

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras

Präsentation Köln/Messe

14.06.2000

1. Grundlegende Probleme bei der Erstellung eines Testverfahrens

1.1 Drei Phasen der Konzeption

Die Erstellung eines Testverfahrens gliedert in folgende drei Phasen auf:

- 1) Anwenderanalyse: Betrachtung der relevanten Anwender und evtl. eine Klassifikation
- 2) Technische Analyse und Umsetzung: Finden und Implementieren von einzelnen Testmethoden
- 3) Auswertungsrelation: Entwicklung einer Relation/Schlüssel zwischen den Meßergebnissen und dem Anwender

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

1.2 Anwenderanalyse

Als grundlegenden ersten Schritt müssen die relevanten Anwender betrachtet und analysiert werden. Es muss klar sein welche Bedürfnisse sie besitzen, in welchem Umfang sie gewisse Eigenschaften ausreizen und welche Fachkenntnisse für die Interpretation eines Testergebnisses sie mitbringen. Dabei zeigt sich in den meisten Fällen, dass es den Anwender nicht gibt sondern man unterschiedliche Anwenderklassen unterscheiden muss. Welche Klassen wie relevant sind und wen man ansprechen möchte ist eine zusätzliche Grundlage für das weitere Vorgehen.

1.3 Technische/methodische Analyse

Auf technischer Seite ist es notwendig, das Testobjekt zu charakterisieren. Hilfreich sind Informationen aus der Historie und Konstruktion. Die Aspekte, die in der Fertigung und Entwicklung am aufwendigsten sind, stellen meist praxisrelevante Qualitätsmerkmale dar. Da hier sehr viel internes Know-How angesiedelt ist, sind diese Informationen gut gehütete Geheimnisse der Hersteller, die dem Tester nur bedingt zur Verfügung stehen. Handelt es sich um renommierte Technologien, kann man auf bestehende Standards und Erfahrungen zurückgreifen. Bei neuen Technologien sind in der Regel Beobachtungen, eigene Erfahrungen sammeln und eine intensive Recherche und Austausch mit anderen Fachleuten erforderlich. Dies führt zu neuen, nichtstandardisierten Verfahren.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

1.4 Auswertungsrelation

Hier greift das nachhaltigste Problem eines guten Testverfahrens. Schafft man es nicht, einen sinnvollen und praxisnahen Schlüssel zwischen den technischen Eigenschaften eines Gerätes und deren Sinn und Verwertbarkeit beim Anwender zu finden, wird das Testverfahren keine befriedigenden Ergebnisse liefern. Der Schwerpunkt dieses Schlüssels ist klar beim Anwender anzusetzen, da ein Test nicht dem Selbstzweck dienen darf sondern verwertbar bleiben muss.

Ein Kernproblem stellt die Vereinfachung, d.h. Ergebnisse in einer möglichst eindimensionalen Skala oder einer Rangliste anzugeben. Eine Mindestvoraussetzung dafür ist die Beschränkung auf nur eine Anwenderklasse.

Dabei bleibt es immer noch schwierig und teilweise unmöglich mehrere Eigenschaften eindeutig zusammenzufassen.

Man sollte auch in Frage stellen, ob dies überhaupt sinnvoll ist: In der Praxis besitzt in den seltensten Fällen ein Bewerber genug Know How um sich von allen anderen zu distanzieren. Meistens verteilen sich die Fähigkeiten so, dass jeder seine Schokoladenseite hat. Diese Information durch eine Vereinheitlichung auf eine einfache Skala herauszuglätten bedeutet dem Leser oder Anwender wichtige Detailinformationen für eine optimierte Nutzung vorzuenthalten. Auf der anderen Seite bedeutet ein Zuviel an Information den einfachen Leser zu verwirren.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2. Aufbau und Inhalt eines Testverfahrens für digitale Kameras

2.1 Anwenderklassen

Im Bereich der "einfachen" Digitalkameras zeichnen sich drei Anwenderklassen ab:

Der **Gelegenheitsfotograf** ist bereits aus der analogen Fotografie bekannt. Ihm dient die digitale Kamera als Medium für "Erinnerungsfotos" im Album. Die Ansprüche an die Bildqualität sind gering, wichtiger ist das einfache Handling das keine besonderen Vorkenntnisse erfordern darf. Das bedeutet zuverlässige Automatik-Funktionen für die Belichtung und die Weiterverarbeitung.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

