

Natürliche Zähne – Eine Herausforderung

# Teil 3 – Die Digitalfotografie

Ein Beitrag von Naoki Hayashi, Kalifornien/USA

In der *dental dialogue* 8/08 beschrieb Naoki Hayashi, wie Zähne unauffällig rekonstruiert werden können, ohne den Patienten jemals persönlich zu Gesicht bekommen zu haben. Hierzu erläuterte er ein standardisiertes Vorgehen, das – bei konsequenter Einhaltung – eine treffsichere Reproduktion der Zahnfarbe anhand von Fotos ermöglicht. Die Voraussetzungen hierfür sind Kenntnisse über die Farbwahrnehmung und -entstehung sowie die korrekte Übermittlung der entsprechenden Farbinformationen. Hierfür ist – unter Berücksichtigung der korrekten Parameter – die Digitalfotografie unablässig. Doch wie fertigt man Digitalfotos an, mit denen sich zielsicher eine Farbbestimmung durchführen lässt? Naoki Hayashi erklärt im dritten Teil der Beitragsreihe den korrekten Umgang mit der digitalen Spiegelreflex-Kamera und macht deutlich, dass für ein aussagekräftiges Foto mehr nötig ist, als eine sündhaft teure Kameraausrüstung.

Indizes: Bildbearbeitung, Digitalfotografie, Farbmeterik, Kommunikationshilfsmittel

## Die Digitalfotografie – ein hilfreiches Instrument für den exakten Farbvergleich

In diesem Artikel widmet sich *Naoki Hayashi* der dentalen Digitalfotografie. Indem er wissenschaftliches über die Aufnahmetechnik beschreibt, schafft er die Voraussetzungen, die notwendig sind, um die digitale Fotografie als hilfreiches Mittel zur Beschaffung und Kommunikation von patientenspezifischen Farbinformationen nutzen zu können. Einer der wichtigsten Punkte ist in diesem Zusammenhang, dass eine ästhetische Restauration eine einheitlich geschlossene Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen dem Patienten, dem Zahnarzt und dem Zahntechniker erfordert. Diese muss sich in allen Bereichen – auch der Digitalfotografie – konsequent fortsetzen.

## Die Farbauswahl erfordert kompetentes Fachwissen

Um die Informationen, die im Beisein des Patienten gesammelt, erarbeitet und festgehalten wurden, korrekt übermitteln und begreifen zu können, ist es notwendig, die Fotografie und einiges Wissenswerte aus dem Bereich der Fototechnik zu beherrschen. Nur wenn wir wissen, was wir tun, kann das Resultat – in diesem Fall das Foto – zum Transport von Informationen (zur Kommunikation) verwendet werden. Ausgestattet mit dem nötigen Wissen, sind wir daher in der Lage, Fotos anzufertigen, die alle Parteien – den Patient, den Zahnarzt und den Zahntechniker – in ihrem Bestreben nach ästhetischem Zahnersatz unterstützen.



Abb. 56 Ein schönes Foto, aber irgendetwas stimmt nicht. Das Bild wurde falsch belichtet – um genau zu sein, es wurde unterbelichtet. Fotos mit falscher Belichtung sind nicht für die Farbbestimmung geeignet und werden den Techniker in Verlegenheit bringen



Abb. 57 Hier ist dasselbe Foto dargestellt, dieses Mal jedoch korrekt belichtet. Ein Foto ist dann korrekt belichtet, wenn es das Gesehene 1:1 wiedergibt. Gehen wir also davon aus, dass diese Abbildung die tatsächliche Situation darstellt, dann wäre es mit der Abbildung 56 nicht möglich, die Zahnfarbe zu rekonstruieren

## Fotografie

In den vorangegangenen Teilen wurde über die Bestimmung von Farbe und die Voraussetzungen, die hierfür notwendig sind, gesprochen. Die digitale Fotografie wurde in diesem Zusammenhang immer wieder genannt. In meinem Fall bilden Fotos einen Hauptbestandteil meiner Arbeit.

Das Foto ist – aus bereits genannten Gründen (vgl. dd 7 und 8/08) – ein sehr wichtiges Medium zur Übermittlung, Dokumentation und Verifizierung von Farbe. Im einfachsten Fall hilft es uns unheimlich bei ästhetischen Rekonstruktionen.

Wie wichtig hierbei genormte Lichtverhältnisse sind und wie wir diese gewährleisten sowie die Täuschungen, denen wir bei der Wahrnehmung von Farbe aufsitzen können, wurden bereits beschrieben. Im folgenden Teil soll dargestellt werden, welchen Einfluss die Digitalfotografie und der Monitor auf die Qualität der Fotos haben und wie bestimmte Merkmale, die ein Foto aufweist, interpretiert werden müssen und können.

### Die korrekte Belichtung

#### „... mit der korrekten Belichtung aufgenommen wurde, ...“

Wenn Sie die vorangegangenen Beitragsteile gelesen haben, so ist Ihnen diese Formulierung wahrscheinlich öfters aufgefallen. Auch in anderen Beiträgen wird dieser Satz beinahe Gebetsmühlenartig wiederholt. Um zu verhindern, dass diese Aussage zur Phrase wird, möchte ich an dieser Stelle versuchen, Ihnen zu erklären, was „mit der korrekten Belichtung“ gemeint ist.

Eines vorweg: um über Fotos und Farbe kommunizieren zu können, ist die korrekte Belichtung eine

absolute Bedingung. Fotos, die falsch belichtet wurden, werden den Zahntechniker spätestens nach der Einprobe in Verlegenheit bringen.

