

Gesundheits- und Arbeitsschutz bei 3-D-Scannern

Risikofaktor dentaler 3-D-Scanner?

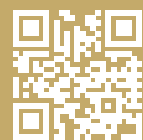
Ein Beitrag von Dr. Christoph Prall, Dipl.-Ing. Jörg Friemel

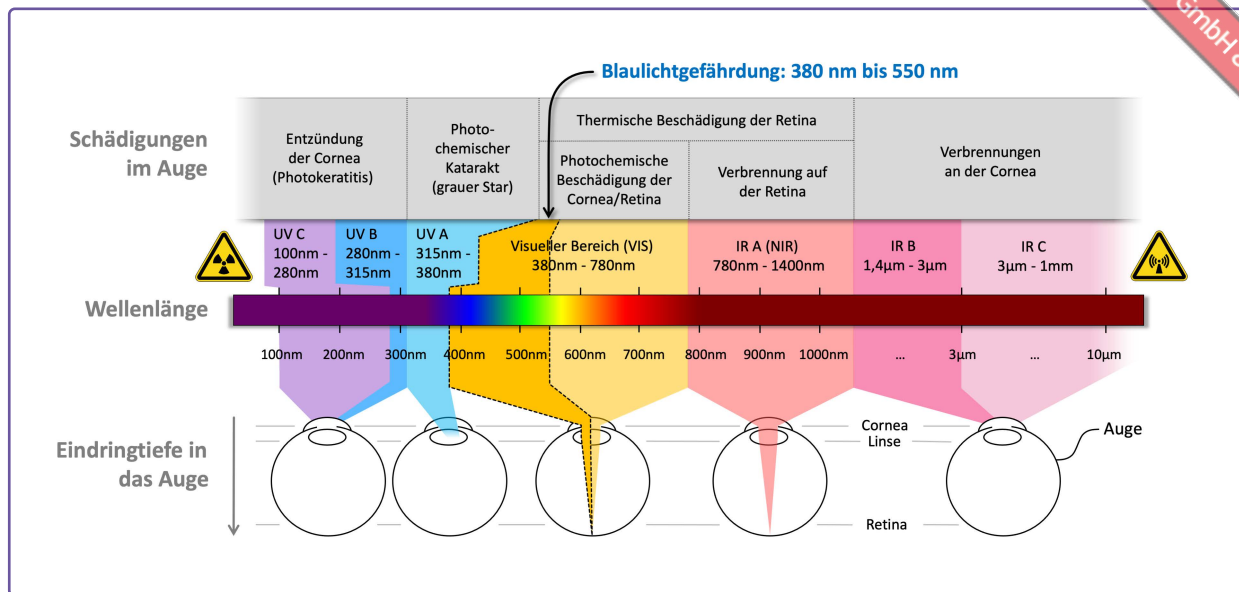
Galt blaues Licht lange als Ausdruck technischer Innovation, rücken zunehmend die schädlichen Auswirkungen auf das menschliche Auge in den Fokus. Bedeutung hat das auch für den Laboralltag in der Dentaltechnik, wo vermehrt 3-D-Scanner mit intensiven Blaulichtquellen zum Einsatz kommen. Es ist an den Herstellern und Laborinhabern, hier den nötigen Gesundheits- und Arbeitsschutz zu gewährleisten.

Kontakt

- | | |
|--|--|
| • Dr. Christoph Prall
smart optics
Sensortechnik GmbH
Lise-Meitner-Allee 10
44801 Bochum
www.smartoptics.de | • Dipl.-Ing. Jörg Friemel
smart optics
Sensortechnik GmbH
Lise-Meitner-Allee 10
44801 Bochum
www.smartoptics.de |
|--|--|

Website





01 Graphische Darstellung der möglichen Schädigungen im Auge durch intensive Exposition von optischer Strahlung abhängig von der Farbe, Wellenlänge des Lichtes (Grafik: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH, Basisdaten: [4, 9, 15])

