

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 trockeningsprotektive 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 Farbbestimmung 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 Flüssigkeitswiederaufnahmekronologie 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: **Biometrische Authentifizierung und forensische Identifikation von Lebenden und Toten, Menschen und Tieren anhand von spektralen Reflexionsmustern und der Zahnform**

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

Einleitung

In der Zahnmedizin stellt die Zahnfarbästhetik, eine Wortschöpfung aus Zahnfarbe und Ästhetik (vgl. Hoffmann-Studien), eine von zwei Säulen der dentalen Ästhetik – neben der Form. Was lag da im Jahre 2000 näher zu schauen und zu überprüfen, ob auch eine zweite Säule in der forensischen Zahnmedizin begründet werden kann, die auf der Zahnfarbe, Reflexionsspektren und Spektralanalysen basiert.

Forensische Zahnmedizin beschäftigt sich beispielsweise mit der Identifizierung und Altersbestimmung von Menschen und Toten.

Eine Identifizierung oder Authentifizierung – im weitesten Sinne die Verifizierung einer behaupteten Identität – wird zur Sicherheit von Mensch und Daten auch im Alltagsleben und in einer modernen Gesellschaft immer wichtiger, so wie es in speziellen Bereichen, wie einem Hochsicherheitsbereich, gang und gäbe ist. Dort werden biometrische Erkennungsmerkmale beispielsweise von Gesichtern, Fingerabdrücken oder Iris automatisiert und technologisch gewonnen. Auch in dieser sicherheitsrelevanten Biometrie wäre daran zu denken, Zahnform und dentale Reflexionsspektren für diesen Zweck zu nutzen. Insbesondere für kürzerfristige Aufgaben, wie Ein- und Auschecken, wäre eine kombinierte Technik machbar. Der gegenwärtige Autor hatte in Patentanmeldungen und Patent die biometrische Nutzung der Zahnform und dentaler Reflexionsspektren zur Identifikation und Authentifizierung bzw. Todeszeitbestimmung beschrieben. Es wäre insbesondere die Kombination deshalb interessant, um anhand der Form auch die farbliche Identifikation/Authentifizierung immer im richtigen Winkel zur Zahnkronen-Kurvatur abzugreifen. Wie die Hoffmann-Studien zeigten, kommt es insbesondere bei der Farbmessung zu Einflussnehmenden Abweichungen, wenn der Winkel des Messkopfes zur Zahnkronenkurvatur variiert. Ein System könnte entweder real den Messkopf und/oder den Nutzenden (den zu Authentifizierenden) in die gewünschte Position führen, um in der richtigen und immer gleichen Objekt-System-Relation zu erfassen, oder über einen Algorithmus die Zahnfarbe im Nachhinein einer Erfassung zu rekonstruieren, wenn die Objekt-System-Position nicht die optimale oder gleiche gewesen war.

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 Stoffe, wie Chlorhexidin, Fluoridgele, Kaffee und Tee.

Es ist ein weithin in der Zahnmedizin beobachtetes Phänomen, dass Zähne, die mit Kofferdam oder Watterollen trockengelegt oder die extrahiert sind, heller erscheinen. Eine Reihe von zahn-

medizinischen Lehrbüchern hat dieses Phänomen indirekt im Zusammenhang mit Zahnfarbbe-
stimmung 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. Trocknung könnte jedoch auch die Farbe bzw. Reflexi-
onsspektren verändern, die zur Identifikation und Authentifizierung genutzt werden sollen. Kann
trotz dieses Einflussfaktors die forensische Zahnmedizin oder die Sicherheitsbiometrie nach
Hoffmann gelingen? Genau das zu Beantworten war auch Ziel der damaligen 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 Hoff-
mann-Studien keine Untersuchung dieses grundlegende Thema der Helligkeit oder Zahnfarbe und
Zahnfarbwerten in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsgehalt, der Flüssigkeitsfreisetzung- und Flüssig-
keitswiederaufnahmeprozesse behandelt hatte. Ziel der Hoffmann-Studien war es daher, den
Zusammenhang zwischen Flüssigkeitsgehalt, Flüssigkeitsverlust (Trocknung), Flüssigkeitsab-
sorption (Rehydrierung) und Zahnfarbe herzustellen. Diese Grundlagenforschung wurde auch
entwickelt, um Informationen über diverse Farbeinflussfaktoren, den Flüssigkeitsfluss im Zahn
und über die Rolle der Zahnflüssigkeit im Zahn gewebe zu liefern, Informationen, auf denen wei-
terreichende Schlussfolgerungen basierten.

