

LYS OG FARGE APPLISERT I ODONTOLOGI

Asbjørn Jokstad

**Avdeling for protetikk og bittfunksjon
Det odontologiske fakultet
Universitetet i Oslo**

INNHALDSFORTEGNELSE

I.	INNLEDNING	1
II.	MISFARGING AV TENNER	2
III.	TANNBEHANDLING OG FARGEPROBLEM	
1.	Bleking	3
2.	Fyllingsterapi	4
3.	Protetikk	7
IV	HVA ER LYS?	12
1.	Lyskilder	11
2.	Lys og interaksjon i materie	14
3.	Lys og farge	17
V.	LYS I KLINIKKEN	
1.	Belysning	27
2.	Lyskilder	29
VI.	INTERAKSJON MELLOM LYS OG TENNER/DENTALMATERIALER	
1.	Naturlige tenner	22
2.	Dentale materialer	24
VII.	HVORDAN MÅLES FARGE? (Kolorimetri)	
1.	Spektrofotometri	17
2.	Tristimulus-kolorimetri	18
3.	Sammenlikningsmålinger	18
4.	Måleverdier & konvertering	20
5.	Metamerisme	21
VIII.	HVORDAN FORETA FARGEVALG?	
1.	Operatørkarakteristika	31
2.	Fargeskala	34
3.	Fargeuttak	38
4.	Kommunikasjon med tanntekniker	41
5.	Konversasjonstabell for fargeskalaer	41
	REFERANSER OG UTFYLLENDE LITERATUR	42

Appendiks. Optikk og farger, kort historikk

I. INNLEDNING

Det er publisert mange artikler og lærebøker om fargelære og estetikk applisert på odontologi. De fleste av disse tar utgangspunkt i fysikken for å forklare lysets natur og interaksjon med materie, for deretter å beskrive prosessene som ligger til grunn for spektral respons og vår oppfatning av farger. Deretter appliseres denne basalkunnskapen på eksempler fra odontologien.

I denne rapporten ønsker jeg å endre denne innfallsvinkelen ved å ta utgangspunkt i klinikken og deretter beskrive problemstillinger. Visse avsnitt med tonet bakgrunn inneholder en teoretisk detaljbeskrivelse som ikke er nødvendig kunnskap for å kunne utøve estetisk tannbehandling, men som kan være av interesse for enkelte lesere.

De fleste pasienter ønsker pene og **hvite** tenner. Helt siden nedtegningen av Det Gamle Testamente har dette vært ansett som tegn på ungdom og vitalitet, og dermed også på skjønnhet og styrke. Tannkrem ble opprinnelig markedsført for å gi hvitere tenner (jfr. avertissement for den første tannlegen som besøkte Norge). Også i dag utnyttes dette pasientønsket i en aggressiv markedsføring av nye tannkremer og

Norske Intelligenz-seddeler
22.9.1802:

"Med det Kongl. medicinske Collegiums Tilladelse og Bifald, og med dette Stæds Physici tilladelse, anbefaler den franske Tandlæge Alberti sig til det ærede Publicums Tieneste, i Henseende til alt hvad der angaaer Mundens og Tændernes Vedligeholdelse. Han sælger en Elixir, Efter at have brugt dette nogle Gange blive Tænderne hvide, og de vedligeholde denne Hvidhet.

tyggegummi. Dette til tross for at det fortsatt ikke finnes noen produkter som har dokumentert tannblekende effekt av tannpasta.¹

Mens pasienter tidligere stort sett var fornøyde med å forebygge smerte og rehabilitere ødelagt tannvev, er mange i dag opptatt av å "forbedre" sitt utseende. I denne sammenheng kan tannlegen tilby flere løsninger, som eksempelvis mikroabrasjon av emaljeoverflaten, inn- og utvendig tannbleking, maskering med skallfasetter,

fyllinger, kroner og broer, osv. Overfor slik behandling stiller pasienter i dag store og ikke sjelden ekstreme krav til det estetiske resultat. Det forutsetter at tannlegen både teoretisk har solid forankrede kunnskaper om årsaker til problemene og operative muligheter, samt selvfølgelig et velutviklet klinisk håndlag.

Med estetikk forstås både form, lys og farge. Denne rapporten begrenses til å beskrive momenter relatert til lys og farge.

II. MISFARGING AV TENNER

Overflatemisfarging

Klassifikasjon av misfarging av tannoverflater (Nathoo, 1997)³

N1: Fargestoff (kromogen) bundet til overflaten. Kromogenfarge identisk med misfargingen.

N2: Fargestoff endrer farge etter binding til overflaten.

N3: Fargeløst stoff bindes til overflaten og inngår i en kjemisk reaksjon med påfølgende misfarging.

Tenner misfarges enten på overflaten eller i indre strukturer. En klassifikasjon av ytre misfarging er beskrevet av Nathoo.² Det teoretiske konseptet for denne inndelingen er basert på ulik etiologi, kjemi og behandling. De fleste overflatemisfargingen kan fjernes av pasienten selv, med dertil egnede produkter. Dette er i kontrast til misfarging av indre strukturer, som krever operative inngrep.

Misfarging av de indre tannstrukturer

Det kan være mange årsaker til at tannvev kan misfarges:

1. Medfødte defekter

Dentinogenesis imperfecta. Tennene er relativt normale ved erupsjon. Etterhvert blir de mer og mer translusente og gule, blårosa, brunaktige eller gråbrune. Emaljen kan skalle av med påfølgende kraftig misfarging av eksponert dentin.

Amelogenesis imperfecta. Det skilles mellom to kategorier: Hypoplastisk: Tennene er glatte og skinnende. Fargen gulrød, rødlig eller brun. Hypomineralisert. Fargen kan variere mellom kalkhvit, gul, rød og svart. Emaljen kan etterhvert skalle av.

2. Toksiske forstyrrelser under tanndannelsen:

Fluorose: Forårsaket av for høyt inntak av fluor under tanndannelsen. Overflaten inkluderer alt fra opake lyse flekker til gulbrune flekker.

Tetracyklin: Forårsaket av en kompleksdannelse mellom medikament og emaljeproteiner under tannutviklingen. En kur på selv bare en uke kan gi kraftig misfarging. Tennene er alt fra lys til mørk gule, og gir en karakteristisk fluorescens i UV lys. De er også ofte mørke cervikalt på grunn av tynn emalje.³

3. Traume: I tidlige stadier etter traume kan det oppstå misfarging på grunn av indre pulpablødning, med retensjon av porfyriner og jern i hardvevet. Misfargingene kan være reversible eller vedvare uten at pulpa nødvendigvis nekrotiserer.

4. Pulpanekrose: Medfører som regel misfarging av tannen, men ikke alltid.

5. Andre årsaker: Kan være nedbrytningprodukter fra fyllingsmaterialer,⁴ ulike blødersykdommer eller hittil ukjente årsaker, ofte med bakgrunn i sykkelige tilstander i barnealderen. En slik kjent sammenheng kan være langvarig hepatitt.

III. TANNBEHANDLING OG FARGEPROBLEM

1. Bleking

Bleking av tenner har vært utført i lang tid. I det forrige århundre ble det benyttet et utall metoder, hvorav de som øyensynlig var virksomme er beskrevet i litteraturen. Kjemikalier med effektiv virkning var hydrogenperoskyd (Fitch, 1981), oksalsyre (Chappel, 1877), hydrogendioksid (Harlam, 1884) og klorin (Taft & Atkinson, 1889).

Det er dokumentert at de fleste metodene for tannbleking beregnet til anvendelse i en tannklinikk er effektive. Størst fargeendringer oppnås incisalt, fulgt av midten på tannen, og minst cervikalt. Det er mer usikkerhet om effektivitet av de alternative metodene for tannbleking. Diskusjonen om ulike blekemetoder i litteraturen fokuserer hovedsakelig på varighet av blekingen, konsentrasjoner av blekemidlet, antall applikasjoner, kostnader, bivirkninger og sikkerhet og forsvarligheten av produkter til hjemmebleking som ikke involverer tannhelsepersonnel.⁶⁻¹⁰

De vanligste teknikkene i dag for å bleke tenner kan deles inn i tre hovedgrupper:

- 1) mikroabrasjon med en kombinasjon av saltsyre og pimpsten, utført i tannklinikken
- 2) midler for ekstern bleking, hovedsakelig hydrogen- eller karbamid-peroksyd-baserte i væskeform for å applisere i spesialtilpassede skinner, i tannkremer og tyggegummi eller i form av "tannplaster" og
- 3) midler for intern bleking, oftest basert på natriumperborat, utført i tannklinikken.

I tillegg finnes det patenterte spesialvæsker som benyttes i sammenheng med laserbleking. Det finnes flere lærebøker om temaene mikroabrasjon⁵ og bleking.^{6,7,8,9} Fra et farge-teoretisk ståsted er bleking interessant, da forståelse av etiologi og vurdering av behandlingsresultat etter tannbleking involverer kunnskap om teori om lys og farge. For å evaluere behandlingsresultater har ulike metoder vært benyttet, men mest vanlig er bruk en av fargeskalaer for å evaluere før og etter blekingen. Dette blir gjort enten direkte i behandlingsstolen, eller indirekte på slides eller fotografier. Den hyppigst anvendte kommersielle fargeskalaen er VITA-skalaen (se senere kapittel). Effekten av blekingen er blitt målt som endringer i gråtonen i form av nominell verdi (eksempelvis A3 til A1), eller som ordinal verdi (hvor fargene i skalaen er rangert etter gråtone). Mer avanserte metoder for å måle endringer har vært indirekte målinger gjort med kolorimetre og spektrofotometre (se senere kapittel). Også

billedbehandlingsprogram for PC har blitt benyttet for å dokumentere fargeendringer, eksempelvis Adobe Photoshop.¹⁰

En del blekemidler har markant effekt på fyllingsmaterialer. Det har faktisk vært foreslått at en slik prosedyre også kan brukes som en enkel måte til korreksjon av misfargede fortannsfyllinger, men metoden er ikke spesielt godt kjent.¹¹

2. Fyllingsterapi

Materialer

Plastiske tannfargede materialer inkluderer plast, kompositt plast og glassionomersement. I tillegg finnes ulike typer hybrider av glassionomersement og kompositt plast med betegnelser som eksempelvis resinforsterket glassionomer, ionomer, hybridkompositt og kompomer. Estetikk og fyllingsmaterialer er utførlig beskrevet i egne lærebøker for henholdsvis anteriore¹² og posteriore¹³ restaureringer.

For cirka ti år siden eksisterte et stort tilbud av tyntflytende kompositte plastmaterialer til å "bonde" på fortennene for å maskere defekter og misfarginger. Til dels elaborerte prosedyrer for fremstilling av fasader ble presentert i ulike fora, og det ble publisert brosjyrer av produsenter og "how-to" artikler i faglitteraturen. Felles for alle disse produktene er at de er borte i dag. Sannsynligvis er alle plastfasadene som ble laget også borte – nødvendigvis erstattet av keramfasetter eller kroner på grunn av for dårlig motstand mot misfarging. Generelt kan sies at:

- Av de direkte materialene har de kompositte plastmaterialene de mest optimale optisk-fysikalske egenskapene med hensyn til estetikk.^{14,15}
- Kompositt plast med mikrofyllstoffer er som regel mer opake enn hybride materialer og jo mer fyllstoff et materiale inneholder, jo mer opakt blir det.
- Lysherdende kompositt plast blir lysere og mindre fargesterk etter herding. Upolymerisert kompositt bør være noe mer gul/kromatisk enn tannen ved materialplasseringen.
- Lysherdende kompositt plast må være translusent for at den skal kunne herdes med lampe. Lysherdende materialer egner seg således dårlig til maskering. Det finnes svært få lysherdende plastmaterialer som er opake, fargesterke eller mørke.
- De fleste materialer blir noe mer opake og lyse etter en stund i munnhulen på grunn av vannopptak, men dette varierer betraktelig for ulike materialer.¹⁶

- Kjemisk herdende kompositt plast misfarges over tid mer enn lysherdende på grunn av herdekomponentene i materialet.¹⁷
- Kjemisk herdende konvensjonell makrofylt kompositt plast misfarges over tid mer enn de med mikrofyllstoffer.¹⁸

Til indirekte restaureringer benyttes fortrinnsvis kompositt plast og ulike keramer, inkludert glasskeramer, konvensjonelle feltspatporselener samt nye forsterkede keramtyper. Blant de ulike keramene er det store variasjoner med hensyn til optisk-fysikalske egenskaper, ikke minst translusens. I tillegg er det stor variasjon i fremstillingsprosedyrene for nyere keramer, hvilket også direkte og indirekte påvirker de optisk-fysikalske egenskapene.¹⁹

Klinisk evaluering

De aller fleste kliniske studier av fargen på fyllinger baserer seg på to relativt grove skalaer. USPHS-skalaen²⁰ er inndelt i Alfa: ingen misfarging, Beta: svak misfarging, Charlie: uakseptabel misfarging. CDA-skalaen er basert på det samme konseptet, men er utvidet til 4 graderinger.²¹ Fordelen med få graderinger er færre problemer med inter- og intraobservatør variasjon. Ulempen er vanskeligheter med å identifisere forskjeller mellom produkter, eller å kvantifisere endringer og forskjeller i farge. Også andre metoder basert på indirekte målinger av fotografier er blitt benyttet.^{16,17}

Fargeskala

Mens det tidligere var vanlig at produsentene leverte egne fargeutvalg har nå flere og flere produsenter tilpasset produktfargespekteret til noen få fargeskalaer (Tabell 1).

Tabell 1. Utvalg av produsenter som har tilpasset fargene på varespekteret til ulike fargeskalaer.

<u>Produsent</u>	<u>Materiale</u>	<u>Fargeskala</u>
3M	Kompositt/Hybrid	VITA
Bisco	Kompositt/Hybrid	VITA
Coltene-Whaledent	Kompositt	VITA
Dentsply	Kompositt/GIC/Hybrid/Keram/prefab. tenner	Biodent/VITA/Egne farger
Ducera	Keram	Biodent/VITA
DMG	Kompositt/Hybrid/GIC	VITA
ESPE	Hybrid/GIC	VITA/Biodent/Egne farger
GC	Hybrid/GIC/Keram	VITA
Hereaus Kulzer	Kompositt/Hybrid/prefab. tenner	Biodent/VITA
Jeneric/Pentron	Kompositt/Keram	Bioform/VITA
Kerr	Kompositt	VITA

Shofu	Keram	VITA/Vintage Halo
Ultradent	Kompositt	VITA
VITA	Keram/prefab. tenner	VITA
Vivadent/Ivoclar	Kompositt/Keram	Chromascop/VITA/Egne f.

Som det fremgår av tabellen er den mest brukte fargeskalaen VITA (opprinnelig kalt Lumin-Vacuum) -skalaen. Skalaen ble opprinnelig utviklet til konvensjonelle feltspatporselener, men er etterhvert også tatt i bruk til alle typer direkte restaureringsmaterialer, keramer, prefabrikkerte protesetenner m. m.

Det er blitt påpekt av flere at fargeskalaene fra de ulike produsentene ofte har store avvik fra den originale VITA-skalaen,^{22,23} samt at det ikke sjelden er store avvik mellom presumptivt identiske skalaer fra samme produsent for de individuelle A,B,C & D-fargene.²⁴

En produsent har utviklet et konsept for å lage former for fremstilling av selvlagde fargeskalaer med de aktuelle fyllingsmaterialene, som ble hevdet å gi riktigere resultat sammenliknet med bruk av en konvensjonell standard fargeskala.²⁵

Preparering

Lagtykkelsen på en restaurering er kritisk for å oppnå et korrekt refleksjonsspektrum. Dersom det ikke blir fjernet nok tannsubstans, vil det derfor alltid resultere i dårlig estetikk eller overkonturering hvis optimale estetiske egenskaper skal tilstrebes. Spesielt i gingivaområdet er dette kritisk. Ved kraftig misfarging på grunn av tetracyklin kan det være vanskelig å oppnå et tilfredsstillende estetisk resultat.²⁶ Preparering for skallfasetter er beskrevet i en SSPD-rapport om dette temaet.²⁷ Det henvises også til lærebøker om estetisk tannpleie^{8,12,18} og om skallfasetter.²⁸

Effekter

For å reprodusere tannvev optimalt forutsettes det tatt hensyn tatt til farge, translusens, form og overflatestruktur. Farge og translusens bestemmes i stor grad av dimensjoner. Små operative inngrep kan skape optiske effekter som gir inntrykk av endret tannform.²⁹

- Vertikale detaljer og plan buccalflate gir inntrykk av lengde, mens horisontale detaljer og plan buccalflate gir inntrykk av bredde.
- Liten avstand mellom de bucco-approksimale hjørnene gir inntrykk av smalhet, mens stor avstand gir inntrykk av bredde.

