



Tracker in der Praxis

Datenanalyse im Elektronenbeugungsröhren-Experiment

Anwendung der Videoanalyse Software Tracker

23. Mai 2024

1 Tracker in der Praxis

Als angehende Physiklehrkräfte stehen Sie vor der Herausforderung, komplexe Konzepte auf verständliche Weise zu vermitteln und Ihren Schüler:innen praktische Erfahrungen zu bieten. Tracker¹ bietet dafür eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, welche ihren Physikunterricht bereichern können. Diese umfassen kinematische Prozesse ebenso wie die Intensitätserfassung, wie sie bei der Elektronenbeugungsröhre (EBR) verwendet wird. Durch die Anwendung von Tracker eröffnen sich vielfältige Möglichkeiten, den Unterricht interaktiver zu gestalten. Die Integration von Tracker ermöglicht es Schüler:innen beispielsweise, auch bei Experimenten mit berührungssicheren Hochspannungen wie bei der Elektronenbeugungsröhre aktiv am Messprozess und der Auswertung teilzunehmen. Lediglich die Einstellung der Hochspannung muss dabei noch von Ihnen vorgenommen werden.

¹<https://physlets.org/tracker/>

2 Aufgabenstellung

- **Versuchsaufbau:**

- Stellen Sie sicher, dass die Elektronenbeugungsröhre ordnungsgemäß montiert ist und das Hochspannungsnetzgerät korrekt angeschlossen ist.
- Platzieren Sie den Stativaufbau mit dem Kalibrierungsmaßstab (Meterstab) und dem Kamerastativ an geeigneten Positionen.

- **Kamerapositionierung und Bildbereich:**

- Positionieren Sie die Kamera auf dem Kamerastativ so, dass der Bildbereich die Elektronenbeugungsröhre vollständig erfasst.
- Richten Sie die Kamera zentral zu dem zu vermessenden Bildbereich (Interferenzringe) aus.

- **Skalierungsmaßstab:**

- Platzieren Sie den Kalibrierungsmaßstab (Meterstab) im Versuchsaufbau.
- Stellen Sie sicher, dass der Maßstab deutlich sichtbar und in derselben Ebene wie die Interferenzerscheinung positioniert ist.

- **Manuelle Blende anpassen:**

- Überprüfen Sie die Belichtungseinstellungen der Kamera, um sicherzustellen, dass die Intensitätswerte der Bilder im optimalen Bereich liegen.
- Nutzen Sie einen Aufkleber als manuelle Blende, um überbelichtete Bildbereiche zu entfernen.

- **Durchführung der Messreihen:**

- Nehmen Sie eine Serie von Fotos auf, um die Interferenzringe bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen zu erfassen.
- Führen Sie mehrere Messreihen mit jeweils 11 Messpunkten im Bereich von 3000V bis 5000V durch.

- **Digitale Datenerfassung mit Tracker:**

- Importieren Sie die Daten in Tracker und vermessen Sie die Positionen der Interferenzringe.

- **Datenauswertung und Analyse:**

- Stellen Sie die aus den Messungen gewonnenen Daten der Netzebenenabstände $d_{1,2}$ über die Beschleunigungsspannung U_B in einem Diagramm dar.
- Vergleichen Sie die experimentell ermittelten Netzebenenabstände mit den Herstellerangaben.
- Analysieren Sie die Streuung der Werte und bestimmen Sie Mittelwerte sowie zugehörige Standardabweichungen und prozentuale Abweichungen.

3 Tipps zur Datenaufnahme

Bevor die digitale Bildauswertung und Datenerfassung beginnt, sollten einigen Faktoren beachtet werden.

Stativaufbauten

Das Kamerastativ sollte so positioniert werden, dass die Kamera stabil und sicher steht, um Verwackeln während der Aufnahmen zu vermeiden. Die Stative für den Kalibrierungsmaßstab (Meterstab) sollten nahe am Fluoreszenzschirm der Elektronenbeugungsröhre aufgebaut werden. Um Beschädigungen am Glaskolben zu verhindern ist ein sicherer Stand der Kalibrierungsstative sicherzustellen. Ein sorgfältiger Versuchsaufbau der Stative gewährleistet nicht nur die Sicherheit des Versuchsaufbaus, sondern auch die Konsistenz der aufgenommenen Daten.

