

Wissenschaftlicher Bericht

Thema:

Aktuelle Leistungsfähigkeit digitaler Kameras und
der Vergleich klassischer Bauweisen mit “analog”
gerechneten 35 mm - Wechselobjektiven mit
modernen digitalen Konzepten

Sachverständiger und Testlabor:

Anders Uschold
Anders Uschold Digitaltechnik
München, Deutschland

06. September 2002

Inhaltsverzeichnis:

1. Grundlagen
2. Intentionen und Hintergrund
 - a. Intentionen dieser Untersuchung
 - b. Analoge und digitale Konzepte
 - c. Geprüfte Kameras und Objektive
 - d. Testverfahren und Zuverlässigkeit
3. Aussagen und Ergebnisse Teil 1, Auflösung
 - a. Testumgebung, Grundeinstellungen
 - b. Systemwirkungsgrad
 - c. Nettodateigröße
 - d. Auflösung von der Bildmitte zum Bildrand
 - e. Verfahren zur Kompensation des Randabfall
 - i. Canon D 60
 - ii. Fuji S2 Pro
 - iii. Nikon D 100
 - iv. Olympus E-20P
4. Aussagen und Ergebnisse Teil 2, OECF
 - a. Eingabedynamik
 - b. Farbwiedergabe und Körnigkeit
 - i. ISO 100 bis 200, Tages- oder Blitzlicht
 - ii. ISO 400 bis 1600, Tages- oder Blitzlicht
 - iii. ISO 400 bis 1600, Kunstlicht
 - iv. Beliebige Empfindlichkeit bei Neonlicht oder Mischlicht
 - c. OECF
 - d. Scharfzeichnung und Kantenganalyse
 - e. Randabdunklung

5. Fazit

- a. Der Wettbewerb analog gegen digital
- b. Analog und digital optimierte Objektive
- c. Empfehlungen für den Fotografen

6. Erklärung

7. Informationen zum Gutachter

1. Grundlagen

1.a Aufgabenstellung

Das erste Ziel dieser Untersuchung ist ein genereller Vergleich der Leistungseigenschaften digitaler Kameras mit silberbasiertem Film. Das zweite Ziel ist eine quantitative Analyse von Objektiven, die nach Konzepten der klassischen filmbasierten 35 mm - Spiegelreflex-Architektur konstruiert sind und solcher die auf die Eigenschaften der digitalen Fotografie optimiert sind.

1.b Vorgabe

Umfang und Detailtiefe dieser Untersuchung wurden vom Testinstitut frei bestimmt.

1.c Standort

Anders Uschold Digitaltechnik, München.

1.d Sicherheit

Diese Untersuchung wurde auf Initiative von Anders Uschold Digitaltechnik, München durchgeführt und dient der allgemeinen Veröffentlichung. Aus diesem Grund sind weder diese Untersuchung noch Auszüge daraus als vertraulich klassifiziert.

1.e Beteiligte Personen

Die praktischen Tests wurden von den professionellen Fotografen Wolfgang Pulfer, Mathis Beutel und Stefan Obermeier durchgeführt. Die technischen Untersuchungen wurden umfassend von Anders Uschold durchgeführt. Keine sonstigen Personen oder Sachverständigen haben an dieser Untersuchung mitgewirkt.

1.f Zeitraum

11. Juli 2002 bis 6. September 2002

2. Intentionen und Hintergrund

2.a Intentionen dieser Untersuchung

Die grundlegende Absicht dieser Untersuchung ist die technisch fundierte Beantwortung von folgenden drei sehr wichtigen und aktuellen Fragen:

I. Stellen aktuelle digitale Kameras im professionellen Segment eine Alternative zu analogen Modellen dar, die auf Film basieren?

II. Wie verhalten sich “analog konstruierte” Objektive im Zusammenspiel mit einem elektronischen Sensor und welche Einschränkungen bestehen im Vergleich zu “digital konstruierten” Objektivten?

III. Welche Konsequenzen ergeben sich für den semiprofessionellen und professionellen Fotografen?

2.b Analoge und digitale Konzepte

In der aktuellen Fotografie dominiert übermächtig ein typisches Kameradesign: Die einäugige Spiegelreflex Kamera, SLR. Seit den sechziger Jahren bietet sie eine hervorragende Flexibilität in Verbindung mit Wechselobjektiven. Ein Gehäuse kann mit unterschiedlichsten Objektiven kombiniert werden, Universalisten wie Superzoomobjektive von 28 bis 300 Millimeter oder Spezialisten wie Macroobjektive oder extrem lichtstarke Teleobjektive oder Weitwinkel. Aber eine Sache hat sich in den letzten 40 Jahren nicht geändert: Der “Sensor” war immer der klassische silberbasierte Film.

Der Wechsel vom “analogen Sensor” mit seiner chemischen Bildverarbeitung zu einem digitalen Sensor mit elektronischer Bildverarbeitung bringt deutliche Veränderungen für die Verwendbarkeit der Objektive mit sich. Film zeigt sich als sehr unempfindlich gegen Änderungen in der Einfallrichtung der für ihn bestimmten Lichtstrahlen. Er kann sowohl senkrechte als auch geneigte Strahlenbündel gut erfassen. Für die Planung und Konstruktion von Objektivten ermöglicht dies einen großen Spielraum bei Eigenschaften wie Durchmesser der Hinterlinse, Abstand zur Filmebene, mögliche Winkel einfallender Strahlenbündel und Kompaktheit der Bauweise.

Ein elektronischer Sensor ist hingegen sehr unflexibel und intolerant, wenn er mit stärker geneigten Lichtstrahlen konfrontiert wird. Vielschichtige Qualitätsverluste sind die Folge. Abhängigkeiten zwischen den Mikrolinsen des Sensors und in dem Objektiv können Interferenzen und Einschränkungen bei großen Blendenöffnungen verursachen. Der Farbquerfehler kann in einer ungünstigen Ausprägung seiner Breite mit der Struktur des Sensors Farbinterferenzen bilden, typische Bildverarbeitungsfunktionen wie Scharfzeichnung, Anti-Aliasing, Interpolation, verursachen bei einer größeren Schrittweite ebenso Farbfehler und Störungen. Die Einstellungen für Scharfzeichnung, Anti-Aliasing und Randabdunklungskorrektur verlangen viel Sorgfalt, da sie einen steten Kompromiss zwischen Unschärfe, Artefakten, Verluste in der Eingangs- und Ausgangsdynamik und einem Anstieg des Rauschen bedeuten.

