

Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek

(*Vervolg*)

TWEEDE GEDEELTE

HOOFDSTUK VI. PORCELEIN

§ 1. *Toepassing*

Als tandheelkundig materiaal heeft porcelein enige uitstekende eigenschappen, waarvan de voornaamste is, zijn op de natuurlijke tanden gelijkende uiterlijk. Het gladde oppervlak van geglazuurd porcelein handhaaft zich door de hardheid en de onaantastbaarheid van dit materiaal goed in de mond en dit draagt er samen met de ondoordringbaarheid van het glazuerooppervlak voor de mondvloeistof toe bij om porcelein tot een zeer hygiënisch materiaal te maken. De krimp, die optreedt bij het bakken en de brosheid van het porcelein staan helaas een ruimere toepassing in de weg. In de gevallen echter, waar deze beide laatste eigenschappen geen rol van betekenis spelen, is het kwalijk door een ander materiaal, b.v. door kunststof, te vervangen. Het gladde oppervlak maakt porcelein voor het mondslijmvlies zeer vervaagzaam. De hardheid brengt een geringe slijtage van de uit dit materiaal vervaardigde kronen met zich, hetgeen in sommige gevallen tot overbelasting-verschijnselen kan voeren en dan noodzaakt tot geregelde contrôle op eventueel bijslijpen. Porcelein heeft een grote drukvastheid, maar schiet ernstig te kort in buigzaamheid en trekvastheid. Dit beperkt zijn toepassingsmogelijkheden en maakt bij wat grotere constructies een mechanische ondersteuning door een metalen onderbouw of anderszins noodzakelijk.

De voornaamste toepassing in de tandheelkunde vindt het porcelein thans als grondstof voor de vervaardiging van kunsttanden en als materiaal, dat de tandarts in handen gegeven wordt voor het zelfbakken van jacketkronen, inlays, enz.

Slechts een betrekkelijk gering aantal tandartsen legt zich op deze keramische kunst toe. De porceleintechniek eist veel ervaring, technisch zeer vaardige handen en een gevoel voor vorm en kleur. Het is terecht een kunst te noemen en de beoefenaars ervan moeten dit lastige materiaal practisch door en door kennen. Hetgeen hier van het porcelein besproken zal worden, beperkt zich tot hetgeen daaromtrent voor de algemene practicus van belang is om te weten.

§ 2. *Grondstoffen*

Aangezien de grondstoffen, waaruit keramische voorwerpen vervaardigd worden, alle van minerale herkomst zijn en in grote hoeveelheden overal op de wereld gevonden worden, is het begrijpelijk, dat de mens reeds in de grijze oudheid de kunst van het pottenbakken,

enz. toepaste. De duurzaamheid van de keramische voorwerpen heeft hen tot een van de meest waardevolle bronnen en studieobjecten voor cultuurhistorici gemaakt. Onder de keramische stoffen is porcelein, aangezien daarvoor de zuiverste grondstoffen worden gebruikt, het meest verfijnde.

De drie bijna klassiek te noemen grondstoffen van porcelein zijn kaolien, veldspaat en kwarts.

Kaolien, (pijpaarde, porcelein-aarde) is de zuiverste kleisoort die gevonden wordt. Klei is geologisch het verweringsproduct van vele gesteenten, o.a. van veldspaat. Chemisch bestaat klei voornamelijk uit een aluminiumsilicaat, dat bij de meeste kleisoorten sterk verontreinigd is door andere minerale bestanddelen als zand, calciumzouten, metaaloxiden, enz. en humusstoffen. Kaolien echter, waarvan een beperkt aantal vindplaatsen op de wereld bekend zijn, bestaat uit vrij zuiver aluminiumsilicaat met ongeveer de samenstelling, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Als grondstof voor de betere porceleinsoorten - en daartoe behoort ongetwijfeld het tandheelkundige porcelein - wordt het door opslibben, bezinken en electro-endosmose nog aan een nauwgezet reinigingsproces onderworpen. Kaolien heeft een zeer hoog smeltpunt $\pm 1750^\circ$, of juister uitgedrukt een hooggelegen smeltraject. Als men zuiver kiezelzuur (SiO_2) en aluminium-oxyde (Al_2O_3) samensmelt, dan heeft men, evenals bij een legering met twee componenten, een binair systeem. Het toestanddiagram van dit stelsel geeft fig. 29 te zien. Er vormt zich tussen beide componenten een verbinding $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ en dit diagram is een sprekend voorbeeld van de vroeger besproken binaire toestanddiagrammen van het binaire type IV. De verbinding $\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$ draagt de naam van silimaniet (als het kaolien bij verhitting gedurende het porceleinbakken zijn kristalwater verliest, ontstaat in hoofdzaak deze verbinding). Een nadere beschouwing van het toestanddiagram - hetgeen voor degenen, die met het lezen van de toestanddiagrammen (Hoofdstuk IX deel I) wat vertrouwd zijn, niet veel moeite zal opleveren - doet inzien, dat het kaolien, dat ongeveer de samenstelling heeft als aangegeven door de stippellijn P, iets boven de 1600° begint te smelten en eerst bij 1750° volledig gesmolten zal zijn (tenminste als men uiterst langzaam verhit, zodat alle evenwichten zich kunnen instellen).

Veldspaat, is zoals reeds opgemerkt eveneens een stof van minerale herkomst. Het is een van de meest voorkomende mineralen en vormt o.a. een bestanddeel van de meeste gesteenten. Er bestaan meerdere soorten veldspaat, die men chemisch kan onderscheiden in kaliumveldspaat K ($\text{Al Si}_2 \text{O}_8$), natriumveldspaat Na ($\text{Al Si}_3 \text{O}_8$) en kalkveldspaat Ca ($\text{Al}_2 \text{Si}_3 \text{O}_8$). Voor de porcelein-fabricage wordt bij voorkeur kaliumveldspaat gebruikt. Veldspaat smelt bij ongeveer 1300° à 1400° en vormt daarbij een wat troebele glasachtige massa (het betreft hier feitelijk een ternair stelsel van de componenten K_2O , Al_2O_3 en SiO_2 en het toestanddiagram daarvan wijst aan, dat veldspaat een verbinding is, die beneden zijn smeltpunt uiteenvalt en daardoor geen smeltpunt maar een smeltraject heeft). Oorspronkelijk

