

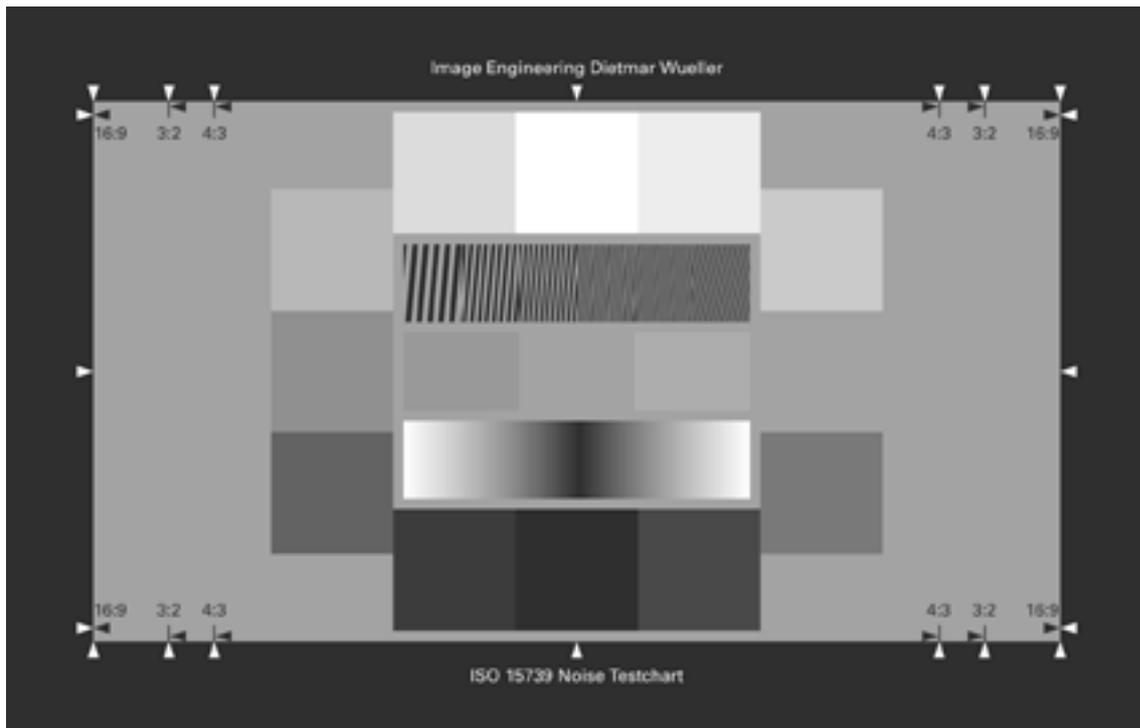
Testverfahren für digitale Kameras

Seit der Vorstellung des ersten physikalischen Testverfahrens in Deutschland durch das Testinstitut Image Engineering, das unter anderem für c't die Digitalkameras testet, haben sich die Kameras einen großen Schritt weiter entwickelt. Nicht nur die Auflösung ist gestiegen, auch die Bildqualität insgesamt ist deutlich besser geworden. In diesem Zuge haben sich auch die Kriterien für die Unterscheidungsmerkmale zwischen den einzelnen Geräten verschoben. Eine Tatsache, der regelmäßig in einer kompletten Überarbeitung des Tests Rechnung getragen wird. Hier nun ein Überblick über die ermittelten physikalischen Eckdaten.

Objektcontrast

Über ein Testbild, wie es in der ISO-Norm 14524 beschrieben ist, ermitteln wir mit Hilfe eines kreisförmig angeordneten Graustufenkeils die so genannte opto-elektronische Übertragungsfunktion OECF (opto electronic conversion function). Dieser hochtrabende Ausdruck bezeichnet die charakteristische Eigenschaft digitaler Kameras, Helligkeiten in digitale Werte im Bild umzusetzen. Die Kurve wird getrennt für alle drei Farbkanäle Rot, Grün und Blau bestimmt und liefert eine ganze Menge wichtiger Informationen. Eine solche Information ist der Dynamikumfang (auch als Objektcontrast bezeichnet). Er beschreibt den maximalen Kontrast in der aufgenommenen Szene, den die Kamera wiedergeben kann. Überschreitet der Kontrast in der Szene den Objektcontrast der Kamera - z.B. bei Sonnenschein – so geht die Zeichnung, also die Wiedergabe von Details, verloren. Man spricht davon, dass Lichter ausfressen oder die Schatten zulaufen. Mit diesem Problem haben auch Diafilme zu kämpfen, die es auf einen Umfang von etwa 8 Blendenstufen bringen. Der Negativfilm ist da wesentlich toleranter und kann Kontraste von bis zu 12 Blendenstufen aufzeichnen. Ermittelt wird der Wert über die Differenz der Belichtung, die zur Sättigung führt und der Belichtung die benötigt wird um ein dunkles Graufeld zu erzeugen, bei dem die Bildstörungen (also das Rauschen) nur ein Drittel des Nutzsignals betragen.