2.c Geprüfte Kameras und Objektive

Für einen repräsentativen Überblick über Vor- und Nachteile wurden im Rahmen dieser Untersuchung drei aktuelle Kameras jeweils mit einem typischen Satz an Objektiven vermessen. Die ausgewählten Objektive für jede Kamera sind drei typische professionelle Modelle und ein sehr beliebtes und weit verbreitetes Consumermodell.

Canon D 60:

- Canon 16 - 35 mm 1 : 2.8
- Canon 70 - 200 mm 1 : 2.8 IS
- Canon 85 1.8 mm 1 : 2.8
- Sigma 28 - 200 mm 1 : 3.5 - 5.6 Compact

Fuji S2 Pro:

- Nikon 17 - 35 mm 1 : 2.8 ED AF-S
- Nikon 80 - 200 mm 1 : 2.8 ED AF-S
- Nikon 85 1.4 mm 1 : 2.8 AF
- Sigma 28 - 200 mm 1 : 3.5 - 5.6 Compact

Nikon D 100:

- Nikon 17 - 35 mm 1 : 2.8 ED AF-S
- Nikon 80 - 200 mm 1 : 2.8 ED AF-S
- Nikon 85 1.4 mm 1 : 2.8 AF
- Sigma 28 - 200 mm 1 : 3.5 - 5.6 Compact

Zum Zeitpunkt dieser Untersuchung stand auf dem Markt keine professionelle Digitalkamera mit Wechselobjektiven zur Verfügung. Aus diesem Grund wurde die Olympus Camedia E-20P als Repräsentant eines digital konzipierten Systemes ausgewählt. Der 5-Megapixel-Sensor und das Objektiv Olympus 9 - 36 mm 1 : 2 - 2.4 erfüllen die Anforderungen des Testfeldes. Die Werte von Lichtstärke, Brennweite, Kostenfeld und Qualitätsniveau machen Kamera und Objektiv zu einem angemessenen Probanden im Umfeld der oben genannten professionellen Objektive.

2.d Testverfahren und Zuverlässigkeit

Diese Untersuchung beruht auf nichtstandardisierten Testverfahren. Ein Grund dafür ist das Fehlen bestehender Standards, deren Komplexität und Funktionsumfang mächtig genug ist, die oben gestellten Fragen mit der gewünschten Aussagekraft zu beantworten. Die wissenschaftliche Testumgebung DCTau® bietet einen der komplexesten und umfassendsten Pools von Testfunktionen, die auf modernsten wissenschaftlichen Bildverarbeitungsmethoden basieren und die der Komplexität dieser Aufgabenstellung unserer Ansicht nach gerecht werden.

Diese Testumgebung beinhaltet auch verschiedene Kontrollmechanismen um die Gefahr schlecht justierter oder defekter Testgeräte zu reduzieren. Um die Zuverlässigkeit darüber hinaus zu verbessern, wurden auch Kontrollen mit mehreren Exemplaren des gleichen Modells und wiederholte Testdurchgänge durchgeführt, sofern erste Ergebnisse eine solche Sicherheitsmaßnahme nahe legten.

Alle getesteten Objektive und Kameras waren dedizierte Testgeräte, die von den Herstellern als solche zur Verfügung gestellt wurden.

3. Aussagen und Ergebnisse Teil 1, Auflösung

3.a Testumgebung, Grundeinstellungen

Alle Testgeräte wurden mit DCTau®, einer wissenschaftlichen Testumgebung für bilddatenverarbeitende Technologien, untersucht. Diese Testumgebung verwendet eine Rückwärtsklassifikation der Komponenten, um die Eigenschaften und verwendeten Technologien in den Testgeräten besser unterscheiden und beschreiben zu können. Weitere Informationen und Details erhalten Sie im White Paper zu DCTau 3.0, erhältlich unter www.uschold.com.

Für die Tests wurden folgende Kameraeinstellungen vorgenommen:

Schärfe:	Normal
Kontrast:	Normal
Belichtungskorrektur:	Individuelle Einstellungen für die beste Belichtung der jeweiligen Testtafel
Dateikomprimierung:	JPEG mit der besten Qualitätswiedergabe

3.b Systemwirkungsgrad

Der Systemwirkungsgrad ist sehr gut geeignet drei wichtige Systemeigenschaften zu beschreiben. Diese werden in den folgenden anonymisierten Grafiken beispielhaft erklärt. Das erste getestete Objektiv zeigt kritische Ergebnisse, da die Auflösung bei offener Blende sehr niedrig ist und es für eine gute Abbildungsleistung um 3 Blendenstufen geschlossen werden muss. Das zweite Objektiv zeigt insgesamt sehr gute Ergebnisse. Die Auflösung ist von der offenen Blende bis Blende 8 sehr gut. Das dritte Objektiv zeigt im Vergleich zu seinen sonstigen Werten zwar keinen kritischen Abfall bei offener Blende, die Gesamtleistung bewegt sich aber auf einem niedrigen Niveau. Weitere Testergebnisse und detailliertere Messungen und Werte erhalten Sie bei Anders Uschold Digitaltechnik. Informationen hierzu finden Sie in Abschnitt 7.

Der numerische Wert der Auflösung ist folgendermaßen zu lesen:

< 50 %:	Kritische Auflösung oder defekt
50 - 60 %:	Niedrige Auflösung, erweiterte Prüfung auf vorhandene Defekte empfohlen
60 - 70 %:	Mittelmäßig bis niedrige Auflösung
70 - 80 %:	Gute Auflösung
80 - 90 %:	Sehr gute bis ausgezeichnete Auflösung
90 - 100 %:	Ausgezeichnete Auflösung, erweiterte Prüfung auf Moiré-Effekte empfohlen
> 100 %:	Prüfung auf Moiré-Effekte notwendig, Artefakte sind sehr wahrscheinlich!