Kamerapositionierung

Die Kamera sollte möglichst frontal zur EBR ausgerichtet sein. Um den Effekt radialer Verzeichnung zu minimieren, sollte der zu vermessende Bildbereich möglichst zentral gewählt werden. Perspektivische Verzerrungen können auftreten, wenn die Kamera nicht senkrecht zum betrachteten Objekt positioniert ist. Die Positionierung des Kamerastativs kann dabei helfen, diese optischen Verzerrungen im Voraus zu minimieren und so nachträgliche Bildbearbeitung zu vermeiden.

Kalibrierungsmaßstab

Platzieren Sie vor der Messwerterfassung einen Maßstab im Versuchsaufbau auf gleicher Ebene wie der Versuchsablauf. Achten Sie darauf, dass der Maßstab kontrastreich und gut zu erkennen ist.

Manuelle Blende zur Anpassung der Belichtung

Digitale Bilddaten weisen einen Intensitätswertebereich von 0 bis 255 auf. Um Überbelichtung zu vermeiden, komprimieren digitale Kameras häufig überbelichtete Aufnahmen. Eine manuelle Blende in Form eines Aufklebers kann dabei helfen, die Intensitätsskala zu entzerren und damit präzisere Analysen bei der Auswertung ermöglichen.

4 Anweisungen zur Verwendung von Tracker

Starten Sie Tracker. Die Benutzeroberfläche ist in Abbildung 1 dargestellt. Dabei stellen die **Menüleiste (1)**, die **Werkzeugleiste (2)**, die **Diagrammansicht (3)** und die **Navigationsleiste (4)** die wesentlichen Schaltflächen zur Nutzung von Tracker dar.