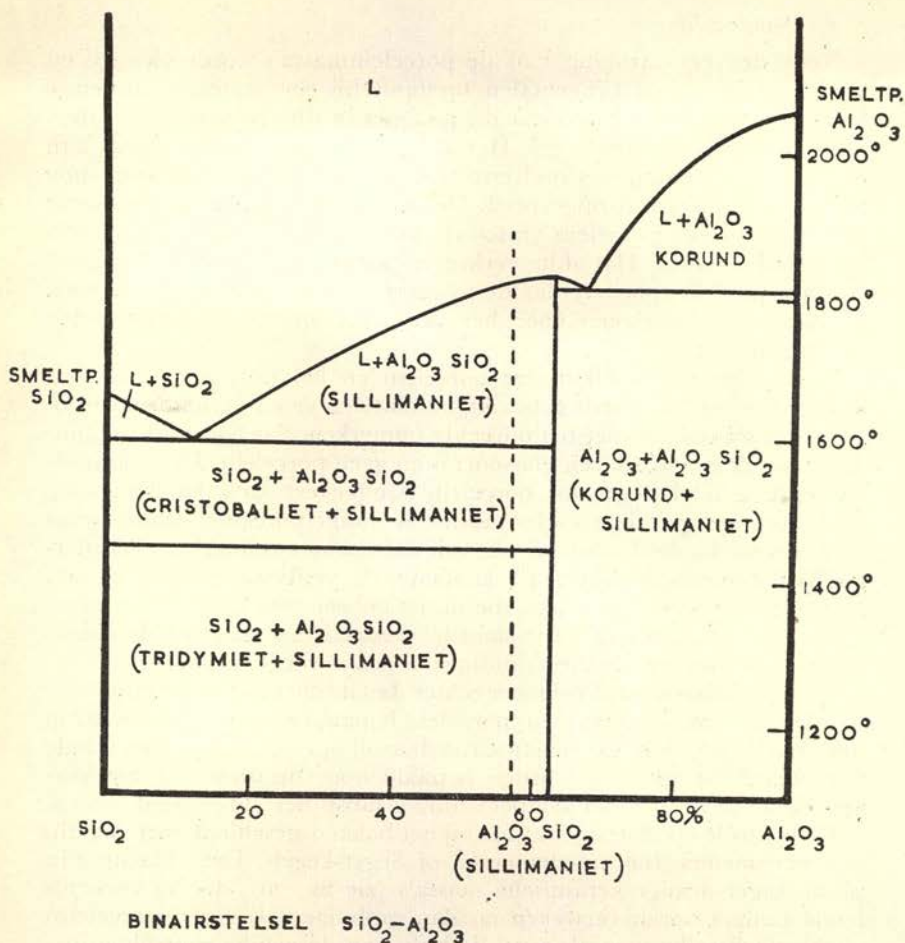


fig. 29.

is veldspaat kristallijn van natuur, doch na gesmolten te zijn, blijft het amorf. Van de drie grondstoffen kaolien, veldspaat en kwarts heeft veldspaat het laagste smelttraject en het is dan ook in de porcelein-massa het vloeimiddel, dat bij het porceleinbakken de beide andere grondstoffen samensintert in een glasachtige matrix, waarbij het zowel het kwarts als het kaolien, die beide bij het bakken niet volledig smelten, chemisch aantast.

Kwarts, is zuiver SiO_2 ; bij de behandeling van de inbedmassa's is deze grondstof reeds nader besproken, waarbij gewezen werd op de verschillende modificaties van kwarts en op zijn smeltpunt, dat bij 1700° ligt.

§ 3. Samenstelling

Voor de vervaardiging van de porceleinmassa's worden kwarts en veldspaat in uiterst fijngemalen toestand bij een waterige suspensie van kaolien gemengd, waarna dit mengsel in filterpersen wordt afgefilterd en tenslotte gedroogd. Het aldus verkregen poeder wordt aan een langdurig bakproces onderworpen, waarbij de temperatuur nog niet al te hoog wordt opgevoerd. De massa sintert daarbij samen tot een nog poreus porcelein (biscuit), hetwelk na afkoeling wederom fijngemalen wordt. Het aldus verkregen poeder is het hoofdbestanddeel van het porceleinpoeder, dat de tandarts in handen wordt gegeven en dat in de fabrieken voor het vervaardigen van de kunststanden wordt gebruikt.

Tussen het tandheelkundige porcelein en het porcelein, dat voor andere doeleinden wordt gebruikt, bestaat een groot verschil. Zo groot zelfs, dat sommigen niet ten onrechte opmerken, dat het tandheelkundige porcelein feitelijk een glassoort is en geen porcelein. De grondstofverhouding bij het gewone porcelein is ongeveer 50% kaolien, 25% veldspaat en 25% kwarts. Het tandheelkundige porcelein echter bevat veel minder kaolien, zoals uit de volgende samenstelling van een dergelijke porceleinsort blijkt: 4% kaolien, 81% veldspaat en 11% kwarts. Er zijn zelfs porceleinpoeders, die in het geheel geen kaolien bevatten.

Het geringe kaoliengehalte staat in verband met de grote doorzichtigheid, die van het tandheelkundige porcelein wordt verlangd.

Pyrochemische reacties. Veel meer echter dan de chemische samenstelling worden de eigenschappen van porcelein bepaald door de wijze, waarop het gebakken wordt. De reacties, die daarbij optreden, de zogenaamde pyrochemische reacties, worden bepaald door de duur van het bakproces en de hoogte der temperatuur, waarop het uitgevoerd wordt.

De contrôle op de temperatuur bij het bakken geschiedt met behulp van pyrometers, thermo-elementen of Seger-kegels. Deze laatste zijn platte kegelvormige keramische massa's (zie fig. 30), die bij verschillende temperaturen verweken en dan ombuigen. Ervaren porceleinwerkers echter kunnen als regel de hulp van dergelijke contrôle-apparaten ontberen; hun ervaring heeft hun geleerd aan het gedrag van de massa in de porcelein-oven, het bakproces te volgen.