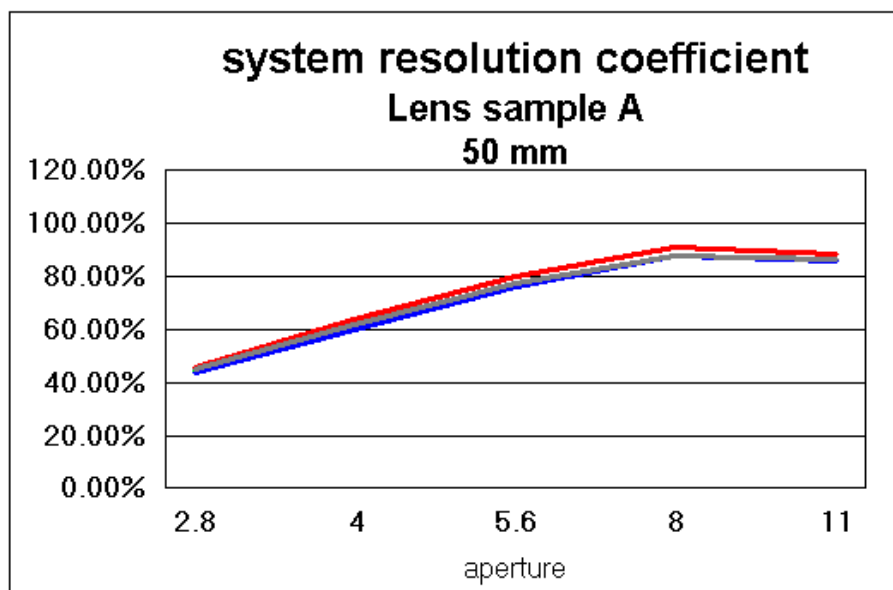
Die zweite Eigenschaft ist die Auflösung/Blenden-Relation. Die Funktion des Systemwirkungsgrades beginnt immer bei offener Blende und berücksichtigt vier bis sechs weitere Blendenstufen. Üblicherweise werden ab Blende 16 keine Messungen vorgenommen, da hier die physikalische Beugung die Auflösung deutlich begrenzt.

Die Form der Funktion zeigt, wie viele Blendenstufen das Objektiv zu schließen ist, um die Offenblendfehler zu reduzieren und hohe Auflösungsgrade zu erhalten. Auf der anderen Seite ist wichtig, dass sich der Bereich guter Auflösungsgrade über möglichst viele Blendenstufen erstreckt. Die Kuppe der Funktion stellt den bevorzugten Blendenbereich dar, ein "breites Plateau" ist sehr gut, eine schmale Spitze hingegen nicht.

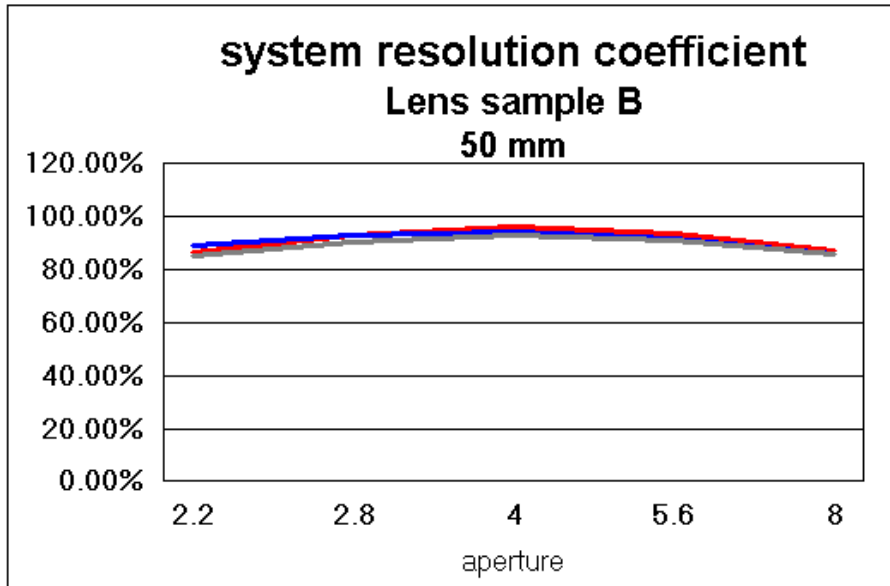
Die dritte Eigenschaft besitzt in erster Linie eine praktische Bedeutung. Unter schlechten Lichtverhältnissen ist eine hohe Objektivlichtstärke Voraussetzung für ein professionelles Arbeiten. Lichtstärke ist eine häufige Eigenschaft professioneller Objektive. Zeigt ein Objektiv der Lichtstärke 2.0 im Einsatz mit digitalen Kameras bei offener Blende starke Verluste der Auflösung und beginnt der bevorzugte Blendenbereich erst bei Blende 5.6, ergeben sich für den Fotografen Einschränkungen in der praktischen Arbeit und Flexibilität.

Betrachtet man dazu den hohen finanziellen Aufwand, der für lichtstarke Objektive notwendig ist, fällt bei diesen Modellen das PreisLeistungsverhältnis in digitalen Einsatz u. U. drastisch ab.

Grafik 1: Objektiv mit kritischem Abfall bei offener Blende und reduziertem bevorzugtem Blendenbereich



Grafik 2: Objektiv mit hervorragender Auflösung und weitem bevorzugten Blendenbereich



