



Lasers in de tandheelkunde 1

J.J. ten Bosch

Wat is er bijzonder aan lasers?

Diagnostiek en behandeling door middel van lasers krijgt voet aan de grond binnen de tandheelkunde. Dit artikel dient als inleiding op een serie artikelen die de tandheekkundige toepassingen van lasers bespreken. Het bevat een overzicht van de nu in de tandheelkunde gebruikte lasers. Het geeft inzicht in de bijzondere eigenschappen van laserstraling waardoor deze toepassingen mogelijk worden: evenwijdigheid van de uitgezonden stralingsbundel en smalle breedte van de uitgezonden lijn in het golflengtespectrum van de elektromagnetische straling. Ten slotte geeft dit artikel een kort overzicht van de processen van wisselwerking met weefsel: verstrooiing, absorptie, fluorescentie en frequentieverdubbeling.

Samenvatting

Trefwoord:

- Laser

Uit de disciplinegroep Biomaterialen, faculteit der Medische Wetenschappen, van de Rijksuniversiteit Groningen.

Datum van acceptatie:

2 november 2001.

Adres:

Prof.dr. J.J. ten Bosch

RU Groningen

Postbus 196

9700 AD Groningen

j.j.ten.bosch@med.rug.nl

BOSCH JJ TEN. Lasers in de tandheelkunde 1. Wat is er bijzonder aan lasers? Ned Tijdschr Tandheelkd 2002; 109: 83-87.

Inleiding

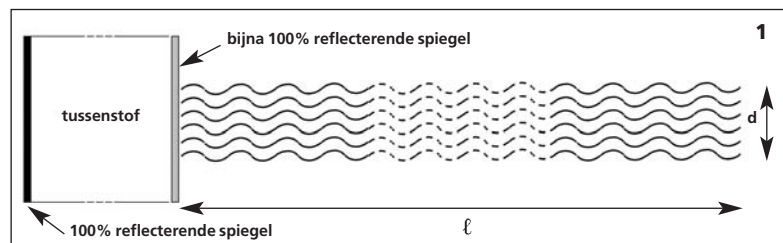
De Nederlander wordt heden ten dage vaak geconfronteerd met lasers. Hij ziet op zijn televisie animaties van lasers die in 'Star Wars' raketten vernietigen, hij leest in zijn krant over lasergeleide projectielen, hij ziet boven zijn woonplaats laserbundels de wolken belichten, en moet voor zijn cd-speler zo nu en dan een nieuwe laserdiode kopen. De Nederlandse tandarts krijgt informatie over 'tandheekkundige' lasers en bij cursussen en congressen ziet hij door een rood vlekje uit een laseraanwijzer aangeduid wáár op het projectiescherm hij moet kijken. Het begrip 'laser' is gemeengoed geworden: uit een laser komt een dunne, evenwijdige, bundel licht die heel sterk kan zijn.

zel (fiber) geplaatst, dan gaat al het licht die fiber in en komt er aan de andere kant weer uit. De fiber is flexibel en zo kan men met een dunne fiber (0,1 mm of dunner) grote 'hoeveelheden' licht precies krijgen waar men het hebben wil (afb. 2).

Een tweede punt dat bij lasers anders is, is de vermelding van de 'hoeveelheid' licht. Op een gloeilamp of een TL-buis is een aantal Watt vermeld: het vermogen. Bij een gloeilamp of TL-buis is dat het vermogen dat nodig is om de lamp te laten branden, het vermogen dus dat aan het elektriciteitsnet wordt onttrokken. Een klein deel daarvan wordt omgezet in licht, het meeste wordt omgezet in warmte. Bij een laser wordt ook een

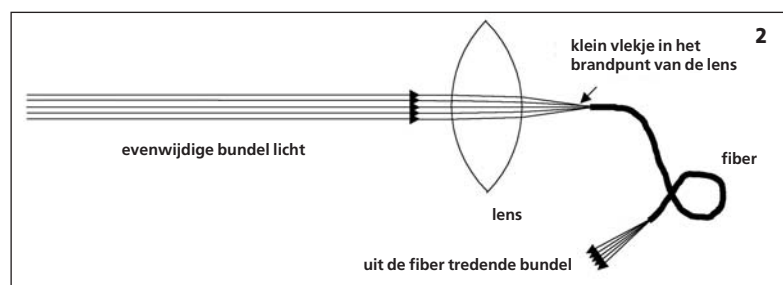
Wat is een laser?