Die Mundaufnahme in Abbildung 56 wurde absichtlich mit einer zu geringen Belichtung aufgenommen. Die Aufnahme ist unterbelichtet. Abbildung 57 zeigt genau den gleichen Ausschnitt, wurde allerdings anders belichtet. Nehmen wir einmal an, das Foto in der Abbildung 57 würde die tatsächliche orale Situation wiedergeben, der Zahntechniker würde sich aber bei der Rekonstruktion auf die Informationen stützen, die er aus der Abbildung 56 gewinnen würde; wäre es ihm dann möglich, die richtige Zahnfarbe, wie in Abbildung 57 dargestellt, zu bestimmen, geschweige denn zu rekonstruieren?

Selbst wenn in Abbildung 56 der Farbring mit fotografiert worden wäre, wäre es aufgrund der farblichen Abweichung nicht ohne weiteres möglich, die dargestellten Farben richtig zu interpretieren – Missverständnisse wären die Folge. Daher sollte die Aufnahme korrekt belichtet werden. Die Frage ist aber, was ist korrekt?

Im Grunde genommen beschreibt der Ausdruck Belichtung mehrere Maßnahmen, bei denen mittels Variation diverser Parameter die Lichtmenge, die auf den Bildsensor (CCD oder CMOS Sensor) einer Digital- oder den Film einer analogen Kamera fällt, reguliert wird. Konkret wird die Belichtung über die Blende, Verschlusszeit und Empfindlichkeit (ISO) gesteuert.

Bei der Digitalfotografie wird meistens mit einem Blitzlicht als Lichtquelle gearbeitet. Dieser Umstand sollte bei der Einstellung der Belichtung (manueller Modus) berücksichtigt werden. Bei Aufnahmen, die mit einem Blitz fotografiert werden, ist es zum Bei-

spiel unsinnig, eine Belichtungszeit von 1/500 s zu wählen, da die meisten handelsüblichen Blitze nur eine Belichtungszeit von 1/250 s unterstützen. Zudem verändert sich im Automatikmodus durch die Verwendung eines Blitzes die Belichtungszeit nicht. Machen Sie die Probe. Fotografieren Sie in einem abgedunkelten Raum freihändig ein Objekt im Automatikmodus. Die Kamera wird eine lange Belichtungszeit (etwa 4 Sekunden) und eine große Blende wählen. Durch das hinzuschalten eines Blitzes ändert sich allerdings nichts an diesen Parametern. Das fotografierte Bild wird nur etwas aufgehellt (Aufhellblitz). Im manuellen Modus allerdings wird der hinzugeschaltete Blitz versuchen, eine eventuell vorhandene Unterbelichtung ausgleichen (ETTL-Blitz).

Wenn das Foto so belichtet wurde, dass es die gleiche Helligkeit, wie der gesehene Eindruck wiedergibt, kann man von einer „korrekten Belichtung“ sprechen.

### Wie kann man aber diese „korrekte Belichtung“ beurteilen?

Hierfür stehen uns einige Methoden zur Verfügung. Ich möchte allerdings verhindern, die an sich schon komplizierte Thematik weiter zu verkomplizieren und neue Geräte anzubringen. Ich werde daher beschreiben, wie man an der Digitalkamera erkennen kann, ob die Belichtung korrekt eingestellt wurde. Wenn wir lernen, mit diesem Tool richtig umzugehen, lernen wir auch, welche Parameter für die korrekte Belichtung notwendig sind.

## Histogramm

Bei einer analogen Kamera erfahren wir erst nach dem Entwickeln der Bilder, ob das aufgenommene Foto etwas geworden ist oder nicht. Natürlich können versierte oder geübte Fotografen ungefähr beurteilen, wie das Foto, das mit diesen oder jenen Einstellungsparametern fotografiert wurde, nach dem Entwickeln aussieht. Diejenigen, die sich jedoch noch nicht so gut auskennen – und die sollen in diesem Beitrag schließlich auch angesprochen werden – müssen auf die entwickelten Bilder warten, um zu sehen, wie sich die entsprechende Einstellung auf die Fotos ausgewirkt hat.

Im Gegensatz zur analogen Kamera kann man bei der Digitalkamera direkt nach dem Fotografieren den Erfolg oder Misserfolg auf dem Monitor der Kamera (auf der Rückseite) kontrollieren und bewerten. Aber Vorsicht: Wie kontrollieren Sie an Ihrer Digitalkamera, ob das Bild richtig belichtet wurde? Die Vorschau des auf dem Monitor angezeigten Bildes ist absolut nicht aussagekräftig, was die korrekte Belichtung oder Farbe betrifft. Anhand des dargestellten Bildes lässt sich lediglich der Bildausschnitt oder der Umstand kontrollieren, ob alle wichtigen Details aufgenommen wurden.