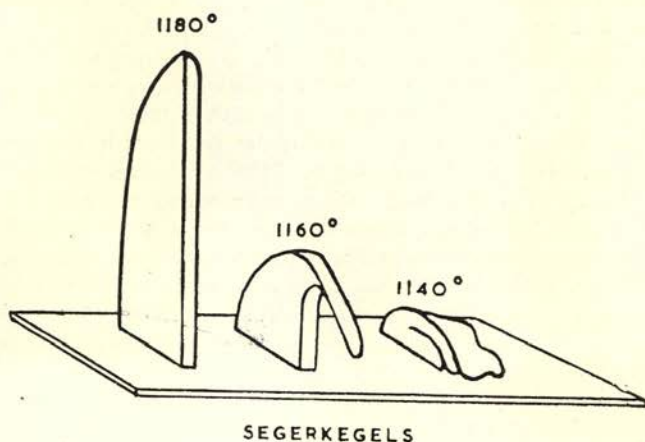
De vervaardiging van kunststanden, zoals die in de betreffende fabrieken plaatsheeft, hun vormen en verankeringsmogelijkheden, zullen hier niet besproken worden. De verdere bespreking richt zich op de kleurvorming en kleurbeplating bij kunststanden en op de porceleinpoeders, die aan de tandheelkunde geleverd worden voor het bakken van jacketkronen en inlays.

Naar gelang van de temperatuur, waarop de porceleinpoeders kunnen worden verwerkt, onderscheidt men:

| | | |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| hoog smeltend porcelein | verwerkingstemp. | ± 1315 - 1370° |
| middelmatig smeltend porcelein | „ „ | ± 1092 - 1250° |
| laag smeltend porcelein | „ „ | ± 870 - 1065° |

Door het extra toevoegen van vloeimiddelen als borax, soda, CaCO_3 ,

K_2CO_3 , kan de verwerkingstemperatuur van het vervaardigde porcelainpoeder beïnvloed worden. Als regel echter wordt het verschil in verwerkingstemperatuur bereikt door de aard van het bakproces, dat het porcelainpoeder vooraf heeft doorgemaakt. In de eerste plaats wordt hier gewezen op het voordeel, dat het vooraf samensmelten van de grondstoffen met zich brengt, namelijk, dat voorkomen wordt, dat de drie grondstoffen zich door schudden of anderszins zouden kunnen ontmengen (segregeren). Het grootste belang van het voorbakproces is gelegen in het feit, dat een eenmaal samengesmolten porcelainmassa bij een tweede verhitting aanmerkelijk lager smelt. De pyrochemische reacties bestaan voornamelijk hieruit, dat het eerst smeltende veldspaat de veel hoger smeltende kaolien en kwartsdeeltjes chemisch aantast en daarbij een smeltpuntverlaging van de hoger smeltende componen-



SEGERKEGELS

fig. 30.

ten veroorzaakt. Welke reacties daarbij optreden en welke stoffen daarbij precies gevormd worden is niet geheel bekend.

Hebben deze pyrochemische reacties door een voorafgaand bakproces reeds geheel of gedeeltelijk plaatsgehad, dan zal de porcelainmassa bij een daaropvolgende verhitting spoediger verweken en sinteren. Bij de laagsmeltende porcelainpoeders heeft men bij het voorbakken (fritten) de pyrochemische reacties reeds verder laten voltrekken dan bij de hoogsmeltende poeders, zodat deze laatste bij het tweede bakproces nog hoger verhit moeten worden. Het hoog- en laagsmeltende porcelain, aldus verkregen, zijn dus feitelijk hetzelfde en onjuist is dan ook de nogal eens voorkomende mening, dat laag smeltend porcelain minderwaardiger in eigenschappen zou moeten zijn dan hoog smeltend porcelain.

Structuur. Men heeft zich het gebakken porcelain voor te stellen als een glasachtige matrix, afkomstig van het veldspaat, waarin amorfe en semikristallijne aggregaten voorkomen, die uit de ten dele of geheel aangestaste kaolien en kwartsdeeltjes gevormd zijn. Daarnaast treft men in

het porcelein de deeltjes aan van de toegevoegde kleurpigmenten. Om namelijk de op de natuurlijke tand gelijkende opaalheid en kleur aan het porcelein te geven worden pigmentkleurstoffen aan het porceleinpoeder toegevoegd. De gebruikte kleurstoffen zijn als regel metaalverbindingen, o.a. oxyden, hydroxyden, phosphaten, silicaten, carbonaten. Voor de verschillende kleuren worden veelal verbindingen van de volgende metalen gebruikt: ijzer voor rood, kobalt voor blauw, mangaan voor violet, zilver voor oranje, chroom voor groen, iridium voor zwart, titaan voor geel en wit, enz. De kleurpigmenten bakt men afzonderlijk met een porceleinmassa samen, de verkregen massa verpoedert; dit poeder wordt in de gewenste hoeveelheid aan het porceleinpoeder toegevoegd. Het behoeft geen betoog, dat men door deze gang van zaken bereikt, dat het kleurpigment zich bij het tweede bakproces beter met de porceleinmassa bindt, terwijl daardoor bovendien eventuele kleurwijzigingen door pyrochemische reacties, die bij het tweede proces dan nog zouden kunnen optreden, voorkomen worden. Dat in het gebakken porcelein microscopische luchtbellen voorkomen, die o.a. bijdragen tot het opale uiterlijk en de porositeit van het porcelein, wordt veroorzaakt door de lucht, die in de ruimten tussen de porcelein-poederdeeltjes aanwezig was. Door het overtrekken van het porcelein met een glazuurlaag van lager smeltend porcelein, die goed over het oppervlak vloeit, worden de poriën naar buiten toe afgesloten en wordt het porcelein ondoordringbaar.

De krimp, die bij het bakken van porcelein optreedt, wordt voornamelijk veroorzaakt, doordat de poederdeeltjes bij het samensinteren gedurende het bakproces onder invloed van de oppervlaktespanning dichter bij elkaar getrokken worden. Het ligt voor de hand, dat bij het vormen van de te bakken voorwerpen uit de met water aangemaakte porceleinpoeders, gestreefd moet worden naar een zo dicht mogelijke pakking van de poederdeeltjes. Naar gelang de mogelijkheden, die het te vervaardigen voorwerp daartoe biedt, tracht de porceleinwerker dit te bereiken door vibreren, door samendrukken, of door gebruik te maken van de oppervlaktespanning van vloeistoffen, waarmede de massa bevochtigd wordt. Welke methode in deze het meest effectief is, hangt af van het geval. Waar vibreren kan worden toegepast, schijnt dit bij voorkeur gedaan te worden. Dat op het samenpakken der deeltjes, het condenseren, ook de vorm en grootte der poederdeeltjes invloed hebben, is zonder meer duidelijk. Een mengsel b.v. van grotere en kleinere deeltjes, welke laatste zich in de ruimten tussen de grotere deeltjes kunnen voegen, kan een betere pakking met zich brengen. In deze zijn de fabrikanten der porceleinpoeders natuurlijk diligent.