Moderne künstliche Lichtquellen wie Licht emittierende Dioden (LEDs) können sehr effizient und mit hohen Leistungen Licht im sichtbaren und somit auch blauen Spektralbereich erzeugen [1]. Es liegt daher nahe, anzunehmen, dass von blauem Licht potenziell Gefahren für das menschliche Auge ausgehen. Blaue LEDs sind mit einer Wellenlänge von 400 nm bis 490 nm (Nanometer) [2] nicht weit von ultraviolettem Licht (UV-Licht) entfernt, das je nach betrachteter Norm bei einer Wellenlänge von unter 380 nm beziehungsweise 400 nm beginnt [3, 4]. Die schädlichen Auswirkungen von UV-Licht auf Augen und Haut sind hinlänglich bekannt [5, 6]. Die photochemische Netzhautgefährdung, Photoretinitis, welche durch blaues Licht hervorgerufen werden kann, wird dabei jedoch oft übersehen, da das menschliche Auge blaues Licht als nicht so intensiv wahrnimmt wie grünes oder gelbes Licht der gleichen Intensität [7]. In diesem Zusammenhang spricht man auch von Blaulichtgefährdung oder Blue Light Hazard [2, 4, 8, 9].

Sichtbare und unsichtbare optische Strahlung

Die Wellenlänge des Lichts, also dessen Farbe, ist einer der entscheidenden Faktoren dafür, welche Wirkung optische Strahlung auf das Auge hat und ob eine Gefährdung vorliegen kann (siehe Abb. 1). So wirken die Spektralbereiche von ultraviolettem (UV) über sichtbares bis hin zu infrarotem (IR) Licht unterschiedlich auf das Auge [4, 6, 8], da Licht je nach Wellenlänge unterschiedlich tief in das Auge eindringt. UV-Licht wird weitgehend im vorderen Bereich des Auges in der Hornhaut (Cornea) oder in der Augenlinse absorbiert und dringt kaum bis zur Netzhaut (Retina) vor [4, 8, 9]. Die Bestrahlung mit UV-Licht kann je nach Strahlungsintensität zu vorübergehenden schmerzhaften Entzündungen der Hornhaut (Photokeratitis) führen und langfristig irreversible Trübungen der Augenlinse (Photochemischer Katarakt, grauer Star) hervorrufen [3, 4]. Bekannt sind derartige Augenschäden auch von der Schneebblindheit oder als Folge des ungeschützten

Blicks in einen Schweißbogen. Im Gegensatz dazu kann es bei einer infraroten Bestrahlung des Auges, je nach Strahlungsintensität, zu thermisch induzierten Schädigungen kommen [4, 8, 9], das heißt zu Verbrennungen am oder im Auge. Im nahen infraroten Bereich (NIR) kann die Netzhaut geschädigt werden und im fernerem infraroten Bereich die Hornhaut. Blaues Licht ist hingegen Bestandteil des sichtbaren Spektrums und gelangt somit bis zur Netzhaut, wird hier absorbiert und als blaue Lichtinformation weiterverarbeitet [7]. Je nach Wellenlänge, Strahlungsintensität und Einwirkdauer können jedoch auch thermische oder photochemische Schädigungen der Netzhaut auftreten [2, 3]. Hohe Strahlungsintensitäten, zum Beispiel durch Laserlicht, können zu thermischen Netzhautschäden (Verbrennungen) führen [2, 3, 6]. Bei niedrigeren Strahlungsintensitäten dominiert die Gefahr einer photochemischen Netzhautschädigung. Das Gefährdungspotenzial ist dabei stark von der Wellenlänge des einstrahlenden Lichts abhängig [9]. Dabei kann insbesondere Licht mit einer Wellenlänge zwischen 380 nm (Grenze zu