Die Digitalkameras der heutigen Generation liegen bei etwa 10 Blendenstufen im Objektcontrast, was in dem meisten Situationen ausreichend ist – vorausgesetzt, die Belichtung stimmt. Der Objektcontrast kann als Verhältnis der Lichtreflexion von der hellsten zu dunkelsten Stelle im Bild, in Dichten (der logarithmischen Angabe des Verhältnisses) oder in Blendenstufen (1 Blendenstufe = ca. 0,3 Dichten) angegeben werden. Für einen Objektcontrast von 1000:1 ergeben sich damit 3 Dichten oder 10 Blenden. Der von c't früher in Dichten angegebene Objektcontrast lässt sich durch Multiplikation mit 3.3 relativ einfach in die nunmehr angegebenen Blendenstufen umrechnen.



OEFC

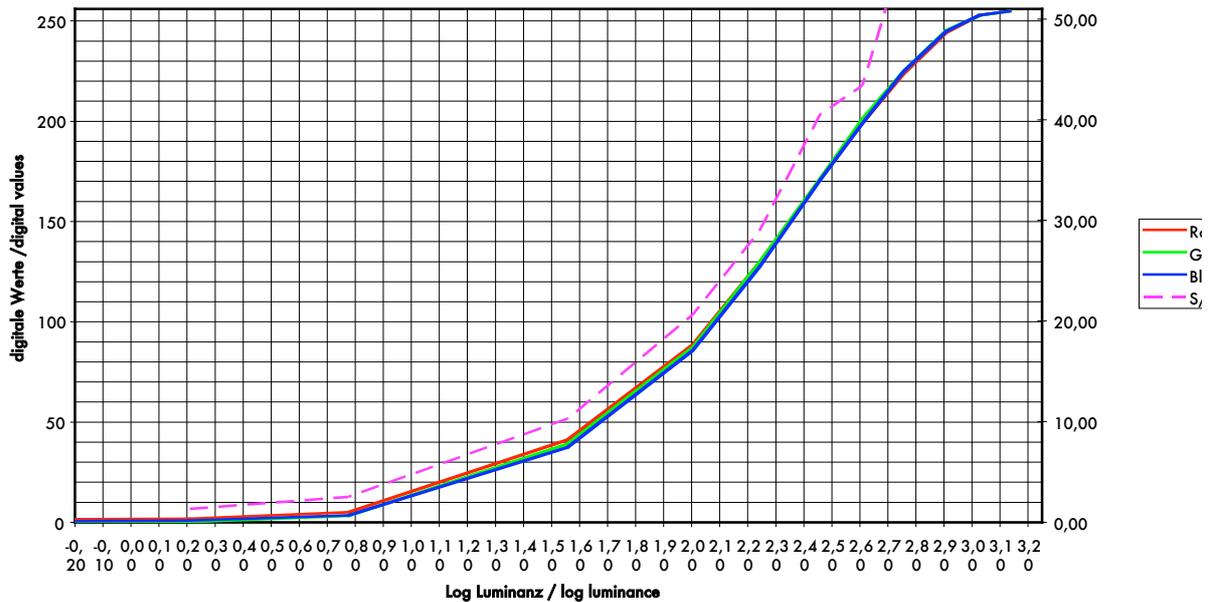
Mit diesem Chart werden Dynamik, Bildumfang, Empfindlichkeit, Weißabgleich und Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt.

Der Objektkontrast, den eine Kamera erfassen kann, wird mit höherer Empfindlichkeitseinstellung geringer. Aus diesem Grunde wird nun der mögliche Kontrast bei der geringsten einstellbaren Empfindlichkeit einer Kamera (oft ISO 100) und bei ISO 400 gemessen. In den c't-Tabellen finden Sie die Angabe für die geringstmögliche Empfindlichkeitseinstellung, größere Werte sind besser.

Bildumfang

Der Bildumfang zeigt, wie viele der 256 Helligkeitsstufen in jedem Farbkanal von den digitalen Kameras tatsächlich genutzt werden; also wie gut die interne Tonwertkorrektur funktioniert. Die Daten werden ebenfalls aus der OEFC gewonnen. Angegeben wird ein Wert für den Bildumfang in digitalen Stufen (Digitalwerten). Optimal sind 256 Stufen, bei weniger als 245 Stufen verschenkt die Kamera wertvollen Dynamik-Spielraum.

