

DIN ISO 9335

ICS 37.020

Ersatz für
DIN ISO 9335:2002-07**Optik und Photonik –
Optische Übertragungsfunktion –
Prinzipien und Messverfahren (ISO 9335:1995 + Cor. 1:2005)**

Optics and photonics –
Optical transfer function –
Principles and procedures of measurement (ISO 9335:1995 + Cor. 1:2005)

Optique et photonique –
Fonction de transfert optique –
Principes et procédures de mesure (ISO 9335:1995 + Cor. 1:2005)

Gesamtumfang 31 Seiten

Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) im DIN

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (Informativ) Literaturhinweise	5
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe	7
4 Messausrüstung und Umfeld	7
4.1 Allgemeine Aspekte.....	7
4.1.1 Messbedingungen	7
4.1.2 Messgenauigkeit.....	8
4.2 Umgebung	8
4.2.1 Temperatur- und Feuchtigkeitskontrolle.....	8
4.2.2 Vibration	8
4.2.3 Elektromagnetische Störungen.....	8
4.3 Messausrüstung	9
4.3.1 Optikhalterungen	9
4.3.2 Defokussierungstoleranz.....	9
4.3.3 Messskalen.....	9
4.4 Systemkomponenten	9
4.4.1 Optische Bänke.....	10
4.4.2 Testfigureneinheit TTU.....	10
4.4.3 Halterung des Prüflings	15
4.4.4 Bildauswertungssystem	15
5 Messverfahren.....	16
5.1 Einstellung der Messbedingungen	16
5.1.1 Umweltbedingungen	16
5.1.2 Spektrale Eigenschaften	16
5.1.3 Winkelverteilung und Apertur	17
5.1.4 Abbildungsmaßstab	17
5.1.5 Fokussieren.....	17
5.2 Zusätzliche Voraussetzungen für die Prüfung	18
5.2.1 Linearer Bereich des Prüflings.....	18
5.2.2 Isoplanatischer Bereich	18
5.2.3 Invariante Rauschmuster (en: Fixed pattern noise).....	18
5.2.4 Abtastbereich	18
5.2.5 Hintergrundstrahlung.....	18
5.2.6 Falschlicht	19
5.2.7 Parallelität des Bildes und des Abtastelementes.....	19
5.2.8 Signal-Rausch-Verhältnis	19
5.3 Besondere Messbedingungen.....	20
5.3.1 Azimute	20
5.3.2 Auswahl der Bildhöhen oder der Feldwinkel	20
5.3.3 Referenzwinkel des Prüflings.....	20
6 Korrektur der Messdaten	21
6.1 Normierung.....	21
6.2 Korrektur des Frequenzbereiches	21
6.3 Korrektur der gemessenen Modulation.....	21
6.4 Abbildende Hilfssysteme	21

	Seite
7	Darstellung der OTF-Daten.....21
7.1	Identifikation und Messbedingungen.....22
7.2	Grafische Darstellung der OTF-Daten.....23
7.3	Numerische Darstellung.....23
8	Genauigkeitskontrollen.....23
Anhang A (informativ)	Beispiele zur Darstellung von OTF-Daten 25
A.1	Spezifikation des Abbildungszustandes.....25
A.2	Beispiel für die grafische Darstellung der OTF als Funktion der Ortsfrequenz 27
A.3	Beispiel für die grafische Darstellung der PTF als Funktion der Ortsfrequenz.....28
A.4	Numerische Darstellung der MTF und PTF.....29
A.5	Beispiel für die grafische Darstellung der MTF als Funktion der Bildhöhe 30
Literaturhinweise	31

Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 9335 wurde vom ISO/TC 172/SC 1 „Fundamental standards“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) unter Beteiligung deutscher Experten ausgearbeitet. Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der Normenausschuss Feinmechanik und Optik (NAFuO) zuständig.