UV-Licht) und 550 nm (gelbes Licht) zu einer photochemischen Netzhautschädigung führen. Die Wirkung ist jedoch bei blauem Licht am stärksten zu beobachten und bei einer Wellenlänge von 435 nm bis 440 nm maximal [6, 9]. Daher ist bei photochemischen Netzhautschädigungen von Blaulichtgefährdung oder Blue Light Hazard die Rede. Dabei können Moleküle der Netzhaut die Energie des einstrahlenden blauen Lichtes absorbieren, was wiederum zur Bildung von Reaktionsprodukten (zum Beispiel freien Radikalen) führen kann [2, 10]. Diese sind hochreaktiv und können die Netzhaut durch chemische Reaktionen schädigen. Die dabei entstehende Menge an Reaktionsprodukten ist proportional zum Produkt aus Bestrahlungsstärke und Expositionsdauer. Mit anderen Worten: Eine kurze starke Bestrahlung kann die gleiche Wirkung haben wie eine schwache Bestrahlung über einen längeren Zeitraum. Die Wirkung bei längerer Bestrahlung ist dabei kumulativ und kann sich somit summieren [6, 10]. Während sich thermische Schädigungen der Netzhaut in der Regel sofort durch Erblindung der betroffenen Bereiche bemerkbar machen, treten photochemische Schädigungen aufgrund der kumulativen Wirkung schleichend auf [2, 10]. Eine Netzhautschädigung kann zu vermindertem Scharfsehen, eingeschränktem Farbsehvermögen, Ausfällen im Gesichtsfeld und im Extremfall bis zur Erblindung führen und ist in der Regel irreversibel.

Die mögliche schädliche Auswirkung von blauem Licht auf das Sehvermögen ist erst in den vergangenen Jahren mit dem Aufkommen der LED-Technik in den Fokus gerückt. Während das Lichtspektrum klassischer Glühlampen einen höheren Rotanteil und einen geringeren Blauanteil aufwies, ist es bei den meisten modernen weißen LEDs genau umgekehrt, da diese Leuchtmittel auf blauen LEDs basieren, die einen Farbstoff für den weißen Farbeindruck zum Leuchten anregen [1, 2, 11]. LEDs für Raumbelichtung bleiben dabei in der Regel unterhalb der kritischen Grenzwerte. Anders sieht es bei leistungsstarken, eng fokussierten Lichtquellen aus, wie beispielsweise blauen Bühnenscheinwerfern oder blauen

Bildprojektoren. Dabei kann das menschliche Auge, je nach Anpassung an Tageslicht oder die Nachtsicht und betrachteter Wellenlänge, blaues Licht nur zehn bis 20 Mal schwächer als grünes oder gelbes Licht wahrnehmen [7]. Die persönliche Gefährdungseinschätzung ist dann trügerisch, da eine tatsächlich hohe Intensität von blauem Licht im Vergleich zu grünem oder gelbem Licht als viel schwächer wahrgenommen wird. Spätestens bei Blendeffekten des Auges durch blaues Licht sollte eine mögliche Gefährdung in Betracht gezogen werden.

Einsatz von blauem Licht bei dentalen 3-D-Scannern

In den vergangenen Jahren hat sich in der Dentaltechnik rein blaues Licht zur Digitalisierung von dreidimensionalen dentalen Objekten durchgesetzt. Technische Gründe dafür sind eine geringere chromatische Aberration sowie geringere Beugungseffekte des aufgenommenen Bildes im 3-D-Sensor [12, 13]. Diese optischen Effekte, die zu Unschärfe führen können, sind bei blauem Licht geringer ausgeprägt. Zugunsten des Bedienkomforts werden 3-D-Scanner immer mehr in offener Bauweise gefertigt, um ein schnelles Wechseln des zu scannenden Objektes zu gewährleisten. Dies kann jedoch zu einer erhöhten Exposition des Bedieners und der umgebenden Arbeitsplätze beim Scannvorgang mit blauem Licht führen.

Technische Rahmenbedingungen

Um eine Gefährdung durch optische Strahlung, wie etwa durch blaues Licht, zu minimieren, sind Technische Regelwerke, Normen und gesetzliche Verordnungen einzuhalten. Speziell die Norm DIN EN 62471 beschäftigt sich mit der photobiologischen Sicherheit von (inkohärenten) Lichtquellen und im Speziellen mit der Blaulichtgefährdung. Mit der letzten Überarbeitung dieser Norm wurden auch LEDs ausdrücklich aufgenommen. Mit Laserlicht (kohärente Strahlung) beschäftigt sich die Norm DIN EN 60825.