In essentie bestaat een laser uit twee spiegels met een tussenstof (afb. 1) (Hecht, 1991). Deze tussenstof kan een gas, een vloeistof, een kristal of een halfgeleider zijn. De tussenstof bepaalt de golflengte die de laser uitzendt. De afstand tussen de spiegels kan veel minder dan één mm zijn, of veel meer dan één meter. Om de laser te laten werken, moet aan de tussenstof energie in een geschikte vorm worden toegevoerd. Meestal gebeurt dat elektrisch.



Eigenschappen van laserstraling

Inderdaad is de evenwijdigheid de eerste opvallende eigenschap van laserlicht. 'Gewoon' licht is alleen maar evenwijdig in de schoolboekjes en -sometjes van het vak natuurkunde. In werkelijkheid wordt een 'evenwijdige' bundel alleen maar, en dan nog in benadering, gerealiseerd door laserlicht. In bijna alle tandheekkundige toepassingen is het grote belang daarvan dat een eenvoudige lens deze evenwijdige bundel kan samenknijpen tot een heel klein vlekje in het brandpunt van die lens. Wordt in dat brandpunt een glasve-



Afb. 1. Een laser bestaat in essentie uit twee evenwijdige spiegels met een tussenstof, waarin de straling wordt opgewekt. De uitgezonden bundel bestaat uit golven die over de hele bundelbreedte d 'in de pas' lopen. Daardoor ontstaat een bijna volmaakt evenwijdige bundel. Ook lopen de golven over een grote afstand l 'in de pas'. Dat komt doordat de uitgezonden straling van bijna één golflengte is: monochromatisch licht of monochromatische straling. Zowel in de breedte als in de lengte wordt gesproken van coherent licht of coherente straling. De afbeelding is niet op schaal.

Afb. 2. Omdat de bundel evenwijdig is, kan deze met een eenvoudige lens samen worden geknepen tot een heel klein vlekje, vele malen kleiner dan 1 mm. Dat geeft onder meer de mogelijkheid alle straling van de bundel in een glasvezel te 'schieten' en zo alle straling op een gerieflijke manier te transporteren om deze dáár te brengen waar men deze gebruiken wil.

Tabel 1. Lasers voor tandheelkundig gebruik met hun toepassingen†.

| Type | Tussenstof | Golflengte → 0,001 mm = 1 µm = 1000 nm | Continu of puls | Vermogen (W)* of pulsenergie (mJ)* | Toepassingen, potentiële of vermeende toepassingen |
|----------------------------|--------------|--|--------------------|---|---|
| Argon ion | Gas | 0,488 en 0,514 µm | c | 5 W | <ul style="list-style-type: none"> • Diagnose van gladdevlakcarië • Compositpolymerisatie • Fotodynamische tumortherapie |
| Kleurstof | Vloeistof | Afstembaar in het zichtbare gebied | c | | |
| He-Ne ¹ | Gas | 0,633 µm | c | 1-50 mW | |
| Diode | Halfgeleider | 0,655 µm | c | klein | <ul style="list-style-type: none"> • Diverse meetkundige metingen, wondgenezing e.d. (in discussie) • Diagnose van occlusale carië • Sterilisatie van parodontale pockets • Wortelkanaalsterilisatie • Sterilisatie van parodontale pockets • Chirurgie van zacht weefsel • Verwijdering van carieus materiaal, caviteitspreparatie, |
| Diode | Halfgeleider | O.m. 0,81 en 0,94 µm | c | 10 W | |
| Nd:YAG ² | Kristal | 1,064 µm | p | 250 mJ | |
| Er:YAG ³ | Kristal | 2,94 µm | p | 10-600 mJ | <ul style="list-style-type: none"> • conditionering en verwijdering van vulmaterialen • Verwijdering van carieus materiaal, caviteitspreparatie |
| Er,Cr:YAG ⁴ | Kristal | 2,78 µm | p | 0-300 mJ | |
| Afgestemde CO ₂ | Gas | 9,6 µm | c | 10-50 m/mLm ² | <ul style="list-style-type: none"> • Anti-cariëbehandeling van glazuur • Chirurgie van zacht weefsel |
| CO ₂ | Gas | 10,6 µm | c | 10 W | |