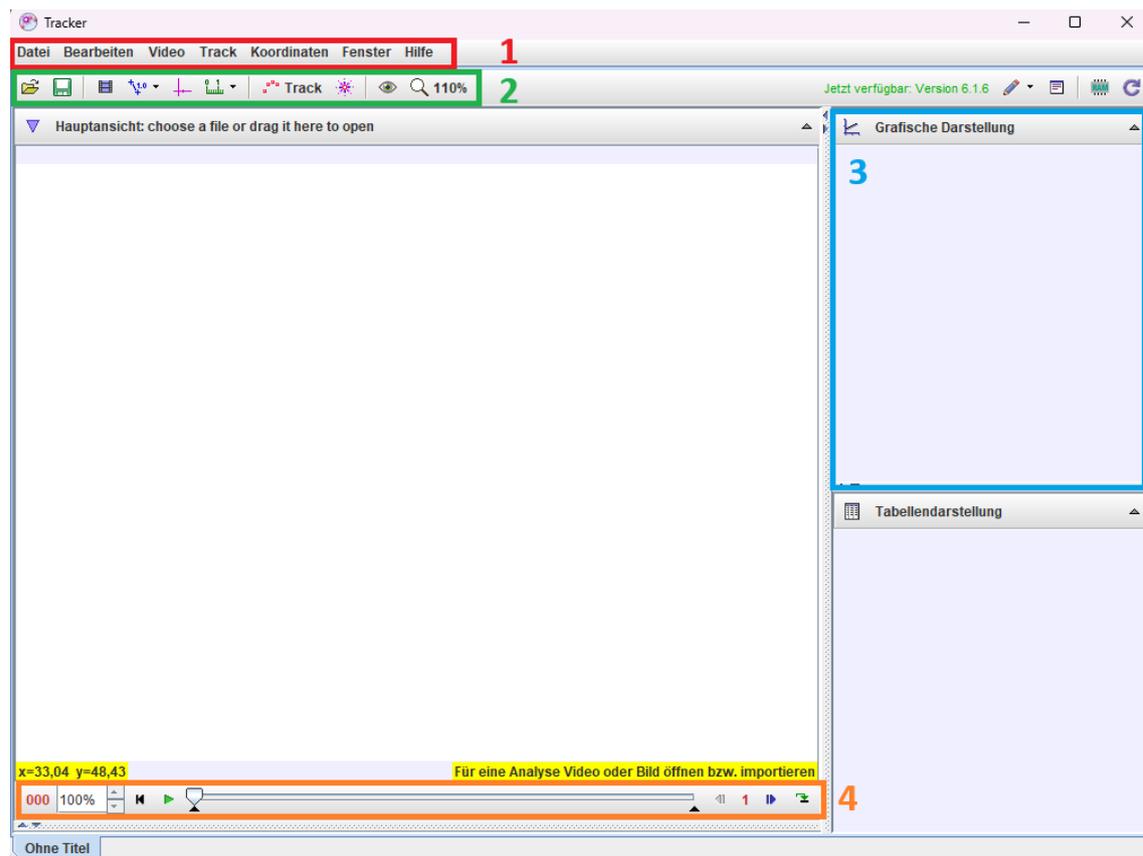


Abbildung 1: Benutzeroberfläche von Tracker

4.1 Dateiformate und Dateiimport

Für die optimale Nutzung von Tracker empfehlen die Softwareentwickler:innen die Verwendung von Videodateien der Dateiformate .MP4, .AVI, .WMV, .FLV oder .MOV oder Bilddateien der Formate .JPG, .PNG, und .GIF. Darüber hinaus sollten iPhone-

Nutzer:innen unter den Kameraeinstellungen die Formateinstellung „Meist kompatibel“ wählen. Die Auswahl geeigneter Dateiformate ist entscheidend, da eine nachträgliche Konvertierung häufig mit Qualitätsverlusten einhergeht.

Tracker bietet die Möglichkeit, Bildsequenzen automatisch zu einem Videoclip zusammenzufassen. Dabei erkennt das Programm Bilddateien mit aufeinanderfolgenden Nummerierungen im Dateinamen (*image0.jpg*, *image1.jpg*, ...) und fasst sie eigenständig zu einem Videoclip zusammen, nachdem das erste Bild der Reihe importiert wurde. Die Nummerierung der Bildsequenz muss ein festes Format haben. Wenn Sie beispielsweise das erste Bild in einer Sequenz mit den Nummern *image00.jpg* bis *image14.jpg* auswählen, werden alle 15 Bilder geöffnet. Wenn die Sequenz jedoch die Nummern *image0.jpg* bis *image14.jpg* hat, werden nur die ersten 10 Bilder geöffnet. Der Datenimport erfolgt über die **Menüleiste (1)** über die Anwahl von:

Datei ⇒ **Öffne** ⇒ **File Chooser**

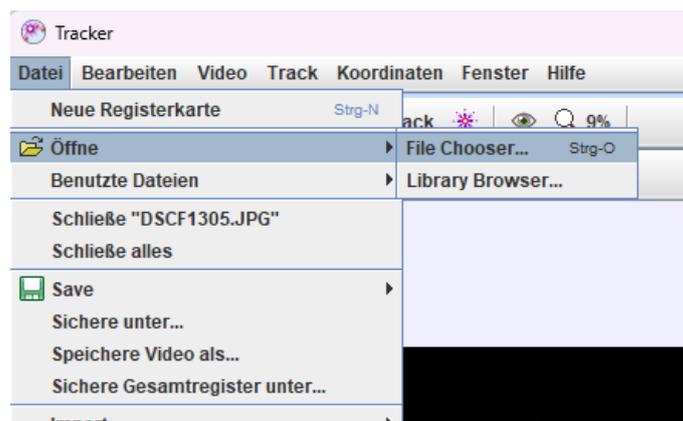


Abbildung 2: Dateimport

Überprüfen sie die importierten Frames auf Vollständigkeit und korrekte Reihenfolge über die **Navigationsleiste (4)**, welche in Abbildung 3 dargestellt ist.



Abbildung 3: Navigationsleistenansicht

4.2 Videofilter (optional)

Bei der Datenaufnahme durch Videokameras ergeben sich verschiedene Einschränkungen, welche die Bildqualität beeinflussen können. Um hochwertige Ergebnisse zu erzielen kann es demnach ratsam sein, einige Videofilter zur Vorverarbeitung der Daten in Tracker anzuwenden. Dabei ist die Auswahl geeigneter Filter und die Verständigung über ihre Effekte entscheidend. Die spektrale Empfindlichkeit von CCD-Sensoren in Kameras ist nicht identisch zum menschlichen Auge. Diese Unterschiede können zu wellenlängenabhängigen Intensitätsverzerrungen führen. Um diesen Effekten vorzubeugen kann die Aufnahme im **Graustufenmodus** eventuelle Verzerrungen reduzieren.