Teneinde tegemoet te komen aan de moeilijkheden, die zich voordoen bij het vormen van te bakken voorwerpen uit het papje van met water aangemaakt porceleinpoeder, voegen de fabrikanten soms kleefmiddelen aan de poeders toe, b.v. dextrine. Bij de voorverhitting, die aan het feitelijke bakproces voorafgaat, worden deze organische stoffen volledig verbrand.

Aan de vervaardigde voorwerpen stelt de tandheelkunde de eis, dat zij

nauwkeurig moeten passen op en in de desbetreffende preparaties in de mond. Niet alleen de beschreven krimp veroorzaakt dimensiewijzigingen, maar in deze worden ook moeilijkheden ondervonden van de eigenschap, dat het porcelein onder invloed van de oppervlaktespanning bij het smelten bol gaat staan en van de randen wegtrekt. Door het bakproces in étappes uit te voeren en op het juiste moment te onderbreken tracht de ervaren porceleinwerker deze moeilijkheden te overwinnen. Ook het opbrengen op sommige plaatsen van porceleinpoeder met andere tinten en een andere doorzichtigheid eist grote ervaring.

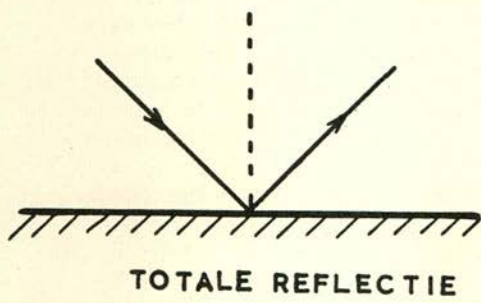
Degenen, die zich willen scharen bij de kleine groep van porceleinwerkers zullen in de betreffende handboeken nog andere problemen aantreffen, die hier niet aangeroerd worden, o.a. de typische breuken, die door de brosheid van het porcelein worden veroorzaakt, b.v. bij jacketkronen en de eisen, die in dit verband aan de betreffende preparaties gesteld moeten worden.

Bevestiging. Aangezien de tandheelkundige cementen geen enkele adhaesieve eigenschap tegenover porceleinoppervlakken bezitten, is het voor een goede bevestiging van porceleinen werkstukken bevorderlijk de binnenkanten daarvan ruw te laten. Vanwege de doorschijnendheid van het porcelein moet men aan de kleur van het bevestigingscement de nodige aandacht schenken. Het gebruik van silicophosphaat-cement wordt voor deze bevestiging op de voorgrond gesteld. Deze cementsoort desintegreert in de mond minder snel dan zinkphosphaatcement en laat daardoor de spleet tussen vulling en tandweefsel minder snel opvallen. Daartoe werkt eveneens mede het feit, dat deze cementsoort iets meer doorschijnend is dan zinkphosphaatcement, dat voor 100% ondoorschijnend is. De klinische ervaring heeft helaas geleerd, dat silicaatcementen zich minder voor bevestigingsdoeleinden eigenen. Deze cementsoort is inderdaad nog minder oplosbaar in de mond, heeft verder een betere doorschijnendheid en wordt in een grote variatie van kleuren geleverd. Om echter goed houdbaar te zijn in de mond moet silicaatcement tot een te dikke consistentie worden aangemaakt, hetgeen het gebruik als bevestigingscement in de weg staat, terwijl bovendien als regel de deeltjesgrootte bij de silicaatcementpoeders te grof is voor een bevestigingscement.

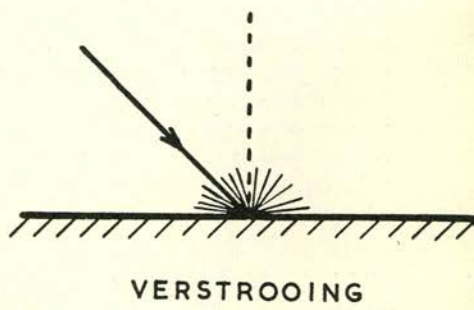
§ 4. *De kleur van kunststanden*

Het behoeft geen betoog, dat zowel de kleur als de andere lichteffecten bij kunststanden van veel belang zijn bij prothetische verrichtingen. In brochures van verschillende fabrikanten wordt de tandarts vaak geconfronteerd met de optische problemen, die zich daarbij voordoen. Een beknopte uiteenzetting over optische verschijnsels, die hierbij een rol spelen, is daarom gewenst en dit te meer, aangezien het tot de taak van de tandarts behoort, om voor zijn patiënt de juiste kleur van de kunststanden te kiezen. Enig begrip van de regels, die voor een juiste kleurbeoordeling in acht genomen moeten worden, is noodzakelijk.

Fysische specificatie van het licht. Valt een evenwijdige lichtbundel op een glad oppervlak van een metaal, dan wordt de lichtbundel gere-

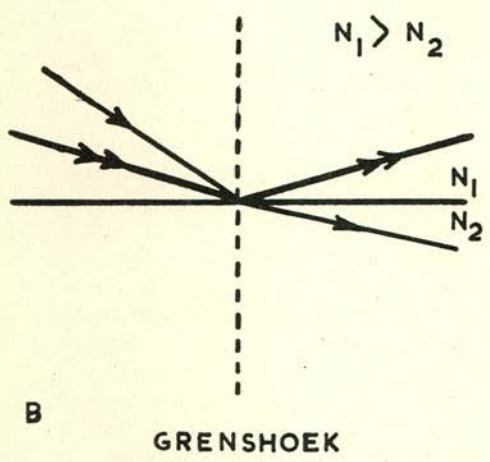


A

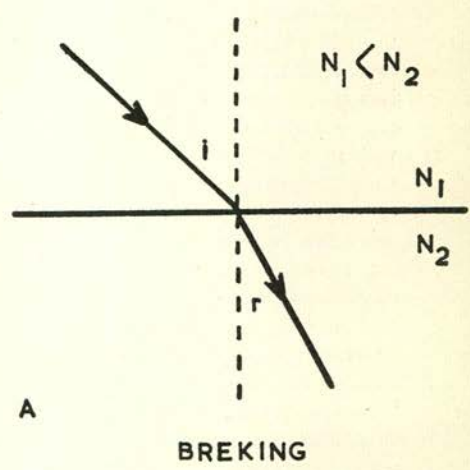


B

fig. 31.