† met medewerking van R. Hibst, Ulm

* karakteristieke waarden, bij gepulste lasers is het gemiddelde vermogen van de orde van 3 tot 8 W

1 = Helium-Neon

2 = Neodymium-Yttrium-Aluminium-granaat

3 = Erbium-Yttrium-Aluminium-granaat

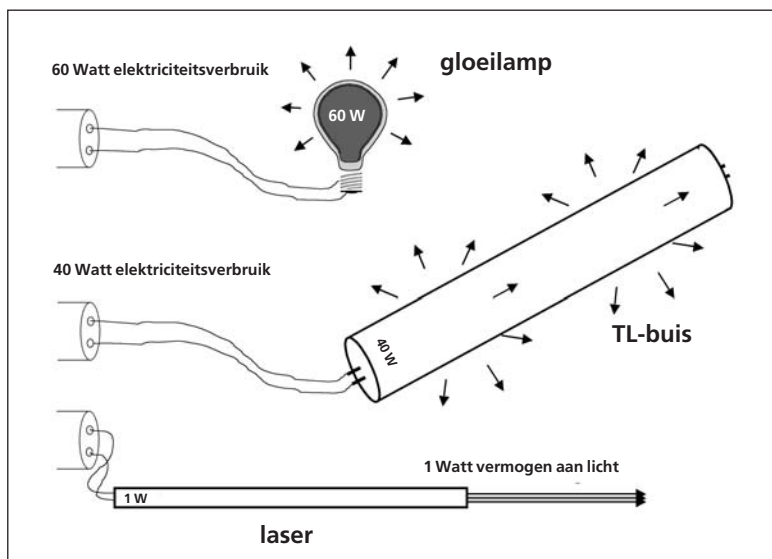
4 = Erbium en Chroom-Yttrium-Aluminium-granaat

vermogen opgegeven. Bij een laser is het opgegeven vermogen echter het vermogen van het licht zelf: de 'hoeveelheid' licht die er per seconde uitkomt (afb. 3). Wordt dit vermogen, al of niet na transport door een fiber, geabsorbeerd, dan wordt het omgezet in warmte. Het spreekt wel vanzelf dat het vermogen dat een laser uitzendt een eigenschap is die van groot belang is voor het doel waarvoor de laser gebruikt zal worden. Wanneer glazuur moet worden 'gesmolten' is meer vermo-