Navigieren Sie über die **Menüleiste (1)**, **Video** \implies **Filter** \implies **Neu**, um auf die Filterfunktionen zugreifen zu können. Es öffnet sich ein Dropdown-Menü mit verschiedenen verfügbaren Filtern.

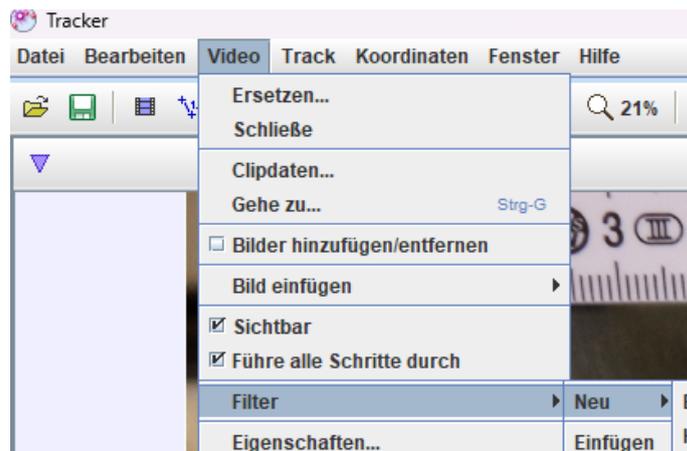


Abbildung 4: Filteranwahl



Abbildung 5: Filterauswahl

4.3 Kalibrierung und Koordinatensystem einfügen

Für die Videoanalyse ist eine Kalibrierung erforderlich, um die Objektpositionen im Video in reale Längen umzurechnen. Um den Kalibrierungsmaßstab in Tracker zu einführen wählen sie in der **Werkzeugleiste (2)** **neue Kalibrierungsoption** \implies **Neu** \implies **Kalibrierungsmaßstab**. Platzieren Sie die Enden des Kalibrierungsmaßstabes an dem von ihnen zuvor eingefügten Maßstab bekannter Länge und ändern Sie die Länge des Stabes (die anfänglich 1 m beträgt) in die bekannte Länge des Objekts in Metern über die Texteingabe unter der **Werkzeugleiste (2)**.

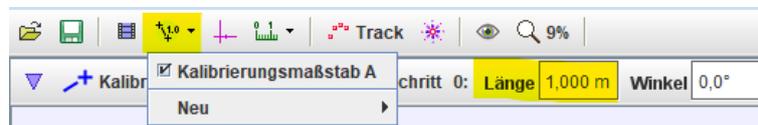


Abbildung 6: Einstellen des Kalibrierungsmaßstabs

Um ein geeignetes Koordinatensystem (KO) einzustellen, wählen Sie die Funktion **Koordinachse un-/sichtbar** in der **Werkzeugleiste (2)**. Ziehen Sie das Koordinatensystem an die gewünschte Position und bestätigen Sie diese über die Einstellung **Gesperrt**, welche über das Dropdown Menü mittels Rechtsklick angewählt werden kann.

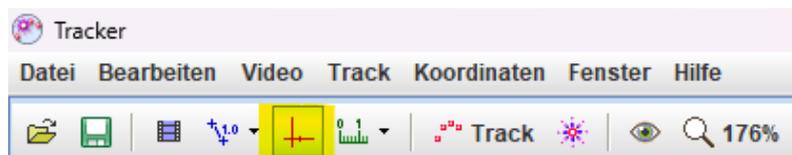


Abbildung 7: Einstellen des KO

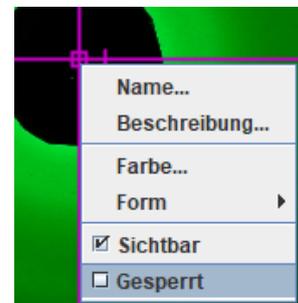


Abbildung 8: Sperrfunktion für KO

4.4 Datenauswertung

Zur Tracker basierten Intensitätsdatenauswertung werden die Bilddaten mit der Linienprofil Messung ausgelesen. Die **Farbprofil, Linie** Funktion in Tracker ermöglicht die Erfassung von Helligkeitsintensitäten sowie der Rot-, Grün- und Blau-Farbintensitäten entlang einer Linie über einzelne Pixel ihrer Bilddaten. Die Funktion kann über die Werkzeugleiste aufgerufen werden: **Track** \implies **Neu** \implies **Farbprofil, Linie**

