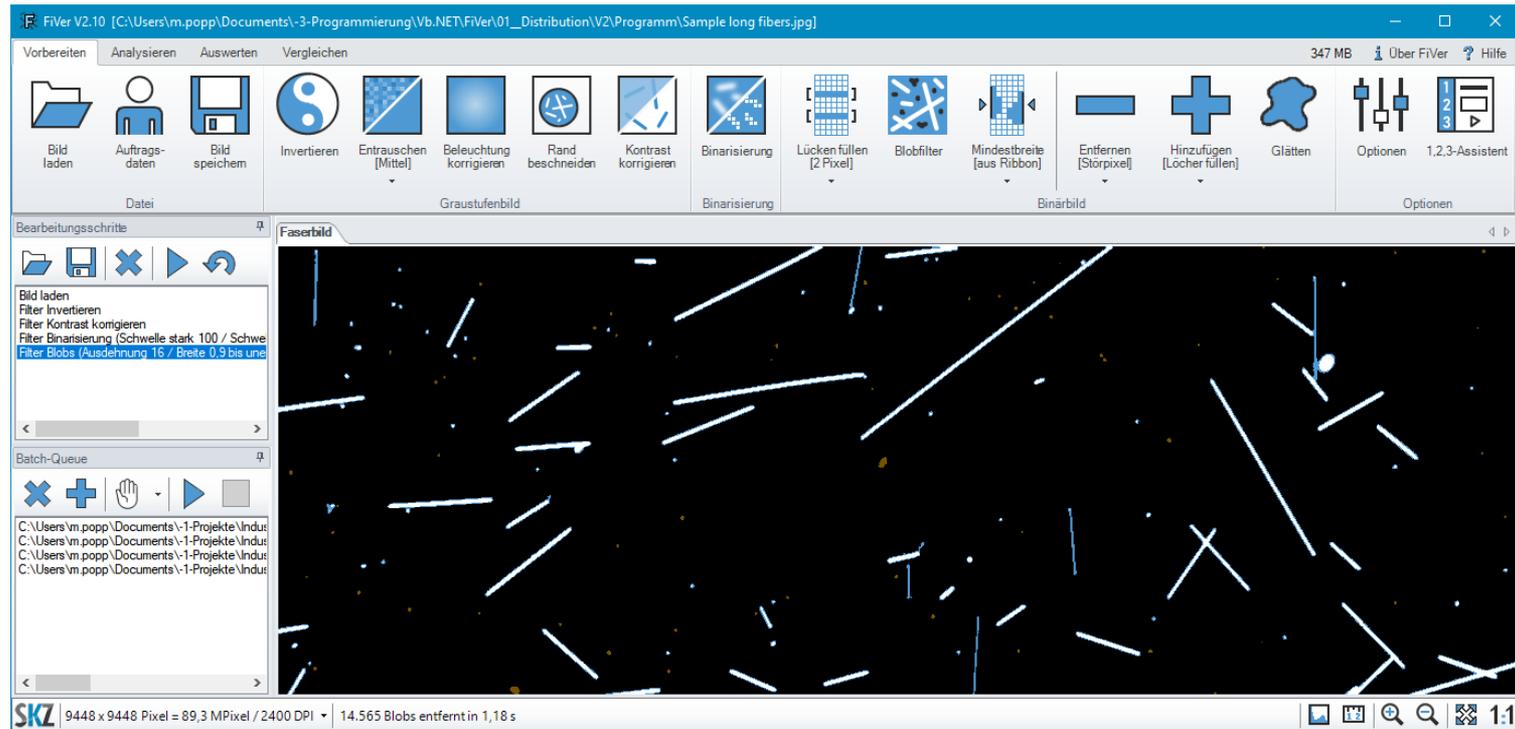
Auswertung

Eckdaten

- Lauffähig ab Windows 8, 64 Bit
- Deutsche und englische Benutzeroberfläche
- Ausnutzung von Mehrkernprozessoren für maximale Geschwindigkeit
- Maximale Scangröße **1 Gigapixel** (ca. DIN A4 bei 3200 DPI)
- Bis zu **65.000** Fasern pro Bild
- Zusammengefasste Auswertung mehrerer Bilder bis **400.000** Fasern gesamt
- Tabellarischer und grafischer Vergleich zwischen max. **30** Auswertungen