Grafik 3: Objektiv mit insgesamt niedriger Abbildungsleistung

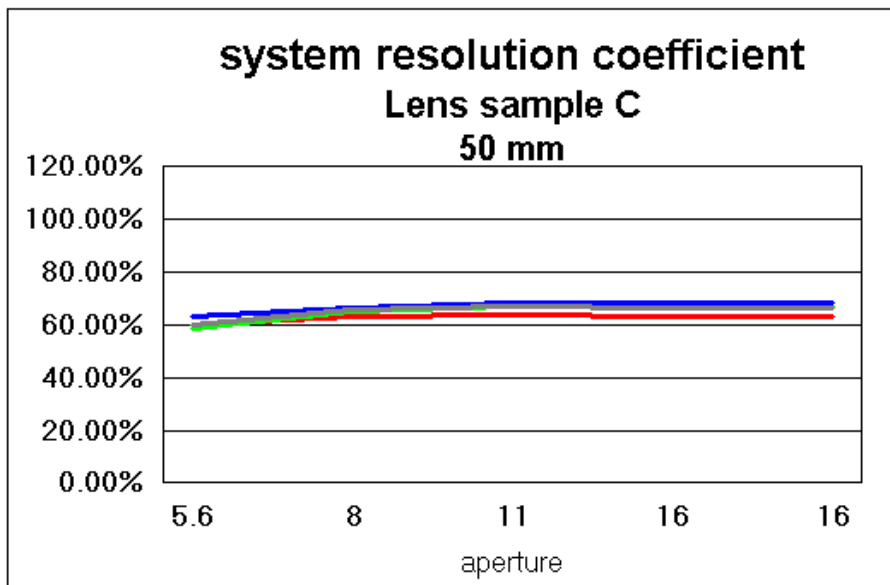


Tabelle 1: Systemwirkungsgrad und bevorzugte Blendenbereiche

Kamera und Objektiv	Brennweite	bevorzugter Blendenbereich	Zahl der zu schliessenden Blendenstufen	Auflösungsverlust bei offener Blende	Gesamtqualität
Canon D 60, ISO 100					
16 - 35 mm 1 : 2.8	16 mm	4.5 - 16	1.5 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	24 mm	8 - 16	3 Blenden	deutlich	niedrig
	35 mm	5.6 - 16	2 Blenden	kritisch	mittelmäßig
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	4.5 - 16	1 Blende	sehr gut	gut
	80 mm	5.6 - 16	0.5 Blenden	sehr gut	mittelmäßig
	200 mm	5.6 - 16	0 Blenden	sehr gut	niedrig
70 - 200 mm 1 : 2.8	70 mm	5.6 - 16	2 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	120 mm	4 - 16	1 Blende	mittelmäßig	gut
	200 mm	2.8 - 16	0 Blenden	sehr gut	niedrig
85 mm 1 : 1.8	85 mm	2.8 - 16	1 Blende	sehr gut	sehr gut
Fuji S 2 Pro, ISO 100					
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	5.6 - 11	2 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	24 mm	6.7 - 16	2.5 Blenden	kritisch	niedrig
	35 mm	5.6 - 16	2 Blenden	gut	gut
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	6.7 - 13	2 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	80 mm	5.6 - 16	0.5 Blenden	gut	gut
	200 mm	5.6 - 13	0 Blenden	sehr gut	niedrig
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	2.8 - 11	0 Blenden	sehr gut	sehr gut
	120 mm	4 - 8	1 Blende	gut	sehr gut
	200 mm	4 - 8	1 Blende	mittelmäßig	gut
85 mm 1 : 1.4	85 mm	2.8 - 8	2 Blenden	deutlich	gut
Nikon D 100, ISO 200					
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	4.5 - 11	1.5 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	24 mm	5.6 - 16	2 Blenden	deutlich	mittelmäßig
	35 mm	5.6 - 16	2 Blenden	gut	mittelmäßig
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	6.7 - 16	2 Blenden	gut	mittelmäßig
	80 mm	5.6 - 16	1 Blende	gut	mittelmäßig
	200 mm	5.6 - 11	0 Blenden	gut	niedrig
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	2.8 - 11	0 Blenden	sehr gut	gut
	120 mm	2.8 - 11	0 Blenden	sehr gut	gut
	200 mm	4 - 8	1 Blende	mittelmäßig	mittelmäßig
85 mm 1 : 1.4	85 mm	2.8 - 8	2 Blenden	gut	gut
Olympus E-20P, ISO 80					
9 - 36 mm 2 - 2.4	9 mm	2.4 - 6.7	0.5 Blenden	sehr gut	sehr gut
	18 mm	2.8 - 8	0.5 Blenden	sehr gut	sehr gut
	36 mm	2.8 - 6.7	0.5 Blenden	sehr gut	sehr gut

3.c Nettodateigröße

Die Nettodateigröße ist eine technische Einheit die es problemlos ermöglicht, den Informationsgehalt und die Auflösung digitaler Kameras ohne Rücksicht auf die Sensorgröße zu vergleichen. Dies besitzt den enormen Vorteil eines direkten Vergleichs zum Beispiel einer 4 Megapixel-Kamera mit einer 5 Megapixel- oder 6 Megapixel-Kamera ohne Umrechnen oder Skalieren. Weitere Details finden Sie im White Paper zu DCTau 3.0.

Die Interpretation der Nettodateigröße ist einfach: Zeigen zwei Kameras, unabhängig von ihrer Sensorgröße, deutliche Unterschiede in der Nettodateigröße, so bietet die Kamera mit dem höheren Wert dem Anwender mehr verwertbare Informationen und Bilddetails. In Tabelle 2 finden Sie einen Auszug der Ergebnisse dieser Untersuchung.

Bitte beachten Sie:

Die Nettodateigröße ist für eine bessere und verständlichere Vergleichbarkeit definiert worden. Sie ist keine absolute Einheit wie Dateigröße oder Pixelzahl. Sie ist nicht standardisiert, z. B. durch die DIN oder ISO, und es ist nicht beabsichtigt oder zulässig sie außerhalb von DCTau® zu referenzieren oder einzusetzen.

3.d Auflösung von der Bildmitte zum Bildrand

Der Verlauf der Auflösung von der Bildmitte zum Bildrand ist eine typische Darstellung der klassischen Modulationsübertragungsfunktion MTF. In der digitalen Fotografie verursacht die Wechselwirkung zwischen Sensor und der am Bildrand schräg einfallenden Lichtstrahlen eine Einschränkung. Die praktische Relevanz der Messwerte in der Mitte und den Bildecken ist jedoch niedrig, da die davon abgedeckten Flächen im Bild sehr gering ausfallen. Die höchste Relevanz haben Auflösungswerte bei einer Bildhöhe von 20 bis 60 Prozent, die die größte Fläche im Bild abdecken. Ein gut konstruiertes Objektiv oder Gesamtsystem sollte in diesem Bereich seine Stärken besitzen. In Tabelle 3 finden Sie Angaben und Bewertungen zum Randabfall der Auflösung.

3.e Verfahren zur Kompensation des Randabfalls

Die drei Hersteller der digitalen Kameras mit Wechselobjektiven verwenden verschiedene Verfahren um das Problem der analog konstruierten Objektive, wie sie in Abschnitt 2.b beschrieben sind, zu verringern.

3.e.i Canon D 60

Die Canon D 60 zeigt ein außergewöhnliches Verhalten, das so noch nie bei einem anderen Modell auf den Markt beobachtet wurde:

Bei Objektiven die wenig Einschränkungen mit der Verwendung digitaler Sensoren zeigen, steigt die Auflösung von der Bildmitte zum Bildrand an anstatt wie üblich zu fallen. Dieser Effekt basiert nicht auf Fehlern der Objektiv- und Filmebene, die im Test durch steigende Schärfentiefe kompensiert werden müssten. Das beste Objektiv dieses Tests zeigte diesen Effekt bei allen Blendenstufen, so dass optische Defekte als Ursache ausgeschlossen werden. Es wird vermutet, die spezifische CMOS-Architektur des Sensors erlaubt eine außergewöhnlich fortgeschrittene und ortsabhängige Scharfzeichnung vorzunehmen. So wird von der Bildmitte zum Rand kontinuierlich stärker scharfgezeichnet, um damit Objektivverluste auszugleichen. Bei einem Objektiv mit geringeren Verlusten tritt so eine Überkompensierung ein.