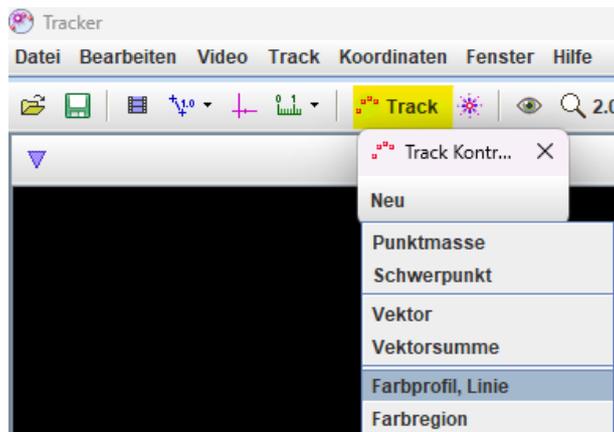


Abbildung 9: Track Auswahl - Farbprofil, Linie

Die Linienbreite der erstellten Farbprofil Linie kann variiert werden. Durch das Verbreitern der Linie werden die Bilddaten der Pixel über und unter der Linie gemittelt ausgegeben.

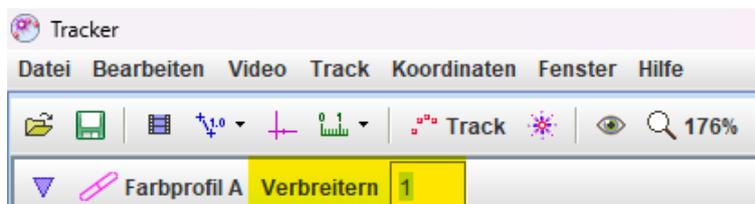


Abbildung 10: Farbprofil Verbreitern

Die entsprechenden Daten der Messung werden in der [Diagrammansicht \(3\)](#) am rechten Bildschirmrand dargestellt. Standardmäßig wird die Helligkeit an den einzelnen Stellen in der X-Achse in „Luma“ ausgegeben. „Luma“ steht in Tracker für die ermittelten

Intensitäten. Über die Konfigurationsoptionen der Diagramme lassen sich auch die einzelnen RGB-Werte (rot, grün oder blau) darstellen. Zur detaillierten Auswertung der Intensitätsverteilung muss die Funktion **Analysieren** angewählt werden. Diese Funktion erreichen Sie über Rechtsklick auf die **Diagrammansicht (3)**. Das sich öffnende Analysefenster ist in Abbildung 11 dargestellt. Das Auslesen der Messwerte wird über die Menüleiste ermöglicht: **Messen** \implies **Koordinaten**