Rechtliche und normative Rahmenbedingungen in Bezug auf optische Strahlung

- Richtlinie 2006/25/EG:
Schutz von Arbeitnehmern vor Gefährdung durch künstliche optische Strahlung
- OStrV:
Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung
- TROS inkohärente optische Strahlung:
Technische Regeln zur Arbeitschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung
- TROS Laserstrahlung:
Technische Regeln zur Arbeitschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung
- DIN EN 62471:
Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen
- IEC TR 62778:
Technische Regel zur Anwendung der DIN EN 62471
- DIN EN 60825:
Sicherheit von Lasereinrichtungen

Wie können Laborinhaber die mögliche Gefährdung durch künstliche optische Strahlung und speziell durch Blaulicht beurteilen? Grundsätzlich findet hier die Erkenntnis des Arztes und Philosophen Paracelsus Anwendung: „Allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift sei“ [14]. Entscheidende Faktoren für eine mögliche Gefährdung durch eine Lichtquelle sind: Helligkeit (Intensität), Farbe (spektrale Verteilung der künstlichen optischen Strahlung) und Zeit (Expositionsdauer). Gleichet man diese drei Faktoren des sogenannten Dosisprinzips mit dem ab, was man bei einem typischen 3-D-Scanner mit Blaulichtquelle vorfindet, wird man als Laborinhaber jedoch leider nicht so leicht Entwarnung geben können, denn die Beurteilung ist im Detail nicht so einfach.



^ 02a/b Warnzeichen vor optischer Strahlung (links), Warnzeichen vor Laserstrahlung (rechts) (Grafik: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH)

Die maximal mögliche Expositionsdauer pro Arbeitstag kann man noch recht einfach mit der Nutzungsdauer des 3-D-Scanners bewerten. Bei der Bewertung der Intensität in Abhängigkeit vom spektralen Anteil der jeweiligen Lichtquelle ist es nicht so einfach. Wesentliche Faktoren darüber hinaus sind die strahlende Fläche und Abstrahlrichtung. Können Bediener oder weitere

Personen zum Beispiel innerhalb eines Dentallabors direkt in die Lichtquelle des 3-D-Scanners blicken, ist ein höheres Gefährdungspotenzial gegeben als bei austretender direkter Strahlung, die abgeschirmt ist. Kann keine direkte Strahlung austreten, so muss nach dem Anteil der Streulicht-Intensität gefragt werden.

Arbeitsschutz bei 3-D-Scannern

Für den Laborinhaber, der als Arbeitgeber für den Arbeitsschutz und die Gesundheit seiner Mitarbeiter verantwortlich zeichnet, sind diese Bewertungen nicht ohne Weiteres vorzunehmen. Dazu ist physikalisches und lichttechnisches Fachwissen erforderlich,



^ 03 Beispiel der Kennzeichnung eines Produktes mit optischer Strahlung der Risikoklasse 2 (Grafik: C. Prall, smart optics Sensortechnik GmbH)

spezielle Messgeräte sowie Kenntnis der relevanten Normen und Verordnungen.

Letztlich sollte der Laborinhaber also den Hersteller eines 3-D-Scanners in die Pflicht nehmen und sich von ihm bestätigen lassen, dass ein sicherer Betrieb im Hinblick auf die Anforderungen des Schutzes vor künstlicher optischer Strahlung und im Speziellen vor Blaulicht gegeben ist. Im Idealfall weist der Hersteller für das Produkt die jeweilige Risikogruppe in einem referenzierten Abstand zur Lichtquelle gemäß DIN EN 62471 aus oder gibt bei der Verwendung von Laserlicht die jeweilige Laserklasse gemäß DIN EN 60825 an. Diese Klassifizierungen geben einen Hinweis auf die jeweilige Gefährdung, die resultierenden Sicherheitsmaßnahmen und die maximale Expositionsdauer.