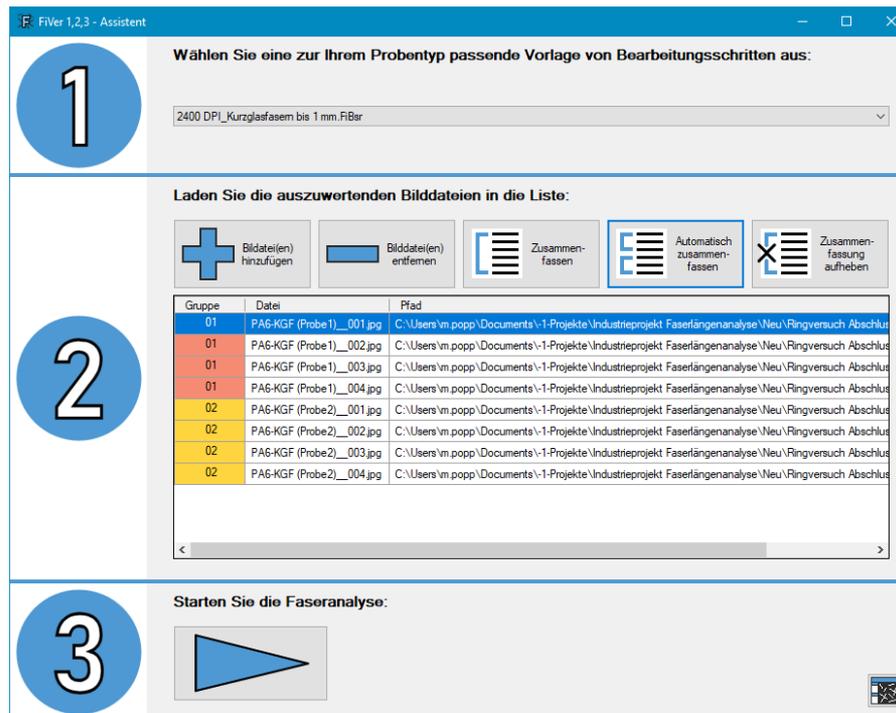
Vollständige Oberfläche

- Vielfältige Eingriffsmöglichkeiten in den Ablauf der Auswertung und die Darstellung der Ergebnisse



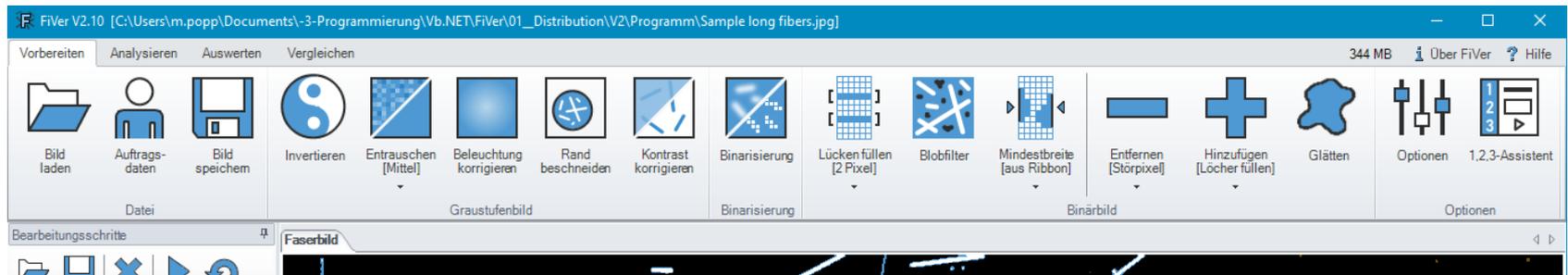
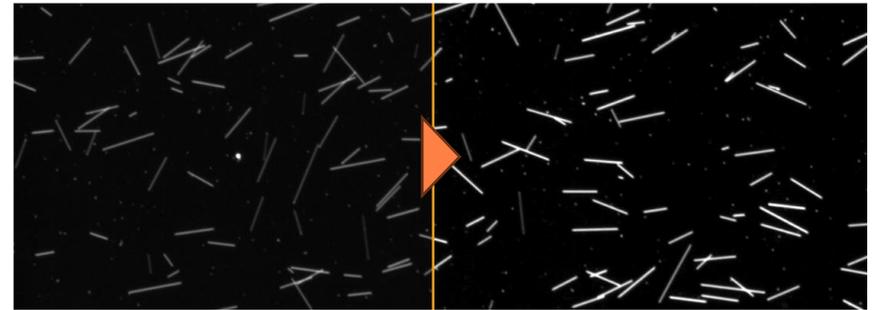
1,2,3-Assistent