OECF



Signal-Rausch-Verhältnis

Das Signal-Rausch-Verhältnis (S/N_x) ist ein Maß für die Störungen („Grieseln“) im Bild, die durch interne Berechnungen und Effekte wie thermisches Rauschen hervorgerufen werden. Je höher das S/N_x, desto weniger Störungen sind im Bild sichtbar. Gemessen wird das S/N_x in Anlehnung an ISO 15739.

Jeder Sensor in einer Digitalkamera produziert solche Störungen. Dabei gibt es grundsätzliche Zusammenhänge. Ein Bereich der Störungen ist das so genannte „fixed pattern noise“. Es bezeichnet die Tatsache, dass jedes Pixel auf einem Sensor eine leicht andere Empfindlichkeit besitzt. Das führt dazu, dass eine einfarbig weiße Fläche nicht einfarbig weiß abfotografiert wird, sondern eine pixelige Struktur aufweist. Diese Unterschiede sollten von Kameraherstellern in der Kamera abgefangen werden, weil sie bei jeder Kamera zwar unterschiedlich, aber immer gleich sind. Sie werden über eine Weißkalibrierung intern korrigiert.

Eine weitere Quelle für die Störungen ist das thermische Rauschen. Dabei entstehen Ladungen nicht durch Lichteinfall wie gewünscht, sondern zufällig durch Temperatureinflüsse. Diese Störungen verdoppeln sich mit einem Temperaturanstieg von etwa 7 °C. Je länger die Belichtungszeit ist, desto mehr dieser Störungen werden gesammelt. Die Bilder digitaler Kameras werden also um so besser, je kälter es wird und je kürzer die Belichtungszeit ist. Aus diesem Grunde wird im Testlabor die Temperatur immer auf 23°C +/- 2°C gehalten, um vergleichbare Bedingungen zu schaffen.

Die Stärke des Rauschens hängt aber auch von der Größe des Sensors bzw. jedes einzelnen Pixels ab. Kleinere Sensoren sind lichtunempfindlicher, das bedeutet sie liefern weniger Ladung bei gleicher Lichtmenge. Das Rauschen bleibt aber gleich, weshalb es im Verhältnis stärker sichtbar wird. Auch durch die Farbberechnung zu RGB Bildern kann so genanntes Farbrauschen entstehen. All diese Rauscharten werden in dem Testbild erfasst und vom eigentlichen Bildinhalt getrennt und ausgewertet.

Das Signal-Rausch-Verhältnis ist stark von der gewählten Empfindlichkeit abhängig; je größer die ISO-Einstellung, desto stärker wird das Rauschen im Vergleich zum Nutzsignal. Wir geben es daher für die minimale ISO-Einstellung und ISO 400 an.

Weißabgleich

Damit ein Bild bei unterschiedlichen Lichtquellen neutral wirkt, muss in der Kamera ein Weißabgleich durchgeführt werden. Die Qualität des Abgleichs lässt sich über den Abstand der RGB Werte in einer grauen Fläche bestimmen. Stimmen die drei Werte überein, so ist der Weißabgleich perfekt. Die Kamera muss unter Tageslicht Bedingungen zeigen, was die Automatik kann.