Parallel zur Verbreitung des Internet hat sich der **Webfotograf** bzw. der **Gelegenheitsfotograf mit fundierten Computerkenntnissen** etabliert. Hier stellt die digitale Kamera ein schnelles digitales Eingabegerät dar. Unter unterschiedlichen Lichtverhältnissen eingesetzt werden die Bilder oft moderat nachbearbeitet und es werden Ausschnitte benutzt. Die Ansprüche bezüglich Farbwiedergabe, Auflösung und besonders der Bildbearbeitung sind höher als beim Gelegenheitsfotografen.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

Das breitesten Spektrum verlangen der **ambitionierte Amateur** und der **Semiprofi**. Ersterer handelt vorwiegend nach ästhetischen Grundsätzen wogegen Zweiter pragmatisch orientiert ist. Je nach Interessengebiet wird das volle Spektrum an qualitativen und quantitativen Eigenschaften einer Kamera gefordert. Dazu kommen zu den oben genannten die Faktoren Verzeichnung, Helligkeitskonstanz, Gleichmäßigkeit der Auflösung über das gesamte Bild, stabile Farbkorrektur bei unterschiedlichen Lichtquellen, Homogenität von Farbflächen und Rauschen. Zusätzlich muss die Kamera höhere Anforderungen in Handling, Verarbeitung, Speicherressourcen und Betriebsdauer erfüllen.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

Eine Sonderstellung nimmt der **professionelle Fachanwender** ein. Um in seinem Bereich die geforderten Leistungen sinnvoll zu erreichen werden oft proprietäre Einrichtungen verwendet und es steht ein hohes Budget zur Verfügung. Untersuchungen in diesem Bereich verlangen ein an das Fachgebiet angepasstes Testverfahren. Die Testkriterien bleiben zwar die selben aber die Bewertungsschlüssel variieren erheblich.

Diese Anwendergruppe soll im Folgenden außen vor bleiben.

2.2 Technische Prüfkriterien des Testverfahrens

Um ein Testverfahren mit ausreichender Bandbreite zu generieren, muss man die oben genannten Gruppen eins bis drei bedienen. In den weiteren Betrachtungen beschränken wir uns auf Kriterien die die Bildqualität betreffen. Folgende Eigenschaften bestimmen in ihrer Summe die Bildqualität einer digitalen Kamera und besitzen dabei eine unterschiedliche Nutzerrelevanz.

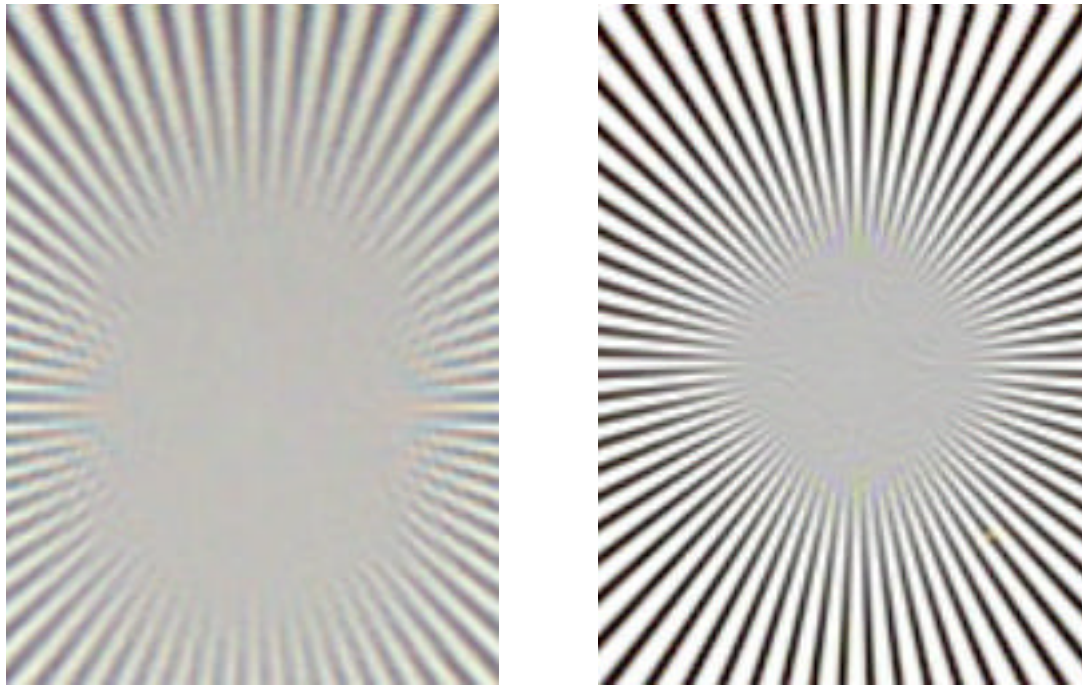
**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.2.1 Auflösung