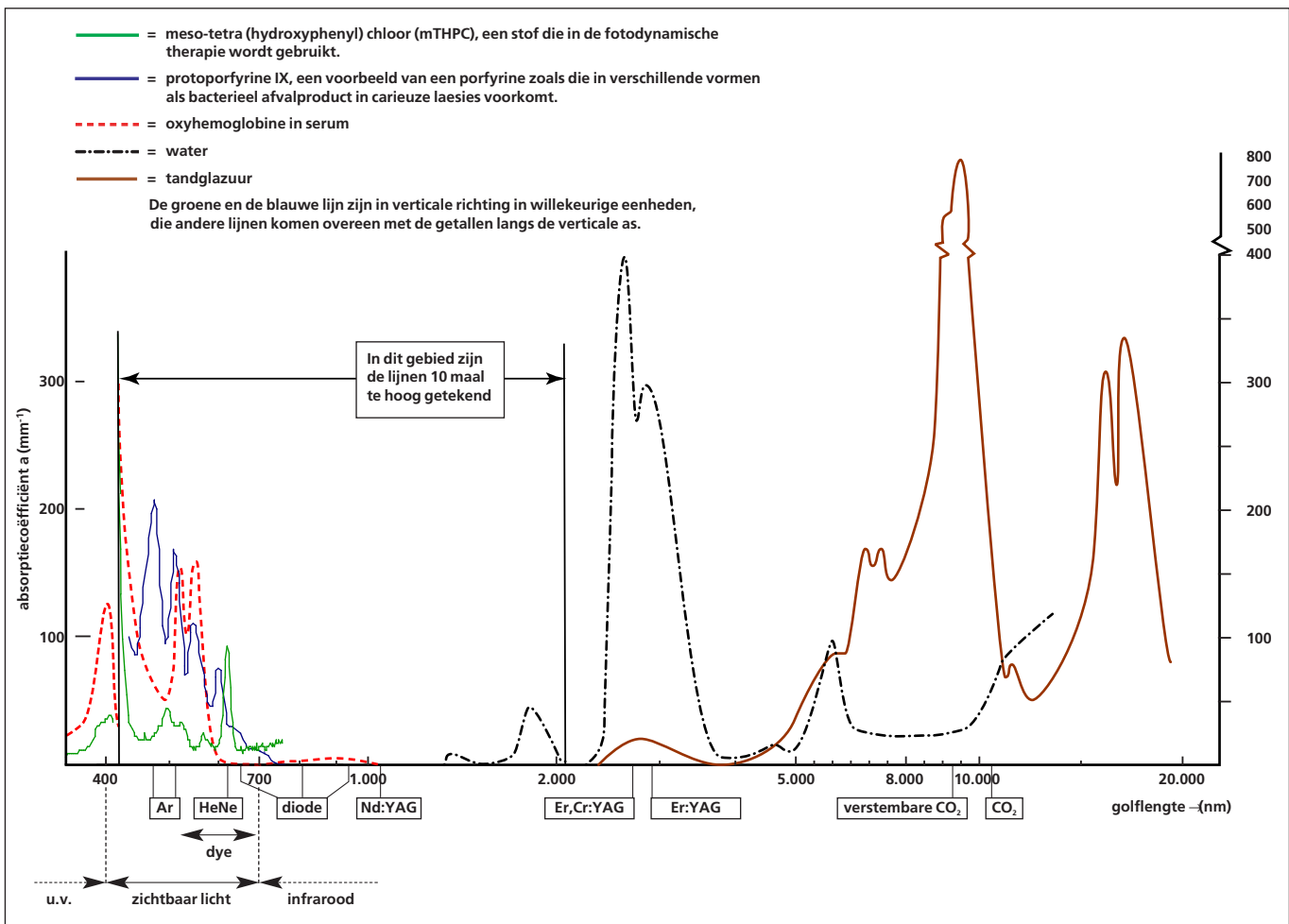
gen nodig dan wanneer fluorescentiestraling moet worden opgewekt. Het vermogen is vooral afhankelijk van het type laser. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van typen lasers die voor de tandheelkunde van belang zijn. Daarin is voor elk type een globaal vermogen opgegeven.

Een derde punt is de golflengte van de laser. Zichtbaar licht heeft golflengten tussen ongeveer 400 en 700 nm, 1000 nm is 1 µm, een duizendste van een mm. Deze golflengten vormen tezamen het spectrum van de regenboog: licht van 400 nm is blauw, licht van 700 nm is rood. Buiten dit golflengtegebied wordt er gesproken van straling. Golflengten korter dan 400 nm worden ultraviolet genoemd, golflengten groter dan 700 nm infrarood. Ook voor het infrarood zijn er lasers, bijvoorbeeld de Er:YAG-laser en de CO₂-laser. In de rest van dit artikel wordt dan ook de term 'straling' gebruikt in plaats van de term 'licht'. 'Gewone' straling omvat een brede band van vele golflengten, laserlicht in het algemeen slechts één of enkele zeer smalle lijnen in het spectrum. De golflengte van die lijnen wordt bepaald door het materiaal van de laser. Uitzonderingen op deze regel zijn de zogenaamde dye-lasers en de verstembare CO₂-laser. In afbeelding 4 is langs de horizontale as het golflengtegebied van 400 tot 20.000 nm uitgezet. Met verticale streepjes is daarbij aangegeven de plaats van de spectraallijnen die de verschillende typen lasers uitzenden.