- Schnellster Weg vom Bild zum Bericht in drei Schritten
- Für Standardauswertungen mit vorgegebenem Ablauf



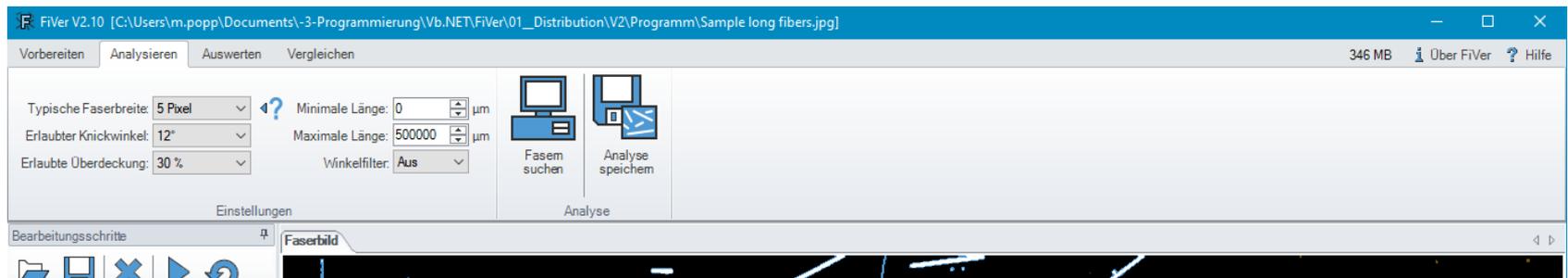
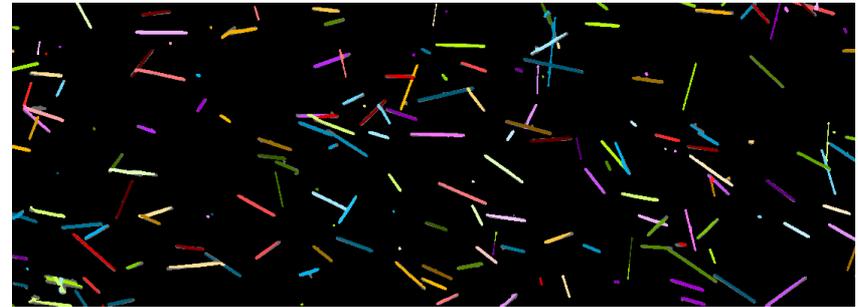
1. Vorbereiten

- Ausgleich der Helligkeitsunterschiede durch die Serienstreuung der Scanner
- Beschneiden unerwünschter Bildbereiche
- Entfernung von Staubpartikeln und Fremdkörpern aus dem Bild
- ...



