

Aktualisierung einer OTF-Meßanlage, daraus resultierende universelle Ergebnis-Analyse

Patrik Erichsen, Jürgen Kross

Optisches Institut, Technische Universität Berlin

mailto: perichsen@tonet.physik.tu-berlin.de

Zur Bewertung der Abbildungsleistung optischer Systeme wird häufig die optische Übertragungsfunktion (OTF) messtechnisch ermittelt. In diesem Beitrag wird die Modernisierung einer bestehenden, mechanisch hochpräzisen OTF-Meßanlage beschrieben. Es werden aktuelle Messergebnisse unter Berücksichtigung verschiedener Abbildungssituationen vorgestellt und diskutiert.

1 Einführung

Die Bewertung der Abbildungsleistung optischer Systeme durch die Messung der optischen Übertragungsfunktion (OTF) ist eine bewährte und etablierte Methode. Hierzu zählt zum einen die Messmethode, um die OTF zu bestimmen. Zum anderen stellt die Aufgabe, aus den gemessenen Daten eine möglichst aussagekräftige Bewertung zu extrahieren, eine große Herausforderung dar.

Bei der Modernisierung der bestehenden OTF-Anlage, die nach dem Spalt-Spalt Abtastprinzip arbeitet, wurde auf beide Aspekte eingegangen. Das Messprinzip wurde beibehalten, da die vorhandenen Mechanischen Komponenten hervorragende Eigenschaften aufweisen. Die Steuer- und Auswerteeinheit wurde durch moderne Rechner-technik ersetzt.

2 Modernisierung

Die bestehende OTF-Meßanlage von der Fa. Leitz ist in unserem Hause seit 1986 in Betrieb. Das Auftreten von Defekten an der Schrittmotorsteuerung und Festplatten hat uns immer wieder vor das Problem gestellt, Ersatzteile zu beschaffen. Im Rahmen einer Grunderneuerung der elektronischen Hardware wurde das System auf heutigen PC-Standard mit zugehörigen Peripheriegeräten umgestellt. Hierzu gehören eine Schrittmotorsteuerungseinheit mit serielltem Anschluss an den PC und eine 12-bit A/D-Messkarte zur Signalerfassung. Als moderne Programmierumgebung wurde LabView eingesetzt.

	Alt	Neu
Rechner	HP 600	PC
Detektor-Dynamik	8 Bit	11 Bit
Abtastschrittweite	0,5 μm	0,25 μm
Fokussierung	manuell	Automatisch
Softwareumgebung	Fortran	LabView

Tab. 1 Vergleich der veränderten Eigenschaften

3 Automatisierung

Im Rahmen der Modernisierung wurde die rechnergesteuerte Bewegung des Detektors entlang der z-Achse ermöglicht. Hierdurch ist die automatisierte Fokussierung mittels eines iterativen Verfahrens durchführbar. Die Schrittfolge eines typischen Fokussiervorgangs mit den dazugehörigen Modulationswerten bei 20 mm^{-1} ist in der folgenden Grafik dargestellt.

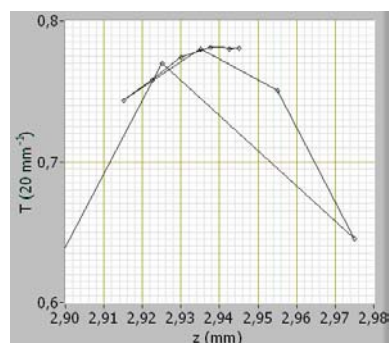


Abb. 1 Schrittfolge eines typischen Fokussiervorgangs

Eine andere Anwendung der rechnergesteuerten z-Achsenbewegung sind die Aufnahmen von Fokussierreihen, bei denen eine vom Benutzer vorgegebene Anzahl Messungen in einem bestimmten Messbereich äquidistant durchgeführt wird.

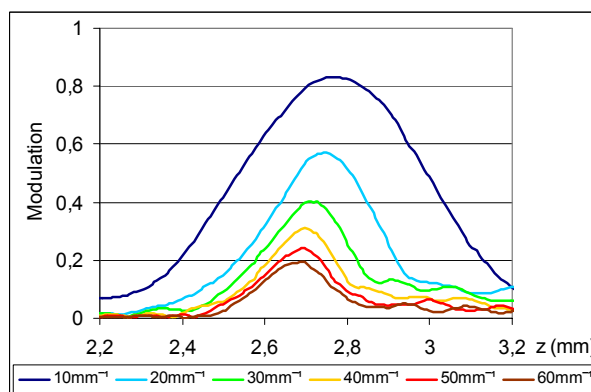


Abb. 2 Fokussierreihe mit Modulationswerten bei verschiedenen Ortsfrequenzen

Hierbei wird bei jeder OTF-Messung ein kompletter Datensatz, bestehend aus Liniensbild, MTF, PTF und diverser Gütezahlen, gespeichert.

4 Gütekriterien

Die Beurteilung der Abbildungsleistung anhand der OTF ist eine komplexe Aufgabe. In der Regel werden Messungen bei verschiedenen Aufnahmeparametern durchgeführt, dazu gehören verschiedene Bildorte, unterschiedliche Blendeneinstellungen und Objektentfernungen. Das führt zu einer sehr großen Datenmenge, die hier sinnvollerweise reduziert werden soll. Hierzu dienen unterschiedliche Kriterien, die die Güte einer OTF in Form einer einzigen Zahl wiedergeben. Beispielhaft wurde die Berechnung folgender Gütekriterien in die Mess- und Auswertesoftware integriert: Heynacherzahl, Relative Gipfelhöhe, Schroffheit, Treue und Grenzfrequenz.