- Liten avstand mellom det bucco-incisale og bucco-cervikale hjørnet gir inntrykk av korthet, mens stor avstand gir inntrykk av lengde.
- Lyse flater virker større enn mørke flater. En lys buccalflate gir også inntrykk av en anterior plassering av tannen.
- Overflatens struktur påvirker hvordan farge oppfattes. En blank overflate gjør at tannen virker lysere sammenliknet med en mer ujevn overflate.³⁰
- Dersom tannlegen skal skape en bestemt fargeeffekt, bør intensivfarger alltid anvendes et stykke under overflaten.
- Varierende tykkelse vil influere på fargen. Jo tykkere sjikt, jo mer farge, men samtidig mindre translusens. Dette er særlig uttalt for de mest translusente kompositte plastmaterialene.

3. Protetikk

Avtagbare proteser: materialer

Materialer som har vært analysert etter bruk in vivo har vært ulike temporære materialer, helprotesematerialer, og fasadematerialer i konuskonstruksjoner.

Klinisk evaluering

En fordel med avtagbare protese-konstruksjoner er at endringer i farge kan måles presist med laboratorieutstyr som spektrofotometre, reflektometre og kolorimetre. Presentasjon av verdier enten som CIE L*a*b eller relativ refleks (se kapittel V) gjør også sammenlikninger mulige mellom ulike studier.

- En del produkter beregnet til hjemmebleking av proteser er effektive³¹
- Fargen på basismaterialet i en helprotese reflekteres og påvirker fargen på prefabrikerte akrylattenner³²
- Fargestabiliteten er dårligere for fasadematerialer i kompositt plast sammenliknet med prefabrikerte tenner observert over 1,5 år.³³
- Misfargingen av fasadematerialer på teleskop-proteser etter et år ga en økning i L*a*b verdiene i b*-aksen. Det vil si den blå-gule aksen, hvilket indikerer at de gulner. Det var store individuelle forskjeller, og misfargingen kunne poleres bort.³⁴
- En klinisk bedømming av misfarging av temporære materialer over 5 uker ga som resultat at alle ble bedømt som klinisk akseptable.³⁵

Det er åpenbart at de optisk-fysikalske egenskapene mellom ulike produkter varierer betraktelig som en følge av ulike materialsammensetninger og fremstillingsprosedyrer. Imidlertid er det vanskelig eller endog umulig å beskrive eller kvantifisere disse forskjellene på grunn av en rad kompliserte lys-materie-interaksjoner i munnhulen. Det er i liten grad gjort kontrollerte studier hvor kvalitative forskjeller med hensyn til estetikk er kartlagt. Til tross for dette skinner det tydelig igjennom i markedsføringen av de ulike produktene at det ene eller andre produktet skal ha overlegne optisk-fysikalske egenskaper.

Klinisk evaluering

Kliniske studier fokusert på faste proteser med evaluering av farge og estetikk inkluderer, i likhet som for fyllinger, oftest USPHS eller CDA-kriteriene. Disse målene er for grove til å skille mellom ulike produkter. Et annet forhold er at med dagens materialer kan eventuelle endringer først påregnes etter mange år i munnhulen, hvilket gjør disse målekriteriene lite interessante. Generelt kan det konstateres at:

- Fargen på metallet i MK kroner innvirker på totalresultatet. Edellegeringer er som regel noe lysere enn halvedle legeringer. Nye legeringer for LFC-keramer (Low fusing ceramics) kan inneholde større andel edelmetall og dermed få et gyllent utseende. Det samme gjelder galvanisk fremstilte metallkeramkroner.
- Flere studier i Japan har ved hjelp av ulike fargemålinger påvist at fargen på gingiva påvirkes av kroner. Det er foreslått flere hypoteser for å forklare denne sammenhengen.³⁶

Preparering

For at tanntekniker skal ha muligheter for å fremstille kroner med tilfredsstillende estetikk må det fjernes nok tannsubstans. Alternativt blir kronen overkonturert, med derpå følgende risiko for gingivitt og/eller senere gingivaretraksjon. For konvensjonelle kroner er det angitt et minstemål på 1 mm buccalt for metallkeramkroner. Incisalt må det fjernes 2 mm for å få tilfredsstillende translusens. Konstruksjoner laget av nyere helkerammaterialer samt galvanisk fremstilte kroner, skallkroner og -fasetter som avsluttes i emalje, kan lages tynnere, men anbefalte dimensjoner varierer mye fra produsent til produsent. Det er her absolutt nødvendig å følge produsentens anvisninger. En vanlig prepareringsfeil er å ikke fjerne nok tannsubstans i overgangene mot approximalflatene.³⁷ Dette gir enten overkonturerte kroner i disse områdene (mest vanlig) eller resulterer i utilfredsstillende estetikk

Det er uenighet om den mest optimale strategien for prepareringsavslutning buccalt, både for konvensjonelle metallkeramkroner og for nyere kronekonstruksjoner. De vanligste løsninger er skulder med eller uten kantskjæring eller chamferavslutning samt kroneavslutning i enten metall eller keram. Imidlertid må det tas andre hensyn i tillegg til de estetiske ved en slik vurdering. Enkelte produsenter, eksempelvis Ivoclar (Empress) og Nobel Biocare (Procera), har klare retningslinjer for prepareringsavslutninger. Konvensjonelle MK-kroner med avslutning buccalt i keram mot en skulderpreparering kan bli meget bra, men det forutsetter meget godt teknisk arbeid fra både operatør og tanntekniker.³⁸

Effekter - momenter for tannlegen

- Den viktigste parameteren ved reproduksjon av tannkroner er fargens gråtone, fordi den henger så nøye sammen med vitaliteten. En tann som er hvitere enn nabotennene vil se uekte ut, mens en tann som er for grå vil virke død. Det er beskrevet teknikker for å justere slutfargen på keramkroner etter sementeringsfasen,³⁹ men det er delte oppfatninger om verdien av dette.⁴⁰
- På naturlige tenner er det ikke fargekomponenter fra overflaten som reflekteres og gir farge. Keramer som er basert på overflatefarging (eksempel Dicor) utviser derfor relativt dårligere estetiske egenskaper.
- Fargen på kompositte plastsementer kan være kritisk ved sementering av tynne konstruksjoner i fronttannsettet. Observer at slike sementer ofte blir lysere og mindre fargesterk etter herdingen. Dersom det tas sikte på å fremstille mange estetisk krevende fronttannsrestaureringer i helkeram bør man anskaffe kompositte plastsementer som inkluderer try-in pastaer og et bredt assortement av ulike sementfarger.⁴¹
- Tilsetning av resintynnere til sementer basert på kompositt plast, dette for å senke sementens viskositet, resulterer i mer restmonomer og dermed dårligere resistens mot misfarging. Man bør derfor heller velge mer lavviskøse resiner dersom dette oppleves som et problem.
- Rød gingiva kan nå illuderes med nye keramtyper (F.eks. IPS Gingiva kit, Ivoclar). Disse kan med fordel benyttes for å forbedre estetikken ved fremstilling av bl.a. implantatbroer.⁴²

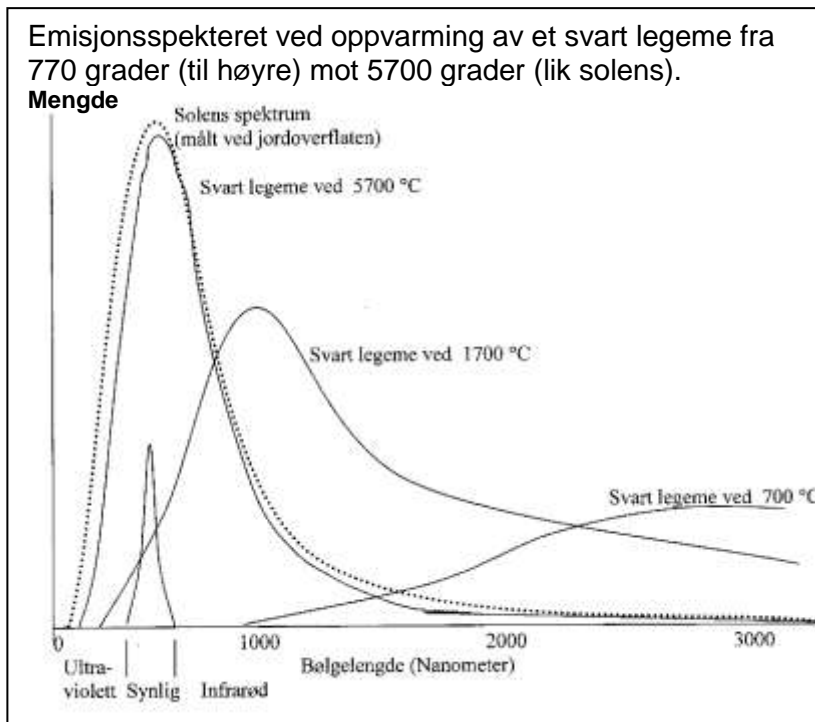
Effekter - momenter for tannteknikeren

Generelt sett vil farge og translusens påvirkes av variasjoner i: 1) brenningen,⁴³ 2) substratet (både underlaget og de inngående keramiske komponenter) og 3)

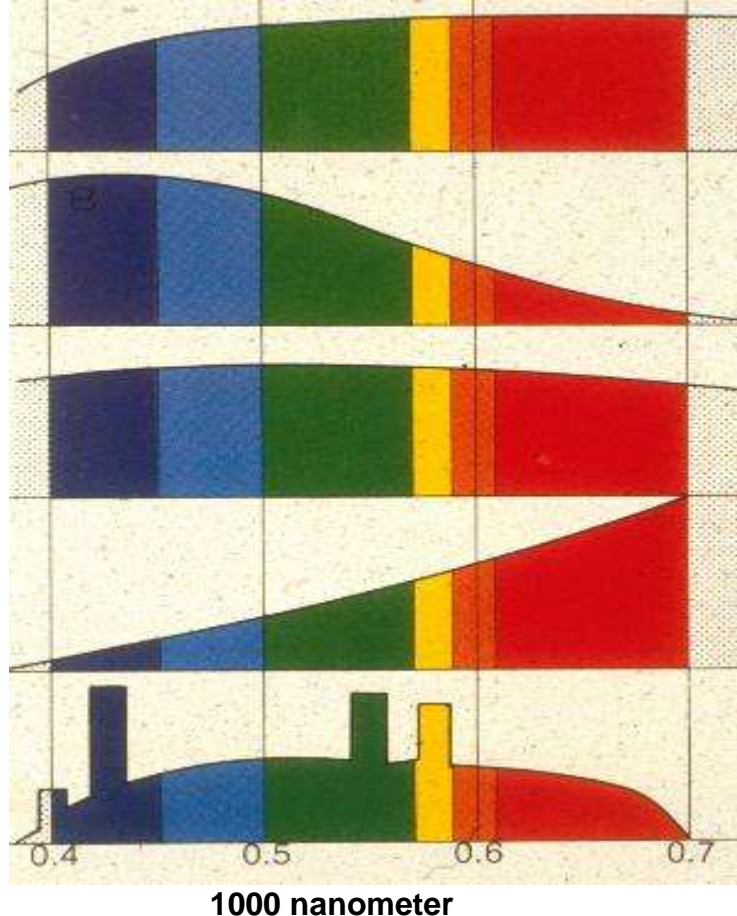
tykkelsen. Ulike teknikker for å optimalisere disse faktorene er inngående beskrevet i flere av de årlige utgavene av Quintessence of Dental Technology, samt i flere bøker^{44,45,46,47,48,49}.

I de mange lærebøkene det refereres til er det utførlige beskrivelser av teknikker for optimal fremstilling av protesekonstruksjoner med hensyn til estetikk. Til tross for presumptivt optimal fremstilling kan det påvises at det kan være avvik på opptil $\Delta E^*=4.8$ på MK-kroner med identisk farge.⁵⁰ De nevnte variablene brenning, substrat og tykkelse forklarer en del av årsakene.⁵¹ Gjentatte brenninger gir økt grå- og grønnskjær i keramet.

IV. HVORDAN MÅLES LYS? (Fotometri)



Lysspektre fra hhv. morgensol, lys fra skyfri himmel, dagslys, glødelampelys og lysrør. Toppene i lysrørets spektrum tilsvarer emisjonsspekteret for de enkelte gassene som er benyttet i røret.



1. Lyskilder

Ikke lysende gjenstander, eller svarte legemer, vil ved tilstrekkelig tilførsel av energi avgi noe energi i form av elektromagnetiske bølger. Ved økende energitilførsel går energien over fra varmebølger og infrarøde bølger til også å inkludere lysbølger. Spektralenergifordelingen på lyset vil avhenge av

energimengden. Ved lite tilført energi blir det avgitt lavenergetiske bølger (rødt område). Ved økt energitilførsel blir utsendelsen mer høyenergetisk (blått område). Fargen på lyset som framkalles ved oppvarming benevnes for **fargetemperatur**. Fargetemperaturen måles og uttrykkes i Kelvingrader (K). Typiske fargetemperaturer er stearinlys 1000K, glødelamper 2000-2700K, fotolamper 3400K, lysrør 3000-6000K.

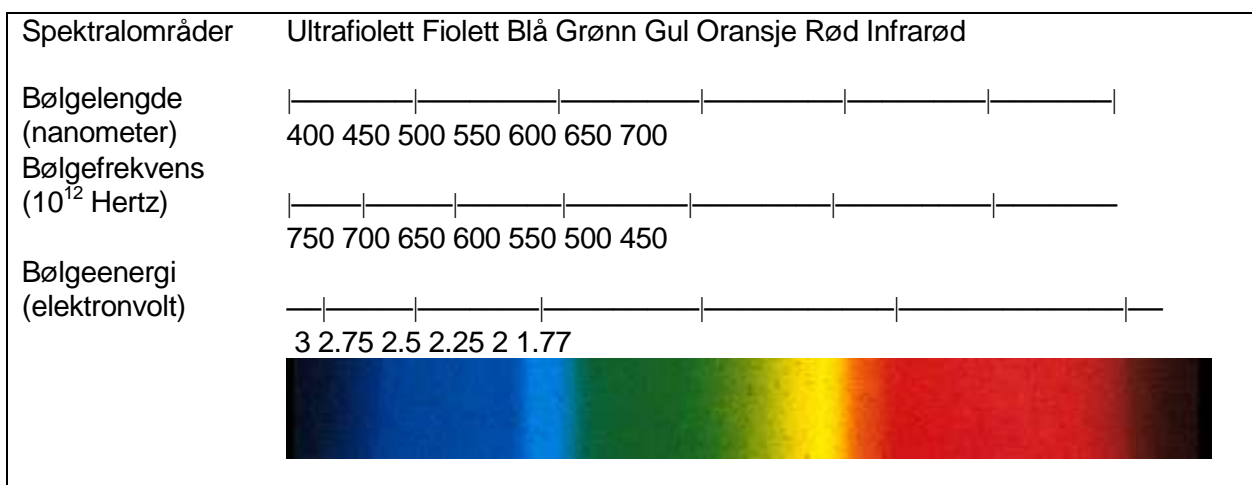
Sollysets spektralkurve er konstant og har vanligvis en fargetemperatur rundt 5700-6500 K. Imidlertid vil sollyset gjennom atmosfæren endres i løpet av dagen. Lys fra klar himmel har en temperatur på opptil 20000 K. Ettermiddagslys har lavere K (rødere). Ved overskyet vær eller tåke har lyset en fargetemperatur lik 7000-8000 K.

Glødelamper har et spektrum tilnærmet lik spekteret fra svarte objekter. Andre lyskilder er gasser som ved tilføring av energi emitterer kun noen få bølgelengder, spesifikt for det stoff som anvendes i lysrøret, vanligvis kvikksølv, neon eller natrium. Lysrør er gassfylte med innsiden av glasset dekket med et stoff som fluoriserer ved bestråling av UV-lys. Våre øyne oppfatter lyset fra disse lyskildene som mer eller mindre likt sollyset, til tross for at **emisjonsspektrene** er noe forskjellige. Et annet moment er at øyets følsomhet varierer. Det er mest følsomt ved gulgrønt lys. Dette utnyttes ved fabrikasjon av lyskilder. Pærer med gulgrønn lysfarge er mest økonomiske fordi det kan benyttes lavere styrke på lyset.

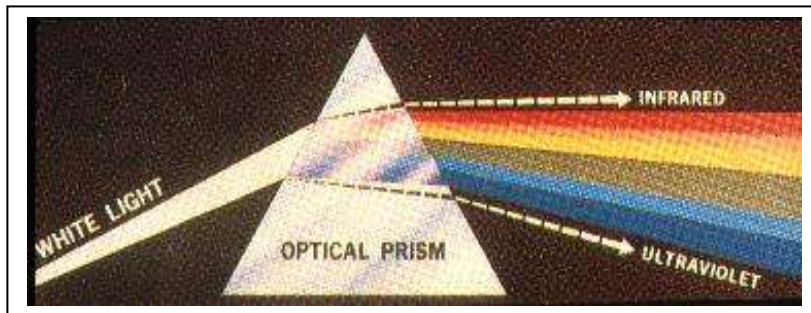
2. Hva er lys ?

Det har i mange år vært uenighet om hva som best karakteriserer lys og farge. Lys kan betraktes som elektromagnetiske bølger eller som partikler. I begge tilfeller er lys ensbetydende med **energi**, og benevnes med bølgelengde eller elektronvolt (eV). Man kan også forestille seg at lys består av **fotoner**, eller energibærende partikler. Lys beskrives på ulike måter (Tabell 2).