B



A

fig. 32.

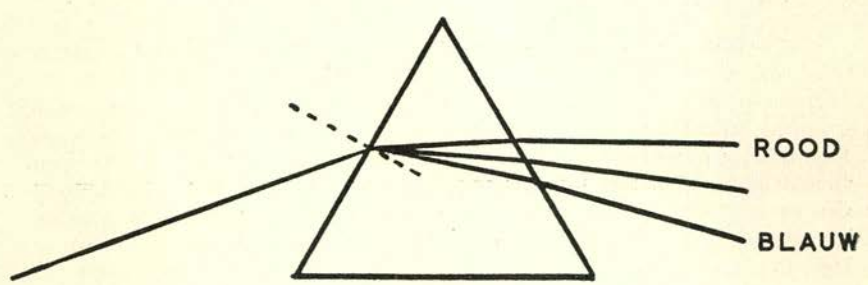


fig. 33.

flecteerd, waarbij de hoek van inval gelijk is aan de hoek van terugkaatsing (fig. 31a). Onder een glad oppervlak heeft men in deze te verstaan een oppervlak, waarvan de oneffenheden klein zijn t.o.v. de golflengte van het licht. Zijn deze oneffenheden groter, zoals dit b.v. bij papier het geval is, dan wordt het licht verstrooid teruggekaatsd (fig. 31b).

Valt de lichtbundel op het gladde oppervlak van een doorzichtige stof, b.v. op glas of op een vloeistof, dan wordt het licht slechts ten dele direct teruggekaatsd en treedt een deel van het licht de doorzichtige materie binnen. Aangezien de snelheid van het licht daarin een andere is dan in de lucht, doet zich daarbij het verschijnsel van de lichtbreking voor. De brekingsindex van een stof is bij definitie de verhouding tussen de snelheid van het licht in het luchtledige en die in de beschouwde stof. Daaruit volgt de wet van Snellius, die het verband aangeeft tussen de hoek van inval (i), de brekingshoek (r) en de snelheden van het licht V_1 en V_2 in de beide media.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} = \text{brekingsindex}$$

Aangezien de lichtsnelheid in lucht nagenoeg gelijk is aan die in het luchtledige, is de brekingsindex van lucht bij benadering op 1 te stellen. Alle vaste en vloeibare stoffen hebben een grotere brekingsindex dan lucht, waaruit volgt, dat, als een lichtstraal uit de lucht op een doorzichtige stof valt, het binnengetreden licht naar de normaal, d.i. de loodlijn op het scheidingsvlak tussen de beide media, toe gebroken wordt (fig. 32a).

Laat men echter omgekeerd een lichtstraal gaan vanuit een stof met een grotere brekingsindex naar een stof met een kleinere brekingsindex dan zal de gebroken straal van de normaal af buigen. Bij het meer horizontaal invallen van een dergelijke lichtstraal op het scheidingsvlak tussen beide stoffen doet zich dan het geval voor, dat geen licht het medium met de kleinere brekingsindex binnentreedt, maar al het licht aan het grensvlak totaal gereflecteerd wordt. Alle lichtstralen, die schuiner invallen dan de grenshoek, waarbij dit het eerste optreedt, worden totaal gereflecteerd (fig. 32b). Voor deze lichtstralen gedraagt de stof zich dan feitelijk als een ondoorzichtige stof. Bij een stof met een grotere brekingsindex zal spoediger totale reflectie optreden en dit geeft een dergelijke stof een meer fonkelend aanzien, waartoe tevens het feit bijdraagt, dat een stof met een hoge brekingsindex een groter deel van het daarop vallende licht reflecteert.

Stilzwijgend werd tot nu toe verondersteld, dat het monochromatisch licht betrof. In het luchtledige (en practisch ook in lucht) is de snelheid van licht voor de verschillende golflengten gelijk. In vaste stoffen en vloeistoffen echter wordt licht met een kleinere golflengte meer vertraagd dan de grotere golflengten. De korte golven aan de violette zijde van het zichtbare spectrum worden dus sterker gebroken dan de langere golven aan de rode zijde. Hierop berust o.a. de vorming van een spectrum met behulp van een prisma (fig. 33). Ook volgt hieruit, dat aan een grensvlak tussen twee stoffen de meer kortgolvlige

kleuren aan de violette zijde van het spectrum eerder totaal gereflecteerd worden dan de rode kleuren. Het teruggekaatste licht bevat in zo'n geval dan meer blauw.

De kleuren van het spectrum, de zuiver spectrale kleuren, zijn fysisch nauwkeurig aan te geven, b.v. rood van de golflengte 0.750 μ .

In het diffuse daglicht komen alle kleuren van het spectrum naast elkaar voor en wel met dezelfde energie-hoeveelheden. Het diffuse daglicht heeft een equi-energie spectrum, d.w.z. in ieder gelijk golflengte-interval is de hoeveelheid lichtenergie gelijk. Dat dit niet bij al het witte licht het geval is, leert Tabel XIII.

Met behulp van b.v. een prisma kan men van het licht, afkomstig van een willekeurige lichtbron, een spectrum vormen en aan de hand daarvan de samenstelling van het licht bestuderen. Daartoe laat men door een nauwe spleet een begrensde golflengtegebied van het spectrale licht gaan en meet met behulp van b.v. een fotocel de hoeveelheid lichtenergie daarvan en herhaalt deze metingen in verschillende golflengtegebieden van het spectrum. Fysisch kan men zodoende het licht exact specificeren, zowel wat betreft de daarin voorkomende kleuren, namelijk door het meten van de golflengten, als wat betreft de intensiteit, door het bepalen van de hoeveelheid energie en de verschillende golflengte-gebieden.