Im folgenden Beispiel wird demonstriert, wie anhand dieser Kriterien in Kombination mit der automatisierten Fokussmessreihe die Bildschalen bester Abbildungsleistung bestimmt werden können. Bei sechs Bildhöhen wurden Fokusreihen bei einer Schrittweite von $2,5\mu\text{m}$ durchgeführt und die Werte der Gütekriterien berechnet. In den folgenden Grafiken sind die Fokusslagen der Maximalwerte der Gütekriterien über das Bildfeld aufgetragen.

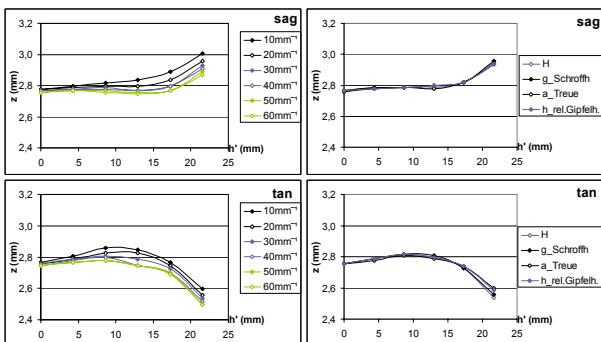


Abb. 3 Lage der Maximalwerte der Gütekriterien

Die Maximalwerte dieser Einstellungen sind in den folgenden Grafiken dargestellt.

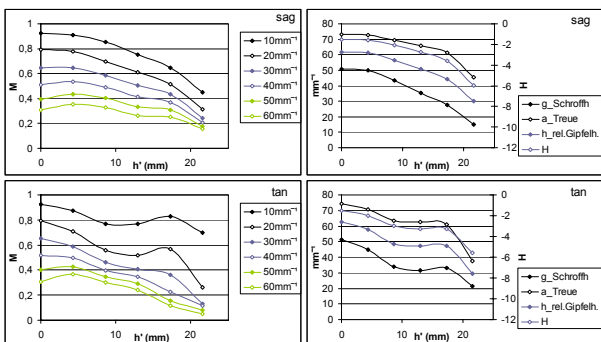


Abb. 4 Maximalwerte der Gütekriterien

5 Einfluss der PTF

Bei der Beurteilung der Abbildungsleistung wird häufig nur der Betrag der OTF, also die MTF, verwendet. Im folgenden Beispiel werden zwei Messungen gezeigt, deren MTF-Kurven weniger als 10% Unterschiede aufweisen. Die Unterschiede der PTF sind jedoch im Diagramm unten deutlich zu erkennen.

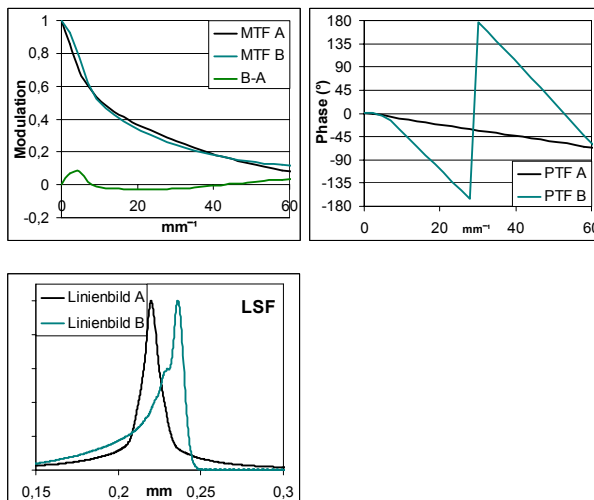


Abb. 5 MTF, PTF und Liniensbild

Das Resultat für das Liniensbild macht sich in stark unterschiedlicher Asymmetrie bemerkbar. Diese Asymmetrie wird durch die Gütekriterien Heynacherzahl und Schroffheit nicht erfasst. Der Tabelle unten sind jedoch starke Schwankungen bei der Treue und der Differenz der Lage des Maximums und des Schwerpunktes des Liniensbildes zu erkennen.

	H	$X_{\text{max}}-X_{\text{schwpkt.}}$	Schroffh.	Treue
A	-5,39	$2,47 \mu\text{m}$	17,50	46,03
B	-5,49	$20,45 \mu\text{m}$	17,85	4,80

Tab. 2 Werte von Gütekriterien zweier Messungen

6 Zusammenfassung

Die Modernisierung der OTF-Meßanlage durch den Einsatz moderner Ansteuerungs- und Auswertetechnik ließ Vorteile bezüglich der Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit erreichen. Automatisierte Messabläufe erlauben es, einen größeren Parameterraum abzudecken. Durch den Einsatz von Bewertungskriterien lassen sich die Messdaten zur weiteren Analyse der Abbildungseigenschaften, wie z.B. Ermittlung von Bildschalen, einsetzen. Ein wichtiger Punkt, der noch weiterer Untersuchungen bedarf, ist der Einfluss der PTF auf die Abbildungsleistung.