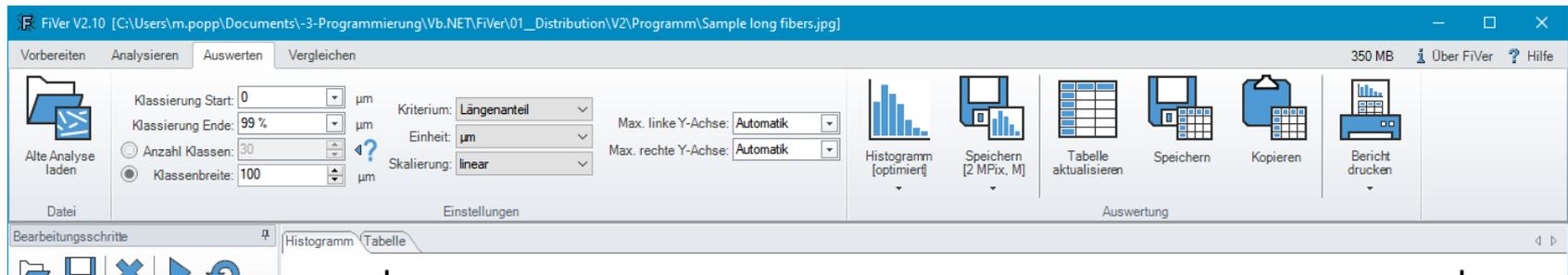
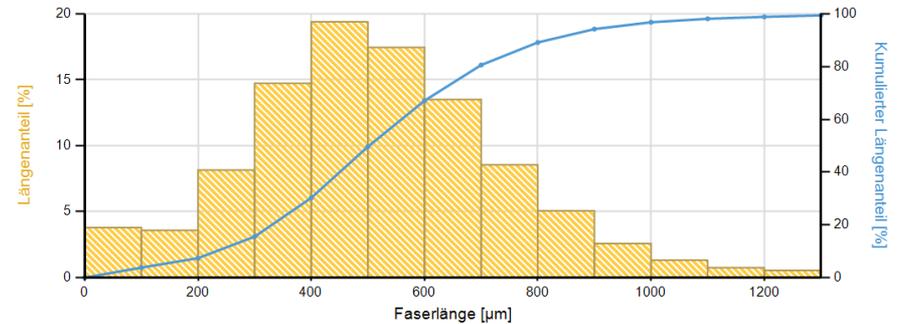
2. Analysieren

- Identifizierung der einzelnen Fasern im Scan



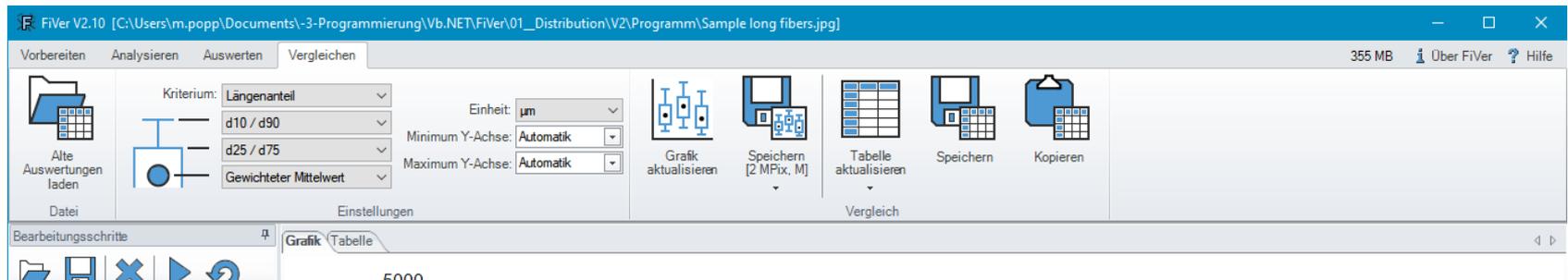
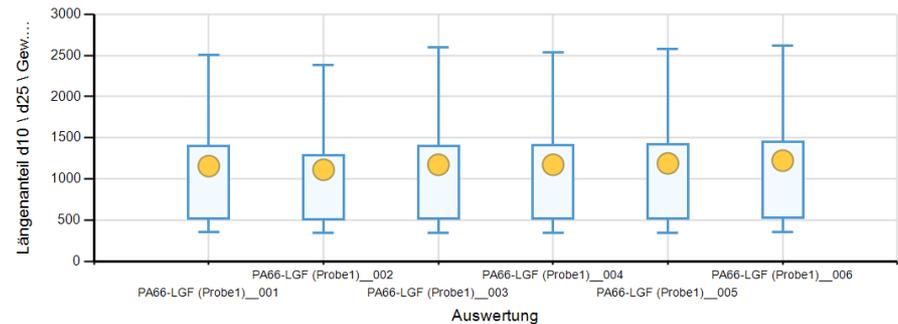
3. Auswerten

- Berechnung der statistischen Kennwerte
- Darstellung der Längenverteilung als Histogramm und Tabelle
- Ausdruck eines Berichts
- ...