3.e.ii Fuji S 2 Pro

Die Vorteile der Fuji liegen in der wabenförmigen Struktur der Sensorzellen. Dieses typische Merkmal des Fuji-Super-CCD verringert farbige Interferenzen und Störungen zwischen dem Farbquerfehler des Objektivs und der Sensorstruktur. Im Gegensatz zu üblichen CCD- und CMOS-Sensoren ist mit weniger Moiré-Neigung zu rechnen.

3.e.iii Nikon D 100

Die Besonderheit von Nikon sind verschobene Mikrolinsen auf den CCD-Elementen. In der Mitte des Sensors befindet sich die Mikrolinse für den senkrecht einfallenden Lichtstrahl exakt über der Zelle. Zum Rand des Sensors werden die Linsen zunehmend verschoben, um die schräg einfallenden Lichtstrahlen auf ihrem Weg nicht zu beschneiden. Der Vorteil dieser Technik sind geringere Verluste und weniger Micro-Vignettierung bei schrägen Lichtstrahlen außerhalb der Bildmitte.

3.e.iv Olympus E-20P

Das System von Olympus verlangt keine besonderen Kombinationsverfahren, da das Objektiv von vornherein für die Verwendung eines digitalen Sensors berechnet und optimiert ist. Mit seinen parallelen Strahlenverläufen werden die Probleme aus Abschnitt 2.b nicht so relevant.

Tabelle 2: Ergebnisse zur Nettodateigröße

Kamera & Objektiv	Brennweite	offene Blende	2 Blenden geschlossen	4 Blenden geschlossen (3 Blenden beim 28 - 200 mm bei 200mm)
Canon D 60, ISO 100				
16 - 35 mm 1 : 2.8	16 mm	5.05 MByte	9.70 MByte	10.58 MByte
	24 mm	4.88 MByte	6.57 MByte	8.86 MByte
	35 mm	3.19 MByte	10.23 MByte	12.55 MByte
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	8.88 MByte	11.92 MByte	10.39 MByte
	80 mm	8.88 MByte	11.27 MByte	9.64 MByte
	200 mm	6.61 MByte	8.00 MByte	7.92 MByte
70 - 200 mm 1 : 2.8	70 mm	5.83 MByte	9.82 MByte	11.89 MByte
	120 mm	7.74 MByte	12.55 MByte	12.47 MByte
	200 mm	7.81 MByte	8.59 MByte	10.13 MByte
85 mm 1 : 1.8	85 mm	10.43 MByte	13.40 MByte	14.67 MByte
Fuji S 2 Pro, ISO 100				
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	6.18 MByte	13.04 MByte	12.06 MByte
	24 mm	3.47 MByte	10.63 MByte	13.24 MByte
	35 mm	8.51 MByte	10.62 MByte	12.96 MByte
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	5.37 MByte	11.24 MByte	8.40 MByte
	80 mm	9.70 MByte	12.01 MByte	12.82 MByte
	200 mm	10.79 MByte	7.97 MByte	7.43 MByte
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	11.33 MByte	12.57 MByte	8.45 MByte
	120 mm	10.30 MByte	13.39 MByte	6.57 MByte
	200 mm	6.16 MByte	8.69 MByte	3.51 MByte
85 mm 1 : 1.4	85 mm	7.11 MByte	11.25 MByte	13.32 MByte
Nikon D 100, ISO 200				
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	4.88 MByte	8.94 MByte	8.17 MByte
	24 mm	4.74 MByte	9.15 MByte	9.32 MByte
	35 mm	6.07 MByte	7.57 MByte	8.85 MByte
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	7.75 MByte	9.17 MByte	7.75 MByte
	80 mm	6.20 MByte	9.04 MByte	8.47 MByte
	200 mm	8.43 MByte	7.45 MByte	5.00 MByte
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	8.20 MByte	9.35 MByte	7.46 MByte
	120 mm	8.34 MByte	9.52 MByte	8.44 MByte
	200 mm	5.72 MByte	8.41 MByte	4.98 MByte
85 mm 1 : 1.4	85 mm	5.95 MByte	8.61 MByte	9.55 MByte
Olympus E-20P, ISO 80				
9 - 36 mm 2 - 2.4	9 mm	9.65 MByte	11.93 MByte	8.30 MByte
	18 mm	10.61 MByte	12.57 MByte	10.46 MByte
	36 mm	9.99 MByte	11.91 MByte	10.27 MByte

Tabelle 3: Ergebnisse der Auflösung von der Bildmitte zum Bildrand

Kamera & Objektiv	Brennweite	Verlust bei offener Blende	Verlust bei 2 Blenden geschlossen
Canon D 60, ISO 100			
16 - 35 mm 1 : 2.8	16 mm	deutlich	sehr gut
	24 mm	mittelmäßig	mittelmäßig
	35 mm	mittelmäßig	gut
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	mittelmäßig	sehr gut
	80 mm	sehr gut	sehr gut
	200 mm	gut	gut
70 - 200 mm 1 : 2.8	70 mm	mittelmäßig	sehr gut
	120 mm	deutlich	gut
	200 mm	gut	gut
85 mm 1 : 1.8	85 mm	gut	sehr gut
Fuji S 2 Pro, ISO 100			
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	deutlich	sehr gut
	24 mm	deutlich	mittelmäßig
	35 mm	mittelmäßig	gut
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	mittelmäßig	gut
	80 mm	sehr gut	sehr gut
	200 mm	sehr gut	gut
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	sehr gut	sehr gut
	120 mm	gut	sehr gut
	200 mm	gut	sehr gut
85 mm 1 : 1.4	85 mm	kritisch	gut
Nikon D 100, ISO 200			
17 - 35 mm 1 : 2.8	17 mm	deutlich	sehr gut
	24 mm	deutlich	sehr gut
	35 mm	gut	gut
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	28 mm	sehr gut	sehr gut
	80 mm	gut	sehr gut
	200 mm	sehr gut	sehr gut
80 - 200 mm 1 : 2.8	80 mm	sehr gut	sehr gut
	120 mm	sehr gut	sehr gut
	200 mm	sehr gut	sehr gut
85 mm 1 : 1.4	85 mm	mittelmäßig	sehr gut
Olympus E-20P, ISO 80			
9 - 36 mm 2 - 2.4	9 mm	mittelmäßig	sehr gut
	18 mm	mittelmäßig	sehr gut
	36 mm	sehr gut	sehr gut

4. Aussagen und Ergebnisse Teil 2, OECF

Neben der omnipräsenten und viel diskutierten Auflösung gibt es weitere wichtige Aspekte für den Fotografen. Die Kameras wurden von drei Profifotografen unter realen Aufnahmebedingungen bei ihrer täglichen Arbeit verwendet. Die Themen waren Mode, Studio, Porträts, Konzert, Nachtaufnahmen, Still-Life und Architektur. Die technischen Aspekte wurden komplett im Labor geprüft.