Für die im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 9334 siehe DIN ISO 9334

ISO 9336-3 siehe DIN ISO 9336-3

Änderungen

Gegenüber DIN 58185-2:1976-03, DIN 58185-3:1978-08 und DIN 58185-4:1978-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Zusammenfassung der drei Normblätter in eine Norm unter vollständiger redaktioneller Überarbeitung bei inhaltlich gleichwertigen Festlegungen;
- b) Inhalte der DIN 58185-4 werden nunmehr in der Form eines informativen Anhangs gegeben;
- c) ISO-Norm übernommen.

Gegenüber DIN ISO 9335:2002-07 wurden folgende Berichtigungen vorgenommen:

- a) das erste Element des Titels „Optik und optische Instrumente“ wurde durch „Optik und Photonik“ ersetzt;
- b) die Tabelle 1 wurde durch eine korrigierte Tabelle ersetzt (die Werte wurden für Blendenzahl 16 ausgewiesen, nicht wie angegeben für Blendenzahl 18);
- c) die Gleichung in Abschnitt 6.4 wurde korrigiert.

Frühere Ausgaben

DIN 58185-2: 1976-03

DIN 58185-3: 1978-08

DIN 58185-4: 1978-12

DIN ISO 9335: 2002-07

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 9334, *Optik und Photonik — Optische Übertragungsfunktion — Begriffe und mathematische Zusammenhänge*

DIN ISO 9336-3, *Optik und optische Instrumente — Optische Übertragungsfunktion: Anwendung — Teil 3: Fernrohre*

DIN ISO 11421, *Optik und optische Instrumente — Genauigkeit von Messungen der optischen Übertragungsfunktion*

Optik und Photonik
Optische Übertragungsfunktion
Prinzipien und Messverfahren

Einleitung

Die optische Übertragungsfunktion ist ein bedeutendes Hilfsmittel zur objektiven Bewertung der Abbildungsleistung von optischen, elektrooptischen und fotografischen Systemen.

Zur Messung der optischen Übertragungsfunktion werden unterschiedliche Messprinzipien angewendet. Um vergleichbare Messungen der optischen Übertragungsfunktion von Messgeräten in unterschiedlichen Laboratorien zu erhalten, ist es notwendig, äquivalente Messparameter, wie Bildortlage und Ortsfrequenzbereich, sicherzustellen. Aus diesem Grund wurde eine einheitliche Terminologie definiert, so dass die oben benannten Messparameter in dieser Internationalen Norm von allen Anwendern verstanden werden können. Die Definitionen der Begriffe, welche für die Messung der optischen Übertragungsfunktion verwendet werden, sind in ISO 9334 zusammengestellt. ISO 9335 gibt eine Orientierung für den Aufbau und die Bedienung der Messausrüstung zur Messung der optischen Übertragungsfunktion.

Die genauen Beschreibungen in dieser Internationalen Norm ergeben sich aus den Grundanforderungen an Messgeräte und Messverfahren zur Sicherstellung einer definierten Genauigkeit der Messung der optischen Übertragungsfunktion.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt eine allgemeine Orientierung für den Aufbau und die Anwendung der Ausrüstung zur Messung der optischen Übertragungsfunktion (OTF) von abbildenden Systemen.

Diese Internationale Norm legt bedeutende Faktoren, die die Messung der OTF beeinflussen können, fest und gibt allgemeine Regeln für die Ausrüstung bezüglich Leistungsanforderungen und Überprüfung von Umgebungseinflüssen.

Sie legt wichtige Vorkehrungen fest, welche zur Sicherstellung der Genauigkeit der Messungen getroffen werden sollten, und spezifiziert Korrekturfaktoren, welche zum Vergleich von Daten angewendet werden.