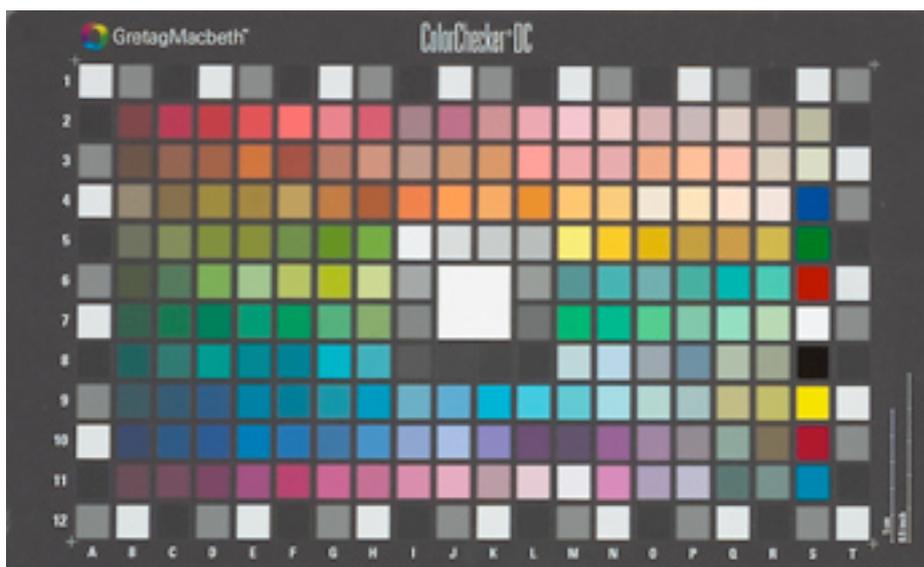
Messtechnisch wird der Weißabgleich bestimmt, indem der perfekt graue Keil des OECF Testcharts aufgenommen und die RGB Werte der einzelnen Felder auf Farbunterschiede überprüft werden. Dabei kann es vorkommen, dass ein Grau mittlerer Helligkeit auch grau oder neutral wiedergegeben wird. Ein helleres oder dunkleres Grau kann aber vielleicht einen Farbstich aufweisen. Es muss also wirklich ein Graukeil und nicht nur eine Graukarte aufgenommen werden, um die Qualität des Weißabgleichs zu bestimmen. Der Weißabgleich findet noch keinen Niederschlag in den c't-Tabellen, bei schlechten Werten aber im Text zu der jeweiligen Kamera.

Empfindlichkeit

Gemessen wird auch die ISO Empfindlichkeit der Kameras. Dabei gibt es nach ISO 12232 drei verschiedene Werte, die ermittelt und angegeben werden können. Da nur eine dieser Zahlen aus JPEG Dateien bestimmt werden darf, wird auch nur diese Zahl in den Messwerten angegeben. Es handelt sich dabei um die so genannte sättigungs-basierte Empfindlichkeit. Dabei wird der Belichtungswert ermittelt, bei dem die Kamera die Sättigung erreicht und mittels eines Faktors wird die ISO Empfindlichkeit in Anlehnung an die Filmeempfindlichkeit analoger Kameras angegeben. Die beiden rauschbasierten Empfindlichkeitswerte dürfen nur aus nicht komprimierten Daten, also aus Tiff und Rohdateien ermittelt werden. Für Kameras bei, denen dieses möglich ist, werden auch diese Werte ermittelt, gehen aber nicht in die finale Bewertung der Kamera ein.

Farbwiedergabe

Ein schönes Bild zu erhalten ist die eine Sache, die exakte Reproduktion einer Szene eine andere. Ob ein Bild gut aussieht, lässt sich messtechnisch nicht so einfach erfassen, aber wie nahe die Farben eines Testcharts an den Originalfarben liegen, kann gemessen werden. Verwendet wird als Testchart für diese Messung der ColorChecker DC von Gretag Macbeth, weil dieser den Farben einer natürlichen Szene nachempfunden ist. Die Messwerte sind gegenüber anderen Testlaboren deutlich weiter aufgeschlüsselt. Ermittelt werden nicht nur der Farbabstand ΔE für jedes Farbfeld, sondern auch die Differenzen in der Farbsättigung, dem Farbton und der Helligkeit. Diese Werte lassen Rückschlüsse auf die kamerainterne Farbverarbeitung zu.