Tabell 2. Alternative metoder å beskrive, måle og uttrykke sammensetningen av lys. Mest vanlig er som bølgelengde (nanometer) eller som bølgefrequens (Hertz) og energi, (Elektronvolt). (Observer en ikke lineær skala for frekvens og energi).



I et **polykromatisk lys** har fotonene forskjellige energinivåer. I et **monokromatisk lys** har alle fotonene samme energinivå. Lys som består av fotoner med forskjellige energinivåer kan splittes i et **(lys)spektrum**, med flere **spektralfarger**. Den klassiske



demonstrasjonen av dette er ved hjelp av et prisme .

Lys kan utvikles fra oppvarmede gasser eller gjenstander, som solen, stjernene, glødetråder,

lysrør, osv. Lys reflekteres deretter fra partikler eller gjenstander. Forholdet mellom fotoner med forskjellige energinivå vil variere, avhengig av lyskildens, partiklenes eller gjenstandenes sammensetning. Alt lys kan beskrives kvalitativt med lysets **spektralenergifordeling**.

Lys er energi. Energi forsvinner aldri, men kan overføres fra masse til lys og varme, og omvendt. Når et foton treffer materie oppstår en vekselvirkning i atomenes elektronskall. Vekselvirkningen varierer og er på den ene siden avhengig av materiens kjemiske sammensetning, urenheter og struktur, og på den annen side av fotonenes energi. Det lys som fremkommer etter vekselvirkningen mellom det innfallende lys og materien, vil derfor være avhengig av lysets spektralenergifordeling, det vil si lysets sammensetning av ulike bølgelengder eller fotonenes energi, og av gjenstandens kjemiske sammensetning og struktur.

3. Lys og interaksjoner i materie

Når lys treffer materie, vil det alltid inntre en interaksjon. En eller flere mekanismer kan observeres: 1) lysspredning, på overflaten (overflaterrefleksjon) eller i de øverste sjikt så mye at lyset blir reflektert tilbake, dvs en indre refleksjon, 2) absorpsjon eller 3) transmisjon. Hvordan lys og materie interagerer, og hvordan dette utnyttes i fargeindustrien og i andre sammenhenger er utførlig beskrevet i tre sentrale lærebøker.^{52,53,54}

1. Lysspredning

*Ikke-lysende materie blir synlig når molekyler, partikler eller gjenstander forstyrrer lysets gang og sprer lyset. Når dimensjonen på molekylene er mindre enn lysets bølgelengde, anvendes ofte uttrykket **lysbøying**. Graden av lysspredning varierer*

med lysets bølgelengde. Kortbølget lys (blått lys) spres cirka 10 ganger mer enn langbølget lys (rødt lys). Lysspredning er rettlinjert, men kan fortsette inn i materien og til slutt bli absorbert. Det er det spredte lyset, altså det lyset som ikke blir absorbert, som gir materien dens farge.

Når partiklene er små, fungerer de som små utstrålingsentra, og hver partikkel sender lys i alle retninger. Himmelen fremtrer som blåfarget fordi luftmolekylene i atmosfæren sprer den kortbølgede delen av lyset (blått lys) fra solen mest. Av samme grunn får ofte gjenstander en rødlig tone i dis eller tåke. Etterhvert som solen nærmer seg horisonten blir mer og mer av det spredte langbølgede lyset synlig, og himmelen virker rødere. Dersom det er vanndråper tilstede (skyer) blir sollyset spredt likt for alle bølgelengder, og man får et hvitt/grålig inntrykk av himmelen.

For å oppnå lysspredning i et medium tilsettes koloranter, som enten er fargestoffer eller pigmenter. Fargestoffer er substanser som er oppløst i mediet, mens pigmenter forblir uoppløste. I dentalmaterialer benyttes først og fremst pigmenter, som regel forskjellige metalloksider. Pigmentene er små partikler med optiske egenskaper som er forskjellige fra mediet. Ved å variere antallet, størrelsen eller sammensetningen av pigmenter kan dentalmaterialets optiske egenskaper forandres. Jo større forskjell det er mellom de optiske egenskaper til mediet og til partiklene, desto større blir lysspredningen. Maksimal lysspredning oppnås når antallet pigmenter i mediet er høyt, samt når partiklene er like store som bølgelengden på lyset. Jo mer opakt et materiale er, desto mer lysspredning skjer i materialet. Lysspredning er et resultat av de to optiske fenomenene **brytning** og **refleksjon**.

Brytning (refraksjon)

Hvis lys passerer en grenseflate mellom to medier vil noe lys reflekteres, og resten av lyset endre retning dersom lyshastigheten er forskjellig i de to mediene. Lysets hastighet i et medium avhenger av lysets bølgelengde og mediets kjemiske sammensetning. **Brytningsindeksen**, som er synonymt med **refraksjonsindeksen**, er et uttrykk for hvor mye hastigheten blir endret i første og andre medium. Hvis mediene har forskjellige brytningsindekser, vil det oppstå en **lysbrytning** i grenseflaten. Fenomenet kan observeres når en konsentrert lysstråle sendes skrått ned i vann og lysets retning blir endret i forhold til innfallsvinkelen. Den absolutte brytningsindeks, dvs mellom det tomme rom og luft er 1.0003, målt med gult natriumlys. For andre gjennomsiktige medier er brytningsindeksen alltid større enn 1.

Diamant har brytningsindeks på 2,48, glass og porselen ca. 1,5, vann 1,33 mens sølv har 0,18.

Refleksjon

Refleksjon oppstår alltid i grenseflaten mellom to medier hvor lysets hastighet endres, det vil si medier med forskjellige brytningsindekser. På makroskopisk nivå fremtrer to former for refleksjon: **speilrefleksjon (spekulær refleksjon)** og **diffus refleksjon**. En av fysikkens lover sier at lysets utgangsvinkel alltid er den samme som innfallsvinkelen. I praksis ser man at refleksjonen antar en spiss kjegleform ved speilrefleksjon, og en større kjegleform ved diffus refleksjon.

Speilrefleksjon er reflektert lys som ikke har diffundert inn i mediet. Speilrefleksjon opptrer når atomene ligger i samme plan, eller når uregelmessighetene på overflaten er små. **Glans** er speilrefleksjon i en bestemt retning. Mengden reflektert lys er avhengig av lysets innfallsvinkel. Hvis lyset treffer et medium med en innfallsvinkel under en viss størrelse, vil lyset bli totalreflektert. Alle medier reflekterer noe lys i det øverste overflatesjiktet. Graden av refleksjon kan uttrykkes ved **reflektansfaktoren** målt ved 90° påfallende lys. En sterkt reflekterende overflate, f. eks. magnesiumoksid, MgO_4 , har reflektansfaktoren 98 %, krystall 10%, glass 4%, vann 2% og grafitt i olje cirka 0,3% reflektans. Speilrefleksjon utviser først og fremst lysets opprinnelige spektrum mer enn et spektrum fra mediet.

Diffus refleksjon beskriver både reflektert lys som kommer fra det indre i mediet, og refleksjon som opptrer når overflaten er ru. Diffus refleksjon utviser overveiende et spektrum fra mediet på grunn av en selektiv spredning og absorpsjon av lyset i mediet.

2. Absorpsjon

Når lys beveger seg gjennom materien vil en del av lysets energi transformeres til annen energi, som f. eks varme. Man sier at lyset blir absorbert. Absorpsjonen er selektiv, og er avhengig av lysets bølgelengde og materiens kjemiske sammensetning. Når alt lys absorberes fremtrer materien som svart, mens ingen absorpsjon er kjennetegnet med hvitt. Avhengig av hvordan et medium forandrer innfallende lys klassifiseres det i henhold til dets **absorptivitet**.

Dersom materien selektivt absorberer noe av lyset, vil eventuelt lys som transmitteres ikke være det samme som det som reflekteres. Dette fenomenet forekommer innen gemmologi. For eksempel er opalstener blålige ved påfallende lys

og oransje ved gjennomfallende lys. Dette kan man også se på dappenglass som er laget av opal.

3. Transmisjon

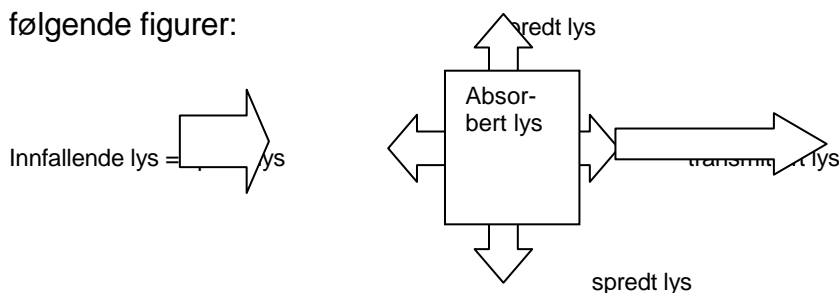
Hvis lys kan slippe gjennom et medium, benevnes dette for **transmisjon**. Avhengig av hvor mye lys som kan passere, klassifiseres det som **opakt** eller **translusent**. Translusente materialer slipper gjennom lys, men sprer lyset så mye at man ikke kan se gjennom materialet. Dersom man kan se gjennom materialet betegnes det som **transparent**. I et opakt materiale vil ikke lys passere. Imidlertid vil alltid lys til en viss grad penetrere opake materialer før det modifiseres og reflekteres tilbake som en komponent i det reflekterte lyset. En konsekvens av at det alltid er en viss penetrasjon av lys også i opake materialer, er at alle materialer vil være translusente dersom prøven som måles er tynn nok.

Dersom man antar at et medium sprer lyset maksimalt, vil de fleste lysbrytningsprosesser skje i de øverste 0.2 mm når lyset har en bølgelengde lik 500 nm. Applisert til protetikk betyr dette at en maskeringstykkelse på opakeren på 0.2 mm er nødvendig for at metallskjellet i MK kroner skal maskeres fullstendig. Et numerisk uttrykk for hvor stor grad et materiale hindrer gjennomfallende lys er **transmittans--koeffisienten** eller materialets **optiske opasitet**.

I likhet med spredning og absorpsjon er transmisjon selektiv for forskjellige bølgelengder av lys. Jo høyere bølgelengder (rødere lys), jo mer translusens. Svært mange translusente materialer blir svakt blålige ved varierende belysninger. Det gjelder også for tenner, som er translusente for rødt lys, men reflekterer blått lys. Dette illuderes på keramkroner ved at det blir antydnet et blålig skjær incisalt.

4. Sammenhengen mellom innfallende lys og farge

Resultatet av interaksjonen mellom det innfallende lyset og materie fremgår av følgende figurer:



innfallende blått lys = spredt blått lys + absorbert blått lys + transmittert blått lys

innfallende rødt lys = spredt rødt lys + absorbert rødt lys + transmittert rødt lys

Når en gjenstand blir belyst, oppstår ulike interaksjoner mellom lyset og gjenstanden.

Når gjenstanden er svart, blir hele lysspekteret absorbert.

Når gjenstanden er hvit, blir hele lysspekteret spredt.

Når gjenstanden er grå, blir alle deler av lysspekteret like mye absorbert.

Når gjenstanden er farget, blir selektive deler av lysspekteret spredt eller absorbert.

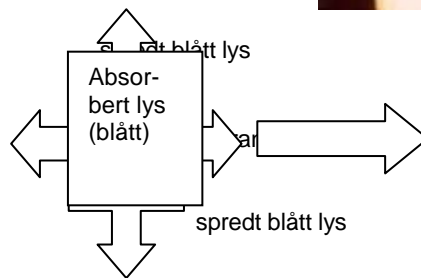
Eksempler på hvordan farge kan oppfattes ulikt i gjennomsnitt og i påskinn i tann og

dappenglass av opal:



Resultat

Innfallende lys = lys a



innfallende lys = spredt blått lys + absorbert blått lys + transmittert oransje lys

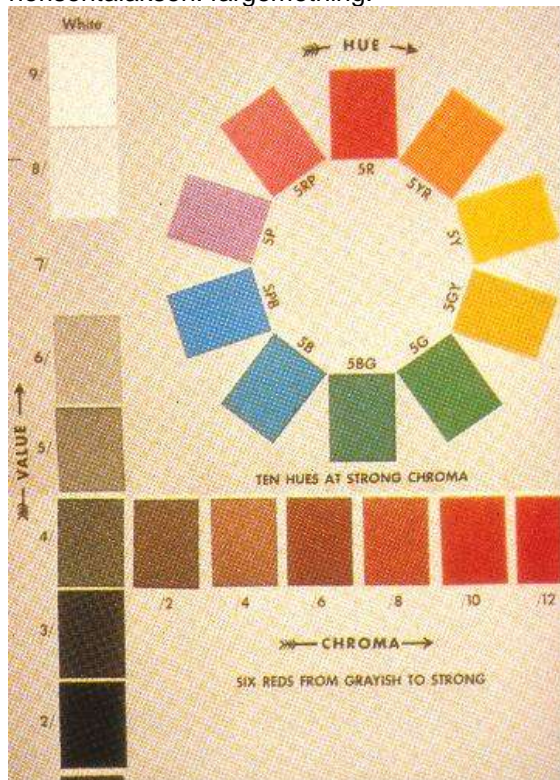
V. HVORDAN MÅLES FARGER? (KOLORIMETRI)

Avhengig av anvendelsesområde og krav til presisjon er det blitt lansert og benyttet ulike metoder for å måle og beskrive farger. Metodene har med varierende hell blitt benyttet for å bestemme fargene på tenner, kompositt plast, sementer og keramer.

1. Sammenlikningsmålinger

For å bestemme fargen på en gjenstand kan det benyttes atlas eller fargesystemer. For at slike systemer skal være formålstjenlige stilles det krav til logisk oppbygning, og at de innbyrdes forskjellene mellom fargene er adekvate og konsistente. Kjente systemer som benyttes innen malingindustrien er for eksempel **NCS**, **Ostwald-** og **Munsell-systemet**. I disse systemene anvendes oftest tre dimensjoner for å beskrive en farge, og fargesystemene har ofte form av et fargetre, fargekule eller kurvet fargetetraeder. Det er stort sett bare Munsellsystemet som har vært brukt i odontologien.⁵⁵

Munsell fargekoordinatsystem. sirkel: fargetone, vertikal-aksen: gråtone - horisontalaksen: fargemetning.



Systemet beskriver alle farger med en tredimensjonal indeks som gjengir henholdsvis:

Fargetone (Engelsk: *Hue*), er det vi til hverdags kaller "farge". Fargetone korresponderer med den optiske egenskapen betegnet som "dominerende bølge".

Valør (Engelsk: *Value*), er gråtonen eller lyshet, og er gitt i en skala i forhold til en hvit flate. Hvit er 10; svart er 0. En farges valør kan forstås som gråtonen som fargen har på et svart-hvitt fotografi eller -TV.

Fargemetning (Engelsk: *Chroma*), eller fargeintensiteten, kan beskrives som en skala av innblanding av farge. Lave tall betyr mindre farge. En ren spektralfarge har 100

% metning. En hvit, grå eller svart flate har 0 prosent fargemetning.

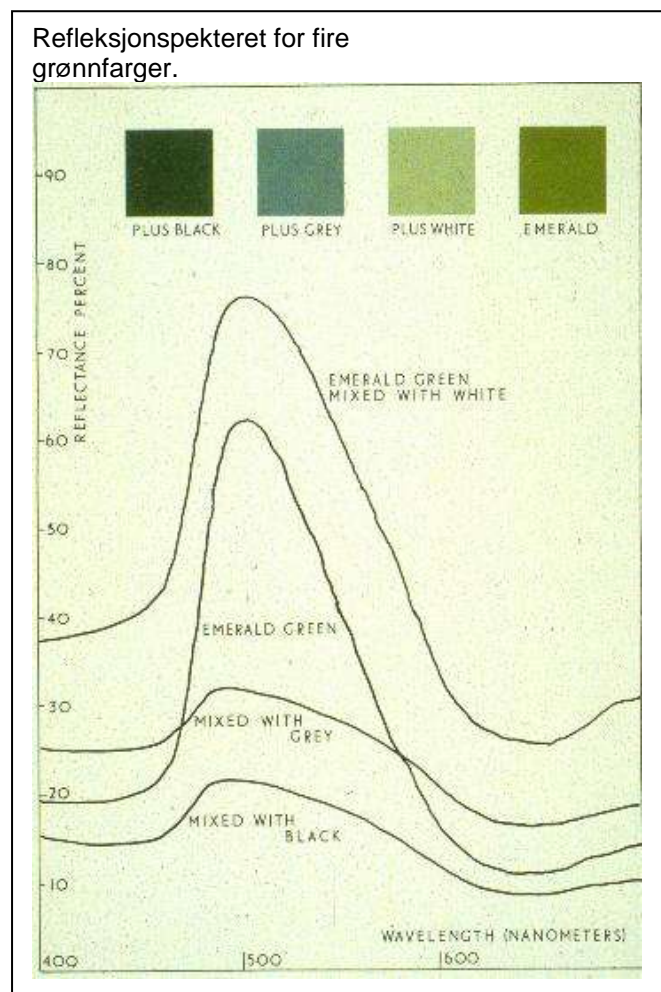
Hver farge framstilles i Munsellsystemet som en kombinasjon av tall og bokstaver som representerer henholdsvis fargetonen, gråtonen (valør) og fargemet-

ningen. Eksempler er 10YR 6/4 - 9.6YR 6.2/4.3, o.l. Disse tre verdiene henger nøye sammen. Det går ikke an å løsrive en av verdiene fra de to andre. Rene spektralfarger med 100 % fargeintensitet har ulike gråtoner. Lyse farger, slik som gul, har høy gråtone, mens mørke farger, slik som fiolett, har lav gråtone.

