

Diss. ETH Nr. 8039

~~GÜTE~~ KRITERIEN OPTISCHER SYSTEME:  
BERÜCKSICHTIGUNG VON ORTS- UND RICHTUNGS-ABHÄNGIGKEIT,  
PHASE, KONTRASTUMKEHR UND MODULATIONSÜBERHÖHUNG  
DER OPTISCHEN ÜBERTRAGUNGSFUNKTION

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von  
NORBERT F. FELBER  
dipl. Phys. ETH  
geboren am 6. Februar 1951  
von Egerkingen SO

angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. H. Melchior, Referent  
Prof. Dr. H. Tiziani, Korreferent

Zürich 1986

ADAG Druck & Administration AG

---

ABSTRACT

---

The optical transfer function (OTF) is well established to describe the properties of optical systems (e.g. photographic lenses). This project extends the quality criteria which are derived from the OTF to include effects such as spatial and direction dependencies of the OTF as well as contrast inversion.

Describing optical imaging as a linear system yields relations between the diffraction (aberration function), the optical transfer function and the point-spread function. Information on imaging quality is contained in the OTF. For a convenient characterisation figures of merit are introduced. They are obtained by applying algorithms for the extraction of specific information (criteria) to the OTF.

A novel image processor using parallel optical and electronic signal processing has been built to allow the simulation of optical systems with a wide variety of OTFs.

By taking advantage of this processor, high resolution pictures with selected predefined non-idealities were realised and judged by a group of observers. OTF based quality criteria have been developed to show good correlation with the judged quality. Specifically a criterion known from literature has been modified to be used with OTFs exhibiting high contrast up to high spacial frequencies. The effect of contrast inversion on quality criteria has been studied. Criteria for non-isotropic modulation transfer functions (MTF) and phase transfer functions (PTF) have been found. Transfer functions with spacial variations were treated also.

The quality criteria can be used by manufacturers to optimize lens design and by users to evaluate the best optical system for their specific applications.

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Für die Beschreibung der Eigenschaften optischer Systeme hat sich weltweit die Optische Übertragungsfunktion (OTF) durchgesetzt. Darauf basierende Gütekriterien sind aus der Literatur bekannt. Ziel dieser Arbeit ist eine Erweiterung dieser Kriterien, welche den Miteinbezug von Effekten wie Orts- und Richtungs-Abhängigkeit der OTF und Kontrastumkehr ermöglicht.

Übertragungsfunktion ist ein Begriff aus der Theorie linearer Systeme. Die Anwendung dieser Theorie auf die optische Abbildung macht den Zusammenhang zwischen Wellenoptik (Aberationsfunktion), Übertragungsfunktion und Punktbild ersichtlich. Die Information über die Abbildungsqualität ist demnach in der Optischen Übertragungsfunktion enthalten. Die Konzentration dieser Information in Gütezahlen wird durch Anwendung geeigneter Algorithmen (Gütekriterien) auf die OTF ermöglicht.

Zur experimentellen Untersuchung solcher Gütekriterien in dieser Arbeit wurde ein Bildprozessor gebaut. Er arbeitet mit parallel-optischer und elektronischer Signalverarbeitung. Die Abbildung durch ein Objektiv mit einer in weiten Grenzen vorgebbaren OTF kann damit simuliert werden. Verschiedenartige Nichtidealitäten in der OTF, welche bei realen Abbildungen nicht getrennt vorkommen, können damit separat erzeugt werden. Gezielte Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen OTF und subjektiver Qualitätsbeurteilung werden präsentiert. Ein aus der Literatur bekanntes Gütekriterium für orts- und richtungs-unabhängige OTF (Raumfrequenzmittelung) wird erweitert. Die speziellen Effekte Kontrastumkehr und Modulationsüberhöhung werden berücksichtigt. Für richtungsabhängige Modulations- und Phasen-Übertragungsfunktionen sowie für Bildradius-abhängige OTF werden Kriterien anhand experimenteller Bildbewertungen evaluiert.

Gütekriterien können dem Objektiv-Designer als Optimierungskriterium, dem Anwender als Entscheidungshilfe beim Kauf und als Auswahlkriterium beim Einsatz seiner Objektive dienen.