Zum einen ist die Farbqualität des kleinen LCD Displays sehr fragwürdig, weshalb man diesem keine echten Informationen über die korrekte Farbe und Belichtung entlocken kann. Zum anderen hängt die Qualität des auf dem LCD-Bildschirm abgebildeten Fotos sehr stark von den äußeren Lichtbedingungen ab (Sonnenlicht, dunkler Raum et cetera). Ist die Umgebung hell, wird das Foto hell wahrgenommen und umgekehrt. Kontrollieren Sie es selbst. Vergleichen Sie die Darstellung eines Fotos auf dem kleinen LCD-Display und auf Ihrem PC/Mac. Das auf den Rechner übertragene Bild wirkt so, als wäre es ganz anders belichtet und auch die Farbsättigung fällt anders aus. Das soll aber nicht heißen, dass das Bild auf dem Monitor Ihres PCs „richtig“ dargestellt wird. Es geht mir hierbei nur darum, Ihnen die frappierenden Unterschiede dargestellter Abbildungen zu veranschaulichen und zu vermitteln, dass man sich nicht immer auf das verlassen kann, was man sieht. Bis es so weit ist, ist es noch ein langer Weg. Ich denke, dass bereits einige Leser diese Erfahrung gemacht haben.

! Also noch mal: Das LCD-Display der Digitalkamera ist lediglich dazu geeignet, den Ausschnitt des Fotos zu kontrollieren und zu überprüfen, ob all das, was man abbilden wollte auch zu sehen ist. Selbst über die Schärfe lässt sich, in Anbetracht der geringen Auflösung, keine Aussage treffen.

### Wie kann man nun aber die „korrekte Belichtung“ an der Digitalkamera überprüfen?

Hierfür bietet sich das Histogramm an. In einem Histogramm wird die Helligkeitsverteilung der aufgenommenen Abbildung in einem Diagramm (x- und y-Koordinaten) dargestellt. Ein Histogramm ähnelt einem Gebirgsrelief. Die x-Achse (Horizontale) weist auf den Helligkeitsgrad hin. Die y-Achse (Vertikale) stellt die Anzahl der Pixel für jeden Helligkeitsgrad dar. Ist (je mehr Pixel) auf der linken Hälfte des Histogramms die Spitze höher (sind mehr Pixel dargestellt), desto dunkler ist das Bild. Je mehr Pixel auf der rechten Hälfte angezeigt werden, desto heller ist das Bild. Ein einzelner Peak auf der linken Seite würde bedeuten, dass jemand ein reines Weiß fotografiert hat.

Moderne Digitalkameras zeigen das Histogramm auf dem LCD-Display auf der Rückseite an. Manche Kameras bieten die Option, das Histogramm über das entsprechende Bild zu blenden. Hat man das Foto richtig belichtet, bestätigt einem dies das Histogramm. Hierfür müssen wir allerdings lernen, dieses richtig zu lesen.

Liegen auf der linken Seite des Histogramms zu viele Pixel vor, das heißt, überwiegen die dunklen Anteile, verlieren die dunklen Bildanteile Details. Liegen allerdings auf der rechten Seite zu viele Pixel vor, wirkt die Aufnahme überbelichtet, Konturen überstrahlen und verwaschen dadurch.

Für den Fall, dass das Histogramm links und rechts regelrechte Peaks zeigt, dazwischen aber unterbrochen ist, bildet das entsprechende Foto extrem helle und dunkle Bereiche, also ein kontrastreiches Motiv ab. Im Extremfall wäre dies beispielsweise ein Foto eines schwarzen Gegenstands, der im Schnee liegt. Um sich ein verständlicheres Bild davon machen zu können, wie sich welche Belichtung auf das Histogramm auswirkt, werde ich einige Digitalaufnahmen und die dazugehörigen Histogramme einzeln diskutieren (Abb. 58 bis 66). Alle Abbildungen zeigen dieselbe Mundsituation. Die Parameter sind, bis auf die Belichtungsstufe, identisch. Diese variiert von Aufnahme zu Aufnahme von +1,3 bis -1,3. Die detaillierte Erläuterung zur jeweiligen Abbildung entnehmen Sie bitte der Bildunterschrift. Es würde keinen Sinn ergeben, die zum Teil komplexen Informationen ohne direkten Bildbezug aufzuführen.

Die Abbildung 62 wurde mit einer Belichtung von  $\pm 0$  EV fotografiert, also quasi ideal belichtet. Von dieser ausgehend wurden nun Aufnahmen sowohl in Richtung Unter- als auch Überbelichtung fotografiert und zwar in den Schritten  $0,3 \rightarrow 0,7 \rightarrow 1,0 \rightarrow 1,3$  EV.

Die überbelichtete Abbildung wurde also mit +1,3 und die unterbelichtete mit -1,3 fotografiert. Die Blende, Verschlusszeit sowie Empfindlichkeit wurde in allen Fällen gleich gewählt. Die Feinabstimmung der Belichtung wurde mit dem Blitzlicht vorgenommen.

Das Histogramm der Abbildung 61 weist die ausgeglichene Verteilung aller Tonwerte auf. Betrachtet man allerdings die dazugehörige Abbildung etwas genauer, wird deutlich, dass diese etwas überbelichtet wirkt.

Das „Problem“ der Dental fotografie ist, dass die „weißen“ Zähne im Fokus stehen. Zudem nehmen sie den größten Teil der abzubildenden Fläche ein. Daher hat es sich bewährt, Dentalaufnahmen etwas unterzubelichten. Insbesondere wenn die innere Struktur eines Zahns fotografisch festgehalten werden soll, würde das ideale Histogramm übersetzt bedeuten, dass das dazugehörige Foto überbelichtet wurde. Wird dieser Umstand in die Deutung der anderen Histogramme mit einbezogen, so stellt das Histogramm der Abbildung 62 aus zahntechnischer Sicht das Ideal dar. Das Histogramm ist aus der Mitte ein wenig nach Links verschoben, das heißt die dunklen Anteile überwiegen etwas.