Mit der Auflösung einer digitalen Kamera wird die Fähigkeit beschrieben, feine Strukturen der Vorlage zu erkennen und wiederzugeben. Dazu ist es notwendig, dass der Aufnahmesensor der Kamera in horizontaler und vertikaler Ausrichtung ausreichend Bildpunkte generieren kann. Die damit gelieferte Pixelzahl und Bildgröße ist allerdings nicht alles. In dem Komplettsystem der Kamera befinden sich mehrere leistungsbegrenzende Elemente wie Objektiv, pre-processing oder Dateikomprimierung. Aus diesem Grund ist es notwendig anhand geeigneter Vorlagen die effektive Auflösung der Kamera zu bestimmen. Die Auflösung ist für alle Anwender relevant, die viel Detailinformationen benötigen.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

Abbildung 1.a - b: Dieselbe Vorlage mit gleicher physikalischer aber unterschiedlicher effektiver Auflösung.



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.2 Verzeichnung

Konstruktionsbedingte Einschränkungen des Objektivs führen in der optischen Abbildung zu einer Verformung von Linien die nicht durch die Bildmitte verlaufen. Diese Linien können entweder zur Bildmitte hin oder von ihr weg gebogen werden. Besonders kritisch ist die Verzeichnung bei der Darstellung von geometrischen oder grafischen Objekten, z.B. Architektur oder technische Skizzen.

Abbildung 2: Starke tonnenförmige Verzeichnung.



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.3 Farbsäume/Farbfehler

Sowohl durch den Einsatz der Filtermaske auf dem CCD-Sensor als auch durch Abbildungsfehler des Objektivs entstehen im Bild an Schwarz-Weiß-Kanten Fehler in Form von farbigen Säumen. Dieser Defekt tritt sowohl in der bildmäßigen Fotografie als auch bei der Darstellung von grafischen Vorlagen unangenehm auf. Für die Optimierung von Digitalkameras wäre es interessant zu bestimmen welche Farbsäume durch das Objektiv und welche durch den CCD-Sensor hervorgerufen werden.

Abbildung 3: Farbsäume an Kanten außerhalb der Bildmitte.



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.4 Rauschen

Mit Rauschen bezeichnet man die inhomogene Wiedergabe einer homogenen Fläche. Verursacht wird das Rauschen hauptsächlich durch physikalische Ungleichmäßigkeiten im CCD-Sensor, die als statisches Rauschen bezeichnet werden, und durch statistische Ungenauigkeiten der Signalverarbeitung, das so genannte dynamische Rauschen. Außerdem ist es sinnvoll Helligkeitsrauschen und Farbrauschen zu unterscheiden, da der visuelle Eindruck beider Effekte für den Betrachter unterschiedlich ist. Unangenehm ist es vor allem für den anspruchsvollen Anwender.

Das Rauschen im Bild sollte bei unterschiedlichen Helligkeiten (digitalen Stufen) ermittelt werden.