Een laatste punt betreft de tijdsduur van uitzenden. Sommige lasers zenden ononderbroken straling uit, zodra ze ingeschakeld zijn. Dit zijn de 'continue' lasers. Uiteraard kunnen continue lasers worden aan- en afgezet, zodat de laser bijvoorbeeld een tiende van een seconde werkt. Andere lasers zenden de straling altijd uit in kortdurende pulsen: de 'gepulste' lasers.



Afb. 3. Toelichting bij het begrip 'vermogen' van een laser. Op een gloeilamp en een TL-buis wordt steeds het vermogen vermeld. Hoe meer vermogen, des te meer licht komt er uit. Maar: het vermelde vermogen is het elektrisch vermogen dat nodig is om de lamp of buis te laten branden. Het vermogen aan licht of straling dat werkelijk wordt uitgezonden, is slechts een fractie van het vermelde vermogen, de rest wordt warmte. Bij een laser wordt ook een vermogen opgegeven. Maar bij een laser is dat het vermogen aan licht of straling dat de laser uitzendt. Het elektrisch vermogen dat de laser nodig heeft, is veel groter. De getallen op een gloeilamp en op een laser zijn dus niet vergelijkbaar.



Deze pulsen hebben een véél kortere tijdsduur dan een seconde, tot een miljardste van een miljardste van een seconde (10^{-15} s) aan toe. Als een vermogen wordt opgegeven bij gepulste lasers, wordt het gemiddelde vermogen bedoeld, dus de som van de energie in alle pulsen die in een seconde worden uitgezonden. Ook deze gegevens zijn in tabel 1 opgenomen.

Laserstraling op weefsel

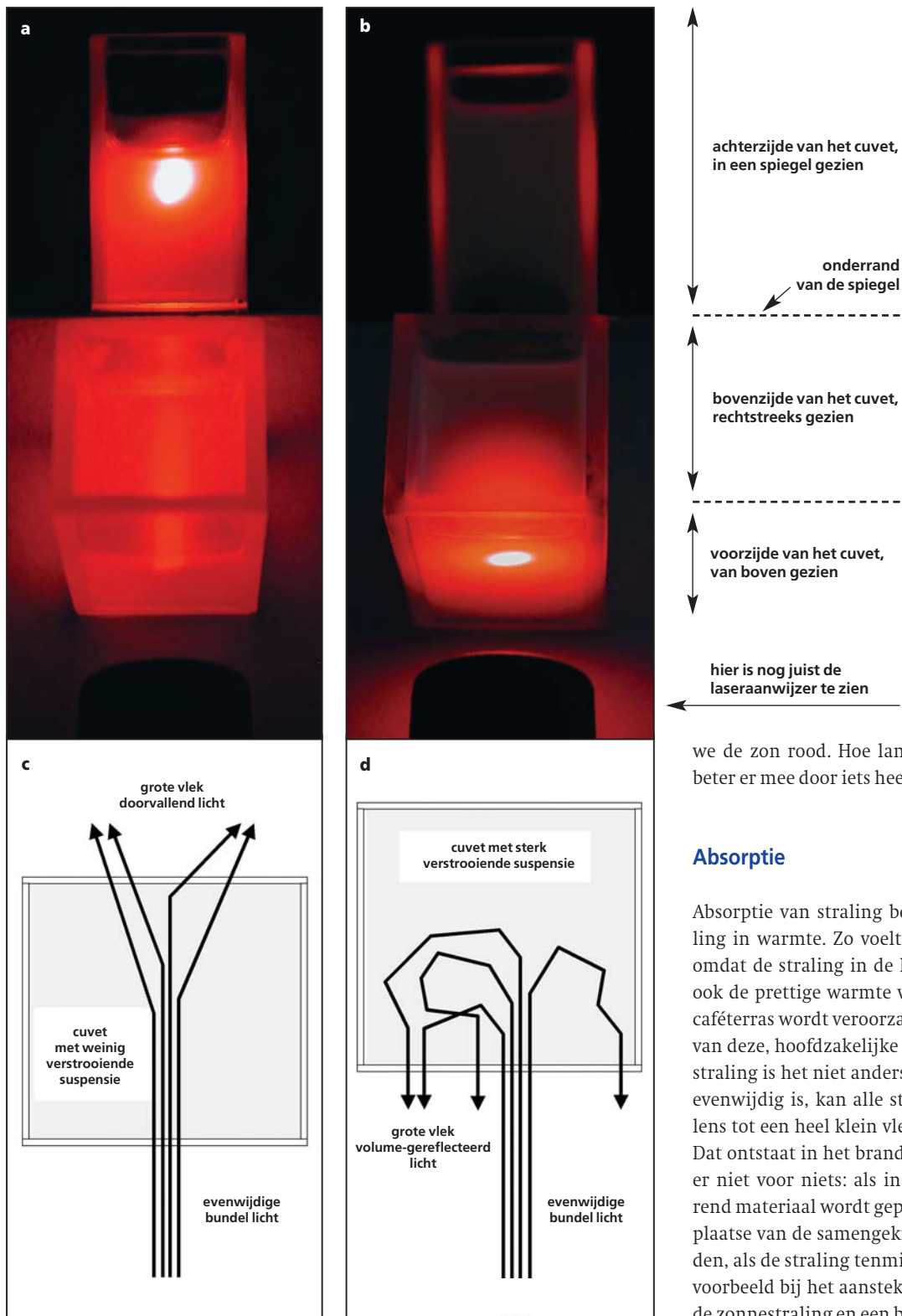
Straling kan alleen worden gebruikt voor een bepaald doel als het ergens op valt. Voor de tandheelkundige discipline: op menselijk oraal weefsel. Dan treedt er wisselwerking op: de straling beïnvloedt het weefsel, het weefsel beïnvloedt de straling. Het weefsel reflecteert de straling bijvoorbeeld. Laserstraling is in zijn wisselwerking met stoffen niet anders dan gewone straling met dezelfde golflengte. Drie processen van wisselwerking zijn voor deze artikelenserie van belang: verstrooiing, absorptie en fluorescentie. Van minder belang, maar toch waardevol om te noemen is frequentieverdubbeling.