Betrachten wir die Abbildung 62 genauer, wird ersichtlich, dass die gesamte Situation sehr ausgeglichen belichtet ist. In unserem Fall bedeutet das, dass dieses Bild „mit der korrekten Belichtung aufgenommen wurde“ – und zwar mit  $\pm 0$  EV.

Für die Abbildung 63 wurde eine Belichtungskorrektur von -0,3 EV eingestellt. Das Ergebnis ist ein etwas dunkleres Foto, das uns sehr detaillierte Einblicke in die Struktur des Zahns gewährt. Auch diese Aufnahme können wir somit zu den korrekt belichteten

Dentalaufnahmen zählen. Die Abbildung 64, die mit -0,7 EV aufgenommen wurde, dient demselben Zweck. Aufnahmen wie diese sind gut für die Analyse der internen Details geeignet.

Wer etwas hellere Aufnahmen mag, liebt äugelt bestimmt mit der Abbildung 61. Diese wurde mit +0,3 EV etwas überbelichtet. Auch dieses Foto kann subjektiv als „korrekt belichtet“ bezeichnet werden und ist sehr gut für Publikationen geeignet, da gedruckte Bilder immer etwas dunkler wirken, als auf dem Bildschirm. Der Bildschirm sorgt schließlich für die optimale „Beleuchtung“. Die Farbwirkung des gedruckten Bildes hängt dagegen immer vom Umgebungslicht ab. Für die Farbauswahl ist die Abbildung 61 allerdings nicht geeignet, da die realen Farben des Zahns nur schwer erkannt werden können.

Alle anderen Abbildungen sind für die Farbauswahl nicht geeignet, wurden also für diesen Zweck nicht korrekt belichtet. Diese Reihe verdeutlicht ziemlich gut, dass der Grad der – für die Farbauswahl – korrekten Belichtung sehr schmal ist. Der Unterschied zeigt sich in den Fotos, lässt sich aber sehr gut anhand der Histogramme verinnerlichen. Deshalb ist es sehr schwierig, ein korrekt belichtetes Foto auf dem kleinen LCD-Bildschirm der Digitalkamera zu bewerten.

Abbildung 66 wurde mit -1,3 EV aufgenommen. Obwohl die Abbildung vollkommen unterbelichtet ist, bleiben die Farbinformationen erhalten. Das heißt, selbst ein stark unterbelichtetes Digitalfoto kann noch gerettet werden. Dagegen ist das bei überbelichteten Fotos bereits ab + 0,7 nicht mehr möglich, da die Farbinformationen verloren gehen. Extrem ist das in Abbildung 59 zu erkennen. Die mittels Blitz um +1,0 EV korrigierte Belichtung hat starke Reflexionen zur Folge, die jegliche Farbinformationen auslöschen.

Nach meiner Erfahrung sind die unterbelichteten Digitalbilder besser zur Ermittlung der Farbinformationen geeignet, als die überbelichteten. Dies ist ein Vorteil der digitalen Fotografie, da man die unterbelichteten Bilder mit einem Bildbearbeitungsprogramm noch retten kann. Können wir also auf kein korrekt belichtetes Bild zurückgreifen, sollte man sich eher für ein unterbelichtetes Bild entscheiden.

## Der Kameratyp

Für die Dental fotografie haben sich digitale Spiegelreflex-Kameras (Standard), Makroobjektive und Ring- oder Zangenblitze bewährt. Da es mehrere Hersteller- und Zulieferfirmen von Kameras und Equipments gibt, sind die Eigenschaften meist unterschiedlich. Wenn mit einer analogen Kamera fotografiert wird, kann es selbst im System zu Abweichungen der Qualität kommen, da diese auch von exogenen Faktoren, wie der Marke des Films und der Entwicklung abhängt. Ich bin daher mit dem



















