

Über den Autor

André Hoffmann hat die Entstehung der Zahnfarbe systematisch und höchstpräzise u. a. an menschlichen Zähnen und dentalen Farbringen mit Hochpräzisionsmesssystemen und mit eigens entwickelten Hochpräzisionspositionierungssystemen erforscht und insbesondere im Jahre 2000 seine neuen Erkenntnisse vorgelegt und veröffentlicht und in den Folgejahren konkretisiert. Der Pionier im Bereich der optischen Technologien dürfte im Zuge seiner wissenschaftlichen Grundlagenforschung die wesentlichen Einflussfaktoren isoliert und eindeutig quantifiziert haben. Dazu gehören beispielsweise das Licht bzw. Messlicht und die Lichtarten verschiedener Farbtemperaturen, die Strahlengänge des Lichtes bzw. die Messgeometrien (Orte von Lichtquellen und Sensoren in Relation zur Messprobe), der Beobachtungswinkel (2° , 10°), die Größe der Messfläche und Messöffnung, die Glanzwirkung, der Flüssigkeitsgehalt (mit wissenschaftlichem Beweis des Zusammenhanges zwischen Flüssigkeitsgehalt und Zahnfarbe), Wirkung von Trocknung und Flüssigkeitswiederaufnahme (Dehydratation, Rehydrierung), der Anteil des Flüssigkeitsgehaltes an der Glanzwirkung, die Subjektivität von visueller Bestimmung, Kronenkrümmung, Systemart (Spektralphotometer, Dreibereichsfarbmesssystem), Messmodus (Kontakt oder Non-kontakt-Modus), Messsystem-Objekt-Relation, Positionierung, Wiederholbarkeit bzw. Reproduzierbarkeit. Zudem wurden subjektiv-visuelle Bestimmungen und objektivierte Messungen in Subjektiv-objektiv-Vergleichen über Wertevergleiche nachgegangen. Alle diese Einflussfaktoren sind nicht nur an feuchten, sondern auch an trockeneren (verschiedene bestimmte Trocknungs- bzw. Rehydrierungszustände) und trockenen Zähnen anhand u. a. der Helligkeit (L^*), von Farbmesswerten, wie beispielsweise a^* , b^* , C^* , h , ΔE , des Metamerieindex, von Spektralwerten, von Zahnfarbproben und von Zahnfarbräumen analysiert.



Im Rahmen dieser Erkundung konnten Phänomene (beispielsweise Änderungen und Brüche im Verhalten sowie hochindividuelle Entwicklungen der Farbwerte, Paradoxes zwischen den Werten subjektiver Bestimmung mittels Zahnfarbproben und den Werten objektivierender Messungen) aufgedeckt und Einblick in die Farbdynamik durch De- und Rehydratation gewährt werden. Die Entwicklung der einzelnen Farbmesswerte ließ beispielsweise Rückschlüsse über den Flüssigkeitsfluss durch den Zahn und seine Gewebe insbesondere bei Trocknung und Flüssigkeitswiederaufnahme zu und gab Auskunft über das zeitliche Ausmaß dieser Prozesse.

Auf Basis dieser Datenlage hatte Hoffmann mehrere Verfahren für die Forschung und Anwendung in der Praxis entwickelt, Innovationen vorgeschlagen und für machbar eingestuft, wie beispielsweise das trockenungsprotektive Monitoring zur Vermeidung von Devitalisierung bei zahnmedizinischer Behandlung, eine Rekonstruktion der Farbe von natürlich feuchten Zähnen an bereits angetrockneten, die Identifizierung von Lebenden und Toten über den „dentalen Fingerabdruck“ und für die Rechtsmedizin eine neue Methode zur Todeszeitbestimmung. Zudem beschrieb er eine zeitliche Trocknungsgrenze, bis zu der noch relativ natürliche, passende Farbwerte zu erhalten sind und nach der keine Farbestimmung mehr erfolgen sollte, und er legte die Flüssigkeitswiederaufnahmezeit nach Ende der Trocknung fest, die gewartet werden muss, um wieder eine natürliche Zahnfarbe zu erhalten.

Seine Erkenntnisse sind u. a. auch, dass Zähne in der Lage sind, Informationen beispielsweise zum Zustand (Flüssigkeitsgehalt, Farbwerte) und zur Zeit innerhalb der Trocknungs- und Flüssigkeitswiederaufnahmechronologie zu speichern. Der Autor artikuliert einen „dentalen Datenspeicher“ und ein „dentales Gedächtnis“ und ist der Meinung, dass wesentlicher Fortschritt auf diesem Gebiet u. a. über ein neuronales Netz für Farbmessapparaturen erzielt werden könnte.