Avhengig av presisjonsnivået kan det bestemmes mellom 1000 og 100 000 forskjellige fargeblandinger med Munsellsystemet. Systemet er i utgangspunktet kun beregnet til fargemåling av opake materialer. Imidlertid kan systemets nomenklatur med fordel også brukes til å beskrive translusente farger.

Ulempen med Munsellsystemet, i likhet med mange andre tredimensjonale fargesystemer, er at det ikke er ekvidistanse mellom punktene fra sentralaksen og utover mot periferien av fargesystemet. Dette vanskeliggjør beregninger av forskjeller.

Området som tannfargene utgjør i den 360 graders fargekulen i Munsellsystemet dekker ca. 8% av totalarealet.



1. Spektrofotometer

Denne målemetoden er den mest presise, men er tidkrevende og dyr. I et lukket kammer blir en prøve belyst med forskjellige monokromatiske lys, med polykromatisk lys, eller med spesielle kombinasjoner av monokromatiske lys. Refleksjonen eller transmisjonen blir målt for hver enkelt bølgelengde. Den totale refleksjon eller transmisjon som funksjon av bølgelengdene blir deretter beregnet. Totalverdien vil være konstant i alle typer belysning.

Dersom prøven er translusent blir målingene gjort mot ulike opake bakgrunnsfarger. Ved hjelp av teoretiske beregninger (Kubelka-Munk beregninger) kan både

spredningen og absorpsjonen i prøven beregnes. Inntil nylig kunne spektrofotometri bare bli utført på ekstraherte tenner. Fargeverdiene målt på ekstraherte tenner vil

imidlertid vanskelig kunne sammenliknes med tenner *in situ* på grunn av en rødton-effekt fra gingiva, mucosa og pulpa.

Det er nylig utviklet apparatur basert på spektrofotometri som kan anvendes intraoralt. (eks. Castor, Nordmeditec, Tyskland; Colorgen, Colorgen Inc., USA; ShadeEye EX, Shofu Dental, Japan). Systemene består av en lyskilde, mikroprosessor, fiberoptikk, display og spektrofotometer. Verdiene presenteres i CIE L^*a^*b -verdier⁵⁶, eller kerampulver-sammensetning (Shofu Dental). Måleutstyret er teknikkfølsomt, men ved hyppig kalibrering og dobbeltmålinger rapporteres det at måleverdiene er relativt sikre.^{57,58}

2. Tristimulus-kolorimeter

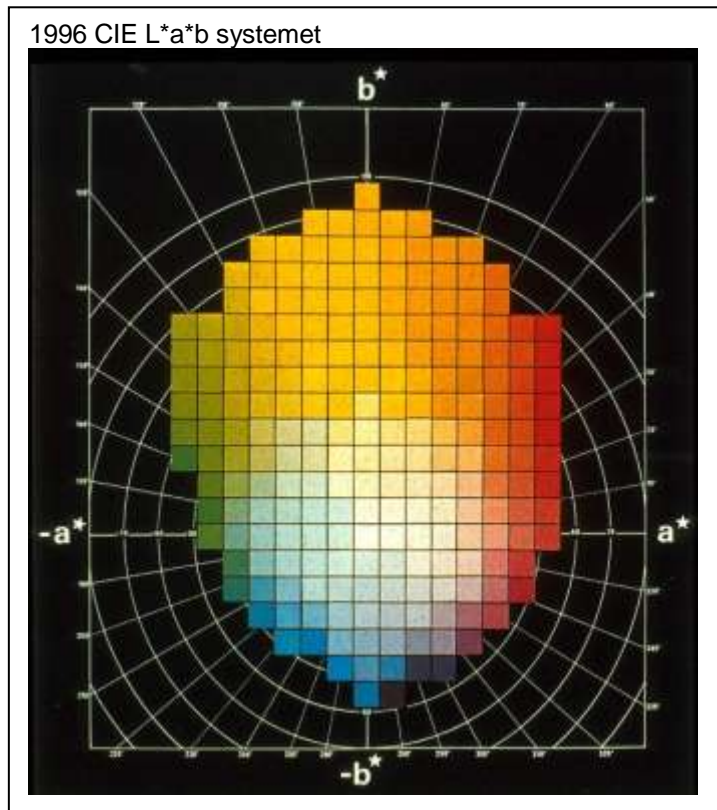
Målemetoden baserer seg på Young/Maxwell-teorien om at enhver farge kan uttrykkes ved hjelp av 3 grunnfarger (så lenge den tredje fargen ikke kan dannes ved blanding av de to andre). Enhver kombinasjon av fargene X, Y og Z vil kunne uttrykke fargetone, fargemetning og gråtone (lyshetsgrad). Alle spektralfarger er blitt fastsatt og tabulert med tristimulusverdier. Fargemålingene er relativt lette og billige. Prøvene blir belyst med lys filtrert gjennom 3 ulike filtre, og refleksjonen blir registrert. Vanligvis benyttes filtre med fargene rød, grønn og blå. Dermed registreres en grov kurve over spektralrefleksjonen fremfor sekvensiell måling gjennom hele bølgelengdespekteret i et spektrofotometer. Problemet ved å benytte et tristimulus-kolorimeter på tenner er at graden av translusens ikke blir målt.⁵⁹ Ved hjelp av en intraoral sonde kan fargemålinger foretas med kolorimetre *in vivo*.^{60,61} Nye kolorimetre (f.eks. Minolta CR 321) har vist akseptabel presisjon og reliabilitet.^{59,60}

Tristimulus-systemet danner grunnlag for ulike CIE standarder.⁶² Systemet er primært konstruert for å måle om fargen på to prøver fremtrer som like. Tristimulusverdiene beskriver derfor ikke utseendet på en farge, eller hvordan eventuelle fargeforskjeller mellom de to prøver fremtrer. En ulempe med tristimulussystemet er at det primært er utviklet for å dekke andre områder enn det odontologiske. Forskjellene i det hvite-gule området er derfor store og av mange karakterisert som langt underlegene vurderinger med øyet.

4. Måleverdier og konvertering

I odontologisk litteratur er spektrofotometriske målinger oftest benyttet. En årsak til dette er at spektrofotometriske mål kan transformeres til alle andre verdier (men ikke

omvendt!). Verdiene kan transformeres lineært til Y,x,y kromasitet, eller ikke-lineært til L*u*v og L*a*b -verdier. L*u*v benyttes imidlertid bare innen fjernsyn og fotografering. I tillegg kan det enkelt transformeres til tristimulus (XYZ) og til Munsell-verdier.

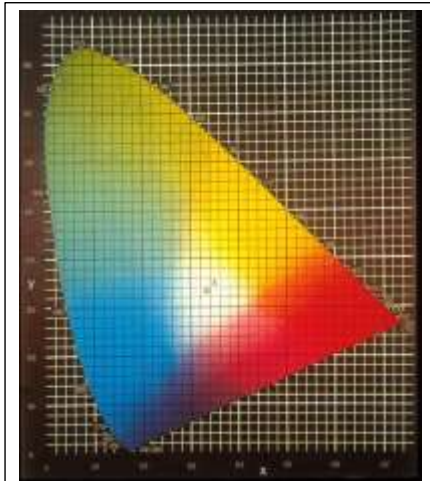


CIE 1976 L*a*b

Fargen på restaureringsmaterialer presenteres ofte som CIE L*a*b-verdier. Dette systemet består av tre akser, en for gråtone (L), en rød-grønn (a) og en gul-blå (b). Mange anser at L*a*b systemet er uegnet til å beskrive fargeforskjeller som er synlige for det menneskelige øyet i det gule fargeområdet. Fordelen med systemet er imidlertid at man kan kvantifisere forskjeller mellom to punkter i systemet med verdien ΔE^* . Det er gitt ulike anslag for

hvor stor ΔE^* må være for at observatører skal kunne se forskjeller. Det er hevdet at forskjeller på $\Delta E^* = 1$ kan detekteres visuelt av spesielt trenete personer.⁶³ I en odontologisk studie med utrenete personer var gjennomsnittet $\Delta E^* = 5,6$, varierende mellom $\Delta E^* = 2-12$.⁶⁴ I andre studier rapporteres det $\Delta E^* = 1,3$,⁶⁵ og $\Delta E^* = 3,3$.⁶⁶ En rapport viste at operatører er mer kritiske til avvik i de røde ($\Delta E^* = 1,1$) sammenliknet med de "gule" ($\Delta E^* = 2,1$) områdene.⁵³ En klinisk studie rapporterte at USPHS kriteriet Alfa (ingen misfarging) tilsvarte $\Delta E^* = 2,2 - 4,4$, mens kriteriet Beta (svak misfarging) tilsvarte $\Delta E^* = 3,8 - 9,3$.⁶⁷ Avslutningsvis ble det i en rapport konkludert med at erfarne tannteknikere kan se forskjeller i rødfargen på protesebasismaterialer på $b^* = 1,5$.⁶⁸ I denne studien ble det også hevdet at deltakerne hadde lettere for å se forskjeller i b^* enn i totalfargen (d.v.s. ΔE^*).

CIE Y, x, y, kromasitetverdier.



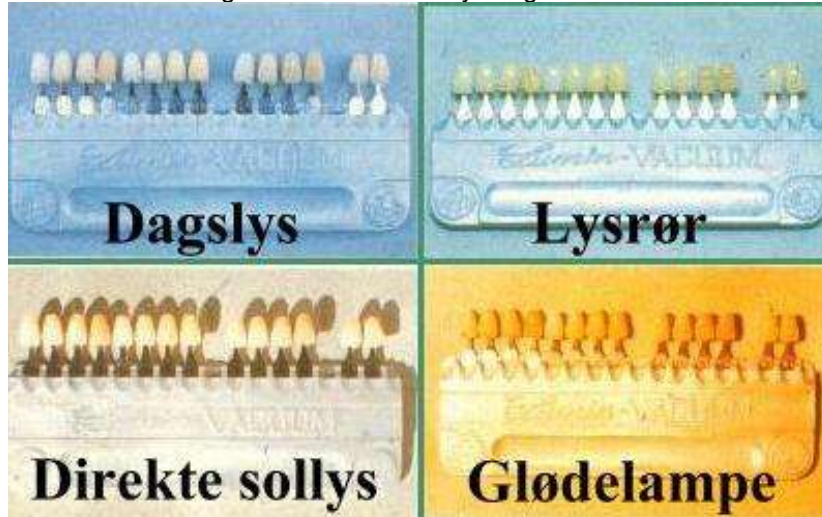
CIE kromasitet koordinater

Kromasitet-koordinatene består av Y, x, y, hvor Y% betegner reflektans (lyshet). Jo høyere verdier av x og y i dette området (den tannfargede delen) av skalaen, desto sterkere farge. Fra tristimulusverdiene X,Y,Z kan man ved hjelp av formler enkelt beregne $x = X/X+Y+Z$ og $y = Y/X+Y+Z$.

5. Metamerisme

Et materiale vil fremtre med forskjellig farge i forskjellig belysning som en følge av selektiv absorpsjon og refleksjon av ulike deler av spektralfordelingen av innfallende lys. To overflater vil kunne fremtre med identisk farge i én type belysning. I en annen type belysning derimot - hvor spektralfordelingen av lyset er ulik - vil fargene fremtre som forskjellige. En enkel kontroll for å konstatere om arbeidslyset er korrekt er å anskaffe Kodak kort P3-180. Kortene består av to grå kvadrater, som vil fremtre med ulike farger i polykromatisk belysning som ikke samsvarer med dagslyset.

VITA-skalaen fotografert i fire ulike belysninger.



Materialers optiske egenskaper bestemmes av struktur og kjemi. Hvis to medier eller gjenstander har samme farge i en type belysning, men ulike farger i en annen belysning, beskrives disse som et metamerpar. Mediene

eller gjenstandene fremtrer med ulik spektralrespons - og dermed farge - i lys med ulik spektralenergifordeling. Fenomenet betegnes belysningsmetamerisme. Dersom to personer opplever samme farge ulikt, betegnes fenomenet som observatørmetamerisme. Også geometrisk metamerisme kan oppstå hvis gjenstanden fremtrer med ulike farger etter fra hvilken vinkel gjenstanden studeres.

VI. INTERAKSJON MELLOM LYS OG MATERIE

1. Naturlige tenner

Problemer forbundet med korrekt fargeerstatning av tannvev ble beskrevet i flere artikler allerede på trettitallet av den amerikanske tannlegen **Bruce Clark**.⁶⁹ I tidlige in vitro studier kunne fargen på ekstraherte tenner måles med spektrofotometer. Det er først i de senere år at avansert måleutstyr har muliggjort mer inngående studier av lysets interaksjoner med tannvev in vivo.^{70,71,72,73}

Form og farge på tennene fremtrer etter kompliserte interaksjoner mellom lys og tannvev. Så å si alle kjente optiske fenomener mellom lys og materie er tilstede:

1. Spredning

- Overflaterrefleksjon påvirkes av:
 - Overflate, regularitet og komponenter
 - Saliva
 - Overflatens geometriske fasong
- Diffus refleksjon fra dypere liggende komponenter
 - Pulpastørrelse, hardvevstykkelse
 - Variasjon med eller uten anestesi /rotfylling
 - Krystallene i emaljeprismene og i dentinet
- Fargede elementer eller defekter i krystallgitteret

2. Absorpsjon

Absorpsjonen er selektiv. Humant tannvev er normalt hvitt ved påfallende lys, men blir svakt gullig ved gjennomfallende lys fordi organiske komponenter selektivt absorberer lys med kort bølgelengde (blått lys).

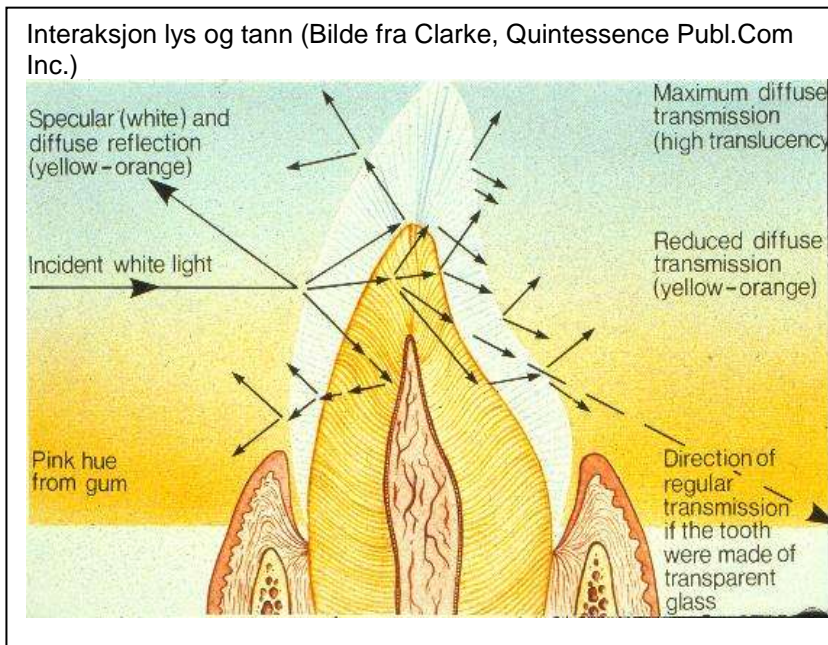
3. Translusens

Optisk tetthet varierer mellom de enkelte tenner, foruten at det er individuelle variasjoner. Translusens avhenger også av fuktighetsgrad.

4. Fluorescens

Hydroksylapatitt fluoriserer med et hvitgult eller lyst blått lys. Blåfargen gir en additiv effekt til rødt-gult, og gir dermed tennene et hvitere preg.

Det er usikkert i hvilken grad de ulike faktorene bidrar til oppfattelsen av form og farge. Det er også usikkert i hvor stor grad emalje, dentin, pulpa, gingiva og mucosa isolert sett bidrar til spektralrefleksjonen fra tannen.



Generelt sett bidrar dentin mest til tannfargen, siden dentin er mer kromatisk enn emalje. Emaljen er meget translucent og mer gråblå enn dentin.