ColorChecker DC

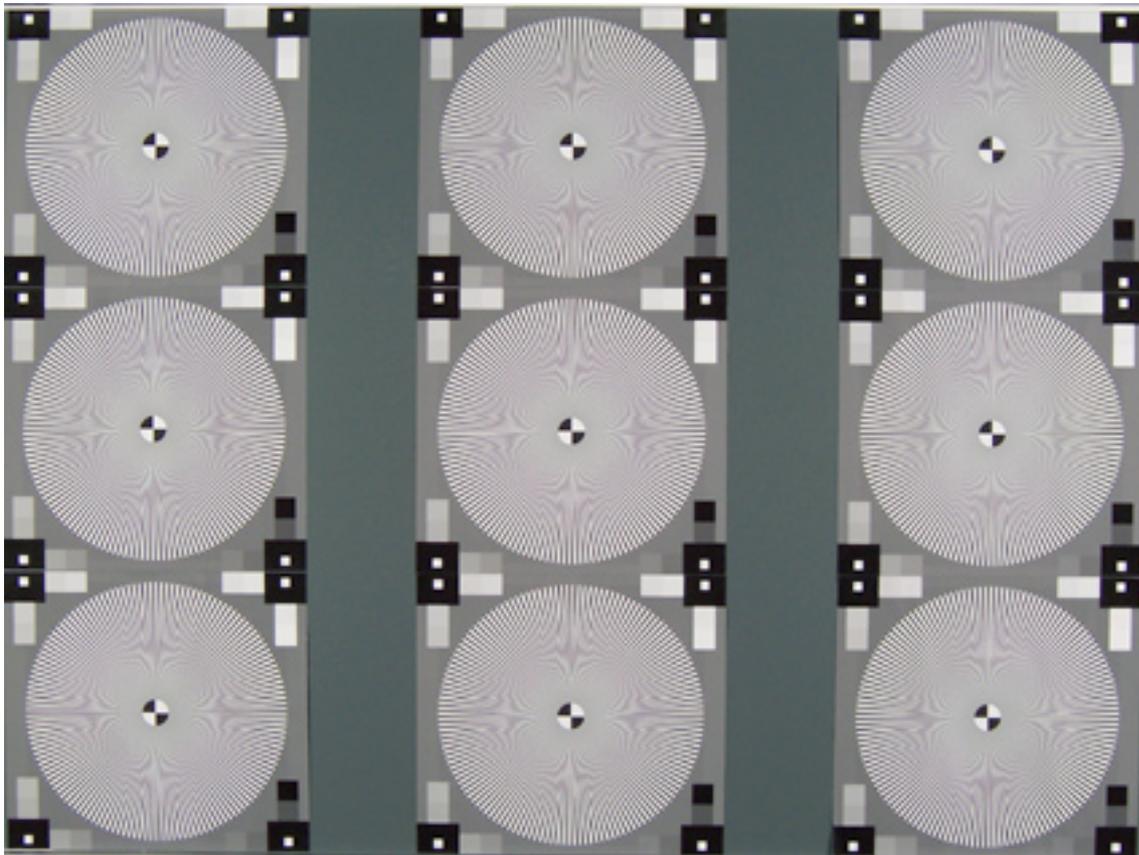
Das Farbchart von Gretag Macbeth gibt Aufschluss über die Farbwiedergabe.

Auflösung

Das bisher verwendete visuelle Auflösungs-Messverfahren über Testcharts mit so genannten Landolt-Ringen zeigte besonders bei jenen Kameras Schwächen, die übermäßige Bildschärfungen durchführen; außerdem war es in gewissen Grenzen von der „Tagesform“ des Beurteilenden abhängig. Aus diesem Grund hat unser Labor in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für physikalische Optik im früheren Fachbereich Photoingenieurwesen an der Fachhochschule Köln ein neues Messverfahren entwickelt. Es verwendet insgesamt neun über das Bildfeld verteilte „Siemenssterne“ mit sinusförmigem Helligkeitsverlauf und ermittelt mit Hilfe von Phasenshift- und Fit-Verfahren die Modulationsübertragungsfunktion MTF. Dabei wird über alle auslesbaren Frequenzen ermittelt, wie hoch der Kontrast von den dunkelsten zu den hellsten Bereichen ist. Dieses Verhältnis nimmt mit zunehmender Frequenz - also feineren Details - ab, bis die Details bei einem Kontrast von 10% nicht mehr erkennbar sind. Die Grenzfrequenz (Anzahl Linienpaare gerechnet auf die Bildhöhe) wird für acht Richtungen eines jeden Sterns errechnet und gemittelt. Über neun Sterne auf vier unterschiedlichen Bildhöhen vermitteln diese Werte ein exaktes Bild von der Leistungsfähigkeit von Kamera und Objektiv. In der Messwert-Tabelle finden Sie ab jetzt getrennt aufgetragene Werte für die Bildmitte und gemittelte Werte für den Bildrand und die Bildecken.

Das Verfahren weist zumindest für die Bildmitte eine ausreichende Übereinstimmung mit den bisher visuell ermittelten Werten auf, so dass die Auflösungswerte mit älteren Tests größenordnungsmäßig vergleichbar bleiben.

Das neue Verfahren ist inzwischen an mehr als 80 unterschiedlichen Kameras getestet worden und führt zu deutlich zuverlässigeren Ergebnissen als alle bisherigen Verfahren auf der Basis einer anerkannten physikalische Analysetechnologie. Diese Tatsache veranlasst derzeit die ISO-Kommission, der auch Dipl.-Ing. Dietmar Wüller von Image Engineering angehört, die Integrationsmöglichkeit in den Auflösungsstandard ISO 12233 zu testen.