In gegenwärtiger Ausgabe sind von ursprünglich mehr als 1000 Seiten der systematischen Er-
forschung ein paar Auszüge zur Erforschung der Spektralkurven von Zähnen. Aufgrund des Um-
fangs und des vernetzenden Ineinandergreifens verschiedener Aspekte können diese Auszüge nur
einen ersten Eindruck zur spektralen Thematik 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.
14. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989 May;68(5):819-22.
15. Kleber CJ, Moore MH, Nelson BJ. Laboratory assessment of tooth whitening by sodium bicarbonate dentifrices. *J Clin Dent.* 1998;9(3):72-5. Erratum in: *J Clin Dent* 1998;9(4):inside front cov.
16. Koertge TE, Brooks CN, Sarbin AG, Powers D, Gunsolley JC. A longitudinal comparison of tooth whitening resulting from dentifrice use. *J Clin Dent.* 1998;9(3):67-71.
17. Kowitz GM, Nathoo SA, Rustogi KN, Chmielewski MB, Liang LJ, Wong R. Clinical comparison of Colgate Platinum Toothwhitening System and Rembrandt Gel Plus. *Compend Suppl.* 1994;(17):S646-51.
18. Leard A, Addy M. The propensity of different brands of tea and coffee to cause staining associated with chlorhexidine. *J Clin Periodontol.* 1997 Feb;24(2):115-8.
19. Lenhard M. Assessing tooth color change after repeated bleaching in vitro with a 10 percent carbamide peroxide gel. *J Am Dent Assoc.* 1996 Nov;127(11):1618-24; quiz 1665.
20. Lu Z, Zhao Y. [Study on the color modification buring surface staining of PLAT castable ceramic restorations]. *Hua Xi Yi Ke Da Xue Xue Bao.* 1993 Mar;24(1):75-7. Chinese.
21. Ma T, Johnson GH, Gordon GE. Effects of chemical disinfectants on surface characteristics and color of three fixed prosthodontic crown materials. *J Prosthet Dent.* 1999 Nov;82(5):600-7.
22. Manly RS. Tristimulus photoelectric colorimetry of human incisors. *J Dent Res.* 1947c;26(6):459.

23. Matis BA, Cochran MA, Eckert G, Carlson TJ. The efficacy and safety of a 10% carbamide peroxide bleaching gel. *Quintessence Int.* 1998 Sep;29(9):555-63.
24. Matis BA. Dentifrice whitening after professional bleaching. *J Indiana Dent Assoc.* 1998 Fall;77(3):27-32.
25. Millstein PL, Harlan J, Nathanson D. Colour effect of denture base on denture tooth materials. *J Oral Rehabil.* 1988 Mar;15(2):173-9.
26. Nakamura T, Nakajima H, Salimee P, Hino T, Maruyama T. Effect of bleaching on vital discoloured teeth – a colorimetric evaluation in three patients. *Asian J Aesthet Dent.* 1993 Jan;1(1):25-8.
27. Nathoo SA, Chmielewski MB, Rustogi KN. Clinical evaluation of Colgate Platinum Professional Toothwhitening System and Rembrandt Lighten Bleaching Gel. *Compend Suppl.* 1994;(17):S640-5.
28. Nissan R, Trope M, Zhang CD, Chance B. Dual wavelength spectrophotometry as a diagnostic test of the pulp chamber contents. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992 Oct;74(4):508-14.
29. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small-color-difference equation for dental shades. *J Dent Res.* 1990 Nov;69(11):1762-4.
30. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. One-dimensional color order system for dental shade guides. *Dent Mater.* 1989 Nov;5(6):371-4.
31. O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater.* 1997 May;13(3):179-85.
32. O'Brien WJ, Vazquez L, Johnston WM. The detection of incipient caries with tracer dyes. *J Dent Res.* 1989 Feb;68(2):157-8.
33. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent.* 1998 Dec;80(6):642-8.
34. Ouellet D, Los S, Case H, Healy R. Double-blind whitening Night-Guard study using ten percent carbamide peroxide. *J Esthet Dent.* 1992 May-Jun;4(3):79-83.
35. Rosenstiel SF, Gegauff AG, Johnston WM. Duration of tooth color change after bleaching. *J Am Dent Assoc.* 1991 Apr;122(4):54-9.
36. Rosenstiel SF, Gegauff AG, Johnston WM. Randomized clinical trial of the efficacy and safety of a home bleaching procedure. *Quintessence Int.* 1996 Jun;27(6):413-24.
37. Rosenstiel SF, Porter SS, Johnston WM. Colour measurements of all ceramic crown systems. *J Oral Rehabil.* 1989 Sep;16(5):491-501.
38. Rustogi KN, Curtis J. Development of a quantitative measurement to assess the whitening effects of two different oxygenating agents on teeth in vivo. *Compend Suppl.* 1994;(17):S631-4.
39. Seghi RR, Gritz MD, Kim J. Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization. *Dent Mater.* 1990 Apr;6(2):133-7.
40. Seghi RR, Johnston WM, O'Brien WJ. Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains. *J Dent Res.* 1989 Dec;68(12):1755-9.
41. Takeda T, Ishigami K, Shimada A, Ohki K. A study of discoloration of the gingiva by artificial crowns. *Int J Prosthodont.* 1996 Mar-Apr;9(2):197-202.
42. van der Burgt TP, ten Bosch JJ, Borsboom PC, Kortsmid WJ. A comparison of new and conventional methods for quantification of tooth color. *J Prosthet Dent.* 1990 Feb;63(2):155-62.
43. White JM, O'Brien WJ. The colors of mixtures of dental opaque porcelains. *J Dent Res.* 1989 Sep;68(9):1319-22.
44. Zhu J, Zhao Y, Zhu H. [In vivo color measurement of 410 healthy maxillary anterior teeth]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 1998 Sep;33(5):297-9.