Die in dieser Internationalen Norm beschriebene Ausrüstung zur Messung der optischen Übertragungsfunktion ist beschränkt auf die Analyse der Strahlungsverteilung in der Bildebene zu prüfender optisch abbildender Systeme. Sie schließt nicht die auf Interferometern basierenden Instrumente ein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle normativen Dokumente unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 9334:1995, *Optics and optical instruments — Optical transfer function — Definitions and mathematical relationships*

ISO 9336-1:1994, *Optics and optical instruments — Optical transfer function — Application — Part 1: Interchangeable lenses for 35 mm still cameras*

ISO 9336-2:1994, *Optics and optical instruments — Optical transfer function — Application — Part 2: Lenses for office copiers*

ISO 9336-3:1994, *Optics and optical instruments — Optical transfer function — Application — Part 3: Telescopes*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die in ISO 9334 angegebenen Begriffe.

4 Messausrüstung und Umfeld

4.1 Allgemeine Aspekte

4.1.1 Messbedingungen

Jede Messung der OTF hängt vom Abbildungszustand, dem Ist-Zustand, des abbildenden Systems ab. Folglich müssen vor den Messungen solche Parameter, die den Ist-Zustand des Systems bilden, erkannt und der Grad der Abhängigkeit des Ist-Zustandes von diesen Parametern bestimmt werden. Der komplette Satz

von Parametern, welcher den Abbildungszustand beschreibt, muss feste Werte haben. Die festen Werte repräsentieren einen speziellen Ist-Zustand und werden Messbedingungen genannt.

4.1.2 Messgenauigkeit

Die Messausrüstung und das Umfeld, in welchem diese verwendet wird, müssen die Festlegung der beschriebenen Messbedingungen sowie eine mit der erforderlichen Messgenauigkeit¹⁾ übereinstimmende Stabilität gestatten. Die Genauigkeit einer OTF-Messung kann in Verbindung mit einer Messung, herrührend aus vielen einzelnen Parametern des Ist-Zustandes, als unsicher gelten. Wenn eine notwendige Genauigkeit der OTF-Messung festgelegt ist, muss sie auf die bekannten beitragenden Parameter entsprechend aufgeteilt werden. So kann für jeden Parameter des Ist-Zustandes eine Toleranz festgelegt werden. So könnte eine Gesamtanforderung an die Messgenauigkeit von $\pm 0,05$ der Modulationsübertragungsfunktion (MTF) neben anderen Faktoren eine Temperaturstabilität des Messaufbaus von $\pm 1\text{ °C}$ und eine Toleranz der Auffang-ebenenlage von $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ erfordern. Die Diskussion von instrumentellen und Umgebungsfestlegungen in den folgenden Unterabschnitten bezieht sich auf die Toleranzen, die auf diese Art und Weise entsprechend der erforderlichen Genauigkeit der OTF-Messung verteilt sind.

4.2 Umgebung

Die Umgebungsbedingungen der OTF-Ausrüstung müssen ausreichend frei bleiben von Einflüssen, die zu klimatischen, mechanischen und elektromagnetischen Störungen führen können. Die Messausrüstung und die Atmosphäre im Messraum müssen frei sein von Staub, Feuchtigkeit und Rauch. Alle optischen Oberflächen müssen gegen das Auftreten von Kratzern und Fingerabdrücken geschützt sein.

4.2.1 Temperatur- und Feuchtigkeitskontrolle

Die Temperatur muss innerhalb einer festgesetzten Toleranz bei einem geeigneten Wert konstant gehalten werden. Die Feuchtigkeit muss ebenfalls innerhalb annehmbarer Grenzen bleiben. Beides, Temperatur und Feuchtigkeit, müssen aufgezeichnet werden. Die Luftturbulenz und -schichtung können die Messung beeinflussen und müssen durch Verwendung einer Abdeckung minimiert werden.

4.2.2 Vibration

Die Vibration muss minimal gehalten werden. Wenn andernfalls Vibrationen, zum Beispiel verursacht durch Maschinen, nicht vermeidbar sind, ist ein Kellerraum zu empfehlen. Der Grad der Vibrationsisolation für eine vorgegebene Messgenauigkeit ist abhängig von der Art der Vibration, der Messmethode und vom Ortsfrequenzbereich. Wenn die Methode die Messung der Linienbildfunktion beinhaltet, könnte als geeignete Toleranz für die durch Vibration verursachte Bildauswanderung am Analysator $1/20$ der Breite des Testspaltbildes bei halber maximaler Intensität angegeben werden.