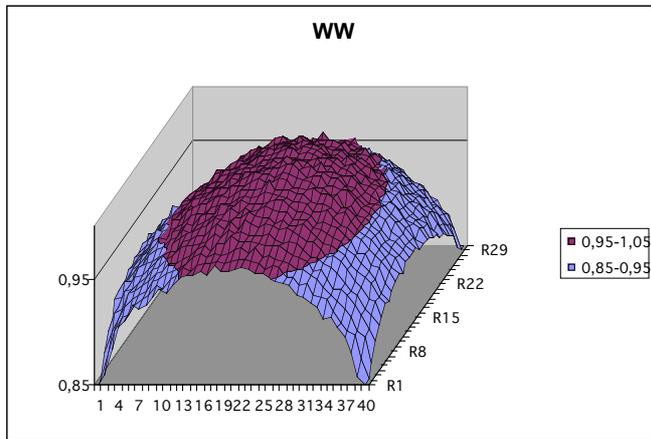


Siemenssterne

Die Bestimmung der Grenzauflösung wird nun über ein Testchart mit insgesamt 9 Siemenssternen vorgenommen.

Vignettierung

Nicht nur bei Consumer-Kameras mit mäßigen Objektiven gibt es das Problem, dass eine einheitlich graue Fläche in den Ecken dunkle Ränder bekommt. Zur Messung der Randabschattung wird ein Milchglas über die Spezialbeleuchtung, einer „Ulbrichtschen Kugel“, extrem gleichmäßig ausleuchtet. Bei Kameras mit Zoomobjektiven wird die Vignettierung bei drei Brennweiten in Unendlich-Stellung an jeweils 1200 Stellen im Bild gemessen und als Mittelwert ausgegeben.

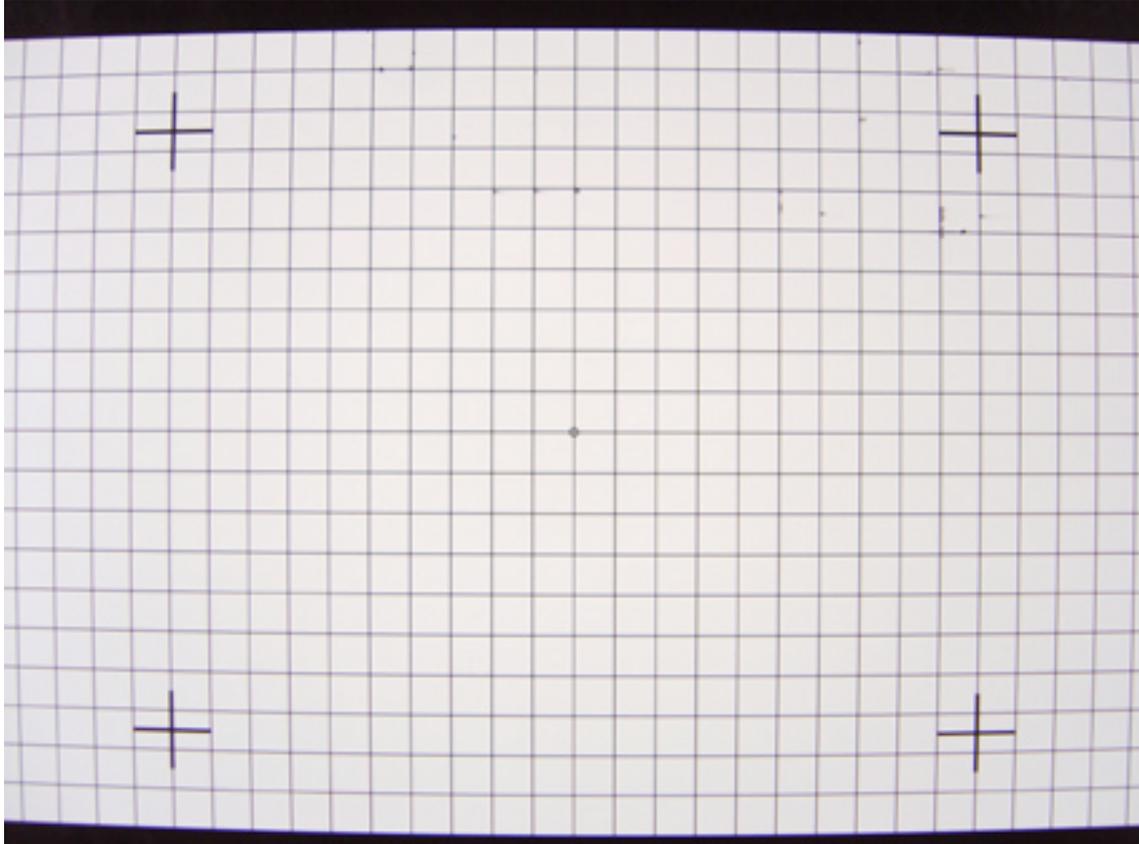


Vignettierung

Ein gleichmäßig beleuchtetes Milchglas wird für die Bestimmung der Randabschattung verwendet.