Eine Klassifizierung in die sogenannte freie Gruppe stellt keine photobiologische Gefährdung dar [2, 9]. Lichtquellen, welche Risikogruppe 1 zugeordnet sind, stellen bei normalem menschlichem Verhalten ebenfalls keine Gefahr dar [2, 9]. Ab Risikogruppe 2 ist eine Gefährdung nur dann minimiert, solange bei direkter Bestrahlung die Abwehrreaktion des Auges funktioniert und somit der Augenlidchlussreflex mit maximal 0,25 s (Sekunden) gegeben

ist [2, 9]. Eine längere Bestrahlung als 0,25 s kann bei Risikogruppe 2 eine Gefährdung darstellen. Bei der höchsten Risikoklasse 3 sind auch noch kurzzeitige Bestrahlungen gefährlich.

Ähnliches ist bei 3-D-Scannern mit eingesetztem Laserlicht zu berücksichtigen. Diese sind nur bei Laserklasse 1 bei normalem menschlichem Verhalten als sicher anzusehen. Bereits bei Laserklasse 2 ist eine Gefährdung nur dann minimiert, wenn bei direkter Bestrahlung die Abwehrreaktion des Auges funktioniert und der Augenlidchlussreflex mit maximal 0,25 s gegeben ist [15]. Eine mögliche Schutzmaßnahme, wenn bei Risikoklasse 2 oder Laserklasse 2 längere Expositionsdauern zu erwarten sind, ist das Tragen von speziellen Schutzbrillen durch den Benutzer und alle weiteren gefährdeten Personen beispielsweise in einem Dentallabor.

Von einem gut konstruierten 3-D-Scanner kann verlangt werden, dass ein sicherer Betrieb auch ohne das Tragen von Schutzbrillen möglich ist und kein Risiko für den Benutzer besteht. Der Hersteller kann sich der Verantwortung nicht entziehen, indem er Warnhinweise anbringt und die Verantwortung auf den Betreiber überträgt (siehe Abb. 2 und 3).

Grundsätzlich ist ein Hersteller verpflichtet, die Sicherheit der von ihm in Verkehr gebrachten Produkte zu gewährleisten. Dies umfasst sämtliche bekannten oder vorhersehbaren Gefährdungen, die von einem Produkt ausgehen können, somit auch die Gefahren durch blaues Licht. Nach der zentralen Grundnorm DIN EN ISO 12100 „Sicherheit von Maschinen“ ist als allererste Stufe der Risikominimierung eine „inhärent sichere Konstruktion“ umzusetzen. Dies bedeutet, dass alle Gefahren so weit wie möglich und durch technische Maßnahmen zu reduzieren sind. Nur den Restrisiken, die durch technische Maßnahmen nicht weiter zu verringern sind, darf dann mit ergänzenden Maßnahmen, wie zum Beispiel mit Sicherheitshinweisen, Warnzeichen oder dem Vorschreiben persönlicher Schutzausrüstung begegnet werden.

Situation bei aktuell vertriebenen dentalen 3-D-Scannern

Nahezu alle Hersteller bieten 3-D-Scanner mit rein blauem Licht an. Die dabei eingesetzten Lichtquellen liegen im beschriebenen Wellenlängenbereich zwischen 380 nm (Grenze zu UV-Licht) und 550 nm (gelbes

Licht) und können zu einer photochemischen Netzhautschädigung führen. Gleichzeitig wird dabei die Konstruktion der Geräte immer offener gestaltet.

Eine Haube, die während des Scannens geschlossen werden könnte und so zuverlässig alle sowohl gefährlichen als auch störenden Lichteffekte abschirmt, gibt es bei den meisten Geräten nicht mehr. Dabei bedingt eine offene Konstruktion aus rein messtechnischer Sicht, dass vermehrt Umgebungslicht, wie zum Beispiel Sonnenlicht einstrahlen kann.

Mit immer lichtstärkeren Projektoren muss für die messtechnische Erfassung gegengesteuert werden, was das Gefährdungspotenzial erhöht.

Dabei soll das Objekt immer schneller erfasst werden, was wiederum bedeutet, dass der 3-D-Sensor weniger Zeit hat, das Messlicht des Scanners zu sammeln. Um in einer kürzeren Zeit genügend Licht zu detektieren, ist wiederum der Einsatz von noch lichtstärkeren Projektoren notwendig.