4.2.3 Elektromagnetische Störungen

Bei einigen Systemen kann es notwendig sein, die Schwankungen der Spannungsversorgung zu überwachen und diese auf einem erträglichen Minimum zu halten. Der Einfluss von äußeren elektromagnetischen Feldern und der Grad des Umgebungslichtes müssen soweit reduziert werden, dass sie die Messung der OTF nicht signifikant beeinflussen.

¹⁾ Die verschiedenen Parameter, welche einen Einfluss auf die Genauigkeit der Messung haben, sind in ISO 11421 beschrieben.

4.3 Messausrüstung

4.3.1 Optikhalterungen

Die Basis jeder Messausrüstung muss eine robuste optische Bank oder Platte zur Halterung der Testfigureneinheit, des Prüflings, des Bildanalysators sowie anderer zusätzlicher Elemente, welche befestigt und entsprechend der erforderlichen Genauigkeit zueinander ausgerichtet werden, sein.

In Abhängigkeit vom zu prüfenden abbildenden System können sich bezüglich der Linearität der Einstellungen und/oder der Parallelität der Führungsbahnen unterschiedliche Anforderungen ergeben. Abweichungen von idealen Linearitäts- und Parallelitätsanforderungen dürfen keine größere Änderung der gemessenen MTF als 1/3 der zugelassenen oder festgelegten Messgenauigkeit verursachen.

4.3.2 Defokussierungstoleranz

Defokussierungseffekte, hervorgerufen durch ungenaue Ausrichtung auf der optischen Bank, führen zu Fehlern in der gemessenen MTF, welche sich mit wachsender Ortsfrequenz, fallender Blendenzahl und mit reduzierter Wellenfrontaberration vergrößern. Tabelle 1 gibt die Defokussierungstoleranz von beugungsbegrenzten Objektiven mit kreisrunder Pupille und inkohärenter Beleuchtung an, die zu einer Änderung der MTF von $\pm 0,05$ führt. Variable sind die Blendenzahl der Objektive und die Ortsfrequenz. Für die Wellenlänge des Lichtes werden 500 nm angenommen.

Tabelle 1 — Defokussierungstoleranz

Werte in Mikrometern

Blendenzahl	Defokussierungstoleranz für Ortsfrequenz mm^{-1}					
	1	5	10	20	50	100
1	45	9	4,5	2,3	1,0	0,5
1,4	62	12,5	6,3	3,2	1,4	0,8
2	89	18	9	4,7	2,0	1,1
4	180	36,5	18,8	9,8	4,6	3
8	360	74	39	21,5	12	12,2
16	720	157	86	54	49	468

ANMERKUNG Bei einer Änderung in der MTF von 0,10 verdoppelt sich die Defokussierungstoleranz gegenüber den in der Tabelle angegebenen Werten.

4.3.3 Messskalen

Die Messausrüstung muss entsprechende Messmittel zur Bestimmung der Positionen der Testfigureneinheit, des zu prüfenden Systems oder Gerätes (Prüfling), des Bildanalysators und zusätzlicher Systeme enthalten. Diese schließen Skalen, Spindeln und Messuhren ein. Ferner müssen Messmittel zur Überwachung, Festlegung oder zur Bestimmung aller anderen Parameter, welche den Ist-Zustand des Prüflings bilden, zur Verfügung stehen.

4.4 Systemkomponenten

In den folgenden Unterabschnitten werden Details hinsichtlich der Messanordnung und ihrer Grundkomponenten einschließlich der Testfigureneinheit TTU, des Prüflings P, des Bildanalysators M und abbildender Hilfssysteme festgelegt.

4.4.1 Optische Bänke

Es sind unterschiedliche Anordnungen des Messaufbaus möglich, jedoch sind die in 4.4.1.1 bis 4.4.1.4 beschriebenen Anordnungen zu empfehlen.