Verstrooiing

Verstrooiing van straling betekent dat deze straling van richting verandert. Een evenwijdige bundel die op materiaal valt, verliest in het materiaal door verstrooi-

Afb. 4. Een spectrum waarin zijn aangegeven zowel de golflengten van tandheelkundig gebruikte lasers, als de absorpties van materialen van belang voor tandheelkundige lasertoepassingen. Daaruit kan worden afgeleid welke substanties de straling van de verschillende lasers absorberen. Bijvoorbeeld is te zien dat de straling van de Er:YAG- en de Er,Cr:YAG-lasers door water sterk wordt geabsorbeerd; de straling van de verstembare CO_2 -laser wordt sterk geabsorbeerd door glazuur en wel door het apatiet. Horizontaal is uitgezet de golflengte \rightarrow in nm (1 mm is een miljoen nm) en wel op logaritmische schaal. Verticaal is uitgezet de absorptiecoëfficiënt a in mm^{-1} . (1/a is de afstand waarover een evenwijdige bundel door absorptie tot 10% is verzwakt).

ing zijn evenwijdigheid. Dat kan iedereen op eenvoudige manier zelf demonstreren. Richt in een vrij donkere kamer maar eens een laseraanwijzer op een bakje met water en een héél klein beetje koffiemelk. De laseraanwijzer zendt een evenwijdige bundel rood licht uit. Als de bundel op het bakje wordt gericht en er niet te weinig, maar ook niet te veel, koffiemelk in zit, wordt de bundel in het water gespreid. Aan de achterkant van het bakje is een vrij grote, egaal verlichte, vlek te zien (afb. 5). Wordt er meer koffiemelk bij gedaan, dan komt er niet genoeg licht meer doorheen om het aan de achterkant nog te kunnen zien. Het licht wordt dan veelvuldig verstrooid en verandert daardoor vele malen van richting. Daardoor ontstaat er een vlek aan de voorkant van het bakje, de kant waar het licht erin gaat. Dit heet volumereflectie. Bijna alle voorwerpen om ons heen zien we door middel van volumereflectie: het licht gaat in het voorwerp, het loopt er door veelvoudig verstrooiing in rond en komt er weer uit naar ons oog toe.