Alle praktischen Ergebnisse wurden zwischen den Fotografen und dem Labortester diskutiert.

4.a Eingabedynamik

Dynamische Bereiche, erfassbarer Objektcontrast und Tonwertwiedergabe sind Leistungen bilderrfassender Gerätes. Analoges Film kann Objektcontrast zwischen 7 und 9 Blendenstufen erfassen und wiedergeben.

Die Kameras zeigen die folgenden Eingangsdynamiken bzw. erfassbare Objektcontrast:

Tabelle 4: Vergleich der Eingangsdynamik

Kamera	Eingangsdynamiken	Äquivalenz zu Film
Canon D 60, ISO 100	8.5 Blenden	gut
Fuji S 2 Pro, ISO 100	8.9 Blenden	sehr gut
Nikon D 100, ISO 200	8.4 Blenden	gut
Olympus E-20P, ISO 80	8.6 Blenden	gut

4.b Farbwiedergabe und Körnigkeit

Farbwiedergabe und Körnigkeit sind schwierig zu bewertende Eigenschaften. Obwohl Testergebnisse zum Kamerafarbraum in verschiedenen Zeitschriften beeindruckend veröffentlicht werden, sind praktische Relevanz und Nutzen dieser Messungen als niedrig anzusehen. Die Erfordernisse für ein funktionierendes Color Management, korrekte Beleuchtung und Filterung unter realen Bedingungen sind außerhalb eines Studios oder im Presseinsatz nicht umsetzbar. Aus diesem Grund wurde für unsere Einschätzung die visuelle Beurteilung und der Vergleich von analogen und digitalen Bildern durch Experten herangezogen. Die Beobachtungen und Ergebnisse ergeben sich folgendermaßen:

4.b.i ISO 100 bis 200, Tages- oder Blitzlicht

Die Farbwiedergabe und Körnigkeit ist bei diesen Vorgaben überwiegend vergleichbar zu der analogen Films. Die Ergebnisse der digitalen Kameras wurden von den Berufsfotografen durchwegs als für ihre Arbeit geeignet bezeichnet.

4.b.ii ISO 400 bis 1600, Tages- oder Blitzlicht

Die Qualität der digitalen Aufnahmen befindet sich auf einem gleichwertigen bis besseren Niveau, als es von analogen Filmen erzielbar ist. In diesem Rahmen liefern die getesteten digitalen Kameras bessere Ergebnisse.

4.b.iii ISO 400 bis 1600, Kunstlicht

Die Ergebnisse der digitalen Kameras zeigen ein besseres Ergebnis als die analoger Filme bzw. ermöglichen Aufnahmen, die analog derzeit nicht möglich sind. Dies ist zum Beispiel durch eine nutzbare Empfindlichkeit von ISO 1600 bei Kunstlicht möglich. In der Nacht- und Konzertfotografie, wo es häufig zu schwierigen Kontrast- und Beleuchtungsverhältnissen kommt, ist zusätzlich die Kontrollfunktion der Kameramonitore besonders nützlich.

4.b.iv Beliebige Empfindlichkeit bei Neonlicht oder Mischlicht

Einstellungen der Farbtemperatur oder Lichtfarbe bieten überzeugende Möglichkeiten und eine Flexibilität, die bei analogen Film unter praktischen und ökonomischen Aspekten nicht möglich ist. Auch hier bietet der Monitor als Kontrollfunktion eine nicht zu unterschätzende Hilfe, die nicht nur die Belichtung sondern auch die Wahl der Farbtemperatur sinnvoll beurteilen lässt.

4.c OECF

Die Opto-elektronische-Umwandlungs-Funktion OECF ist das digitale Äquivalent zur Dichtefunktion analoger Filme. Eine geradlinige und gleichmäßige Form dieser Funktion ohne besondere Verzerrungen und Nichtlinearitäten gewährleistet eine präzisere Tonwertwiedergabe.

Tabelle 5: Vergleich der Tonwertwiedergabe

Kamera	Nichtlinearität	Äquivalenz zu Film
Canon D 60, ISO 100	sehr niedrig	sehr gut
Fuji S 2 Pro, ISO 100	niedrig, etwas weiche Schatten	sehr gut
Nikon D 100, ISO 200	hervorragend	hervorragend
Olympus E-20P, ISO 80	mittelmäßig, etwas weiche Schatten	gut

Alle getesteten Kameras zeigen eine gute bis ausgezeichnete OECF. Die optische Dichtefunktion des Filmes und die digitale OECF sind mittlerweile nahezu gleichwertig.

4.d Scharfzeichnung und Kantenanalyse

Scharfzeichnung ist keine typische digitale Bildfunktion. Auch im analogen Entwicklungsprozess erzeugen Entwicklerverarmungs- und Verdünnungsprozesse eine chemische Scharfzeichnung an Kanten im Bild. Es ist nicht die Gegenwart von Scharfzeichnung sondern ihr Ausmaß, das für die natürliche Wiedergabe eines Bildes verantwortlich ist. Zu viel Scharfzeichnung provoziert ein künstliches Aussehen, die Bilder erhalten einen Fernseh-Charakter. Scharfzeichnung bei sehr feinen Strukturen erzeugt häufig Artefakte wie Moiré-Effekte.

Die Stärke der Scharfzeichnung ist ein ständiger Kompromiss zwischen einer defensiven und aggressiven Strategie. Erstere erzeugt ein eher weiches Aussehen aber verbessert die Nachbearbeitung mit Bildverarbeitungsprogrammen. Letztere verleiht Bildern ein brisantes, "knackiges" Aussehen, das sich besser für die direkte Weiterverarbeitung im Drucker eignet. Die anspruchsvolle Bildverarbeitung hingegen wird erschwert.