Op deze wijze werd de verhouding bepaald van de hoeveelheden lichtenergie in het blauwe, het groene en het rode gedeelte van het spectrum bij de verschillende hieronder vermelde lichtbronnen.

TABEL XIII

| lichtbron | rood | groen | blauw |
|-----------------------------------|------|-------|-------|
| daglicht (bedekte hemel). | 100: | 100: | 100 |
| daglicht (blauwe hemel) | 100: | 125: | 132 |
| electr. gloeilamp | 100: | 40: | 20 |
| daglichtlamp | 100: | 74: | 58 |
| kwiklamp. | 100: | 1050: | 350 |

Indien wit licht door een gekleurde doorzichtige stof, b.v. door een oplossing van een rode kleurstof, gaat, dan zullen alle golflengten behalve die in het rode deel van het spectrum, geheel of gedeeltelijk geabsorbeerd worden en het doorvallende licht zal rood van kleur zijn. Wordt een bundel wit licht op het oppervlak van een gekleurde doorzichtige stof teruggekaast, dan zal het direct teruggekaatste licht onveranderd blijven. Maar bij dit direct teruggekaatste witte licht mengt zich ook licht, dat in de diepere gedeelten van de gekleurde doorzichtige stof wordt teruggekaast en dit licht is wel gekleurd. Het gevolg hiervan is, dat ook het teruggekaatste licht verschuift naar de kleur van de betreffende doorzichtige stof. Men kan het doorgevallen licht en het teruggekaatste licht analyseren door het met behulp van een prisma in een spectrum te ontleden en de golflengten zowel als de intensiteit (energie) van de daarin voorkomende kleuren te bepalen. Aldus kan

dit licht fysisch exact omschreven worden. Hierbij blijkt, dat als regel de kleuren van de meeste kleurstoffen geen zuivere spectraalkleuren van één bepaalde golflengte zijn maar mengkleuren.

Bevat een doorzichtige stof geen kleurstof maar in fijn gedispergeerde toestand een ondoorzichtige stof, dan wordt het daarop vallend licht diffuus gereflecteerd, hetgeen de betreffende stof een melkachtig wit uiterlijk geeft. Hetzelfde is het geval, wanneer geen ondoorzichtige stof maar een stof met een andere brekingsindex fijn gedispergeerd in een doorzichtige matrix aanwezig is, b.v. kleine kristallen of microscopische luchtbelllen. Bij de lichtverstrooiing, die in al deze gevallen optreedt, wordt het meer kortgolvlige blauwe licht vanwege zijn grotere brekingsindex sterker verstrooid dan de andere kleuren van het spectrum en daarbij in sterkere mate totaal gereflecteerd. In het teruggekaatste licht zal daardoor wat meer kortgolvlig blauw licht voorkomen; de blauwachtige tint van b.v. verdunde melk (ook het blauw van de hemel en van de zee) wordt hierdoor veroorzaakt.

Bevat de doorzichtige stof geen opgeloste moleculair gedispergeerde kleurstof, maar meer grovere gekleurde deeltjes, kleurpigmenten, dan zullen ook deze door selectieve reflectie, lichtbreking en selectieve absorptie hun bijdrage leveren aan de kleur, die een voorwerp bij een bepaalde verlichting te zien geeft.

Naast de reflectie, de lichtbreking en de selectieve lichtabsorptie kunnen verder interferentie-verschijnselen een rol spelen bij de kleur, die een voorwerp bij opvallend en doorvallend licht vertoont. De regenboogkleuren van een zeepbel, van een oliëfilm op water en het spectrum, dat men bij doorvallend licht met een op glas gekrast tralie verkrijgt, zijn daarvan voorbeelden. Bij anisotrope kristallijne stoffen voegt zich hierbij nog het verschijnsel der dubbele breking. De beide gebroken lichtbundels zijn loodrecht op elkaar gepolariseerd en indien het wit licht betreft, worden de verschillende golflengten daarin evenals bij de gewone lichtbreking in uiteenlopende mate gedispergeerd. Hierdoor vermeederen zich de mogelijkheden voor gedeeltelijke of totale reflectie en voor interferentie, welke verschijnsels de kleur en lichtindruk, die een voorwerp te zien geeft, mede beïnvloeden.

En tenslotte dient wat de kleurvorming bij een voorwerp betreft ook het verschijnsel der luminescentie, hetwelk tegenwoordig bij kunststanden nogal op de voorgrond gesteld wordt, vermeld te worden.

Als licht door een stof geabsorbeerd wordt, zet de energie van het geabsorbeerde licht zich om in warmte-energie, welke energie hetzij door convectorie (geleiding), hetzij door straling, door de betreffende stof wordt afgestaan. Deze warmtestralen zijn infrarode stralen, die een langere golflengte hebben dan het zichtbare deel van het spectrum. Sommige stoffen hebben echter de eigenschap, dat zij de energie van het geabsorbeerde licht niet in infrarode straling omzetten, maar in een straling met een golflengte, die wel binnen het zichtbare spectrum valt. De golflengte van de geëmitteerde straling is steeds groter dan die van het geabsorbeerde licht. Bij het hoofdstuk, handelende over de kunststoffen is van dit verschijnsel, de luminescentie, reeds melding

gemaakt. Daarbij is nog een onderscheid te maken tussen stoffen, die de geabsorbeerde lichtenergie direct afstaan, de zogenaamde fluorescerende stoffen, en die stoffen welke de geabsorbeerde lichtenergie, evenals dit bij de meeste stoffen met het uitzenden van warmtestralen het geval is, over een langere periode, dus ook nadat het opvallende licht reeds gedoofd is, blijven uitzenden. Men spreekt dan van phosphoriserende stoffen. Bevat een stof dergelijke luminescerende stoffen, dan zal zowel het teruggekaatste licht als het doorgelaten licht daardoor van samenstelling veranderen en zal dit eveneens bijdragen tot de optische indruk, die een dergelijke stof op ons oog maakt.

De kleur van het licht, dat van een stof afkomstig is, wordt sterk beïnvloed door de aard van het licht, waaronder de stof bekeken wordt. Wijzigt zich de samenstelling van het opvallende licht, dan verschuift de kleur van de beschouwde stof. Zouden twee verschillend gebouwde stoffen bij een bepaald soort opvallend licht dezelfde kleur vertonen, dan zal bij een ander soort opvallend licht deze kleurovereenkomst niet meer bestaan. De kleurverschuiving is bij twee verschillend gebouwde stoffen niet een zelfde.