Afb. 5. Toelichting op het begrip verstrooiing. Beide foto's (a) en (b) tonen een cuvet met een verstrooiende vloeistof (koffiemelk in water) die belicht wordt met rood licht uit een laseraanwijzer. Er is geen absorptie. De kleurverschillen zijn een gevolg van overbelichting, in werkelijkheid is er alleen maar rood licht. Het voorvlak van het cuvet is onder in de foto's te zien, van boven gefotografeerd, daarboven kijken we van bovenaf in de vloeistof, en door gebruik van een spiegel toont het bovenste deel van de foto's het achteraanzicht van het cuvet. Foto a is gemaakt met verdunde koffiemelk. Te zien is hoe de invallende bundel aan de voorzijde het cuvet binnentreedt, het bovenaanzicht laat zien hoe de bundel door verstrooiing uitwaaiert. Uit het gehele cuvet komt licht. Aan de achterzijde treedt de bundel sterk verbreed uit. Foto b is gemaakt met onverdunde koffiemelk. Alle licht wordt veelvuldig verstrooid en treedt overwegend aan de voorzijde uit. Nu ontstaat een brede vlek aan de voorzijde. De achterkant van het cuvet blijft geheel donker. Figuren (c) en (d) geven schematisch weer wat er in (a), resp. (b) te zien is. (Met dank aan J. L. Ruben en J. de Vries).

Van belang is dat verstrooiing niet zeer afhankelijk is van de golflengte. In het algemeen geldt dat hoe langer de golflengte, des te minder is de verstrooiing. Infrarode straling zal dus minder verstrooid worden dan zichtbaar rood licht, dat weer minder dan blauw licht en dat weer minder dan ultraviolet. Dit is de reden dat een ondergaande zon er rood uitziet: het zonlicht legt dan een heel lange weg af door de dampkring voordat het het menselijk oog bereikt. Omdat blauw en groen (kortere golflengten dan rood) sterker verstrooid worden dan rood en dus uit de rechtstreekse bundel zonlicht verdwijnen, blijft rood over en zien we de zon rood. Hoe langgolfiger de straling is, hoe beter er mee door iets heen gekeken kan worden.

Absorptie

Absorptie van straling betreft de omzetting van straling in warmte. Zo voelt men de warmte van de zon omdat de straling in de huid wordt geabsorbeerd. En ook de prettige warmte van de warmtestralers op het caféterras wordt veroorzaakt door absorptie in de huid van deze, hoofdzakelijke infrarode, straling. Met laserstraling is het niet anders. Maar omdat de laserbundel evenwijdig is, kan alle straling in de bundel met een lens tot een heel klein vlekje worden samengeknepen. Dat ontstaat in het brandpunt van de lens. Die term is er niet voor niets: als in het brandpunt een absorberend materiaal wordt geplaatst, zal de temperatuur ter plaatse van de samengeknepen bundel zeer hoog worden, als de straling tenminste wordt geabsorbeerd, bijvoorbeeld bij het aansteken van een stukje papier met de zonnestraling en een brandglas.

De absorptie is doorgaans afhankelijk van de golflengte. In het gebied van de zichtbare golflengten ontstaan daardoor de kleuren in onze omgeving. Alleen een zwart materiaal absorbeert alle zichtbare golflengten en doorgaans ook het nabij gelegen infrarood en ultraviolet. Omdat lasers straling uitzenden in een smalle lijn van één bepaalde golflengte, kan een bepaald materiaal de straling van de éne laser helemaal niet absorberen, die van een andere laser juist heel sterk. In afbeelding 4 is de golflengteafhankelijkheid van de absorptie van een aantal voor de tandheelkunde relevante materialen aangegeven. De absorptie door water

voor de straling van de Nd:YAG-laser (1064 nm) is daarbij nul, de absorptie van de straling van de Er:YAG-laser (2094 nm) is juist groot. Een Nd:YAG-laser verwarmt water dus niet, een Er:YAG-laser wel.