Belichtung	Ergebnis	Histogramm
<p><b>+ 1.3</b></p> <p>Abb. 58 Diese Aufnahme wurde mit +1,3 überbelichtet. Die Farben wirken unnatürlich, die Zähne zitronengelb und das Zahnfleisch Pink. Interessant ist die Aussage überbelichtet in Bezug auf das Histogramm. Dieses weist eine extreme Verschiebung der Tonwerte nach rechts auf</p>		
<p><b>+ 1.0</b></p> <p>Abb. 59 Mit überbelichteten Fotos ist eine Farbauswahl nicht möglich. Die mittels Blitz um +1,0 EV korrigierte Belichtung hat starke Reflexionen zur Folge, die jegliche Farbinformationen auslöschen. Das Histogramm wirkt gleichmäßiger verteilt, zeigt aber eine klare Tendenz nach rechts</p>		
<p><b>+ 0.7</b></p> <p>Abb. 60 Wurde mit +0,7 EV belichtet und ist ebenfalls nicht für die Farbauswahl geeignet. Auch wenn das Foto subjektiv gut erscheint, sind die Farben überzeichnet – im Histogramm zeigt sich die Überbelichtung durch zackentartige Ausschläge auf der rechten Seite des Koordinatenkreuzes</p>		
<p><b>+ 0.3 (GUT)</b></p> <p>Abb. 61 Dieses Foto wurde mit +0,3 EV etwas überbelichtet und kann subjektiv als „korrekt belichtet“ bezeichnet werden. Für die Farbbestimmung ist dieses Bild dennoch nicht geeignet, obwohl es das ausgeglichene Histogramm zeigt. Dies verdeutlicht aber gleichzeitig auch das Problem der Dentalfotografie, bei der leuchtend weiße Zähne im Vordergrund stehen</p>		
<p><b>± 0 (IDEAL)</b></p> <p>Abb. 62 Hier wurde mit einer Belichtung von ± 0 EV fotografiert, also quasi ideal belichtet. Von dieser ausgehend wurden nun Aufnahmen sowohl in Richtung Unter- als auch Überbelichtung und zwar in den Schritten 0,3 → 0,7 → 1,0 → 1,3 EV fotografiert</p>		
<p><b>- 0.3 (GUT)</b></p> <p>Abb. 63 Für dieses Foto wurde eine Belichtungskorrektur von - 0,3 EV eingestellt. Das Ergebnis ist ein etwas dunkleres Foto, das uns sehr detaillierte Einblicke in die Struktur des Zahns gewährt. Auch diese Aufnahme können wir somit zu den korrekt belichteten Dentalaufnahmen zählen. Das Histogramm ist etwas nach links verschoben</p>		
<p><b>- 0.7</b></p> <p>Abb. 64 Ausgehend von der Abbildung 63 wurde diese Abbildung mit -0,7 EV belichtet. Die Aufnahme ist bereits sehr dunkel, aber noch gut zur Beurteilung der inneren Struktur eines Zahns geeignet. Das Histogramm ist deutlich nach links verschoben</p>		
<p><b>- 1.0</b></p> <p>Abb. 65 Die Abbildung wurde mit -1,0 EV aufgenommen – für die Zahnfarbbestimmung ist diese nicht ohne weiteres geeignet. ...</p>		
<p><b>- 1.3</b></p> <p>Abb. 66 ... Dennoch zeigt sich, dass die hellen Zähne eher etwas unterbelichtet werden müssen, um die Zahnfarbinformationen nicht zu verlieren. Denn selbst dieses Foto mit -1,3 EV kann mit einem Bildbearbeitungsprogramm farblich noch gerettet werden. Das Histogramm zeigt eine Ansammlung der dunklen Tonwertpixel auf der linken Seite des Koordinatensystems</p>		

Abb. 58 bis 66 In dieser Fotostrecke ist neunmal dieselbe Abbildung mitsamt dazugehörigem Histogramm dargestellt. Alle Fotos wurden mit den gleichen Einstellungen vorgenommen, lediglich die Helligkeit wurde mit dem Blitz in den Belichtungsstufen von +1,3 bis -1,3 – also von stark über- bis stark unterbelichtet – aufgenommen. Um die Auswirkungen der Belichtung auf das Histogramm richtig deuten und somit das Histogramm für die korrekte Belichtung eines Fotos hinzuziehen zu können, sind nachfolgend die einzelnen Bildpaare beschrieben. Das Histogramm zeigt die Verteilung der hellen und dunklen Bildpunkte einer Aufnahme

Trend gegangen und habe mich für eine digitale Spiegelreflex-Kamera – im folgenden „Digitalkamera“ genannt – entschieden.

Ich werde häufig gefragt, welche Kamera am besten für die digitale Dental fotografie geeignet ist. Schließlich ist es legitim, sich vorab zu informieren, wenn man sich eine Digitalkamera anschaffen möchte. Natürlich ist es nicht egal, welche Kamera man sich zulegt, dennoch hängt diese Entscheidung auch von individuellen Anforderungen, wie den Anwendungsmöglichkeiten und dem Handling ab. Wie gesagt, keine einfach zu beantwortende Frage. Ich tendiere daher zu dem Tipp, dass die „beste Kamera“ immer die richtige Entscheidung ist.

Bekanntermaßen benötigt eine Digitalkamera keinen Film, da sie mit einem Bildsensor, einem so genannten CCD- (Charge Coupled Device, übersetzt etwa „ladungsgekoppeltes Bauteil“) oder CMOS- (Complementary Metal Oxide Semiconductor, oder auf Deutsch „komplementärer Metalloxid-Halbleiter“) Sensor, ausgerüstet ist, der die analogen Bildinformationen in digitale umwandelt.

So wie verschiedene Filme (hersteller- sowie systemabhängig) unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Reproduktion des Farbtönen haben, weisen Digitalfotos, je nach Kameratyp (Hersteller), dem jeweiligen Bildsensor oder Gerätetyp, unterschiedliche Farbtöne auf. Im Menü der Digitalkameras lässt sich unter dem Punkt Farbeinstellung, die eine oder andere Farbänderung vornehmen.

Bei der Aufnahme der Bilder im JPG-Format wird die Bildbearbeitung in der Kamera vom so genannten Bildprozessor übernommen, der die vom Sensor gewonnenen Informationen verarbeitet. Jede Firma hat ein eigenes Farbkonzept und Bearbeitungsprinzip, sodass auch die farbliche Reproduktion je nach Hersteller variiert.

Den Bildprozessor kann man sich wie ein Fotolabor vorstellen. Wie bei einem Fotolabor, so unterscheiden sich auch die vom Bildprozessor „entwickelten“ Bilder von Kamera zu Kamera.

Geschmäcker sind bekanntlich verschieden – so auch, wenn es darum geht die Qualität von Fotos oder Digitalabbildungen zu beurteilen. Da sich die Bildqualität von Kamera zu Kamera ändert, ist es oft eine subjektive Entscheidung, die beim Kauf einer Kamera zum Tragen kommt. Ich kann und will nicht sagen, dass die eine oder andere Kamera besser ist. Diese Aussage würde auf meinem Geschmack basieren. Da Geschmäcker verschieden sind, sollte der eigene Geschmack beim Kauf einer Kamera berücksichtigt werden. Ich schätze, dass jeder versuchen möchte, beim Fotografieren das Objekt exakt wieder zu geben. Dies halte ich nach dem heutigen Stand der Technik für fast unmöglich.