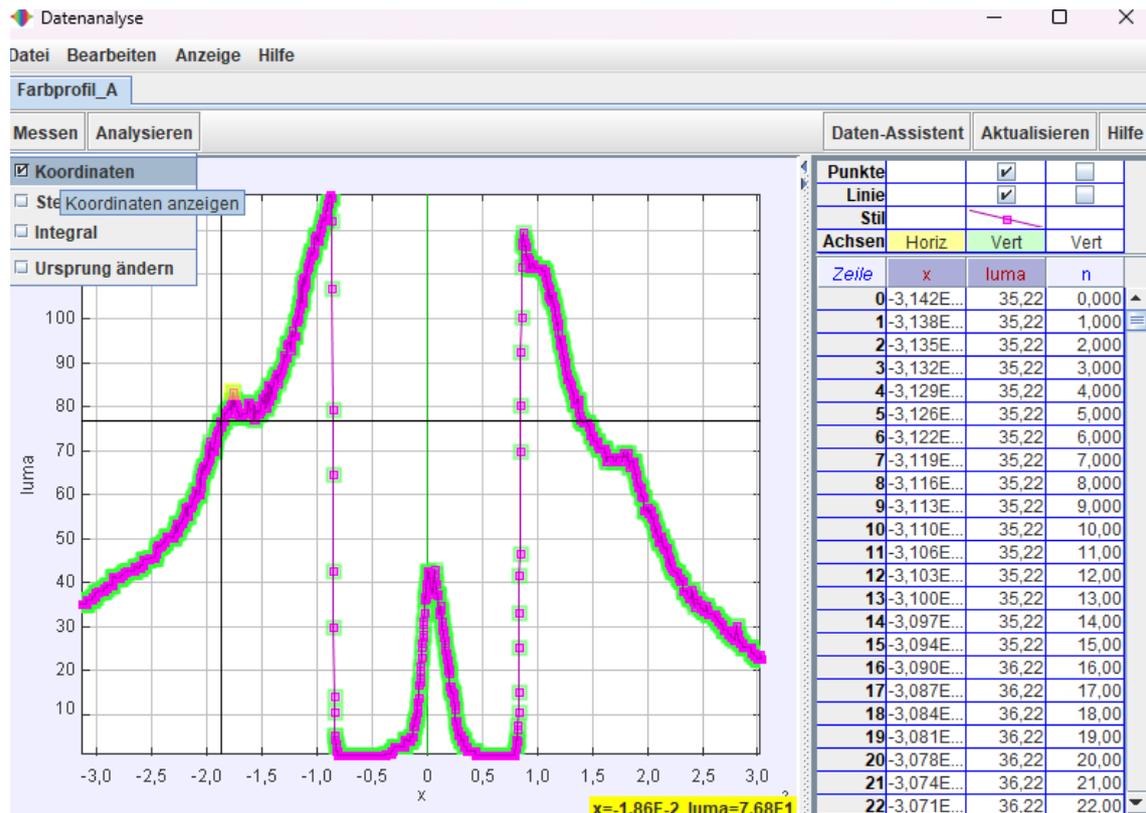


Abbildung 11: Datenanalysefenster

Das Programm ermöglicht nun die Messwernerfassung mittels Cursor im Analysefenster. Die ermittelten Koordinaten können am rechten unteren Bildschirmrand abgelesen werden.

Abbildung 12 zeigt eine vergrößerte Ansicht der Intensitätsdarstellung im Analysefenster. In dieser Ansicht sind verschiedene Funktionen zur Anpassung des Bildbereichs ersichtlich. Die Funktionen **Vergrößern**, **Verkleinern** und **Autoscale** ermöglichen es, den angezeigten Bereich des Bildes anzupassen.

Die Funktion **Autoscale** skaliert die Darstellung automatisch, um den gesamten Bildbereich anzuzeigen. Möchten sie sich auf einen bestimmten Bereich des Bildes fokussieren, können Sie die Funktionen **Vergrößern** bzw. **Verkleinern** verwenden. Durch einen Rechtsklick und Auswahl des gewünschten Bereichs (dargestellt durch den magentafarbenen Kasten) können Sie diesen Bereich vergrößern oder verkleinern, um ihn genauer zu untersuchen. Bei der Datenanalyse liegt der Fokus auf einer geeigneten Wahl