I tillegg til grunnfargen vil variasjoner i forekomst av ulike strukturer i tannen fremkalle forskjellige optiske fenomener:

Emalje:	Retziuslinjer	Perikymata	Infraksjoner
	Hunter-Schreger linjer	Emaljelameller	Hypoplasier
	Tykkelse / sammensetning		
Dentin:	Dentinkanaler	Emalje-dentingrensen	
	Tykkelse / sammensetning		
Pulpa:	Sekundærdentin	Størrelse	
Utforming av kontaktpunkter	spylrom		
Beliggenhet emaljesementgrense buccalt og approximalt			

Tannfarger

Ulike metoder er blitt benyttet for å fastlegge fargen på tenner. I eldre studier er det blitt benyttet sammenlikningsmålinger, enkelte med overveldende store fargeskalaer.⁷⁴ Imidlertid er slike data av liten verdi, med mindre det er redegjort for inter- og intraobservatør variasjon, samt dokumentert at fargeskalaene er arrangert innbyrdes med trinnvis identiske forskjeller. I andre studier er det blitt benyttet ekstraherte tenner og målt ved hjelp av et spektrofotometer eller ulike former for kolorimetre. En oppsummering av måleverdier presentert som kromasitet-, tristimulus- og CIE 1976 L*a*b- koordinater og som Munsell- indekser er gjengitt nedenfor (Tabell 3-6).

Tabell 3. Tannfarge, presentert i CIE kromasitet Y(%), x,y

Gj.snitt Y,x,y	Y(%)	x	y	Målemetode	n	År	Forfatter
Vitro							
44.7-0.35-0.35	24-62	.32-.38	.32-.38	Spektrofotometer	95	97	O'Brien et al. ⁷⁵
	51	.36	.36	Spektrofotometer	100	85	Goodkind et al. ⁷⁶
	15-45	.32-.38	.33-.36	Spektrofotometer	28	81	McEntee&Lakowski ⁷⁷
Vivo							
	10-16	.23-.33	.33-.42	Kolorimeter	19	69	Ishikawa et al. ⁷⁸
	23-69	.35-.50	.33-.43	Spektrofotometer	342	73	Tsuchiya ⁷⁹
				av fargebilder			
	.36-.41	.34-.4	Kolorimeter	234	87	Kurachi et al. ⁸⁰	

Tabell 4. Tannfarge, presentert i Tristimulus X,Y,Z

X	X	Z	Målemetode	n	År	Forfatter
Vitro						
24-61	24-62	22-67	Spektrofotometer	95	95	O'Brien et al. ⁷⁸
32-65	32-66	23-65	Spektrofotometer	100	85	Goodkind et al. ⁷⁹

Tabell 5. Tannfarge, presentert i CIE 1976 L*a*b

Gj.snitt L*a*b	L	a	B	Målemetode	n	År	Forfatter
Vitro							
72.4-1.2-16.2	56-83	-.7-4.6	4.4-26.7	Spektrofotometer	95	95	O'Brien et al. ⁷⁸
	48-61			Spektrofotometer	20	98	Horn et al. ⁸¹

Tabell 6. Tannfarge, presentert i Munsell indeks

Gj.snitt	Fargetone	Gråtone	Kroma	Målemetode	n	År	Forfatter
Vitro							
	7.5YR-2.7Y	5.8-8.5	1.5-5.6	Spektrofotometer	33	74	Sproull ⁸²
	6YR-9.3Y	4-8	0-7	Sammenlikning	6000	31	Clark ⁷²
	8.4YR-4Y	5.9-7.9	.9-3.9	Spektrofotometer	231	75	Lemire & Burk ⁸³
	2.0Y/3.0Y	8.6/8.7	2.6/2.8	Spektrofotometer (1 mm Emalje/Dentin)	35	85	Cook&McAree ⁸⁴
	8.2YR-2.9Y	5.8-8	.8-3.4	Spektrofotometer	100	85	Goodkind et al. ⁷⁹
	7.3YR-3.5Y	5.4-8.2	.7-4	Spektrofotometer	95	95	O'Brien et al. ⁷⁸
Vivo							
	9.5YR-2.8Y	5.9-7.5	1.7-4.5	Sammenlikning	81	67	Hayashi ⁷⁷
	4.4YR-2.6Y	5.7-8.5	1.1-5	Kolorimeter (Chromascan)	2830	87	Goodkind & Schwabacher ⁸⁵

- Det foreligger få data om tannfarger. Det er blitt hevdet at tannfarge har sammenheng med alder (tennene blir mørkere) og hudfarge (mørkhudede har lysere tenner).⁸⁶
- Per i dag er det ikke utviklet et akseptabelt fargemålesystem av tenner.
- Det finnes ikke undersøkelser som har korrelert tannfarge med demografiske data.
- Flere har påpekt forskjeller i fargenyanser mellom gingivale, midtre og incisale tredjedelene. Gjennomsnittlig fargeavvik mellom de gingivale og incisale delene er anslått til $\Delta E^* = 8,2$, varierende mellom $\Delta E^* = 1-15$, og mellom disse og midtre del henholdsvis $\Delta E^* = 4.4$ og $\Delta E^* = 4.9$.⁷⁸ Dette vanskeliggjør både målingene og sammenlikninger mellom ulike studier.

- I enkelte lærebøker refereres det til fire typer tenner med varierende vertikal fargenyansering, den konvensjonelle tredeling som beskrevet over, tenner uten tredeling, og tenner hvor bare den cervikale, henholdsvis sentrale 1/3 del varierer^{46,52}.
- Generelt sett er verdier målt in vitro lysere og gulere enn verdiene målt in vivo - hvor man ikke får så lave YR-verdier i Munsellsystemet. Dette tilskrives flere faktorer, som fuktinnhold i tannvevet, translusens fra pulpa og refleks fra gingiva^{74, 78}.
- Inntil nylig har spektroskopimålinger kun vært mulig på ekstraherte tenner, hvilket tilsier at fargeverdiene ikke er de samme som når det måles intraoralt.
- Translusens varierer fra pasient til pasient. Hos enkelte er det diffus translusens over hele flaten, hos andre bare incisalt, mens andre har det både incisalt og proksimalt. Enkelte tannteknikere har innarbeidet en slik spesifisering i bestillingsblankettene sine.
- Spektroskopiverdier kan bare gi et gjennomsnittsmål for tannen, siden verdiene påvirkes mye av små forandringer i undersøkelsesbetingelser, som vinkling, intra-tann variasjon i opasitet og translusens o.s.v.
- I følge ISCC-NBS fargestandarden for fargebetegnelse har de fleste tenner farger betegnet som #90grålig gul (48%), #93gullig grå (22%), #79lys grålig gullig brun (14%), #76 lys gullig brun (6%), samt andre farger (10%)⁷⁸.

Endringer over tid

Med alderen endrer tennene translusens som følge av økt opasitet etter avleiringer av kalsiumfosfater i emalje, og i peritubulært dentin . Andre aldersforandringer er økt substans tap av emalje som følge av attrisjon/abrasjon samt sekundærdentindannelse og gradvis obliterering av pulpa.⁸⁷ Totalt resulterer dette først og fremst i økt opasitet og delvis mørkere tenner.

2. Dentale materialer

Et materiale som skal erstatte tannvev bør kunne:

1. Bryte, absorbere og transmittere lys på samme måten som tannvev
2. Reprodusere en spektralrefleks lik en naturlig tanns i størst mulig grad
3. Generere farge på tilsvarende måte som naturlige tenner
4. Utvise tilsvarende fluorescens som resttannsettets

Det finnes i dag ingen dentale biomaterialer som oppfyller disse kriteriene.

- Både kompositt plast, glassionomerasementer og keramer blir farget med tilsetning av pigmenter, hovedsakelig metalloksider, som bryter og/eller absorberer lyset og dermed danner farge. Alle disse materialene vil derfor utvise metamerisme.
- Farger i keram fremkommer ved tilsetning av indiumoksid (gul), koboltoksid (blå), nikkelloksid (grå), jernoksid (brun), magnesiumoksid (rosa) og titanoksid (hvitt). Partiklene har en vesentlig høyere smeltetemperatur enn keramet, men likevel smelter disse i en viss grad jo flere brenninger som blir gjort. Dette gir seg utslag i gråere og grønnere kroner.
- Per i dag eksisterer det ingen spektrofotometrisk kvalitetskontroll av restaureringsmaterialer.
- Forskjellige produksjonspartier fra samme produsent vil utvise forskjellige refleksjonsspektra,⁸⁸ men dette varierer fra produsent til produsent.⁸⁹
- Avhengig av hvordan restaureringen blir bygget opp vil interaksjon mellom lys og materie resultere i ulike optiske fenomener.
- På grunn av materialopasitet må flere lys- og fargefenomer som forekommer i naturlig tannsett illuderes. Eksempelvis kan det benyttes grå-blått materiale incisalt for å illudere emaljens translusens, samt brun-gule soner approksimalt for å skape lys- og skyggeeffekter.

In vitro testing av dentale materialer

Flere tester av misfarging av restaureringsmaterialer har vært beskrevet og innarbeidet i standarder for materialprøving.⁹⁰ Misfargingen påvirkes i stor grad av hvilken metode som benyttes⁶⁷ og bl.a vil bakgrunnen som prøven måles mot påvirke måleverdiene.⁹¹ Hovedsakelig kan testene inndeles i lys-, varme- og lys/varme-tester.⁶⁷ Testene er ikke utviklet for å korrelere med hva som skjer i munnhulen over tid, men for å gi indikasjoner om materialene fyller visse minstekrav til optisk-fysikalske egenskaper.⁹² For eksempel er det rapportert dårlig korrelasjon mellom in vitro og in vivo data med hensyn til fasadematerialer fremstilt i kompositte plastmaterialer³⁴.

Foruten testing av restaureringsmaterialer hvor det finnes mer enn 100 rapporter, har materialer som er blitt testet for resistens mot misfarging vært:

Resinsementer^{93,94,95,96}

Protese basismaterialer^{97,98,99,100,101,102}

Skallfasetter¹⁰³

Prefabrikerte tenner¹⁰⁴

Protese foringsmaterialer^{105,106,107}

Temporære fyllingsmaterialer^{108,109,110,111,112}

Fasadematerialer til gull-akrylatkroner^{69,87,113}

- Kompositte plastmaterialer har en tendens til å misfarges. Som regel blir fargene gulere. Årsaken til misfargingen er komponentforandringer i aktiverings-initierings systemet.⁹⁵
- Lyse farger misfarges mer enn de mørkere.¹¹⁴
- Kjemisk herdende materialer misfarges mer enn lysherdende, og blir samtidig også mer opake.¹¹⁵
- Det har skjedd en positiv utvikling ved at det er betydelig mindre misfarging i moderne materialer sammenliknet med tidligere varianter.¹¹⁶

VII. LYS I KLINIKKEN

1. Belysning

Lys uttrykkes med lysstyrke (Candela)¹, lysstrøm (Lumen) og belysning (Lux)². Retningslinjer for optimal belysning i tannklinikker i forhold til disse kriteriene er spesifisert i ulike standarder laget av ISO (ISO/TC 106/Dentistry/WG 6) og SPRI (Sverige) (SPRI Spec. 55101-18/70).¹¹⁷

Lys - kvantitet

Klinikklandskapet kan deles i tre områder. Hvert område krever bestemte lysstyrker. De ulike lysstyrkene bør tilpasses til hverandre for å begrense blinding og/eller anstrengelse av øynene.

E1:	Tannlegekontoret - bør ha over 500 Lux
E2:	Arbeidsområdet over unit og pasientstolen - bør ha 1000 Lux
E3:	Lyset i munnhulen - bør være over 8000 Lux. (De aller fleste unitlamper i dag ligger på 10-12000 til 25000 lux, målt 80 cm fra lampen)

Lyset bør komme rett ovenfra for tannlegen og pasienten. Det er ikke nødvendig å installere lys med høyere lux-verdier i arbeidsområdet med tanke på å lette fargevalg¹¹⁸. Lysrør kan anbefales, da disse ikke blander pasienten ved direkte

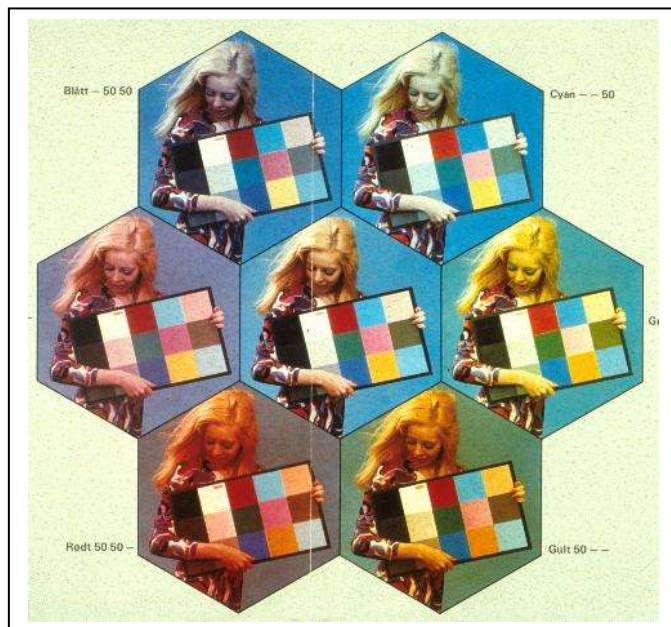
¹ SI unit of measurement, defined as the luminous intensity in a given direction of a source that emits monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} hertz and has a radiant intensity in that same direction of $1/683$ watt per steradian (unit solid angle). The candela, abbreviated as cd, has replaced the standard candle or lamp as a unit of luminous intensity in calculations involving artificial lighting and is sometimes called the "new candle."

² : a unit of illumination equal to the direct illumination on a surface that is everywhere one meter from a uniform point source of one candle intensity or equal to one lumen per square meter

fokusering. Gode alternativer er enten 18 stk. 40 W lyspærer, eller 3x3 120 cm lysrør. Fargekorrigerende lysrør over pasienten er tilstrekkelig i de fleste klinikker (Tabell 7).

Lys - kvalitet

Den klassiske beskrivelsen av hvilket lys som er best egnet til fargevalg, er "*ved et nordvendt vindu i april med klarvær mellom klokken 12 og 15*". Dette henspiller på fargetemperaturen, som bør være mellom 5500 og 7000 Kelvin. Siden det er rimelig vanskelig å praktisere en slik prosedyre, må alternativet være å sørge for et korrekt innelys i tannklinikken.



Lyskvaliteten i arbeidsområdet påvirker hvordan man oppfatter farger, hvilket gir seg utslag i fargeuttaket.^{119,120} (Jevnfør figur fra brosjyre for AGFA, hvor det

demonstreres hvilken effekt ulike fargefiltre har på fargegjengivelsen - dette er analogt med effekten av lyskvaliteten fra lyskilder på fargeoppfatning).

- Lyset fra halogenlamper (som er den vanligste lampetypen på uniter) kommer ikke opp i mer enn $Ra=70$. I tillegg har disse lampene så høy stråleenergi at det oppstår overflaterrefleks som gir vanskeligheter med fargeuttak.¹²¹ Fargeuttaket bør derfor utføres i arbeidslyset og ikke i operasjonslyset.
- Lys blir reflektert fra vegger, tak og klinikkemøbler. Dersom disse flatene har kraftige farger, kan fargevalget påvirkes. Flatene bør derfor være pastellfargete eller hvite. Av samme grunn bør personalets påkledning være nøytralt farget. Servietten rundt pasientens hals bør også være farget nøytral.
- Arbeidslyset må inneholde alle de tilstedeværende farger i tannen for at alle tannens fargekomponenter skal være synlige. For å beskrive denne egenskapen på lyset benyttes en fargegjengivelsesindeks, betegnet CRI eller Ra. Denne indeksen måles fra 1 til 100, og indikerer pærens/lysrørets evne til korrekt å gjengi riktig farge. I tannklinikken må denne verdien være på mer enn 90. Av de lysrørene

som selges i de nordiske landene er det bare et fåtall som tilfredsstillende dette kriteriet (Tabell 7).

Tabell 7. Lysrør i salg i Norden. Levetid 9000-12000 timer. Sortert etter egnethet i tannklinikken, det vil si rangert etter lysfarge og Ra-indeks.

	Luma Long Life*	Luma	Philips	Osram	Sylvania	Thorn	Duro-test**
1		L-95 (Colorette)	TLD-95 T147	Lumilux-dlux L19			True-lite
2	L-83	L-83	TLD-83	L/31	183	TS3000	
	L-84	L-84	TLD-84	L/21	184	TS4000	
3	L-82	L-82	TLD-82	L/41	182	TS2700	
4	L-73	L-53	TLD-29	L/30	129	TS29	
	L-74	L-64	TLD-33	L/20	133	TS33	

*27-30.000 timer, ** 24-26.000 timer

Lyskilde- og gjenstands-farge

Lyskildefarger kan systematiseres i det **additive fargesystem**. Fargesystemet er basert på kombinasjoner av lyskildefargene rødt, grønt og blått. Til sammen gir disse tre lysene hvitt lys, mens ulike kombinasjoner av de tre lysene er basis for alle lyskildefarger.