Verzeichnung

Verzeichnung bedeutet die Neigung eines Objektivs, gerade Linien besonders an den Bildrändern verkrümmt abzubilden. Auch ein Rechteckmuster bleibt kein Rechteck, sondern bekommt eine tonnen- oder kissenförmige Struktur. Angegeben wird die Stärke dieses Effektes über das Verhältnis der Durchbiegung einer Linie am Bildrand in Verhältnis zur gesamten Bildhöhe. Diese Art der Angabe wird auch als TV-Verzeichnung bezeichnet. Ermittelt wird dieser Wert bei Zoom-Objektiven in beiden Brennweiten-Endstellungen.

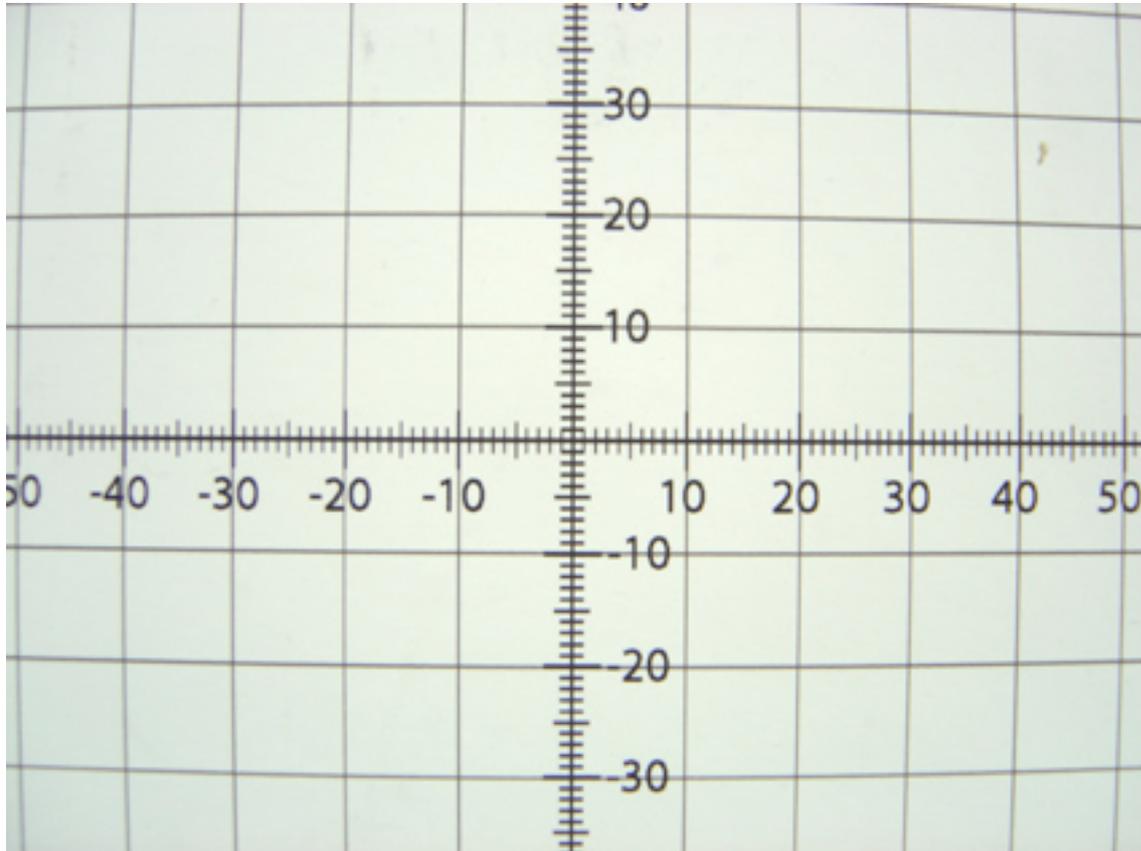


Verzeichnung

An einem Rechteckgitter lässt sich präzise die TV-Verzeichnung bestimmen.

Maximaler Abbildungsmaßstab

Wir nehmen einen Maßstab mit der optimalen Brennweite aus der kürzesten Entfernung auf, bei der die Kamera noch scharf stellt und ermitteln den Maßstab. Angegeben wird dieser in Breite x Höhe in mm der abgebildeten Fläche. Dieser Wert ist entscheidend für die Makro-Fähigkeiten des Objektivs, findet aber derzeit noch keine Berücksichtigung in den c't-Messwerten.