Um aber mit der Digitalaufnahme möglichst nah an das Objekt heran zu kommen, benötigt man mehr als nur eine Kamera und ein Objektiv, sondern auch

einen gut ausgestatteten PC, einen hervorragenden Bildschirm, Drucker und vieles mehr.

Die Abbildungen 67 bis 75 verdeutlichen, wie unterschiedlich ein und dieselbe Situation dargestellt wird. Hier wurden nicht die Einstellungen, sondern lediglich die Kameras gewechselt. Diese neun Fotos wurden mit neun unterschiedlichen Kameras von fünf Herstellern aufgenommen. Na, welches finden Sie am besten?

Daraus wird ersichtlich, das man nicht pauschal sagen kann, welche Kamera schlecht oder gut ist, sondern ob einem die Bildqualität der einen oder anderen zusagt. Ich habe daher bewusst darauf verzichtet, den jeweiligen Kameratyp oder die Herstellerfirma zu nennen.

### Als Nächstes behandeln wir den Unterschied der einzelnen Blitzlichter bei der Aufnahme.

Kommen wir nun zu den unterschiedlichen Blitzsystemen. Für Makroaufnahmen der Dental fotografie werden häufig LED-Ring- oder LED-Zangenblitze verwendet. Beide Systeme unterscheiden sich stark voneinander und sind je nach Verwendungszweck einmal besser oder schlechter geeignet.

In den Abbildungen 76 bis 78 ist wieder dieselbe orale Situation fotografiert worden. Abbildung 76 wurde mit einem LED-Ringblitz aufgenommen. Charakteristisch für einen Ringblitz ist, dass das reflektierte Blitzlicht vom Objekt direkt auf das Objektiv zurückprallt, was zur Folge hat, dass die reflektierte Fläche größer ist und die Blitzreflexion komplett auf dem Objekt zu sehen ist. Daher ist dieser Blitz gut geeignet, um die Oberflächenbeschaffenheit eines Zahns oder der Gingiva zu erfassen. Zur Bestimmung des Farbtönen ist er allerdings nicht geeignet. Zudem bietet sich der Ringblitz für Makroaufnahmen der Molarenkaufflächen oder des gesamten Zahnkranzes an.

Abbildung 77 wurde mit einem LED-Zangenblitz aufgenommen. Vergleicht man das Resultat mit dem Ringblitzfoto wird deutlich, dass auf dem Objekt viel weniger Reflexionen zu sehen sind. Dieser Blitz eignet sich somit nicht, um die Oberflächenbeschaffenheit zu bestimmen. Allerdings ist er ideal, um den Farbtönen zu bestimmen. Für den Ringblitz wie für den Zangenblitz gilt, dass man, wenn man die innere Struktur der Zähne noch detaillierter darstellen möchte, die Kamera in einem leichten Winkel zu den Zähnen halten sollte (Abb. 78). Frontalaufnahmen, parallel zur Oberfläche sind zu vermeiden, da sonst die Blitzreflexionen zu stark sind.

### Position der Farbschlüsselzähne

Wurde der Zahnersatz unter der gleichen Lichtquelle angefertigt, unter der die Farbauswahl stattgefunden hat, und wurde die Belichtung der Kamera korrekt eingestellt, sind wir in der Lage aussa-



gekräftigte Fotos anzufertigen, die sich für die Dokumentation eignen. Es ist allerdings nicht sinnvoll, wenn das Fotodokument, das dem Zahntechniker als Information zur Farbauswahl übermittelt wurde, keine aussagekräftigen Informationen transportiert. Deshalb gilt es auch darauf zu achten, dass die Farbschlüsselzähne korrekt positioniert werden. Zunächst ist es einmal wichtig zu klären, wie viele Farbmusterzähne ausgewählt werden sollten. Meiner Meinung nach mindestens zwei und maximal vier Stück (Abb. 79 und 80). Ist nur ein Farbschlüsselzahn auf der Aufnahme zu sehen, sind die Informationen,



Abb. 67 bis 75  
Nein, es handelt sich hierbei nicht um Studien unterschiedlicher Zähne. So verblüffend es ist, aber diese Bilderstrecke zeigt ein und dieselbe Mundsituation, aufgenommen mit neun Digitalkameras von fünf Namhaften Firmen (Aufnahmedatum und Uhrzeit variieren). Natürlich wird der Farbunterschied nicht nur von der Digitalkamera, sondern auch vom verwendeten Objektiv und Blitz verursacht. Da ich mit diesen Bildern den Einfluss der Kamera und des entsprechenden Makroobjektivs darstellen wollte, habe ich immer denselben Zangenblitz verwendet.