Abbildung 4: Rauschen in einer homogenen Fläche



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.5 Artefakte

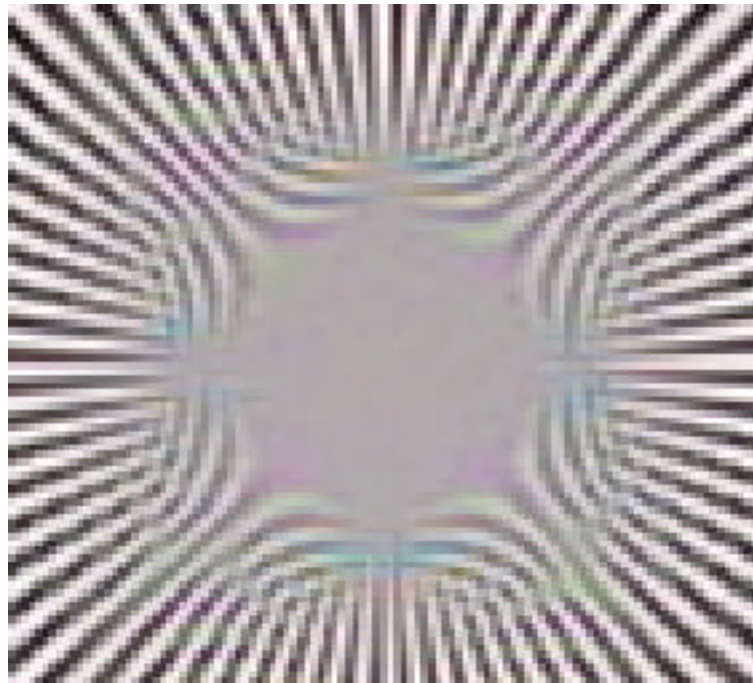
Sowohl durch das pre-processing als auch durch die Komprimierung können im Bild künstliche Strukturen auftreten die in der Vorlage nicht vorkommen. Artefakte können sich unterschiedlich darstellen. Typisch für die Komprimierung sind Doppellinien, homogene Blöcke in feinen Strukturen oder strukturierte Blöcke in homogenen Flächen, sogenannte Cluster. Bei extremem pre-processing kommt es auch vor, dass in feinen Strukturen Linien und Ränder verschmelzen oder völlig neue künstliche Linien entstehen. Die Messung und Bewertung von Artefakten gestaltet sich in der Praxis als außerordentlich schwierig und ist subjektiv oft besser beschreibbar.

Abbildung 5: Artefakte an einer Kante durch JPEG-Komprimierung



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

Abbildung 6: Strukturartefakte durch Moiré und/oder Aliasing-Filter



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.6 Scharfzeichnung

Die Scharfzeichnung ist ein übliches Werkzeug, die subjektive Abbildungsqualität eines Bildes zu erhöhen. Vom einfachen Anwender begrüßt, wird sie für den anspruchsvollen zu einem Problem für die Weiterverarbeitung. Auch führt eine zu hohe Scharfzeichnung zu einem deutlichen Verlust der Natürlichkeit. In ihrer Ausprägung hängt sie von mehreren Faktoren ab. Dazu gehören der lokale Kontrast der Kante, deren Schärfe und Ausrichtung. Variiert die Scharfzeichnung sehr stark mit der Ausrichtung der im Bild vorkommenden Strukturen, so kann sich eine richtungsabhängige Inhomogenität der Darstellung ergeben. Die Messung und Bewertung von Scharfzeichnung ist sehr schwierig und wird deshalb meistens subjektiv durchgeführt. Ein Ansatz über die SFR erscheint sinnvoll.

Abbildung 7: Scharfzeichnung an Kanten



Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.2.7 Signaldynamik und Grauwertwiedergabe

Eine grundlegende Eigenschaft der Kamera ist die Umwandlung von Objekthelligkeiten in Bildhelligkeiten. Dies wird durch die OECF, die optoelectronische Umwandlungsfunktion, beschrieben. Sie ist für alle drei Nutzerklassen relevant. Für den Einsteiger ist es wichtig, dass die Eingangsdynamik sprich der maximale Helligkeitsumfang eines Objektes der noch einwandfrei im Ausgabebild dargestellt werden kann, hoch genug für z.B. kontrastreiche Urlaubsbilder ist. Für den anspruchsvollen Anwender ist der Verlauf der OECF wichtig. Gerade in den Lichtern und Schatten tritt oft ein nichtlineares Verhalten ein das zu einer signifikanten Verfälschung der Grauwertwiedergabe führen kann.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

Anmerkung:

Die Kalibrierung der OECF ist unumgänglich, wenn eine Kamera in der Messtechnik verwendet wird. Sobald eine CCD-Kamera in der Fertigungs- und Messtechnik subpixelgenau justiert und berechnet sind nur so exakte Positionsmessungen möglich.