Reflektert farge eller lys fra en overflate betegnes som en **spektralrefleks** eller **gjenstands-farge**. Gjenstands-farger beskrives ved hjelp av det **subtraktive fargesystem**. De tre primærfargene magenta, gul og cyan bevirker en reduksjon av lysrefleksjon over hele spekteret, og fremkaller farge på gjenstanden. Til sammen gir de tre primærfargene en svart overflate. Det subtraktive fargesystem er grunnlaget for fargetrykk og fargefotografier, og inngår som et sentralt element i typografifaget. Innen tannteknikk-literaturen er det publisert flere artikler som forsøker å anvende prinsippene i det subtraktive fargesystem i fremstillingsprosessen av keram- og MK-kroner.

Fluorescens

En mellomting mellom lyskildefarge og gjenstands-farge er fluorescens-farger som lysteknisk er selvlysende, men som har gjenstands-farge-karakter. Uttrykket stammer opprinnelig fra CaF_2 (flusspat). Fluorescens kan oppstå når materie utsettes for kortbølget lys utenfor det synlige området, det vil si ultrafiolett lys. Ofte fremkommer fluorescens når små sporstoffer eller metaller er inkludert i en krystallstruktur, som f. eks. Cr, Mg, Co, Ni, Mb. Naturlig forekommende hydroksylapatitter fluoriserer i forskjellige grader og farger.

VIII. FARGEVALG

1. Operatørkarakteristika

Fargeblindhet

I befolkningen er hel fargeblindhet meget sjelden. Partiell fargeblindhet forekommer hos 8% menn og 0,5% kvinner. Blant tannleger har andelen mannlige fargeblinde vært angitt til 8%^{122,123} og 10%.¹²⁴ Fargeblindhet er medfødt og kan ikke oppstå eller endre seg senere. Fargeblinde tannleger har ikke problemer med å bestemme gråtone eller fargemetning, men har betraktelig større problemer med å finne korrekt fargetone og dermed fargevalg.¹²⁵ Tannleger som ofte "bommer" på fargen bør få derfor få kontrollert fargesynet sitt.

Den vanligste formen for fargeblindhet er vanskeligheter med å differensiere rødt og grønt, mens evnen til å diskriminere mellom gult og blått er normal. Av rød-grønn fargeblindhet finnes to typer, hvorav den deutane typen er den mest vanlige (70%). Ved normalt fargesyn befinner det gule området seg mellom 575 og 595 nm.

1. **Deutan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (5 nm) mot det røde. Det gule området er utvidet til mellom 520 og 700 nm. Sensitivitet for grønt er redusert, det vil si at denne fargen blir oppfattet som grå.
2. **Protan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (15 nm) mot det blå. Det gule området er utvidet til mellom 500 og 600 nm. Sensitiviteten for dype røde farger er nedsatt. Den blå-grønne del av spekteret blir oppfattet som grå. Gult og blått framtrer som kraftige farger for begge kategoriene. Imidlertid er det blitt hevdet at rød-grønn fargeblinde har vanskelig for å skjelne gule farger fra hverandre. Dette fenomenet kan utnyttes ved ulike former for "felt"-tester av fargeblindhet. Eksempler på slike tester er Dvorine pseudo-isochromat test, Igaku-Shoin test, Ishihara fargetest, osv. Mere komplette tester for fargeblindhet er Farnsworth Munsell 100 Hue test eller Nagel anomaloscope.

Akkommodasjon

Øyet har en meget god evne til å akkommodere seg slik at to nærmest identiske, men ulike farger kan framtre som like. Hos noen personer skjer dette etter et par sekunder, hos andre tar det opp til 15 sek. Dette har konsekvenser for prosedyrene ved fargevalg. Mens noen tannleger kan sitte opp til 10 sekunder å se på fargeprøven og tannen samtidig, vil andre ikke skjelne forskjeller etter et par-tre sekunder. En

prosedyre som legger opp til vekselvis sammenlikning - hvile mot nøytral (grå eller blå pastell-) farge - sammenlikning - hvile - sammenlikning osv. kan avhjelpe problemet for noen.

Lys og interaksjon i øyet

I øyet finnes spesialiserte celler som påvirkes av elektromagnetiske bølger innenfor området 380 til 700 nm. Når cellene blir eksitert, sendes signaler til hjernen som tolker dette som lys. Hvis de elektromagnetiske bølgene som når øyet har forskjellige bølgelengder, skjer det en summasjon/subtraksjon av signalene i øyet, det vil si en **spektral respons**, før det modulerte signalet går videre til hjernen og fortolkes som en farge. Med andre ord:

farge er ikke et fysisk objekt eller en egenskap, men en fysiologisk betinget respons i hjernen som en følge av stimuli fra øyet.

For at vi skal få en oppfatning av omverdenen må det foreligge et stimulus som aktiverer et sanseorgan. I tillegg må det finnes en indre struktur som opplevelsen kan passe inn i. Den **visuelle persepsjon** er et resultat av to prosesser:

1. **Selektiv prosess:** øyets og hjernens kapasitet er avgjørende
2. **Konstruktiv prosess:** inntrykkene organiseres og relateres. Eks. tredimensjonal form, overflatestruktur, farge, kontraster, linjer, skygger, o.s.v.

Det er tre faktorer som betinger en visuell persepsjon, en bevisst oppfatning av form og farge på en gjenstand. Det er imidlertid vanskelig å avgrense faktorene når man skal begrunne hvorfor alle oppfatter form og farge på gjenstander forskjellig.

1. **Fysisk faktor:** Den totale og relative andel av de ulike bølgelengder av lyset som treffer øyet påvirker øyets følsomhet i større eller mindre grad.
2. **Fysilogisk faktor:** Øyets følsomhet for elektromagnetiske bølger generelt og eventuelle kombinasjoner av disse varierer fra person til person.

De sensitive delene i øyet kalles staver og tapper. Mennesket har ca. 130 millioner staver, og ca. 7 millioner tapper i øyet. Tappene diskriminerer best farger, og normalt kan menneskeøyet diskriminere spektralfarger som ligger 2 til 4 nm fra hverandre. I øyets gule flekk finnes bare tapper (ca. 4000). Den gule flekken er derfor meget sensitiv for fargediskriminering. Tapper kan imidlertid ikke reagere i

svak belysning, og evnen til å diskriminere mellom farger avtar derfor med lysstyrken. Ved observasjoner i halvmørke sees gjenstander tydeligere hvis øyet fokuserer til siden for selve gjenstanden. Forklaringen er at dermed fokuseres ikke gjenstanden i den gule flekk. Ved å myse kraftig tar stavene over i øyet i stedet for tappene, slik at fargesynet blir borte. Dette blir benyttet ved fargeuttak for å bestemme tenneses gråtone eller lyshet.

3. Psykisk faktor: Fortolkningen av form og farge er subjektiv. Med trening kan et menneske diskriminere meget små variasjoner. Et eksempel er personer som daglig klassifiserer perler eller diamanter.

Persepsjon av form og farge kan sammenliknes med persepsjon av lyd. Også her dreier det seg om sanseintrykk av elektromagnetiske bølgelengder. Persepsjon av lyd er bestemt av:

1. Sammensetningen av ulike bølgelengder i lyden.
2. Ørets evne til å registrere disse bølgelengdene.
3. Fortolkning av lyden, eventuelt satt i sammenheng med andre lyder.
4. Subjektiv klassifisering i vellyd eller ulyd.

Teorier om persepsjon og fortolkninger av farger har eksistert i mange år. Ikke minst innen kunstmaleri benyttes fargeteknikker som har til hensikt å fremkalle emosjonelle assosiasjoner. Det snakkes om varme og kalde farger, mettede farger, dramatisk fargevalg osv. Fargeestetikk og kunstterminologi faller imidlertid utenfor odontologi som fagområde (selv om noen kan være uenig i dette).

Visuell persepsjon av farge

Fortolkningen i hjernen vil variere fra person til person, og betegnes som evnen til **fargepersepsjon**. Dersom lyset som treffer øyet har de samme bølgelengdene som solens, vil hjernen oppfatte lyset som ufarget. Dersom bølgelengdene er forskjellige, vil lyset oppfattes som farget. Et unntak er lys med bestemte sammensetninger av ulike bølgelengder, som blir oppfattet som ufarget. Øyet kan med andre ord ikke diskriminere mellom rene spektralfarger og blandingsfarger. **Young** hevdet i 1802 at det fantes tre kategorier "partikler" i øyet som reagerte på elektromagnetiske bølger tilsvarende områdene for fargene rødt, gult og blått. Senere mente imidlertid **Hering** (1878) at det i øyet bare fantes to stoffer som reagerte på elektromagnetiske bølger i henholdsvis det røde og grønne området og det gule og blå området. Hans hypotese

*var at reaksjonen på de elektromagnetiske bølgene innen de ulike fargeområdene skulle kunne gi en summasjonseffekt til hjernen. Lenge var problemet uløst, inntil **Rushton** i England og **Marks** i USA i vårt århundre kunne demonstrere at det i øyet fantes tre pigmenter knyttet til tappene i netthinnen. De tre pigmentene reagerer karakteristisk på ulike lyskvaliteter, og har maksimal følsomhet ved spesifikke bølgelengder.*

2. Fargeskalaer

Det finnes en rekke fargeskalaer for fyllingsmaterialer, keramer eller protesetenner. De er fremstilt i ulike materialer, men mest vanlig er plast. En ulempe med de fleste skalaene er at :

- de ikke er laget i samme materiale som det permanente restaureringsmaterialet
- de som regel er 4-4,5 mm tykke - i motsetningen til restaureringen
- de ikke er maskert på baksiden med metall. Et unntak var en skala fremstilt tidligere av Ducera, basert på VITA-fargene og med metall på baksiden⁴⁶
- de ikke er bygget opp sjiktvis, slik keramkonstruksjoner er

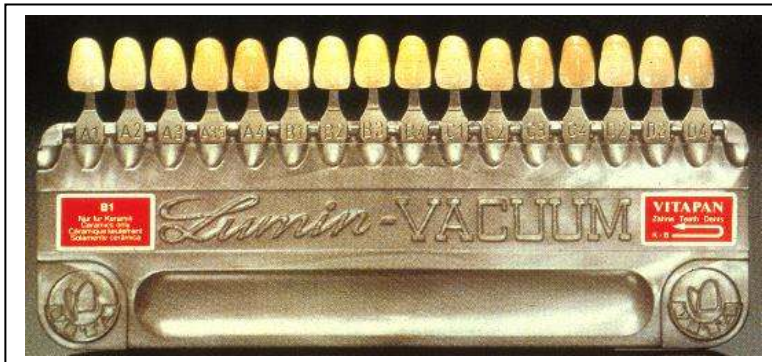
Disse faktorene resulterer uunngåelig i at de optisk-fysikalske egenskapene i fargeskalaer blir forskjellige fra de tilsvarende permanente tenner og restaureringer. Av den grunn er det mange som foretrekker å fremstille egne skalaer.¹²⁵ Andre har påpekt at dette ikke er tilstrekkelig for å gi et bedre estetisk resultat.¹²⁶

Ett konsept baseres på at tannlegen i prefabrikkerte former påbrent opaker bygger opp kronen med kerampulver tilsatt et spesielt bindingsmiddel. Dette skal presumptivt gi en farge identisk med det ferdigsintrede keramets.¹²⁷

Det har eksistert fargeskalaer som har bestått av opptil 703 prøver,¹²⁸ men de har ikke vært kommersielt tilgjengelige - sannsynligvis på grunn av store omkostninger. De mest vanlige kommersielle fargeskalaene beskrevet nedenfor. Det finnes også andre skalaer, men disse er lite i bruk i Skandinavia. Color Communication System (CCS) fra Ceramco inkluderer ni "vifter" med porselensprøver i ulike farger, som anbefales til deres nye lavtemperaturkeram Finesse. Andre skalaer er Vintage Halo (Keram, Shofu), Major Super Lux (Prefabrikkerte tenner, Major), Spectratone - med 216 porselensfarger, Precise (Keizer Graphics Inc), og fire systemer fra Dentsply i løpet av de siste 20 årene: Bioform - Biotone – Trubyte Bioblend og Portrait IPN. En konversjonstabell mellom fire av de mest brukte systemene er gjengitt i appendix 2.

VITA-skalaen (VITA GmbH)

Skalaen er organisert i fire hovedgrupper. A-farger har antydning til et rød-oransje skjær, B-farger har gulskjær, C og D-farger er henholdsvis B og A-farger med gråtone.

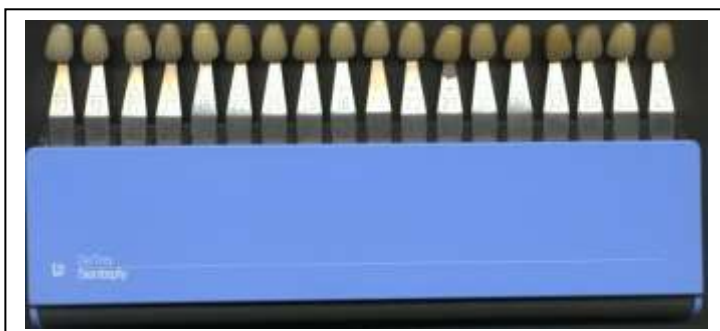


A og B farger benyttes fortrinnsvis for yngre, C og D for eldre pasienter. De fire fargekategoriene er gradert fra 1 til 4, som betegner graden av fargeintensitet. Minst farge er det i nr 1

fargene, mest farge i nr 4 fargene. Enkelte klinikere foretrekker å rangere fargene etter gråtone fra B1 som er lysest, til C4, som er mørkest. Dette fordi det hevdes at den viktigste faktoren ved fargeuttak er gråtonen, mens selve fargen er av mindre betydning. Effekten av bleking er også lettere å demonstrere overfor pasienter ved hjelp av en skala rangert fra mørk til lys.

Fargene i VITA-skalaen ble endret på midten av syttitallet.¹²⁹ Dersom man har mistanke om at man benytter såpass gamle skalaer, bør de kastes. Gamle skalaer inneholder ikke A3.5 og D4, som ble tilføyd i 1980. På enkelte skalaer finner man ikke de lys gule fargene D1 og B1- fordi disse fargene aldri har vært identifisert i humane tannsett. (Imidlertid forhindrer dette ikke at enkelte pasienter foretrekker å få laget skallfasetter i disse fargene - særlig B1). I en universitetsklinikk med en multietnisk pasientsammensetning ble fargeuttaket til 2500 MK kroner registrert over en periode på 5 år. Det fremgikk det at A fargene ble oftest benyttet i 37% av alle fargeuttak (A3:19%, A2:17%, A4:4%, A1:3%), deretter C fargene 26% (C2:15%, C3:8%, C1:6%, C4:2%) og B fargene 21% (B2:12%, B3:9%, B4:3%, B1:1%), mens D fargene ble benyttet relativt sjeldent, bare i 4% av fargeuttakene (D2:2%, D3:2%).¹³⁰

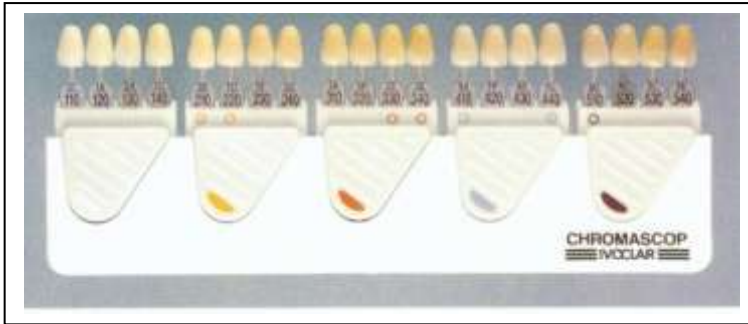
Biodent-skalaen (Dentsply)



Denne skalaen er en av de eldste på markedet og tilsvarer en tilsvarende skala for prefabrikkerte tenner betegnet Bioplus. Den eldre versjonen av Biodent-skalaen besto av prøver

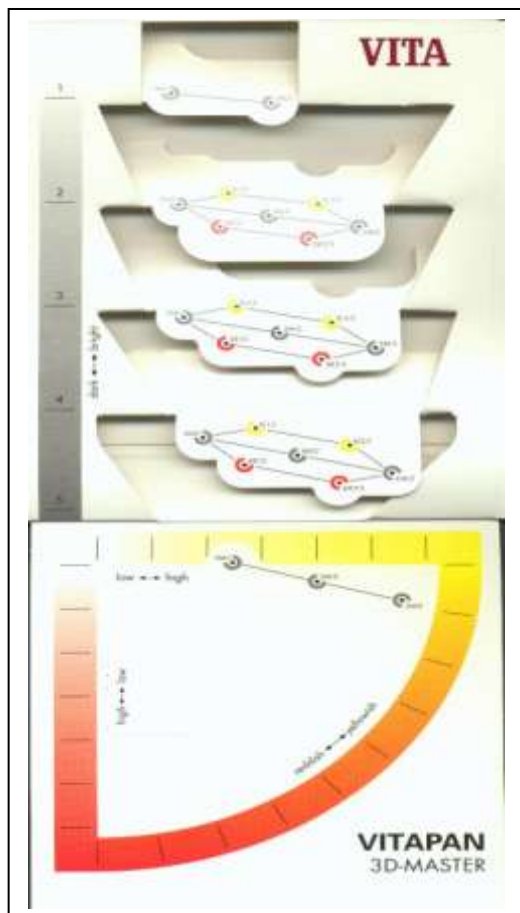
i en nøkkelring-form, mens en modernisert versjon lansert cirka i 1986 har prøver rangert i fargegrupper. Skalaen er organisert i fem hovedgrupper karakterisert som rød (fargene 10,13,20,21) - oransje (fargene 15,22,25,26) - gul (fargene 16,17,23,27) - brunrød (fargene 30,31,32) og gulbrun (39,40,41). Nummereringen er noe forvirrende, men generelt er høye numre forbundet med mørke farger.