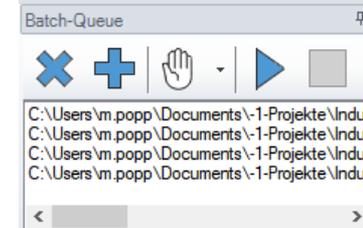
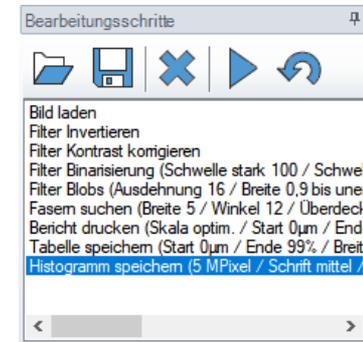


4. Vergleichen

- Vergleich der Kennwerte mehrerer Auswertungen als Boxplot



- **Interaktivität**
 - Direkte Live-Anzeige der Auswirkung von Einstellungen bei einigen Filtern
 - Durch einen Filter hinzugefügte oder gelöschte Pixel werden farblich hervorgehoben
- **Nachvollziehbarkeit**
 - Das Programm merkt sich alle durchgeführten Auswertungsschritte und zeigt sie als Liste an
 - Diese Liste wird zusammen mit den Auswertungsergebnissen gespeichert
 - Auf Wunsch erscheint sie auch im Bericht
 - Die Schritte können stufenweise alle rückgängig gemacht werden (unbegrenzt Undo)
- **Automatisierung**
 - Eigene vereinfachte Benutzeroberfläche für standardisierte Massenauswertungen
 - Ebenso Batch-Modus in der vollständigen Oberfläche zur Abarbeitung mehrerer Bilder mit gleichen Einstellungen
 - Auch Schritte wie das Abspeichern einer Grafik oder der Export einer Tabelle werden in die Liste aufgenommen. Die Dateinamen werden dabei automatisch erzeugt ohne nötigen Benutzereingriff
 - Bei Nutzung eines entsprechend konfigurierten PDF-Druckers gilt dies auch für die Ausgabe des Berichts



- Export aller Tabellen als lesbarer Text
 - Gefundene Einzelfasern
 - Klassenbelegungen des Histogramms
 - Vergleich mehrerer Auswertungen

- Export aller Grafiken in hoher Auflösung
 - Histogramm
 - Boxplot
 - Wählbare Schriftgröße und Auflösung

- Ausdruck eines Berichts mit wählbarem Umfang
 - Auftragsdaten
 - Bildausschnitt
 - Histogramm
 - Statistik
 - Quantile
 - Klassentabelle
 - Bearbeitungsschritte

```

18 =====
19 Bedeutung der Spalten:
20 Spalte 1 | Untere Klassengrenze [µm]
21 Spalte 2 | Obere Klassengrenze [µm]
22 Spalte 3 | Faseranzahl
23 Spalte 4 | Relative Häufigkeit [%]
24 Spalte 5 | Relative Häufigkeit kumuliert [%]
25 Spalte 6 | Längenanteil [%]
26 Spalte 7 | Längenanteil kumuliert [%]
27 =====
28 < 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00
29 0 | 100 | 7675 | 25,37 | 25,37 | 3,79 | 3,79
30 100 | 200 | 2507 | 8,29 | 33,66 | 3,59 | 7,38
31 200 | 300 | 3346 | 11,06 | 44,72 | 8,15 | 15,53
32 300 | 400 | 1750 | 5,63 | 50,35 | 14,73 | 30,26
    
```