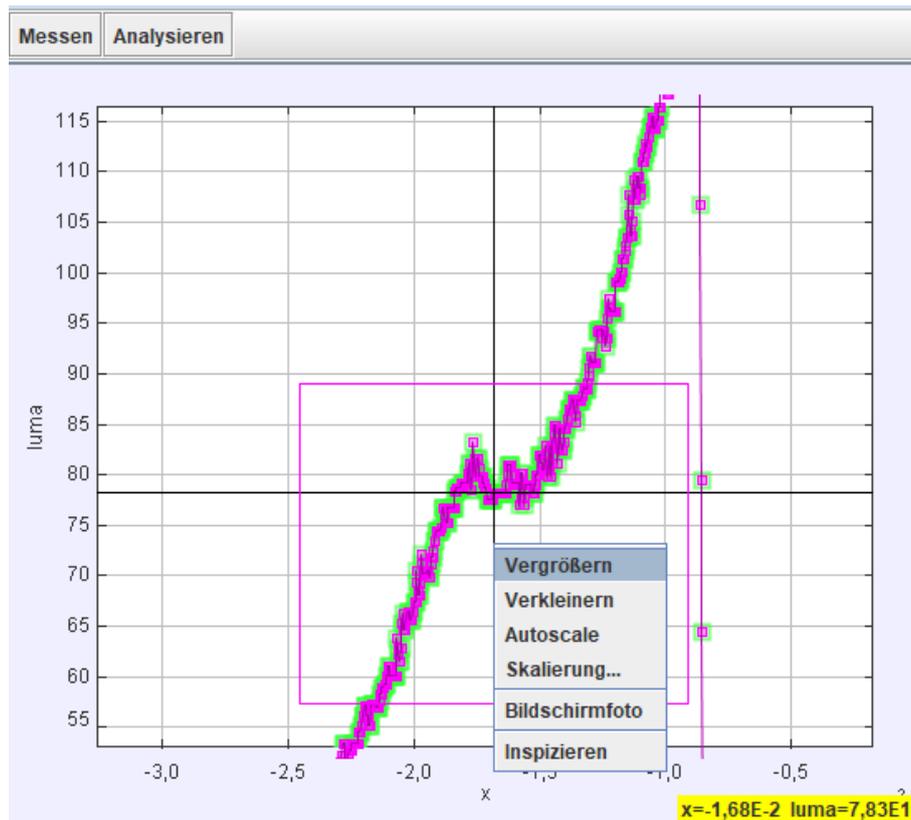


Abbildung 12: Ansicht im Datenanalysefenster

der Messposition entlang der Intensitätsverteilung. Dazu sollten verschiedene Messpositionen entlang der Intensitätsverteilung in Betracht gezogen werden. Abbildung 13 zeigt beispielhaft drei mögliche Messpositionen für die äußere Interferenzerscheinung. Durch die Analyse unterschiedlicher Messpositionen können weitgehendere Interpretationen der Daten erreicht werden.

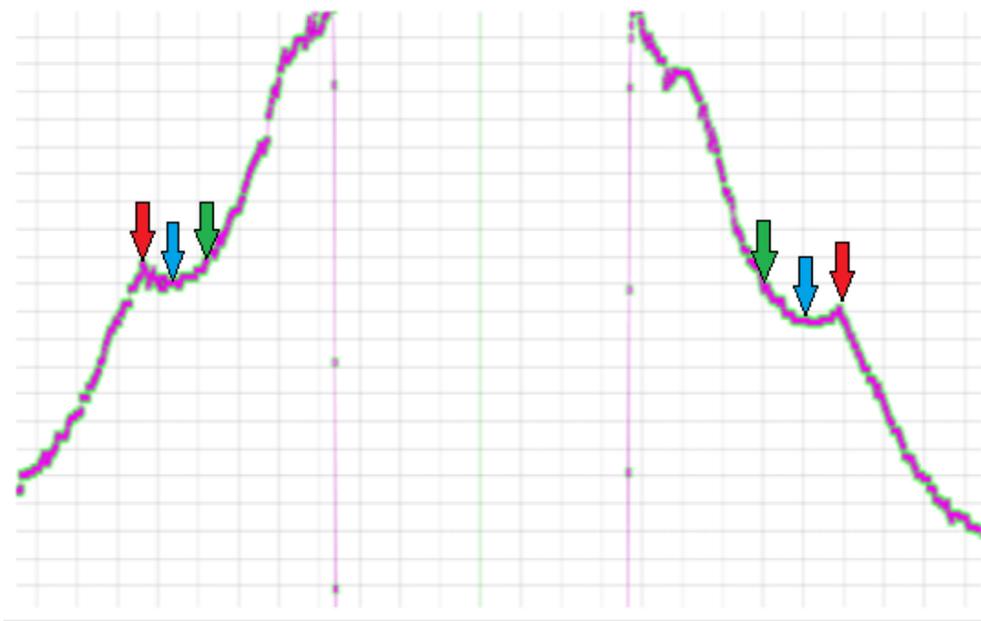


Abbildung 13: Datenanalyse - Wahl der Messposition