Chromascop-skalaen (Ivoclar-Vivadent)



Ivoclar-Vivadent har alltid helst foretrukket å tilpasse sine produkter etter egne fargeskalaer. Gamle fargeskalaer fra Ivoclar-Vivadent er Vivadent- og Kerascop-skalaene. Den mer

moderne Chromascop-skalaen ble introdusert ca 1990. Fargene er organisert i fem hoved-fargegrupper, hver bestående av prøver med økende grad av fargetone.



Vitapan 3D-Master (VITA GmbH)

Skalaen ble lansert i 1998, og er basert på et nytt og annerledes konsept for farge-organisering og -uttak. Fargeprøvene er organisert i en vertikal akse med fem gråtone-nivåer fra lysest (1) til mørkest (5) (hhv. øverst og nederst på figuren til venstre). I de fem gråtonenivåene er det henholdsvis 2,7,7,7 og 3 prøver. Fargene er angitt med L (lys, gulaktig), M (nøytral) eller R (rødaktig). Videre er prøvene med minst farge nærmest aksene (1) og med mest farge ytterst (3). Den lyseste fargen i skalaen er med andre ord 1M2 og den mørkeste 5M3.

Det er laget to typer skalaer, i.e. Vitapan 3D master tooth guide og color guide. I den siste er det ikke lagt inn incisal og cervikal farge, slik at prøvene er fargehomogene.

Produsenten hevder det er reell ekvidistanse mellom prøvene. Dette tilsier at det er mulig å interpolere mellom verdiene, men det er ikke presentert data

om dette. Anbefalt prosedyre for fargeuttak er i sekvensen gråtone, fargemetning og fargetone.

VITA hevder videre at de ulike prøvene i skalaen tilsvarer fargene på tennene i befolkningen (Pop) i denne størrelsesordenen:

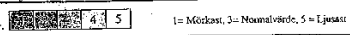
Nivå	Prøve betegnelse:	Pop.
1	1M2 – 1M3	2%
2	2L1,5 – 2L2,5	7%
	2M1 – 2M2 – 2M3	12%
	2R1,5 – 2R2,5	7%
3	3L1,5 – 3L2,5	13%
	3M1 – 3M2 – 3M3	25%
	3R1,5 – 3R2,5	12%
4	4L1,5 – 4L2,5	5%
	4M1 – 4M2 – 4M3	10%
	4R1,5 – 4R2,5	5%
5	5M1 – 5M2 – 5M3	2%

Det er også utviklet andre systemer for fargereproduksjon i keramer som tar utgangspunkt i at det er grunnfargen i dentinet som primært bestemmer fargen på tannen. De mest kjente systemene er beskrevet av Ubassy⁴⁸ og av Muia,¹³¹ samt i et nyere konsept utviklet av Nobel Biocare, betegnet som Procera fargeregistrering¹³².

PROCERA® - FÄRGREGISTRERING

Tandläkare	Patient	Födår
Grundpigment	Färg	Blandpigment

Ljushet (1-5)

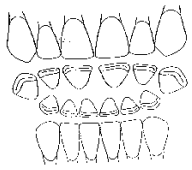


Transparenskiktning	Målning, karaktär
---------------------	-------------------

Typ A: Tandor med obestämbar placering av transparent skiva och tänder som är transparenta över hela kronan.

Typ B: Tänder som endast är transparenta i incisal/occlusal del.

Typ C: Tänder med transparenta approximat och incisal.



Pigment Guide - PROCERA® Porcelain

Stain	VITA-skalan	Metodik
Flamingo	A1	Grunderna är att hitta rätt färg och nyans genom ett utgå från tandens inre pigment.
Flamingo/Peach	A2	
Orange	A3	
Caramel	A3,5	
Amber/Mango/Apricot	A4	
Banana (svag)	B1	1. Jämför abrosionsfacetter och/eller tandhalsar och de pigment som finns på färgpaletten.
Banana	B2	
Banana/Caramel	B3	
Caramel	B4	
Taiga (svag)	C1	2. Välj ut ett pigment som finns representerad i den vänstra överförings Tabellen (baspigment).
Taiga	C2	
Taiga (svag)	C3	
Terra	C4	3. Jämför motsvarande prov från VITA-skalan med aktuell tand.
Ivory	D2	
Peach	D3	
Apricot	D4	

4. Beskriv behov av ljushet och eventuell blandning av andra pigment (blandpigment). Beskriv ljushet i en skala 1-10.

5. Markera förekomst av karaktäristik, som missfärgningar och andra fläckar med hjälp av pigment.

© Nobel Biocare AB

Procera

Procera's fargeregistreringssystem har vært omtalt siden 1997, men aldri blitt riktig lansert på bred basis. Konseptet har stor likhet med et eldre tysk konsept betegnet "Creativ-Color System" fra Ducera⁴⁶, og skal visstnok være en videreutvikling av konseptet. Grunnideen bak et riktig fargeuttak er å ta utgangspunkt i tannens "indre" pigment. Fra en skala bestående av 16 farger, med eksotiske navn som flamingo, banana, taiga, caramel o.l. velges et basispigment for dentinfargen. Deretter bestemmes gråtonen – kalt lyshet- fra en skala fra 1 (mørk) til 10 (lys). Til slutt benyttes en

konverteringstabell for å velge en tilpasset VITA-farge.

3. Fargeuttak

- Fargevalget bør foretas før preparering begynner. Gaping i 5 min gir uttørring av de anteriore tenner. Tennene blir da mer lysere og opake.
- Legg ikke retraksjonstråd før fargeuttak. Både fargen fra tråden samt endringer i gingivafargen påvirker tannfargen.
- Tannen må være fuktig.
- Observer fra ca 50 cm, og se både forfra og skrått fra sidene.
- Vær klar over på at en del arbeidsbriller har farget glass eller glass som endrer farge etter lyset.
- Dersom tannen er bedøvet, vil den virke noe lysere på grunn av en lavere blodforsyning, spesielt ved bruk av adrenalin. Fargeuttak bør derfor utføres før eventuell anestesi.
- Leppestift og sminke gir ofte komplementærfarger til gulrøde farger, hvilket resulterer i upresise fargeuttak som en følge av fargekontrast.
- Både kompositt plast, farget glass og keramer utviser metamerisme (se eget avsnitt). Fargevalg bør derfor prøves med ulike belysningskilder- f. eks dagslys, klinikkbelysning og halogenbelysning. Ta hensyn til pasientens yrke. Dersom pasienten oppholder seg mye utendørs, bør effekten ved denne belysningskilden tillegges mest vekt (men ikke være avgjørende). Den fargen som gjennomgående passer best i de ulike lystypene bør benyttes.
- Det er en fordel om flere personer kan komme med forslag. Benytt gjerne kontorassistenten. Det er hevdet at kvinner som regel har bedre fargesyn enn menn. Det er også blitt hevdet at fargepersepsjon blir dårligere med alderen, dette på grunn av pigmenteringer i cornea.
- Dersom det er vanskeligheter med valget mellom to alternativer - velg prøven med høyeste gråtone (den lyseste). En eventuell for høy gråtone kan endres med komplementærfargen og ekstra fargetone, uten at translusensen endres.
- Enkelte hevder at det er en fordel å plassere en svart eller grå (papp-)plate bak tannen, eller en grå avskjerming foran den aktuelle tann, for å avskjerme uønskede synsinntrykk.¹³³ Et alternativ er Kodak's " 18% Grey cards" som kan kjøpes i fotorekvisita-butikker.
- Vær oppmerksom på at enkelte fargeskalaer har kraftigere fargeintensitet cervikalt på modellene. Reflektert lys fra denne sonen vil gi hele modellen en kraftigere

intensitet. Enkelte anbefaler å benytte to skalaer, hvor den ene av fargeskalaene har fått denne delen slipt bort.

- VITA og Biodent fargeskalaene dekker fargespekteret til naturlige tenner omtrent like godt, og brukt sammen gir de en bedre dekning enn hver for seg.¹³⁴
- Det kan være en fordel å kontrollere dentinfargen (gul kontra oransje) etter at emalje er fjernet.

Problemer med fargeuttak

Flere studier har påpekt at tannleger ikke er konsistente ved fargevalg, og at det er stor variasjon med hensyn til evne til fargeuttak mellom tannleger.¹³⁵ Det kan ha flere årsaker, og det er videre påvist at dette påvirkes blant annet av fargens gråtone⁶⁷ og av fargetone.⁵³

Ingen av dagens kommersielle fargeskalaer tilfredsstillende kravene til et optimalt fargesystem. De fleste er ulogisk oppbygget, og er ikke basert på rasjonell bruk av fargesortering.^{89, 140,136,137} Videre er sprangene mellom de ulike fargene ikke homogene.⁸⁵ Øyet kan diskriminere mellom to ulike farger, men kan vanskelig vurdere omfanget av avvik. Det er gitt flere anslag på hvor små forskjeller som kan identifiseres, og dette kan også trenes opp. Hvis det benyttes en fargeskala som er logisk oppbygd, kan det med fordel benyttes flere nabofarger i skalaen samtidig for å avgrense eller kvantifisere eventuelle avvik. I dag er det i praksis umulig å kvantifisere eventuelle ønskede modifikasjoner av en farge på bakgrunn av eksisterende fargeskalaer. Andre mangler ved de fleste av dagens fargeskalaer er:

- Alle tenner i munnhulen er rødere og har dermed mer gråtone enn prøvene på de fleste fargeskalaene. Undersøkelser der tannfargene er blitt korrelert med fargeskalaer i tre dimensjoner viser at skalaene har for lite gul-røde farger, og mangler gråtone og metning.^{58, 87, 138}
- Spektrofotometriske og UV-lys målinger har vist at identiske fargeskalaer fra samme leverandør har forskjellige refleksjonsspektre. Fargeforskjeller opp til $\Delta E^* = 1,8$ ¹³⁹ og $\Delta E^* = 2$ ¹⁴⁰ har vært målt på identiske fargeskalaer fra samme leverandør.
- Fargeskalaer fra ulike leverandører, men som er basert på samme system, har forskjellige refleksjonsspektre.¹⁴²
- Selv eksperter med lang erfaring i klinisk fargeuttak hadde i praksis vanskeligheter med å identifisere korrekt VITA-farge i en eksperimentell studie.¹⁴¹

- Håndfremstilte fargeskalaer kan gi systematiske feil på grunn av variasjoner i tykkelsen i forhold til det endelige produkt. Forskjeller opp til $\Delta E^* = 3$ i forhold til Vita-skalaen kan identifiseres.¹⁴²

Foruten nevnte lærebøker er det publisert et stort antall artikler med anbefalte retningslinjer for fargeuttak.^{143,144,145,146} Noen av disse inneholder spesielle hensyn som kan virke u hensiktsmessige. Et sammendrag av enkelte forslag er presentert i

Tabell 8:

Tabell 8. Forslag til fargeuttak, selektert fra ulike kilder.

Kato ¹⁴⁷	Chromascop (Veiledning)	Vitapan 3D (Veiledning)	Personlig råd (Jokstad)
1. Velg en farge i skalaen og hold den ved siden av tannen	1. Determine the definite base shade of the patient and remove the corresponding shade group.	Bestem gråtone	1a. Bruk ikke mer enn 2 sek. på å danne et <u>førsteinstrykk</u> av om tennene er overveiende gule eller rødoransje
2. Fikser øynene på en nøytral farge i 2-3 sek. f.eks. kittelen eller en halsserviett.	2. Determine the shade intensity within the shade group.		Fikser øynene på en nøytral farge i 2- 3 sek. f. eks. kittelen eller en serviett rundt pasientens hals. (Helst lys grå, evt. lys blå)
3. Sammenlign skala og tann i ikke lenger enn 5 sek. Registrer ditt førsteinntrykk av gråtone (For lys – mørk)	3. Compare the selected shade once again with the natural tooth.	Bestem farge- metning	1b. Som 1a, men få et <u>førsteinstrykk</u> om tennene inneholder gråtone. (Med trening kan 1a & 1b skje samtidig)
4. Fikser øynene på den nøytrale fargen	4. Since the eyes tire very quickly, look into the distance for a short period of time, in order to relax the eyes.		Fikser øynene på den nøytrale fargen. Gjenta 1a og 1b flere ganger dersom det er vanskeligheter
5. Gjenta pkt. 3. Dersom fargen fortsatt ikke er korrekt gå videre til neste farge	5. After approximately 10 seconds, check the selected shade once more.		2. Velg ut fargegruppen (rødoransje (Vita A), gul (vita B), rødoransje og grå (Vita D) gul og grå (Vita C)). og hold denne ved siden av tannen
6. Forhåpentligvis ender man opp med 2-3 ulike gråtoneer. Gjenta prosedyren, men denne gang sjekk for fargetone og fargemetning.	6. Subsequently, define the individualized characterizations for the teeth.		3. Sammenlign fargeskala med tannens midtpartifarge. Bruk ikke mer enn 5 sek.
			4. Fikser øynene på en nøytral farge
		Bestem fargetone	5. Gjenta pkt. 3. Dersom fargen ikke er korrekt gå videre til neste farge i fargegruppen

3. Kommunikasjon med dentallaboratoriet

Neste gang du besøker din tanntekniker - be om å få lese de ulike bestillingsordrene. Du vil bli slått av tannlegenes mangelfulle beskrivelse av hva som egentlig ønskes utført med hensyn til form og farge. Det er mulig dette er fordi tannleger flest ikke er klar over hvilke form- og fargeeffekter en flink tanntekniker i dag kan fremkalle i et materiale som keram. Den enkleste løsningen for tannlegen (som mange praktiserer der det er mulig), er bare å sende pasienten til tanntekniker. En nøyaktig prosedyre for fargeuttak og beskrivelse av form og farge av en ønsket erstatning bør imidlertid overflødiggjøre et slikt ekstrabesøk.

I flere lærebøker og oversiktsartikler finnes i varierende grader detaljerte beskrivelser av hvordan kommunikasjon mellom tannlege og tanntekniker bør foregå:^{45,48,50,138,148,149}

- Et minstekrav til en nøyaktig beskrivelse er å benytte korrekt nomenklatur. Den odontologiske nomenklatur behersker vi; det nye er fargenomenklaturen. Flere anbefaler å bruke de entydige begrepene i Munsell-fargesystemet, dvs fargetone, fargeintensitet og gråtone (se eget avsnitt). Forhåpentligvis slipper da tanntekniker å tolke beskrivelser som: "Biodent 21-men mørkere. ", "Lumin A2- noe lysere i kanten. ", "Biodent 32-ikke så gul. " osv.
- Beskriv alltid det ønskede produktet tredimensjonalt (både form og farge) så detaljert som mulig. Normalt følger tannteknikeren ut fra basalfargen en bestemt sammensetning av kerampulver cervikalt, incisalt og opaker foreslått av produsenten. Eksempelvis Vita-keramet VMK68 inneholder 14 opake farger, 12 dentin og 4 emaljefarger som kan kombineres. Fargene i kronen blir derfor oftest godt avstemt til hverandre, men vil ikke nødvendigvis passe i pasientens munn.
- Spesifiser overflatestrukturen (ujevn eller jevn). Dette kan også tanntekniker til en viss grad vurdere, eventuelt ved hjelp av søvlakk på kontralateralen på gipsmodellen.
- Husk alle former for karakterisering. Dette er på eldre pasienter mer vanlig enn at det ikke finnes noen former for karakterisering. Karakteriseringen må samtidig harmonere med grad av illudert tannslitasje.
- Angi alltid glansen på tannen.
- Beskriv hvilken avgrensning kronen skal ha mot prepareringen cervikalt, spesielt på buccalflatene.

- Et avtrykk av de anteriore tennene i over- og underkjeven er til stor hjelp for tanntekniker for å fastslå artikulasjonen. Den resulterende modell kan vise:
 - incisal slitasje - hvilket utelukker grå eller blålig translusens incisalt,
 - trangstilling - som bestemmer graden av mørkere brunlig skygging approksimalt,
 - overflatenes kurvaturer relatert til nabotennene og antagonistene, osv.
- Hvis mulig, vedlegg utvalgte farge fra fargeskalaen. En form for bytte med tanntekniker burde være realiserbar, slik at tannlegen ikke behøver å disponere mange fargeskalaer.