4.4.1.1 Objekt und Bild im Endlichen

Bei Prüfungen, bei denen Objekt und Bild eine endliche Entfernung vom Prüfling besitzen, müssen die in den Bildern 1 und 2 dargestellten Konfigurationen verwendet werden. Bei diesen Anordnungen sind zwei der drei Grundelemente (Prüfling P, Testfigureneinheit TTU und Bildanalysator M) entlang der Schieberichtung parallel zueinander und senkrecht zur Bezugsachse beweglich. Gewöhnlich ist der Prüfling P fixiert und die beiden anderen Elemente sind, wie in den Bildern dargestellt, beweglich.

Wenn elektrooptische Komponenten, wie z. B. Bildverstärker, zu prüfen sind, werden abbildende Hilfssysteme zur Erzeugung eines Testfigurenbildes auf dem Eingang des Prüflings P verwendet. Das Bild am Ausgang des Prüflings P wird von dort zum Bildanalysator M übertragen. Der entsprechende Aufbau ist in Bild 2 dargestellt.

4.4.1.2 Objekt im Unendlichen

Bei Prüfungen, bei denen sich das Objekt im Unendlichen befindet (d. h., die Testfigureneinheit TTU befindet sich in der Brennebene des Kollimators K), müssen Anordnungen ähnlich der in Bild 3 dargestellten verwendet werden. Wenn außeraxiale Messungen durchzuführen sind, darf der Kollimator K zur Einstellung eines Objektfeldwinkels ω um eine Achse durch den Achspunkt der Eintrittspupille des Prüflings P und senkrecht zur Bezugsachse z geschwenkt werden (siehe Bild 3).

Alternativ dazu darf der Kollimator K fixiert sein, und Prüfling P und Bildanalysator M werden gemeinsam um die Eintrittspupille geschwenkt. In diesem Fall sind die Halterungsvorrichtungen für den Prüfling P und die Bildanalysatorgleitbahn B beide zu einer sich drehenden Grundplatte starr fixiert (diese Anordnung wird daher als „Drehtisch“-Typ bezeichnet).

4.4.1.3 Bild im Unendlichen

Es ist die gleiche Anordnung wie in 4.4.1.2 (Bild 3) zu verwenden, wobei der Bildanalysator M und die Testfigureneinheit TTU gegeneinander auszutauschen sind.

4.4.1.4 Objekt und Bild im Unendlichen

Bei Systemen, welche mit im Unendlich liegenden Objekt und Bild zu prüfen sind, ist eine Anordnung ähnlich der in Bild 4 dargestellten zu verwenden. Wenn außeraxiale Messungen durchzuführen sind, sollte der objektseitige Kollimator K mit der Testfigureneinheit T zur Einstellung eines Objektfeldwinkels ω um eine Achse durch den Achspunkt der Eintrittspupille des Prüflings und senkrecht zur Bezugsachse z des Prüflings schwenkbar sein. Der bildseitige Dekollimator R muss zusammen mit dem Bildanalysator M um den Bildfeldwinkel ω' um eine Achse durch den Achspunkt der Austrittspupille des Prüflings und senkrecht zu seiner Bezugsachse z schwenkbar sein, und er wird entsprechend den Prüfkriterien nachfokussiert.

4.4.2 Testfigureneinheit TTU

Die Testfigureneinheit TTU besteht aus einer Beleuchtungsquelle und einer Testfigur.

4.4.2.1 Testfigur

Abhängig von den Eigenschaften des Prüflings dürfen mehrere verschiedene Typen von Testfiguren verwendet werden. Gebräuchlich sind Lochblenden, Spalte, Kanten, Gitter und selbstleuchtende Testfiguren, wie leuchtende Drähte. Das Ortsfrequenzspektrum der Testfigur, das für die Messung der OTF verwendet wird, muss mit einer durch die erforderliche Messgenauigkeit bestimmten Genauigkeit bekannt sein. Das tatsäch-