Die Messung der OECF muss messtechnisch objektiv erfolgen.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.2.8 Farbwiedergabe, Farbräume und Weißabgleich

Für den einfachen Anwender stellt ein wirksamer Weißabgleich, das heißt die interne Anpassung der Farbwiedergabe auf Lichtquellen mit stark variierender spektraler Zusammensetzung, ein entscheidendes Merkmal dar. Je anspruchsvoller der Anwender wird desto höher sind seine Anforderungen in Bezug auf Genauigkeit der Farbwiedergabe und Größe des Farbraumes. Nur ein ausreichend großer Farbraum gestattet es eine anspruchsvolle Vorlage zufriedenstellend zu erfassen.

Die Messung von Farbräumen und Farbwiedergaben ist ein sehr komplexes Gebiet. Gerade hochvariable Umgebungseinflüsse, wie unterschiedliche Farbtemperaturen der Beleuchtung und schwankende Betriebstemperatur und Luftfeuchtigkeit erschweren es erheblich für eine digitale Kamera präzise Angaben zu machen. In einem gewissen Rahmen ist es akzeptabel, subjektive Beurteilungen zu treffen, eine objektive Messung verdient aufgrund des erforderlichen Aufwandes enorme Anerkennung.

Die Bestimmung des Farbraumes einer Digitalkamera ist ohne Zugriff auf die Rohdaten nicht möglich. Es kann lediglich das Verhältnis von bekannten Farben in einer Vorlage zu den Bilddaten aufgezeigt werden.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.2.9 Verteilung der Abbildungsleistungen über dem Bildort

Ursachen für Abbildungsfehler können unterschieden werden. Filtermaske und Komprimierung arbeiten bildortunabhängig, ihre Fehler kommen überall im Bild statistisch gleich vor. Helligkeitsverteilung und Fehler der optischen Abbildung zeigen eine deutliche Ortsabhängigkeit. Farbsäume, Verzeichnung und Auflösung zeigen eine Verschlechterung zum Bildrand.

Die Verteilung beziehungsweise Konstanz der Abbildungsleistung ist besonders für den anspruchsvollen Anwender wichtig. Wie in der klassischen Fotografie stellt die technische Dokumentation und Reproduktion die höchsten Ansprüche.

Die Messung der Verteilung stellt extreme Anforderungen an neue Testverfahren und eine Einschränkung für viele bestehende dar:

Verfahren mit einer oder wenigen Repräsentativmessungen bezüglich der Bildorte / Ausrichtungen können die Verteilung **nicht** ausreichend beschreiben. Dazu gehören auch die derzeit in der ISO beschriebenen Verfahren.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

2.3 Konzeptionelle Aspekte bei Durchführung und Auswertung des Tests

2.3.1 objektive - subjektive Beurteilung

Es ist nicht sinnvoll der objektiven oder der subjektiven Beurteilung pauschal den Vorzug zu geben. Die subjektive Vorgehensweise besitzt die Vorteile der hohen Verständlichkeit für den Anwender/Nutzer und einer relativ hohen Fehlertoleranz. Außerdem erfordert die objektive beziehungsweise apparative Vermessung einiger Eigenschaften einen enormen Aufwand oder ist derzeit noch nicht möglich. Bis zu einem gewissen Grad akzeptabel ist die subjektive Beurteilung bei Auflösung, Farbsäumen, Farbwiedergabe und Weißabgleich. Für Scharfzeichnung und Artefakte ist sie mangels geeigneter objektiver Verfahren sogar empfehlenswert.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

Die objektive Beurteilung, das heißt Vermessung der Eigenschaften, besitzt eine deutlich höhere Reproduzierbarkeit und ist vor allem dann erforderlich, wenn man absolute Aussagen zu Leistungen treffen möchte. Die objektive Vermessung von OECF, Verzeichnung, Rauschen ist praktisch standardisiert und sollte kein Problem darstellen.