Tabelle 6: Vergleich der Scharfzeichnungsstrategien

Kamera	Standardwiedergabe	Äquivalenz zu Film
Canon D 60, ISO 100	mittelmäßig bis leicht aggressiv	gut
Fuji S 2 Pro, ISO 100	mittelmäßig	sehr gut
Nikon D 100, ISO 200	weich	gut
Olympus E-20P, ISO 80	mittelmäßig bis leicht aggressiv	gut

Alle Kameras verwenden eine fortgeschrittene Scharfzeichnungstechnologie. Mit sehr komplexen und aufwändigen Analysen der lokalen Struktur schaffen sie es Kanten zu verstärken ohne gleichzeitig in feinen Strukturen starke Artefakte und Moiré-Effekte zu provozieren.

4.e Randabdunklung

Die Randabdunklung ist bei digitalen Kameras deutlich schwerer zu bewerten als bei analogen. CCD-Sensoren sind empfindlich gegen schräge Lichtstrahlen. Normalerweise ist der Lichtverlust bei der Verwendung eines Sensors höher als bei Film. Um diesen Nachteil zu reduzieren, wird die Empfindlichkeit des Sensors zu den Ecken kontinuierlich angehoben. Dies führt zu einem Anstieg des Rauschens und Verlust der Bilddynamik und Farbwiedergabe. In dieser Untersuchung wird nur der bildhafte Effekt der sichtbaren Randabdunklung besprochen.

Streuungen im Abfall des Lichtes zu den vier einzelnen Bildecken sind ein sehr gut geeigneter Indikator für mögliche Defekte und Störungen der optischen Zentrierung des gesamten Systems.

Tabelle 7: Randabdunklung und Streuung

Kamera	Lichtverlust in Blenden versch. Brennweiten und offener Blende / minus zwei Blenden	Bewertung	maximale Streuung
Canon D 60, ISO 100		gut	
16 - 35 mm 1 : 2.8	0.8/0.8 - 0.9/0.5 - 0.9/0.3	mittelmäßig bis gut	< 0.3 Blenden
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	0.8/0.5 - 0.3/0.3 - 0.5/0.2	gut	< 0.25 Blenden
70 - 200 mm 1 : 2.8	0.4/0.1 - 0.2/0.2 - 1.0/0.2	gut	< 0.35 Blenden
85 mm 1 : 1.8	1.2/0.1	sehr gut	< 0.2 Blenden
Fuji S 2 Pro, ISO 100		sehr gut	
17 - 35 mm 1 : 2.8	0.6/0.6 - 0.5/0.5 - 1.2/0.4	mittelmäßig bis gut	< 0.25 Blenden
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	1.0/0.7 - 0.3/0.3 - 0.7/0.2	mittelmäßig bis gut	< 0.3 Blenden
80 - 200 mm 1 : 2.8	0.2/0.2 - 0.1/0.1 - 0.9/0.0	sehr gut	< 0.1 Blenden
85 mm 1 : 1.4	0.9/0.1	sehr gut	< 0.1 Blenden
Nikon D 100, ISO 200			
17 - 35 mm 1 : 2.8	0.5/0.5 - 0.7/0.4 - 1.2/0.3	mittelmäßig bis gut	< 0.4 Blenden
28 - 200 mm 1 : 3.5 - 4.5	1.0/0.5 - 0.3/0.3 - 0.6/0.2	mittelmäßig bis gut	< 0.2 Blenden
80 - 200 mm 1 : 2.8	0.1/0.1 - 0.2/0.2 - 0.9/0.0	sehr gut	< 0.25 Blenden
85 mm 1 : 1.4	1.1/0.2	sehr gut	< 0.1 Blenden
Olympus E-20P, ISO 80	0.8/0.2 - 0.6/0.2 - 0.4/0.2	sehr gut	< 0.2 Blenden

Die Ergebnisse entsprechen in ihrer Ausprägung der analogen Fotografie. Die geringen Streuungen im Lichtabfall zu den vier Ecken belegen eine gute optische Justierung der getesteten Geräte.

5. Fazit

Für eine bessere Beschreibung der Antworten noch einmal die drei grundlegenden Fragen aus Abschnitt 2.a.:

I. Stellen aktuelle Kameras im professionellen Segment eine Alternative zu analogen Modellen dar, die auf Film basieren?

II. Wie verhalten sich “analog konstruierte” Objektive im Zusammenspiel mit einem elektronischen Sensor und welche Einschränkungen bestehen im Vergleich zu “digital konstruierten” Objektiven?

III. Welche Konsequenzen ergeben sich für den semiprofessionellen und professionellen Fotografen?

5.a Der Wettbewerb analog gegen digital

Der Wettbewerb analoger und digitaler Fotografie liefert folgende Ergebnisse. Diese sind jedoch nur für das Kleinbildformat anzusetzen:

i. In der anspruchsvollen Fotografie für Großformat- und Fine-Art-Prints, auf der Kombination von niedrig- bis mittelempfindlichen Filmen und leistungsfähigen Objektiven, ist die filmbasierte Fotografie der digitalen überlegen. Die Gesamtqualität und Detailtreue ist analog immer noch höher.

ii. Für Abzüge in kleinen bis mittleren Formaten und bei mittleren Empfindlichkeiten liefern alle getesteten Kameras Ergebnisse, die denen analoger gleichzusetzen sind.

iii. Bei Lichtverhältnissen, die hochempfindliche Filme verlangen oder bei Kunstlicht, Neonlicht oder Mischlicht, bietet die digitale Fotografie erstaunliche Vorteile und neue Möglichkeiten die mit herkömmlichem Film nicht zur Verfügung standen.

iv. Berücksichtigt man die meisten praktischen Anforderungen an die Fotografie, so sind digitale Kameras mittlerweile in der Lage mit analogen zu konkurrieren. Für den Einsatz bei Konzerten, wenig Licht und im Pressebereich bieten digitale Kameras Vorteile, mit denen analoge nicht mithalten können.