Aus den Hoffmann-Studien 2000: Über die Dynamik dentaler Flüssigkeit und den Flüssigkeitsfluss durch die Zahngewebe Subjektiv-visuelle und objektiviert-messtechnische Erfassung der Lufttrocknung menschlicher Zähne

Hoffmann, A., Institut für interdisziplinäre wissenschaftliche Forschung und Entwicklung, Dinslaken, Deutschland, info@iifwe.de

Einleitung

Es ist ein weithin beobachtetes Phänomen, dass Zähne, die mit Kofferdam oder Watterollen trockengelegt oder die extrahiert sind, heller erscheinen. Eine Reihe von Lehrbüchern hat dieses Phänomen indirekt im Zusammenhang mit Zahnfarbbestimmung erwähnt. Einen wissenschaftlichen Beweis gab es hierfür nicht. Es war nicht mehr als eine Erfahrung nach dem gesunden Menschenverstand. Ein wissenschaftlicher Beweis hingegen wäre nur möglich, wenn sowohl die Helligkeit oder Farbe bzw. Farbwerte sowie das Gewicht bzw. der Gewichtsverlust als Ausdruck der Trocknung gemessen und die resultierenden Kurven zur Deckung gebrachte werden könnten. Genau das war eines der Ziele der Hoffmann-Studien.

Während es im Laufe des 20. Jahrhunderts zahlreiche Veröffentlichungen zum Wasser und Wassergehalt in Zähnen und in ihren Hartgeweben gab, ist es erstaunlich, dass bis zu den Hoffmann-Studien keine Untersuchung dieses grundlegende Thema der Helligkeit oder Zahnfarbe und Zahnfarbwerten (z. B. $L^*a^*b^*$) in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsgehalt, der Flüssigkeitsaufnahme- und der Flüssigkeitsfreisetzungprozesse behandelt hatte. Ziel meiner Untersuchungen war es daher, den Zusammenhang zwischen Flüssigkeitsgehalt, Flüssigkeitsverlust (Trocknung), Flüssigkeitsabsorption (Rehydrierung) und Zahnfarbe herzustellen. Diese Grundlagenforschung wurde auch entwickelt, um Informationen über diverse Farbeinflussfaktoren, den Flüssigkeitsfluss im Zahn und die Rolle der Zahnflüssigkeit im Zahngewebe zu liefern, Informationen, auf denen weiterreichende Schlussfolgerungen basieren werden.

Bei Abschluss des größten Teils der Hoffmann-Studien im Jahr 2000 gab es im Wesentlichen 44 [1–44] messtechnische Studien. Davon basierten 19 auf Spektrophotometermessungen (s. Referenzen in *Kursiv-Schrift* am Ende dieser Einleitung) und 25 wurden mit einem einfacheren Kolorimeter durchgeführt. Sie befassten sich zumeist mit der Farbe von zahntechnischem Material oder spezifischen Fragestellungen, wie beispielsweise den Auswirkungen von Zahnpasta und dem Bleichen oder dem Einfluss bestimmter Wirkstoffe, von Chlorhexidin, Fluoridgele, Kaffee und Tee.

Bolt et al. (1994) [2] konnten zwar einen interessanten Effekt in Bezug auf die Messöffnungsgröße erwähnen (Spektralphotometer mit „Fenstern“ von 3, 4 und 5 mm). Jedoch dürfte dieser Einfluss beispielsweise durch Trocknungsprozesse nach Lagerung in besonders flüchtiger Flüssigkeit (Formalin) und während der Zeit der Montage und des Wechsels der „Fenster“ erheblich beeinflusst und damit dieser Einflussfaktor nicht eindeutig isoliert worden sein. Tatsächlich gibt es auch einen doppelten Effekt in dieser Studie. Das auf die Probe gerichtete Messlicht und das von der Probe reflektierte Licht müssen durch die Messöffnung geleitet werden und wurden durch die Fenstergröße beeinflusst. In den Hoffmann-Studien wird der Effekt jedoch so analysiert, dass das verwendete mikroskopische Chromameter nur das reflektierte Licht durch die Messöffnung passieren lässt. Das emittierte Licht wurde nur bei den Kontaktverfahren auch durch eine Öffnung gesendet. Darüber hinaus konnten bei den Hoffmann-Analysen andere Einflussfaktoren, wie beispielsweise das Trocknen, berücksichtigt werden.

Die Präzision in vitro mit Jig (vgl. [3]), also einem intraoralen Positionierungssystem, war bereits gut, aber nicht ausreichend für eine Grundlagenforschung mit höchster Präzision, sodass die

Entscheidung zugunsten der vorliegenden In-vitro-Studien mit Hochleistungspräzisionssystemen (High-End-Systeme¹ für diesen speziellen Zweck – Zahnfarbmessung mit Hochpräzisionspositionierung) und neuartigen hochpräzisen Positionierungssystemen getroffen wurde.