Für die als sehr wichtig angesehenen Kriterien Auflösung und Farbe ist einer geeigneten objektiven Auswertung der Vorzug zu geben. Dabei sollte der technische Aufwand nicht vernachlässigt werden.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.3.2 Genauigkeit/Fehlertoleranz

Technische Aussagen beschreiten stets eine Gratwanderung. Zu genaues Arbeiten schränkt die Anzahl der möglichen Aussagen inakzeptabel ein. Möglichst viele Aussagen steigern die Fehlerrate. Dies stellt die eigentlich abzuschätzende Hürde dar. Welche Antworten/Genauigkeiten sind für den Anwender erforderlich? Können die zu testenden Probanden diese überhaupt erfüllen oder ist z.B. ihre Streuung zu hoch.

Bei Consumer-Digitalkameras kann man von einer relativ hohen Anwenderfehlertoleranz zu Gunsten anschaulicher Aussagen ausgehen. Außerdem ist die Serienstreuung der Testgeräte, z.B. das Transportschädenrisiko, hoch. Im Industriebereich und in der Entwicklung sieht die Situation umgekehrt aus.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.3.3 relative/absolute Beurteilungen

Bei einer relativen Beurteilung oder Skalierung wird ein Pool von Testgeräten untersucht. Dann wird für jedes Kriterium das Beste und das schlechteste Ergebnis ausgewählt und damit der Ergebnisraum definiert. Alle Probanden erhalten mit ihrer Bewertung eine relative Position in diesem Raum.

Für die absolute Skalierung muss bereits vor den Messungen definiert sein, wie ein Proband bewertet wird. Dies erfordert eine sehr präzise und sinnvoll konzipierte Testumgebung. Gut zu erreichen ist dies mit Standards, wie sie z.B. die ISO vorgibt.

Für neue Testverfahren ist die relative Beurteilung der einfachere Weg, da man für eine begrenzte Anzahl von Bewerbern sehr anschaulich eine Vergleichbarkeit erhält. Der entscheidende Nachteil entsteht, wenn später nachfolgende Bewerber den Ergebnisraum verlassen. Es kommt zum leidigen Nachbessern oder Anheben der Messlatte.

Auch bei einem in seiner Implementierung deutlich aufwendigeren absoluten Verfahren ist auf Grund der rasanten Technologieentwicklung ein Schutz vor Nachbessern nicht gewährleistet. Dennoch besteht eine größere Vergleichbarkeit zu anderen Tests und man kann effektivere Aussagen treffen wie sich die Geräte bezüglich Ihres Umfeldes verhalten werden. Für zuverlässige Eignungsaussagen eines Gerätes in einer bestimmten Anwendung ist eine absolute Messung klar vorzuziehen.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**

2.3.4 Darstellung der Ergebnisse

Jede Eigenschaft erfordert in der Bewertung eine eigene Skala. Testet man in allen oben genannten Punkten so ist im Extremfall das unmittelbare Ergebnis für den Tester aber sonst für niemand anderen mehr lesbar. Das andere Extrem, der Wunschtraum eines jeden Redakteurs, wäre eine Skala von eins bis X in der man alle Probanden eindeutig aufreihen kann. Diese radikalste Vereinfachung verursacht einen sehr starken Informationsverlust zu Lasten des interessierten Nutzers. Zusätzlich werden Nichteindeutigkeiten provoziert, die zwangsläufig zu Unzufriedenheit und Verwirrung führen. Für eine sinnvolle Darstellung ist vorab die genaue Einschätzung der Anwenderbedürfnisse und -vorkenntnisse erforderlich.

Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik

3. Fazit

Die Gestaltung eines Testverfahren für digitale Kamera ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, die über dessen wirklichen Nutzen entscheidet. In jedem Fall müssen Kompromisse und Vereinfachungen getroffen werden und man muss akzeptieren, dass ein Testverfahren nicht universell sein kann. Es sollte auch die Frage gestellt werden, ob ein universelles Verfahren sinnvoll ist. Zumindest in unserem Umfeld, wo unterschiedliche Interessengruppen vertreten sind, muss sie klar mit Nein beantwortet werden.

Da kein Verfahren einen universellen Absolutheitsanspruch erheben kann, sollte man regelmäßig im Auge behalten wie andere Verfahren arbeiten und was für Ergebnisse sie für welche Anforderungen liefern.

**Erwartungen an ein Testverfahren für digitale Kameras
copyright Anders Uschold, Digitaltechnik**