Blijkt uit het voorafgaande reeds, hoe ingewikkeld fysisch beschouwd het licht zich samenstelt, dat ons van een voorwerp afkomstig een indruk geeft omtrent de kleur, de doorschijnendheid, de reflectie, de vorm, enz. van een voorwerp, deze materie wordt nog ingewikkelder gemaakt door de bijzondere aard van ons gezichtsorgaan. Naast de fysische specificatie, die de exacte fysische meetinstrumenten geven van een bepaalde lichtindruk, staat de visuele specificatie, die het oog ons daarvan geeft.

Visuele specificatie van het licht. De intensiteit van twee lichtstralen kan men fysisch nauwkeurig met elkaar vergelijken door hun energie te meten, maar twee in fysische zin even heldere lichtstralen hebben als regel voor ons oog niet eenzelfde helderheid. De visuele helderheid meet men met behulp van de heterochrome photometrie, waartoe o.a. een zogenaamde flikkerphotometer gebruikt kan worden. Daarbij verlicht men een gezichtsveld afwisselend, in een tempo van ± 10 wisselingen per seconde, door de twee lichtsoorten, die men wat hun helderheid betreft wil vergelijken. Hebben de twee lichtstralen een voor ons oog verschillende helderheid dan neemt men een lichtflikkering waar. Men versterkt (of verzwakt) dan één van de beide lichtsoorten zodanig, dat ons oog geen lichtflikkering meer waarneemt en dan hebben beide lichtsoorten dezelfde visuele helderheid. Met behulp van dergelijke metingen is komen vast te staan, dat voor zuiver monochromatisch licht de visuele en de fysische helderheid evenredig met elkaar zijn, maar voor de verschillende kleuren is de visuele helderheid niet gelijk aan de fysische helderheid. Ons oog blijkt voor geel (golflengte $\pm 0,555\mu$) veel gevoeliger te zijn dan voor blauw of rood licht. De ooggevoeligheid voor de verschillende kleuren van het spectrum vindt men aangegeven in fig. 34, waarin de kromme het verloop van de visuele helderheid toont met de golflengten bij een equi-energiespectrum.

Staat tegenover de fysische helderheid (de hoeveelheid energie)

de visuele helderheid, die men, zoals hierboven in het kort aangegeven, kan meten, tegenover de fysieke kleurmeting (het bepalen van de golflengte) staat de visuele kleurmeting. Hierbij maakt men gebruik van het fundamentele ervaringsfeit, dat men voor visuele waarneming in principe iedere kleur kan samenstellen door drie geschikte grondkleuren in een geschikt gekozen helderheidsverhouding met elkaar te mengen. Zowel de driekleurendruk als de kleurenfotographie maken daarvan gebruik. Een ieder is uit ervaring bekend met het verschijnsel der complementaire kleuren. Als van het spectrum alle golflengten behalve die van groen geabsorbeerd worden en dus alleen de groene stralen doorgelaten worden, dan geeft het licht een groene kleurindruk. Hetzelfde gebeurt ook, wanneer alleen de rode stralen uit het spectrum

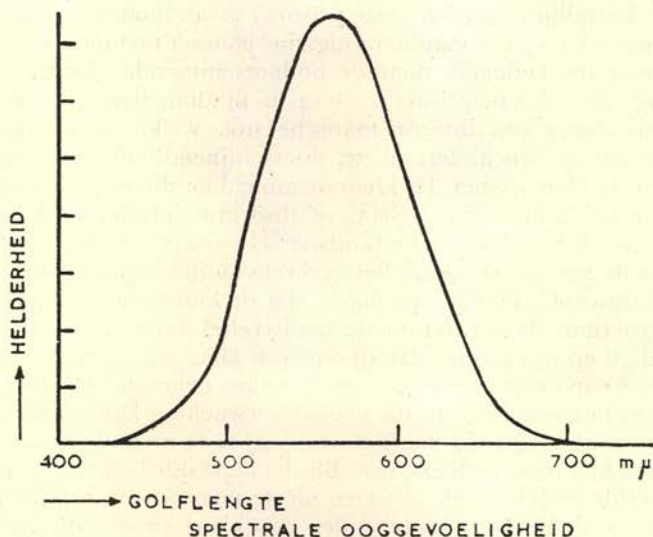


fig. 34.

geabsorbeerd worden. Treffen groene en rode stralen in een juiste helderheidsverhouding gezamenlijk het oog, dan geeft dit de indruk van wit licht. Groen en rood, blauw en oranje, violet en geel zijn complementaire kleuren. Ons oog heeft nog andere eigenaardigheden wat betreft het zien van kleuren, nl. de kleurvermoeidheid. Heeft men b.v. lang naar een rood voorwerp gekeken, dan maakt een zuiver wit voorwerp een wat groene indruk, waaruit naar voren komt, dat men dan niet zuiver kan waarnemen. Aan de hier gesignaleerde onvolmaaktheid van ons oog, tenminste in vergelijking met de kille exacte wijze, waarop fysieke apparaten het licht en de kleuren kunnen analyseren, danken wij echter tot op zekere hoogte de oneindige variaties van kleuren, tint- en lichteffecten, die onze omgeving, de natuur, de kunstvoorwerpen, enz. op ons maken en die men niet gaarne zou missen.

Kleurbepaling. Na hetgeen in het bovenstaande is opgemerkt omtrent de kleurvorming en kleurwaarneming is het begrijpelijk, dat het in de eerste plaats voor de fabrikanten geen eenvoudige taak is om aan kunsttanden de kleur en het lichteffect te geven die ons oog aan natuurlijke tanden waarneemt. Maar ook het kiezen voor een bepaald geval van de juiste kleur der kunsttanden uit de grote verscheidenheid in kleur, tint, doorzichtigheid, enz., waarmede kunsttanden tegenwoordig aan de tandheelkunde ter beschikking staan, is een opdracht, waarbij de tandarts zich rekenschap te geven heeft van hetgeen hij daarbij moet doen en wat men bereiken kan.