Bei allen Geräten wurde der Blitzmodus (Weißabgleich), der Aufnahme-Modus auf Manuell und die Verschlusszeit auf  $1/125$  eingestellt. Die Blende wurde bei jedem Gerät unterschiedlich, für das Dateiformat aber einheitlich JPEG gewählt. ISO war auf die niedrigste Empfindlichkeit gestellt und die Farbeinstellung stand auf Maximum. Eine einheitliche Belichtung lies ich mir vor dem Auslösen vom Histogramm bestätigen. Somit werden die unterschiedlichen „Farbkonzepte“ der einzelnen Kameras und Hersteller besser verständlich



Abb. 76 Nicht nur die Kamera und das Objektiv haben Einfluss auf das Foto, sondern auch der Blitz. Dieses Foto wurde mit einem Ringblitz aufgenommen. Da das Blitzlicht vom Objekt direkt auf das Objektiv reflektiert wird, hat das zu Folge, dass die reflektierte Fläche auf dem Objekt größer ist. Diese Methode ist daher gut geeignet, um die Oberflächenbeschaffung auszuleuchten oder den Molarenbereich oder Zahnbögen aufzunehmen



Abb. 77 Mit dem Zangenblitz aufgenommenes Foto. Das Licht des Zangenblitzes hat denselben Ein- wie Ausfallwinkel, wodurch großflächige Lichtreflexionen auf der Zahnoberfläche vermieden werden. Dieses Verfahren ist somit ideal zur Bestimmung des Farbtönen geeignet



Abb. 78 Mit einem Blitz sollte man nicht frontal fotografieren, sondern von oben in einem leichten Winkel. Dadurch heben wir die internen Charakteristika noch detaillierter hervor

die wir daraus ziehen können unzureichend, selbst wenn er eine gewisse Ähnlichkeit mit dem zu vergleichenden Zahn hat (Abb. 81).

Möglicherweise stimmt der Farbton auf dem Foto mit dem des Zahns überein, aber wie sieht es in der Realität aus. Daher ist der Wert einer solchen Aufnahme zweifelhaft. Wenn das Bild nur mit einem Farbmusterzahn aufgenommen wurde, haben wir keine Möglichkeit die Farbe durch Vergleichen zu verifizieren. Haben wir aber mehrere Farbmusterzähne, die sich mit denen auf dem Bild decken, können wir ziemlich sicher sein, dass der Farbton stimmt.

Fünf oder sechs Farbmuster auf einem Foto sind zu viele. Zu viele Vergleichsgegenstände verunsichern den Techniker nur. Nun, da wir wissen, wie viele Farbmuster ideal wären, gilt es zu klären, wie diese am besten für das Foto ausgerichtet werden sollten. Die Schneidekante der Referenzzähne und die der entsprechenden Farbschlüsselzähne sollten gegenüberstehend positioniert werden.

Es liegt am Funktionsprinzip des Blitzlichts, der Kamera und dem Objektiv, dass die aufgenommene Lichtmenge nicht überall gleich, sondern konzentrisch ist. Die Kamera oder das Objektiv sind daran schuld, dass die Lichtmenge von innen nach außen abnimmt. Dieser Effekt wird mit einem Blitzlicht noch verstärkt (Abb. 82). Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Farbmusterzähne so nahe wie möglich an den zu vergleichenden Zahn zu bringen. Dadurch werden gleiche Lichtverhältnisse garantiert.

Neben der Position ist auch der Winkel, in dem der Farbmusterzahn angehalten wird, von Bedeutung. Von der Seite aus betrachtet, sollte das Vergleichsmuster in einer gedachten Linie zur natürlichen Zahnachse stehen (Abb. 83). Der Zahn, dessen Zahnfarbe ermittelt werden soll, sowie der Farbschlüsselzahn sollten die gleiche Entfernung zum Objektiv und dem Blitzlicht haben. Ist der Abstand unterschiedlich, kann nicht garantiert werden, dass der Helligkeitswert der beiden Objekte übereinstimmt (Abb. 84). Zum Beispiel wird das Objekt, das näher zum Blitz steht, das Licht stärker reflektieren und daher heller erscheinen. Zudem ist es schlecht, wenn der Farbring etwas vor den natürlichen Zahn angehalten wird. Da die Brennweiten der Objekte unterschiedlich sind, wird ein Objekt fokussiert, das andere nicht. Es gibt auch Fälle, in denen der Patient den Mund nicht ausreichend öffnen kann oder der zu fotografierende Zahn zu weit dorsal oder einfach schräg steht. In Fällen wie diesen wird der Farbschlüsselzahn im selben Winkel zum Referenzzahn gestellt und Blitzlicht und Objektiv auf beide Objekte gleich ausgerichtet. So ist es möglich beide Objekte unter den gleichen Bedingungen zu fotografieren (Abb. 85 und 86). In den Abbildungen 87 und 88 ist ein perfektes Fotoshooting zur Zahnfarbbestimmung dargestellt.

Im vierten und letzten Teil widmet sich Naoki Hayashida der Darstellung der Digitalfotos sowie den Anforderungen an den Monitor.





Abb. 79 und 80 Auf diesen Abbildungen wurden die Zähne mitsamt den entsprechenden Farbschlüsselzähnen fotografiert. Es ist zu empfehlen, dass auf den Fotos mindestens zwei und maximal vier Farbschlüsselzähne dargestellt sind



Abb. 81 Wurde nur ein Farbschlüsselzahn fotografiert, ist es für den Zahntechniker schwierig, die Zahnfarbe anhand des Farbschlüsselzahns zu überprüfen. Es ist daher wichtig, mehrere Farbmuster darzustellen, um die Farbe zu verifizieren. Denn wer sagt, dass der eine abgelichtete Farbschlüsselzahn wirklich so aussieht oder tatsächlich 4D ist? Je mehr Referenzzähne abgebildet sind, desto leichter lassen sich Fehler aufdecken