Die Präzision und Wiederholbarkeit (siehe [3, 6]) konnte somit in den Hoffmann-Studien sehr deutlich erhöht werden. Das war eine der Voraussetzungen für die Isolierung einzelner Einflussfaktoren. Ein weiterer Schlüssel in den Hoffmann-Studien war die Auswahl der Systeme. Zwei Messsysteme waren baugleich, vom selben Hersteller und unterschieden sich lediglich in der Messgeometrie. Die eine der Messgeometrien arbeitete mit Glanzeinschluss und die andere mit Glanzausschluss. So konnten die Unterschiede zwischen Werten und Kurven dieser Systeme den Glanzeinfluss auf die Farbkoordinaten bei feuchten, trockeneren und trockenen Zähnen bestimmen lassen. Zugleich war es in den Hoffmann-Studien gelungen, den Anteil der Flüssigkeit am dentalen Glanz zu ermitteln und die Fragen zu beantworten: Welchen Einfluss hat der Zahn und welchen Einfluss hat Zahnflüssigkeit am dentalen Glanz? Und welchen Einfluss hat der Glanz an der Zahnfarbe und den Farbkoordinaten?

Eine Analyse und auch ein Beweis sind dadurch charakterisiert, einen Einflussfaktor nicht nur zu vermuten, sondern auch zu isolieren, im Ausmaß zu erkennen und zu quantifizieren. Es muss also irgendwie gelingen, weitere Einflussfaktoren auszuschalten, auf ein unwesentliches Niveau zu reduzieren oder herausrechnen zu können. Übrig bleiben muss für eine eindeutige Analyse der jeweils einzelne Einflussfaktor – überlagerungsfrei.

Eine Analyse gelingt nicht ohne Isolierung. Ohne reale oder rechnerische Überlagerungsfreiheit der Einflussfaktoren bliebe eine Ausführung nur eine Hypothese. Eine Untersuchung, die Apparaturen verschiedener Messgeometrien, verschiedener Hersteller, damit auch verschiedener Gerätekonzeptionen, -Kompositionen und -Abstimmungen und ggf. noch weiterer überlagernder Einflussfaktoren nutzt, wird nicht den Beweis antreten können, dass beispielsweise die Messgeometrie eine mögliche Einflussquelle darstellt und sie wird erst recht nicht das Ausmaß eines denkbaren Einflusses bestimmen können. Hingegen wurde in den Hoffmann-Studien das Ausmaß isoliert und damit zudem Beweis geführt, dass die Messgeometrie tatsächlich Einfluss hat auf die Farbe und alle Farbkoordinaten, indem baugleiche Systeme vom selben Hersteller eingesetzt wurden, die sich lediglich in der Messgeometrie unterschieden.

In gegenwärtiger Ausgabe sind von ursprünglich mehr als 1000 Seiten der systematischen Erforschung ein paar Auszüge zur Erforschung der dentalen Trocknung in Bezug auf die Zahnfarbe wiedergegeben. Aufgrund des Umfangs und des vernetzenden Ineinandergreifens verschiedener Aspekte können diese Auszüge nur einen ersten Eindruck gewähren und wird zur weiteren Vertiefung die Originalpublikation des gegenwärtigen Autors empfohlen.

1. Belli S, Tanriverdi FF, Belli E. Colour stability of three esthetic laminate materials against to different staining agents. *J Marmara Univ Dent Fac.* 1997 Sep;2(4):643-8.
2. Bolt RA, Bosch JJ, Coops JC. Influence of window size in small-window colour measurement, particularly of teeth. *Phys Med Biol.* 1994 Jul;39(7):1133-42.
3. Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent.* 1997 May;77(5):464-70.
4. el-Sayed SM, Shereif AH, Farghaly A. Effect of fluoride application on specular reflectance and stain potential of unfilled and photocured microfilled resin veneering materials. *Egypt Dent J.* 1994 Jul;40(3):813-22.
5. Fay RM, Servos T, Powers JM. Color of restorative materials after staining and bleaching. *Oper Dent.* 1999 Sep-Oct;24(5):292-6.
6. Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent.* 1993 Jun;69(6):616-9.
7. Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent.* 1987 Nov;58(5):535-42.
8. Groh CL, O'Brien WJ, Boenke KM. Differences in color between fired porcelain and shade guides. *Int J Prosthodont.* 1992 Nov-Dec;5(6):510-4.
9. Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endod.* 1998 Dec;24(12):786-90.
10. Horn DJ, Hicks ML, Bulan-Brady J. Effect of smear layer removal on bleaching of human teeth in vitro. *J Endod.* 1998 Dec;24(12):791-5.
11. Ichesco WR, Ellison RL, Corcoran JF, Krause DC. A spectrophotometric analysis of dentinal leakage in the resected root. *J Endod.* 1991 Oct;17(10):503-7.
12. Ishikawa-Nagai S, Sato R, Furukawa K, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 1: Application of CCM to the opaque layer. *Int J Prosthodont.* 1992 Nov-Dec;5(6):495-502.
13. Ishikawa-Nagai S, Sato RR, Shiraishi A, Ishibashi K. Using a computer color-matching system in color reproduction of porcelain restorations. Part 3: A newly developed spectrophotometer designed for clinical application. *Int J Prosthodont.* 1994 Jan-Feb;7(1):50-5.

¹ CM-503c, CM-503i, CR-241 (Minolta, Osaka, Japan)