Fazit

Immer weniger Abschirmungen und immer lichtstärkere Projektoren: Das ist genau das Gegenteil von inhärenter Sicherheit im Hinblick auf die Gefährdung durch künstliche optische Strahlung und im Speziellen durch Blaulicht.

Die meisten Hersteller von dentalen 3-D-Scannern werden die zuvor genannten Gefährdungspotenziale bei der Konstruktion ihrer Scanner berücksichtigen. Es ist jedoch wichtig, Sensibilität für dieses Thema zu schaffen. Denn schaut man sich aktuelle dentale 3-D-Scanner in offener Bauweise an, bei denen teilweise sogar auf Augenhöhe eines sitzenden Bedieners mit immer intensiverem blauem Licht waagrecht in den Raum geleuchtet wird, stellt sich die Frage, ob die Blaulichtgefährdung berücksichtigt wurde oder ob sich Hersteller aus der Verantwortung ziehen.

Am Ende haftet der Laborinhaber als Arbeitgeber für den Arbeitsschutz. Daher sollten Laborinhaber schon vor dem Kauf eines dentalen 3-D-Scanners vom jeweiligen Hersteller bestätigen lassen, dass ein

sicherer Betrieb im Hinblick auf die Anforderungen des Schutzes vor künstlicher optischer Strahlung, Laserstrahlung und Blaulicht gegeben ist.

Sollten Zweifel bestehen, sollte Rat bei entsprechend fachkundigen Personen im Bereich Arbeitssicherheit, Licht- oder Lasersicherheit eingeholt werden. Unterstützend sind hier die Berufsgenossenschaften oder je nach Einsatzort Unfallkassen als eine weitere Anlaufstelle zu nennen.

Literatur

- [1] Dohlus R, Lichtquellen, De Gruyter, 2014
- [2] Udovičić L, Mainusch F, Janßen M, Nowack D und Ott G, „Photobiologische Sicherheit von Licht emittierenden Dioden (LED),“ Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Vol. 1, 2013
- [3] Schneeweiss C, Eichler J und Brose M, Leiffaden für Laserschutzbeauftragte, Springer Spektrum, 2017
- [4] „Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung -- TROS Inkohärente Optische Strahlung -- Teil: Allgemeines,“ Gemeinsames Ministerialblatt (GMBI), Nr. 65-67, S. 1302, 2013
- [5] Ham W T, Mueller H A und Sliney D H, „Retinal sensitivity to damage from short wavelength light,“ Nature, Vol. 260, Nr. 5547, S. 153-155, 1976
- [6] Sutter E, Schutz vor optischer Strahlung – Laserstrahlung inkohärente Strahlung, Sonnenstrahlung, VDE Verlag, Vol. 3, 2008
- [7] Freiding A, Untersuchungen zur spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges im mesopischen Bereich, Herbert Utz Verlag, 2010

- [8] „Ein unverbindlicher Leitfaden zur Richtlinie 2006/25/EG über künstliche optische Strahlung“, Europäische Kommission, Generaldirektion Beschäftigung, Soziales und Integration, 2011
- [9] DIN EN 62471 „Photobiologische Sicherheit von Lampen und Lampensystemen“
- [10] Berke A, „Teil 2: Blaues Licht – gut oder schlecht?,“ DOZ, Vol. 2, S. 54-59, 2014
- [11] Prall C, „Photolumineszenz bei hohen Temperaturen aus epitaktisch wachsenden Nitrid-Halbleiterschichten zur In-situ-Materialcharakterisierung“, Dissertation, Universität Duisburg-Essen, 2018
- [12] Eichler J und Eichler H J, Laser – Bauformen, Strahlführung, Anwendungen, Springer, Vol. 6, 2006
- [13] Demtröder W, Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken, Springer, Vol. 17, 2007
- [14] Peuckert W-E, Theophrastus Paracelsus Werke Band II: Medizinische Schriften, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1965
- [15] DIN EN 60825 „Sicherheit von Lasereinrichtungen“