Maßstab

Für die Ermittlung des maximalen Abbildungsmaßstabes dient dieses Testchart.

Stromverbrauch

Die Messung des Stromverbrauchs erfolgt bei allen Kameras über einen Testzyklus, wobei die zeitlich aufgelöste Messung auch die Angabe in bestimmten Betriebszuständen ermöglicht. Daraus werden ausgekoppelt der Verbrauch im Aufnahmemodus mit ein- und ausgeschaltetem Display, dem Hauptstromverbraucher der meisten Kameras. Für die Verbrauchsmessung werden mehrere tausend Messwerte erfasst. Die Angabe erfolgt in Wattsekunden, je geringer der Wert ist, desto weniger Batteriestrom wird benötigt.

Einschaltzeit

Ergibt sich gerade eine spannende Situation, die darauf drängt festgehalten zu werden, so ist es störend, wenn die Digitalkamera 30 Sekunden braucht, bis sie einsatzbereit ist. Die Zeit, die vergeht bis eine Kamera einsatzbereit ist, lässt sich aus dem zeitlichen Verlauf des Stromverbrauchs ermitteln.

Auslöseverzögerung

Die Auslöseverzögerung wird nun nicht mehr über die Stromverbrauchskurve, sondern mittels eines kalibrierten LED-Lauflichts ermittelt. Nachdem die Kamera vorher auf unendlich fokussiert wurde, startet ein Leuchtpunkt auf einem Feld von 10 x 10 Leuchtdioden mit dem Drücken des Auslösers und wandert jede hundertstel Sekunde um eine LED weiter. Anhand der gerade aufleuchtenden LED lässt sich im geschossenen Bild die Auslöseverzögerung einschließlich Fokussierung ablesen. Das gleiche

Verfahren (nur mit höherer Lauflicht-Frequenz) wird verwendet, um präzise und problemlos die Belichtungszeit einer Kamera bis zu einer 1/10.000 Sekunde ermitteln zu können.

Bildfolgezeiten

Wie schnell eine Kamera nach einer Aufnahme wieder einsatzbereit ist kann auch gemessen werden. Dazu wird die Kamera so schnell wie möglich hintereinander ausgelöst und die Zahl der Bilder über die Zeit ermittelt.

Pixelfehler

Es kommt vor, dass CCD Sensoren in digitalen Kameras Defekte aufweisen, diese sollten möglichst schon in der Kamera korrigiert werden. Wir schauen über eine Schwarzaufnahme nach, ob das der Fall ist. Dabei ist es wichtig, dass die Aufnahme mit Abdeckkappe direkt nach dem Einschalten der Kamera mit einer definierten, möglichst 4 Sekunden langen Belichtungszeit angefertigt wird. Alle Pixel in diesem Schwarzbild, die einen Digitalwert über 20 aufweisen werden dabei als defekt gewertet.

Subjektive Beurteilung

Neben der messtechnischen Erfassung der Kameras bewerten wir die Abbildungsleistungen auch anhand von Probeaufnahmen und durch standardisierte Ablichtungen unserer c't-Kiste. Die reproduzierbare Beleuchtung stellen `Hedler H25`-Halogenleuchten mit Softboxen sicher, für die Tageslichtaufnahmen mit Farbfilter-Folien mit 5500 K Farbtemperatur. Die Bewertung erfolgt anhand des subjektiven Bildeindrucks am kalibrierten Monitor, jeweils zu Farbeindruck, Schärfe, Belichtung, Detailwiedergabe, Farbrauschen, Moirés, Blooming und Kompressionsartefakten. Die Testbild-Bewertungen beziehen sich stets auf das aktuelle Testfeld und sind deshalb mit früheren Tests nicht vergleichbar.

Die abgedruckten Testbilder zeigen einen unbearbeiteten Ausschnitt der Testkiste. Der eingeklinkte, rot umrandete Ausschnitt enthält die kleinste Schriftprobe und einen Teil des Siemenssterns in zweieinhalbfacher Vergrößerung. Die gezeigten Abbildungen können auf Grund der geringen Größe und des Tiefdruckverfahrens übrigens nur einen groben Anhaltspunkt für die zu erwartende Bildqualität der Geräte liefern. Komprimierte Versionen der Original-Testbilder sind unter <http://www.heise.de/ct/ftp/testbilder> im Internet abrufbar.

© 11/2003 Heise Zeitschriften Verlag und Image Engineering Dipl. Ing. Dietmar Wüller, Köln