Indien evenwel het uiteinde van de fiber waar de straling van een Nd:YAG-laser doorheen wordt geleid, zwart wordt gemaakt, wordt alle straling door dit zwarte laagje geabsorbeerd. Dit laagje kan dan zeer heet worden. Dit gebeurt bij vele toepassingen van Nd:YAG-lasers.

Fluorescentie

Dit is het verschijnsel dat in sommige materialen een zeer klein deel van de geabsorbeerde straling wordt omgezet in een straling van een langere golflengte. Dit is bekend van de disco: onder ultravioletverlichting worden tanden blauwig wit, overhemden knalblauw, enzovoorts. Minder bekend is dat de kleur van veiligheidskleding zo knaloranje is doordat het gereflecteerde oranje licht uit het daglicht wordt aangevuld met oranje fluorescentielicht dat in het materiaal wordt opgewekt door het groen en het blauw in het daglicht. Een aantal diagnostische methoden van tandheelkundige en mondheelkundige diagnostiek berusten op fluorescentie.

Frequentieverdubbeling

In een uitzonderlijk geval is in de tandheelkunde wel gebruikgemaakt van het effect van frequentieverdubbeling, dat alleen ontstaat bij zeer nauwkeurige concentratie van een sterke bundel gepulste laserstraling op een zeer klein oppervlak van het materiaal. Dan ontstaat (een beetje) straling waarvan de frequentie van de stralingsgolven is verdubbeld en dus de golflengte exact de helft is van die van de invallende straling. Dit is niet het gevolg van een absorptieproces.

Het kan zijn dat de straling met de halve golflengte wél wordt geabsorbeerd door het materiaal. Wordt bijvoorbeeld de straling van een Nd:YAG-laser met een golflengte van 1064 nm (tab. 1) frequentieverdubbeld, dan ontstaat straling met een golflengte van 532 nm, die blauwgroen is en dus door bijvoorbeeld oxyhemoglobine wel enigszins wordt geabsorbeerd. In tegenstelling tot de eerste drie genoemde processen is voor dit proces beslist straling uit een laser noodzakelijk.

Conclusies

Laserstraling wordt vooral gekenmerkt door evenwijdigheid van de uitgezonden bundel en door beperking van het uitgezonden spectrum tot een of enkele smalle lijnen. Die lijnen worden bepaald door het inwendige materiaal van de laser. De evenwijdige bundel kan worden samengebracht tot een klein vlekje, waardoor men de straling precies kan brengen waar men die wil hebben, al of niet via een optische fiber. Dat het spectrum uit een of enkele smalle lijnen bestaat, maakt de inwerking van laserstraling specifiek. Anderzijds kan het ook een beperking zijn als er niet een laser met de gewenste golflengte beschikbaar is.

De inwerking van laserstraling op weefsel wordt bepaald door de processen verstrooiing en absorptie, ook kan fluorescentie worden opgewekt. Verstrooiing veroorzaakt bundelspreiding en reflectie en is weinig afhankelijk van de golflengte. Absorptie veroorzaakt warmteontwikkeling en is sterk afhankelijk van de golflengte, behalve bij zwart materiaal. Die warmteontwikkeling kan curatief worden benut. Fluorescentie vindt toepassing in de diagnostiek.

Literatuur

- HECHT J. Lasers: het licht laten werken. Natuur en techniek 1991; 59 (okt.; insert): 1-8.

Lasers in dentistry 1. What is special about lasers?

Diagnosis and treatment with lasers is becoming widely spread in dentistry. This article is an introduction to a series of articles that deal with the many dental applications of lasers. The article contains a summary of presently used lasers. It also describes the pertinent features of laser radiation: parallelity of the beam and narrow line shape in the spectrum of electromagnetic radiation. Finally, it summarizes the relevant processes of interaction of laser radiation with tissue: scattering, absorption, fluorescence and frequency-doubling.

Summary

Key word:

- Laser