De opbouw, de histologische structuur van de natuurlijke tanden verschilt hemelsbreed van de structuur van porceleinen tanden. De glazuurprisma's van het natuurlijke tandweefsel bestaan uit het doorzichtige, kristallijne apatiet. Deze prisma's staan loodrecht op het glazuuroppervlak en gaan vandaar enigszins conisch toelopend, soms met wat flauwe kronkelingen, naar de ondoorschijnende glazuur-dentine grenslaag. De glazuurprisma's, $\pm 4 \mu$ in diameter, zijn omgeven door een schede van interprismatische stof, welke meer organische stoffen bevat en een andere kleur, doorschijnendheid, brekingsindex, enz. heeft dan het apatiet. De kleurvorming door directe reflectie, selectieve reflectie, lichtbreking, selectieve absorptie, interferentie, luminescentie, enz. bij het natuurlijke tandweefsel verschilt in bijna ieder opzicht van de kleurvorming bij het veel eenvoudiger opgebouwde porcelein (of kunststof). Het is uitgesloten, dat de kunsttanden ooit met eenzelfde structuur als het natuurlijk tandweefsel zullen kunnen worden vervaardigd en dus tevens, dat zij ooit wat kleur enz. betreft daarmede in absolute overeenstemming kunnen worden gebracht. Dit legt beperking op in hetgeen men op dit gebied verwachten kan en eisen mag. Door de onvolmaaktheid van het ongewapende menselijke oog echter wordt men hier tegemoetgekomen. Bij een bepaalde belichting en onder een bepaalde gezichtshoek kan men uit de tegenwoordig in kleuren zo rijk gesorteerde collectie kunsttanden een kleur kiezen, die het ongewapende oog practisch niet kan onderscheiden van de natuurlijke tand in wiens nabuurschap het kunstproduct moet worden aangebracht. Maar vergelijkt men beide dan echter onder een andere gezichtshoek dan wel bij een andere lichtsoort dan treden verschillen op en men zou onder die omstandigheden zijn keuze op een andere kleur van de kunsttanden hebben laten vallen. Hierin ligt een aanwijzing opgesloten omtrent de wijze, waarop men bij het kleurbepalen voor prothetische verrichtingen te werk moet gaan. (Het betreft hier natuurlijk de kleurbepaling voor de gevallen, dat de kunsttanden naast natuurlijke tanden moeten worden aangebracht en dus niet de gevallen van volledige prothesen).

Een tandarts moet zich zelf klaarheid verschaffen over zijn individueel vermogen om kleuren en kleurnuancen te kunnen onderscheiden. Kleurenblindheid komt in uiteenlopende graden vrij veel voor. De tandarts, die in deze te kort schiet moet zich voor het kleurbepalen laten bijstaan door zijn technicus of assistente. Men moet er zich van over-

tuigen, dat op het moment van kleurbepalings bij de waarnemer geen kleurvermoeidheid aanwezig zou kunnen zijn, doordat deze b.v. voortdurend heeft moeten kijken naar een sterk gekleurd kledingstuk van de patiënt of kleurrijke stoffering der practijkkamer. Verder moeten zowel het kleurmonster uit de kleurenring als de natuurlijke tanden bij het vergelijken van hun kleur bevochtigd zijn.

De patiënt moet met zijn hoofd recht op en dus niet achterover in de behandelingsstoel gesteld worden, terwijl de tandarts zich bij zijn waarneming recht voor de patiënt moet bevinden. Dit is namelijk de meest frequente wijze, waarop de mensen wederzijds „hun tand laten zien” en een ander tanden waarnemen.

Een analoge gedragslijn moet gevolgd worden aangaande de belichting, waaronder de kleurbepalings wordt uitgevoerd.

Het diffuse daglicht is de belichting, waaronder de mensen elkaar het meeste waarnemen en het licht van de bedekte Noorderhemel met zijn equi-energiespectrum is daarom het ideaal, dat men voor de belichting in een practijkkamer moet nastreven. De belichting moet frontaal zijn en zo alzijdig als mogelijk invallen. Men dient er zich van bewust te zijn dat licht, afkomstig van b.v. rode muren der overstaande huizen, groen geboomte, gekleurde raamkozijnen, gordijnen, enz. het binnenvallend licht mede beïnvloedt. Bij het opportune licht in een practijkkamer kan een kleur uitstekend in overeenstemming met de natuurlijke tanden gekozen zijn. Maar als dit licht een te sterk afwijkend karakter had, dan zal de gekozen kleur bij een meer normale belichting kunnen afwijken. De kleurverschuiving door verandering van de lichtsoort namelijk — en dit is de kern van de zaak — is bij de kunststand anders dan bij de natuurlijke tand. Zo is het dan ook uitgesloten te achten, dat de natuurlijke tand en de kunststand zowel in het diffuse daglicht als in iedere kunstlichtsoort volkomen in kleur kunnen overeenstemmen. Het probleem, dat zich hier voordoet, wordt op de spits gevoerd als de patiënt in kwestie zich in veel ultra-violette stralen bevattend licht moet vertonen, b.v. voor filmopnamen, voor toneel- of televisievoorstelling. Voor deze uitzonderingsgevallen wijst zich in de eerste plaats als handelwijze aan de kleur van de tanden te bepalen bij dezelfde lichtsoort als waarin de betreffende persoon zich heeft te vertonen. Maar ook dan zou men er nog niet zijn. De gevoeligheid voor helderheid en voor kleur van de photographische plaat en het televisiescherm is een andere dan onze visuele. Het is in dergelijke uitzonderingsgevallen niet zo zeer de taak van de tandarts, maar meer die van de belichtingsingenieurs der betreffende ondernemingen om in deze de persoon van raad te dienen.

Men mag vaststellen, dat de fabrikanten van kunststanden en van porceleinmassa's voor het vervaardigen van jacketkronen, er in geslaagd zijn met assortimenten aan de markt te komen, die voor de tandheelkunde de mogelijkheid openen om bij het prothetische werk aan hoge cosmetische eisen te voldoen. Het probleem, dat gesteld wordt door het verschil in kleurverschuiving bij het natuurlijke tandweefsel en de kunststanden heeft hun volle aandacht. Door een combinatie van

doorschijnendheid en pigmentering van het porcelein streven zij er naar dit verschil steeds kleiner te maken. Het laatste woord in deze is zeker nog niet gesproken. Dit woord zal beter worden verstaan als aan de tandheelkundige zijde begrip aanwezig is van de optische problemen, die hier een rol spelen.