Abb. 82 Die Kamera, das Objektiv und das Blitzlicht haben die Eigenschaft, dass die Lichtintensität von innen nach außen abnimmt. Am auffälligsten ist dies mit Blitzlicht. Daher sollte der fotografierte Referenz- und der Farbschlüsselzahn ungefähr im gleichen Helligkeitsbereich des Kreises stehen. Nur so können wir gewährleisten, dass der Farbton unter den gleichen Lichtverhältnissen entstanden ist. Die exakte Position des Farbschlüsselzahns ist somit sehr wichtig

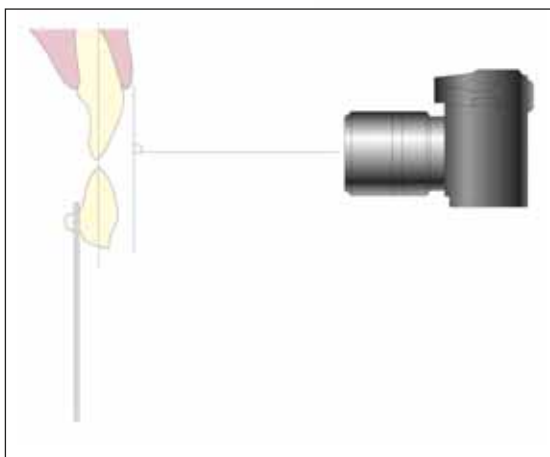


Abb. 83 Die Position und der Winkel des Farbmusterzahns im Schema von lateral: der Referenzzahn und der Farbmusterzahn sollten in einer verlängerten Achse stehen

Abb. 84 Ein Beispiel, wie man es nicht machen sollte. Nur ein Farbschlüsselzahn, der zudem falsch positioniert wurde (nicht unterhalb des zu vergleichenden Zahns 21). Da das Farbmuster vor den natürlichen Zähnen, also weiter vorne steht, wird dieser stärker vom Blitz angestrahlt, die Reflexion erhöht, der Helligkeitswert verfälscht. Mit Fotos wie diesen wird es uns nicht möglich sein, die Zahnfarbe korrekt nachzubilden

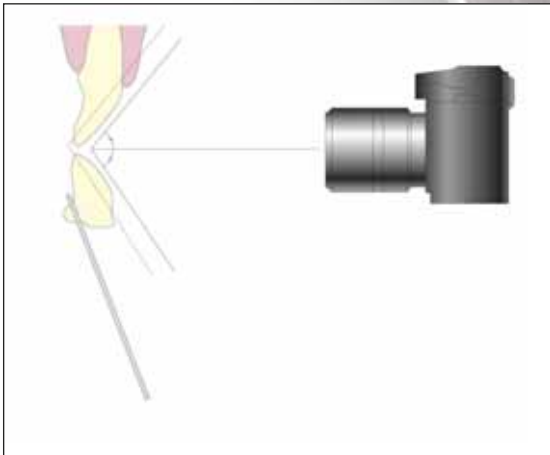


Abb. 85 und 86 Die Natur ist aber nicht immer symmetrisch oder gerade. Wenn also die Farbmuster- und die Referenzzähne nicht achsensymmetrisch angehalten werden können, wird der Farbschlüssel im selben, aber gespiegelten Winkel wie der Referenzzahn gestellt. Das Blitzlicht und Objektiv werden nun so ausgerichtet, dass sie im selben Winkel zu beiden Objekten stehen



Abb. 87 und 88 Ideales Fotoshooting zur Farbbestimmung: Der natürliche Referenzzahn, die Farbmusterzähne sowie die Brennweite der Kamera wurden korrekt gewählt. Hierauf sollten wir immer achten

### Zur Person

Naoki Hayashi schloss seine Ausbildung 1993 am „Dental Institute College“ in Osaka/Japan ab. Hayashi ist nicht nur ein talentierter Keramiker, er ist vor allem auch ein brillanter Fotograf. Er gehörte zu den ausgewählten Preisträgern des „QDT Meisterstücks“ für seine zahntechnischen Fotografien. Er hat eine Vielzahl von Fachartikeln in japanischen Dentaljournalen veröffentlicht. Zudem wurden viele seiner Beiträge ins Deutsche, Italienische, Russische übersetzt und zusätzlich in den Vereinigten Staaten und Kanada veröffentlicht.

Hayashi ist ein beehrter Referent und Kursleiter, was er in diversen Vorträgen und Kursen weltweit unter Beweis stellen konnte und kann. Er genießt international einen guten Ruf und wird wegen seiner Vorträge von vielen Kapazitäten aufgesucht. Hayashi hat zudem „A Diary Through the Lens“, ein Buch, das eine Vielzahl klinischer Fälle dokumentiert und den Zahnärzten bei der Patientenberatung helfen soll, veröffentlicht. Außerdem wird Zahntechnikern darin Schritt für Schritt die keramische Schichtung bis hin zu hochästhetischen Restaurationen erklärt und bebildert vorgestellt. Naoki Hayashi ist stellvertretender Geschäftsführer des „Ultimate Styles Dental Laboratory“ in Kalifornien/USA.



### Kontaktadresse

Naoki Hayashi • Ultimate Styles Dental Laboratory • 12 Mauchly • Unit M • CA-92618 • Fon +1 946 727-0822 • Fax +1 949 727-0577  
[info@ultimate-dl.com](mailto:info@ultimate-dl.com)

Originalbeitrag: Naoki Hayashi „A Challenge to Natural Teeth – Colors&Beyond“  
 Erschienen in: The International Journal of Dental Technology, Vol.36, no.1 and no.2, Ishiyaku publishers, INC.