5.b Analog und digital optimierte Objektive

Die Frage nach dem richtigen Objektiv führt häufig auch zur Frage nach dem passenden System. Deshalb wurden bei analog optimierten Objektiven die Eigenschaften und Kompatibilität für den digitalen Einsatz mit den leistungsfähigsten Verfahren untersucht. So wird sicher gestellt, dass diese wichtige Frage mit der notwendigen Zuverlässigkeit beantwortet wird:

- i. Es findet ein Paradigmenwechsel statt: Die aktuelle Generation von 6 Megapixel Sensoren erreicht die Leistungsgrenze der bestehenden Kleinbildobjektive. Definierte sich der Auflösungs-Flaschenhals bisher durch den Sensor, so liegt er jetzt hauptsächlich bei der Leistungsfähigkeit des Objektivs.
- ii. Mit dem Objektiv als hauptsächlich begrenzenden Faktor, fällt für dieses System der Bedarf an noch höher auflösenden Kameras. Der Anwender sollte nicht mehr befürchten, dass sich seine jetzige Investition mit der nächsten verbesserten Generation von Kameras bezüglich der nutzbaren Auflösung als veraltet herausstellen wird.
- iii. Abgesehen von anspruchsvollen Anwendungsbereichen wie Studioreproduktion oder Großformatdruck, liefern digitale Kameras eine vergleichbare Qualität zu analogen.
- iv. Für gute Ergebnisse in der digitalen Fotografie erfordert es eine höhere Aufmerksamkeit, geeignete Kombinationen aus Kamera und Objektiv zu verwenden. Es besteht ein öffentlicher Bedarf für leistungsfähige Beurteilungen und Kompatibilitätstests, die den Anwender über "günstige und ungünstige Kombinationen" von Objektiv und Kamera informieren. Besonders bei lichtstarken Objektiven hilft dies ungünstige Fälle des PreisLeistungsverhältnisses zu vermeiden.
- v. Für eine weitere Steigerung der Auflösung wird es als sinnvoll angesehen sich von alten Traditionen zu trennen. Die für analogen Film konzipierte Kleinbildarchitektur erfährt in der Verbindung mit digitalen Sensoren Kompromisse und Einschränkungen. Die Entwicklung neuer digital optimierter Objektive ist zu empfehlen. Beachtet man die Eigenschaften moderner Sensoren, ist es zu befürworten eine völlig neu und digital konzipierte Architektur zu entwickeln. Diese kann bezüglich Abmessungen, zu erreichende Auflösungen, Lichtstärke, benötigte Bildwinkel, Brennweiten optimiert werden sowie bestehende Grenzen überwinden. Dazu gehören Effekte wie die Brennweitenverlängerung, die die verwendbaren Bildwinkel im vor allem im Weitwinkelbereich begrenzt.

5.c Empfehlungen für den Fotografen

Die Situation für den Fotografen gestaltet sich nicht besonders schwierig. Man muss nur seine persönlichen Bedürfnisse zu bestimmen und diesen folgen:

i. Wer bisher auf eine digitale Kamera gewartet hat, die den Leistungen der analogen Fotografie entspricht, darf getrost zugreifen. Betrachtet man Auflösung, Empfindlichkeit oder Filmeigenschaften, so stehen digitale Kameras nicht mehr hinten an. Unter schwierigen Lichtbedingungen übertreffen digitale Fähigkeiten und Möglichkeiten sogar das, was das Analoge bieten kann.

ii. Will ein Fotograf seine bestehende Objektivausrüstung aus Gründen der Investition oder der gleichzeitigen Nutzung von analog und digital behalten, so findet er in den getesteten 6 Megapixel-Kameras eine hervorragende digitale Lösung.

In diesem Fall wird dem Fotografen empfohlen, sich anhand aktueller Tests über die Kompatibilität und die Eignung seiner Objektive mit der gewünschten Kamera zu informieren. So kann er sein System optimal nutzen und sich vor einer Neuanschaffung vor einer möglicherweise schlechten Kombination absichern. Eine Quelle für diese Tests sollten Fachartikel in entsprechenden Magazinen oder Foren im Internet sein.

iii. Aus technischer Sicht ist die Entwicklung einer neuen digitalen Architektur der sinnvollste Weg Vorteile und Potentiale der digitalen Technologien mit den geringsten Kompromissen zu nutzen. Einige dieser Vorteile sind ein größerer nutzbarer Brennweitenbereich, höhere Lichtstärken, bessere nutzbare Auflösung, kleinere Bauweise und weite bevorzugte Blendenbereiche. Für den Profifotografen und den ambitionierten Amateur sichert ein optimiertes System auf längere Sicht eine effiziente und leistungsfähige Arbeit und Vorteile im professionellen Wettbewerb.

iv. Ein spezieller aber zunehmend wichtiger Aspekt ist der effiziente Umgang mit Daten. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass eine große Zahl an Pixeln zwar große Dateien produziert aber keinen Garant für eine scharfe und hochauflösende Aufnahme darstellt. Der Anwender sollte beachten, dass Speicherkarten, Bildarchivierung und der elektronische Transport von Bildern einen wichtigen Faktor von Zeit und Kosten darstellen. Sie alle verlangen einen effektiven und ökonomischen Umgang mit qualitativ hochwertigen Bilddateien. Je mehr Aufnahmen ein Fotograf erstellt, speichert und verbreitet, um so wichtiger wird für ihn eine gute Relation aus der Dateigröße und der darin enthaltenen Information. Bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Untersuchung findet sich das in einem hohen Systemwirkungsgrad und einer guten Nettodateigröße.

6. Erklärung

Diese Untersuchung wurde unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Sie basiert auf dem aktuellen Informationsstand, Daten und Spezifikationen, wie sie über die jeweiligen Hersteller zugänglich sind. Ferner wurden Informationen hinzugezogen, die im Bereich der Fachpresse bekannt sind.

Die in dieser Untersuchung verwendeten Testmethoden basieren nicht auf bestehenden Standards, wie zum Beispiel DIN oder ISO. Die Ergebnisse sind nicht dafür bestimmt und es ist nicht erlaubt, daraus allgemein gültige Aussagen abzuleiten und diese außerhalb des Kontext dieser Untersuchung isoliert zu verwenden.

Anders Uschold

München, Juni 21. 2002

Anders Uschold



7. Informationen zum Gutachter

Anders Uschold ist Diplominformatiker (TU), mit den Spezialisierungen wissenschaftliche Fotografie und digitale Bildanalyse. Als Privatdozent unterrichtet er digitale Bildverarbeitung und digitale Fotografie am Lehrstuhl für digitale Bildverarbeitung, Institut für Informatik, Technische Universität München.

Er ist von der Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für analoge und digitale Fotografie und Sachverständiger für bilddatenverarbeitende Technologien. Im Bereich der Standardisierung ist er Mitglied der DIN / ISO - committee phoki 2.2 / TC 42 WG18 , „Photography“.

Seit 1995 veröffentlicht er als Journalist kontinuierlich Berichte und Tests in verschiedenen deutschen Fachmagazinen.

Weitere Informationen zu Tests, Veröffentlichungen und Dienstleistungen erhalten sie unter:

Anders Uschold
Anders Uschold Digitaltechnik
Gleichmannstraße 9 / III
D-81241 München

e-mail: info@uschold.com
URL: <http://www.uschold.com>