TIDSSKRIFTER

Det finnes flere fagtidsskrifter som fokuserer sterkt på bruk av estetikk og kosmetikk i tannpleien. Her beskrives først og fremst muligheter for anvendelse av dentalmaterialer og teknikker, men også vitenskapelige artikler forekommer. De mest kjente tidsskriftene er:

- *Journal of Esthetic Dentistry*
- *Practical Periodontics & Aesthetic Dentistry*
- *The International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry*
- *Contemporary Esthetic Dentistry*
- *Reality (Et årlig volum utgis som en oversikt i bokform)*

I tillegg finnes tilsvarende tidsskrifter for tannteknikere, med fokus på den praktiske håndteringen av dentalmaterialer for optimalisert estetikk:

- *Quintessence of Dental Technology*
- *Das Dental Labor*
- *Quintessenz Zahntechnik*

REFERANSER

¹ Mandel ID. The new toothpastes. J Calif Dent Assoc 1998; 26: 186-90.

² Nathoo SA. The chemistry and mechanisms of extrinsic and intrinsic discoloration. J Am Dent Assoc 1997; 128 Supl: 6S-10S.

³ Cheek CC, Heymann HO. Dental and oral discolorations associated with Minocycline and other tetracycline analogs. J Esthet Dent 1999; 11: 43-8.

-
- ⁴ Van der Burgt TP, Plasschaert AJ. Tooth discoloration induced by dental materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 60: 666-9.
 - ⁵ Croll TP. *Enamel microabrasion*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1991.
 - ⁶ Sakaguchi RL, Hampel AT. In: Hardin JF, ed. *Bleaching of vital teeth*. Clark's Clinical dentistry. Vol 4. Philadelphia: Lippincott; 1991.
 - ⁷ Goldstein RE. *Change your smile*. 3rd ed. Chicago: Quintessence Publish Co., 1997.
 - ⁸ Nonrestorative treatment of discolored teeth. Reports from an international symposium. *J Am Dent Assoc* 1997; [Special issue]: 1S-64S.
 - ⁹ Goldstein RE, Garber DA. *Complete dental bleaching*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1995.
 - ¹⁰ Bentley C, Leonard RH, Nelson CF, Bentley SA. Quantitation of vital bleaching by computer analysis of photographic images. *J Am Dent Assoc*. 1999; 130: 809-16.
 - ¹¹ Monaghan P, Trowbridge T, Lautenschlager E. Composite resin color change after vital tooth bleaching. *J Prosthet Dent* 1992; 67: 778-81.
 - ¹² Baratieri LN. *Direct adhesive restoration on fractured anterior teeth*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1997.
 - ¹³ Garber DA, Goldstein RE. *Porcelain & composite inlays and onlays: Esthetic posterior restorations*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1994.
 - ¹⁴ Yap AU, Tan KB, Bhole S. Comparison of aesthetic properties of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent* 1997; 22: 167-72
 - ¹⁵ Cook WD. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. *J Biomed Mater Res* 1985; 19: 469-88.
 - ¹⁶ Johnston WM, Reisbick MH. Color and translucency changes during and after curing of esthetic restorative materials. *Dent Mater* 1997; 13: 89-97.
 - ¹⁷ Tyas MJ. Color stability of composite resins: A clinical comparison. *Austral Dent J* 1992; 37: 88-90.
 - ¹⁸ Jokstad A, Mjör IA, Nilner K, Kaping S. Clinical performance of three anterior restorative materials over 10 years. *Quintessence Int* 1994; 25: 101-8.
 - ¹⁹ Chiche GJ, Pinault A. *Esthetics of anterior fixed prosthodontics*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1995.
 - ²⁰ Cvar JF, Ryge G. *Criteria for the clinical evaluation of dental restorative materials*. USPHS publication 790-244. San Fransico: Government Printing Office, 1971.
 - ²¹ California Dental Association: *Quality evaluation for dental care. Guidelines for the assessment of clinical quality and professional performance*, 1977.
 - ²² Yap AU. Color attributes and accuracy of Vita-based manufacturers' shade guides. *Oper Dent* 1998; 23: 266-71.

-
- ²³ Kim HS, Um CM. Color differences between resin composites and shade guides. *Quintessence Int* 1996; 27: 559-67.
- ²⁴ Swift EJ Jr, Hammel SA, Lund PS. Colorimetric evaluation of Vita shade resin composites. *Int J Prosthodont* 1994; 7: 356-61.
- ²⁵ Pink FE, Frazier KB. Evaluation of a custom shade guide. *Gen Dent* 1990; 38: 186-8.
- ²⁶ Nixon RL. Masking severely tetracycline-stained teeth with ceramic laminate veneers. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1996; 8: 227-35
- ²⁷ Krystek Ondracek I, Arvidson Fyrberg K. Keramiska skalfasader. SSPD-rapport, 1996.
- ²⁸ Garber DA, Goldstein RE, Feinman RA. Porcelain laminate veneers. Chicago: Quintessence Publish Co., 1988.
- ²⁹ Heymann HO. The artistry of conservative esthetic dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987; [Special]: 14E-23E.
- ³⁰ Stanford WB, Fan PL, Wozniak WT, Stanfrod JW. Effect of finishing on color and gloss of composites with different fillers. *J Am Dent Assoc* 1985; 110: 211-3.
- ³¹ Ünlu A, Altay OT, Sahmali S. The role of denture cleansers on the whitening of acrylic resins. *Int J Prosthodont* 1996; 9: 266-70.
- ³² Millstein PL, Harlan J, Nathanson D. Colour effect of denture base on denture tooth materials. *J Oral Rehabil* 1988; 15: 173-9.
- ³³ Rosentritt M, Esch J, Behr M, Leibrock A, Handel G. In vivo color stability of resin composite veneers and acrylic resin teeth in removable partial dentures. *Quintessence Int* 1998; 29: 517-22.
- ³⁴ Setz J, Engel E. In vivo color stability of resin-veneered telescopic dentures: a double blind pilot study. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 486-91.
- ³⁵ Koumjian JH, Firtell DN, Nimmo A. Color stability of provisional materials in vivo. *J Prosthet Dent* 1991; 65: 740-2.
- ³⁶ Takeda T, Ishigami K, Shimada A, Ohki K. A study of discoloration of the gingiva by artificial crowns. *Int J Prosthodont* 1996; 9: 197-202.
- ³⁷ Dahl BL. Hvorfor får ikke kroner og broer alltid den form og farge vi hadde tenkt? *Nor Tannlegefor Tid* 1982; 98: 275-6.
- ³⁸ Berger RP. Esthetic considerations in framework design. In: Preston JD. Proceedings of the fourth international symposium on ceramics. Chicago: Quintessence Publish Co. , 1988, 237-50.
- ³⁹ Kessler JC. Chairside characterization of porcelain restorations. *Quintessence Int* 1986; 17: 551-5.
- ⁴⁰ Eckes AE. Surface staining: The surest way to destroy translucency. *Quintess Dent Techn* 1979; 1. 25-6.
- ⁴¹ Jokstad A, Øilo G. Sementer og sementering. SSPD-rapport, 1999.

-
- ⁴² Duncan JD, Swift E jr. Use of tissue-tinted procelain to restore soft-tissue defects. *J Prosthodont* 1994; 3: 59-61.
- ⁴³ Barghi N. Color and glaze: Effects of repeated firing. *J Prosthet Dent* 1982; 47: 393.
- ⁴⁴ McLean JW. *The science and art of dental ceramics*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1980 .
- ⁴⁵ Rinn LA. *The Polychromatic Layering Technique: A Practical Manual For Ceramic & Acrylic Resin*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1990.
- ⁴⁶ Ubassy G. *Shape and color. The key to successful ceramic restorations*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1991.
- ⁴⁷ Korson D. *Aesthetic design for ceramic restorations*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1994.
- ⁴⁸ Mütterthies K. *Esthetic approach to metal ceramic restorations for the mandibular anterior region*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1996.
- ⁴⁹ Naylor WP. *Introduction to metal ceramic technology*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1996.
- ⁵⁰ Douglas RD, Brewer JD. Acceptability of shade differences in metal ceramic crowns. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 254-60.
- ⁵¹ O'Brien WJ, Kay KS, Boenke KM, Groh CL Sources of color variation on firing porcelain. *Dent Mater* 1991; 7: 170-3.
- ⁵² Billmeyer FW, Saltzman M. *Principles of color technology*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1981.
- ⁵³ Wyszecki G, Stiles WS. *Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulas*. 2nd ed. New York: John Wiley; 1982.
- ⁵⁴ Hunt RWG. *Measuring colour*. 2nd ed. London New York: Ellis Horwood, 1991.
- ⁵⁵ Sproull RC. Color matching in dentistry. Part 1. The three-dimensional nature of color. *J Prosthet Dent* 1973; 29: 416-24.
- ⁵⁶ Setz J. Zahnfarbringe - Untersuchungen, Kritik und mögliche Verbesserungen. *Dental-Labor* 1992; 40: 1903-6.
- ⁵⁷ Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 1993; 69: 616-9.
- ⁵⁸ Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. *J Prosthet Dent* 1997; 77: 464-70.
- ⁵⁹ Goodkind RJ. A comparison of chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 1985; 53: 105-9.
- ⁶⁰ 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; 63: 155-62.

-
- ⁶¹ Bangtson LK. The conversion of chromascan designation to CIE tristimulus values. *J Prosthet Dent* 1982; 46: 610.
- ⁶² International Commission on Illumination. No. 15 (E-1. 3. 1) 1971; TC-1. 3 - Recommendations on uniform color spaces, color difference equations, psychometric color terms. 1978; No. 15. 2. Colorimetry. Vienna: Central Bureau of the CIE, 1986; 62, 74.
- ⁶³ Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl* 1979; 4: 83-91.
- ⁶⁴ Cook WD, Chong MP. Colour stability and visual perception of dimethacrylate based dental composite resins. *Biomaterials* 1985; 6: 257-64.
- ⁶⁵ Kijima S, Henzan H, Niu ZY, Nakaura K, Kohchi T, et al. Study of estimation of color recognition of the dentist. On the ability of subjects to discriminate color in terms of hue, value and chroma. *Meikai Daigaku Shigaku Zasshi* 1990; 19: 377-82. (japansk)
- ⁶⁶ Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987; 3: 246-51.
- ⁶⁷ Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 1989; 68: 819-22.
- ⁶⁸ Liberman R, Combe EC, Piddock V, Pawson C, Watts DC. Development and assessment of an objective method of color change measurement for acrylic denture base resins. *J Oral Rehabil* 1995; 22: 445-9.
- ⁶⁹ Clark EB. The Clark tooth color system. Part 1 & 2. *Dent Mag Oral Top* 1933; 50: 139-152; Part 3 *Dent Mag Oral Top* 1933; 50: 249-58.
- ⁷⁰ Spitzer D. The absorption and scattering of light in bovine and human enamel. *Calcif Tissue Res* 1975; 17: 129.
- ⁷¹ ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. *J Dent Res* 1995; 74: 374-80.
- ⁷² Clarke JJ. Measurement of color in human teeth. In: *Proceedings, first international symposium on ceramics*. Chicago: Quintessence Publish Co. , 1983, 441-88.
- ⁷³ Preston JD. *Proceedings of the fourth international symposium on ceramics*. Chicago: Quintessence Publish Co. , 1988.
- ⁷⁴ Hayashi T. *Medical color standard tooth crown*. Tokyo: Japan color research institute, 1967. (japansk)
- ⁷⁵ O'Brien WJ, Hemmendinger H, Boenke KM, Linger JB, Groh CL. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dent Mater* 1997; 13: 179-85.
- ⁷⁶ Goodkind RJ, Keenan KM, Schwabacher WB. A comparison of chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth. *J Prosthet Dent* 1985; 53: 105-9.
- ⁷⁷ McEntee M, Lakowski R. Instrumental colour measurement of vital and extracted human teeth. *J Oral Rehabil* 1981; 8: 203-8

-
- ⁷⁸ Ishikawa T, Ishiyama T, Ohson M, Sekine N. Trial manufacture of photoelectric colorimeter using optical fibers. *Bull Tokyo Dent Coll* 1969; 10: 191-7.
- ⁷⁹ Tsuchiya K. A colorimetric study of anterior teeth. *Shikwa Gakuho* 1973; 73: 87-120 (japansk).
- ⁸⁰ Kurachi M et al. Changes in anterior tooth color with aging. *Gifu Shika Gakkai Zasshi*. 1987; 14: 48-55 (japansk)
- ⁸¹ Horn DJ, Bulan-Brady J, Hicks ML. Sphere spectrophotometer versus human evaluation of tooth shade. *J Endodont* 1998; 24: 786-90.
- ⁸² Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent* 1973; 29: 556-66
- ⁸³ Lemire PA, Burk B. *Color in dentistry*. Hartford: J. M Ney Co., 1975 .
- ⁸⁴ Cook WD, McAree DC. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition. *J Biomed Mater Res* 1985; 19: 469-88.
- ⁸⁵ Goodkind RJ, Schwabacher WB. Use of a fiber-optic colorimeter for in vivo color measurements of 2830 anterior teeth. *J Prosthet Dent* 1987; 58: 535-42.
- ⁸⁶ Young L Jr, Glaros AG, Moore DJ, Collins JF. Assessing shade differences in acrylic resin denture and natural teeth. *J Prosthet Dent* 1994; 71: 575-80.
- ⁸⁷ Mjör IA, Pindborg JJ. *Histology of the human tooth*. København: Munksgaard. 1973.
- ⁸⁸ Barghi N. Effects of batch variation on shade of dental porcelain. *J Prosthet Dent* 1985; 54: 625-7.
- ⁸⁹ Rinke S, Huls A, Kettler MJ. Colorimetric analysis as a means of quality control for dental ceramic materials. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1996; 4: 105-10.
- ⁹⁰ *Dentistry-Resin-based filling materials*. International Standard ISO 4049, 1988.
- ⁹¹ Knispel G. Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence Int* 1991; 22: 525-31.
- ⁹² Asmussen E. An accelerated test for color stability of restorative resins. *Acta Odontol Scand* 1981; 39: 329-32.
- ⁹³ Berrong JM, Weed RM, Schwartz IS. Color stability of selected dual-cure composite resin cements. *J Prosthodont* 1993; 2: 24-7
- ⁹⁴ Berrong JM, Weed RM, Schwartz IS. Color stability of selected dual-cure composite resin cements. *J Prosthodont* 1993; 2: 24-7.
- ⁹⁵ Noie F, O'Keefe KL, Powers JM. Color stability of resin cements after accelerated aging. *Int J Prosthodont* 1995; 8: 51-5.
- ⁹⁶ Balderamos LP, O'Keefe KL, Powers JM. Color accuracy of resin cements and try-in pastes. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 111-5.

-
- ⁹⁷ May KB, Shotwell JR, Koran A 3rd, Wang RF. Color stability: Denture base resins processed with the microwave method. *J Prosthet Dent* 1996; 76: 581-9.
- ⁹⁸ May KB, Razzoog ME, Koran A III, Robinson E. Denture base resins: Comparison study of color stability. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 78-82.
- ⁹⁹ Buyukyilmaz S, Ruyter IE. Color stability of denture base polymers. *Int J Prosthodont* 1994; 7: 372-82.
- ¹⁰⁰ Wang X, Powers JM, Connelly ME. Color stability of heat-activated and chemically activated fluid resin acrylics. *J Prosthodont* 1996; 5: 266-9.
- ¹⁰¹ Polyzois GL, Yannikakis SA, Zissis AJ, Demetriou PP. Color changes of denture base materials after disinfection and sterilization immersion. *Int J Prosthodont*. 1997; 10: 83-9.
- ¹⁰² Hersek N, Canay S, Uzun G, Yildiz F. Color stability of denture base acrylic resins in three food colorants. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 375-9.
- ¹⁰³ Belli S, Tanriverdi FF, Belli E. Colour stability of three esthetic laminate materials against two different staining agents. *J Marmara Univ Dent Fac* 1997; 2: 643-8.
- ¹⁰⁴ Liberman R, Combe EC, Piddock V, Watts DC. Color changes in acrylic teeth - comparison of an objective and subjective method. *J Oral Rehabil* 1996; 23: 464-9.
- ¹⁰⁵ Polyzois GL, Yannikakis SA, Zissis AJ. Color stability of visible light-cured, hard direct denture liners: an in vitro investigation. *Int J Prosthodont* 1999; 12: 140-6.
- ¹⁰⁶ Anil N, Hekimoglu C, Sahin S. Color stability of heat-polymerized and autopolymerized soft denture liners. *J Prosthet Dent* 1999; 81: 481-4.
- ¹⁰⁷ Shotwell JL, Razzoog ME, Koran A . Color stability of long-term soft denture liners. *J Prosthet Dent* 1992; 68: 836-8.
- ¹⁰⁸ Yaman P, Razzoog M, Brandau HE. In vitro color stability of provisional restorations. *Am J Dent*. 1989; 2: 48-50.
- ¹⁰⁹ Scotti R, Mascellani SC, Forniti F. The in vitro color stability of acrylic resins for provisional restorations. *Int J Prosthodont* 1997; 10: 164-8.
- ¹¹⁰ Doray PG, Wang X, Powers JM, Burgess JO. Accelerated aging affects color stability of provisional restorative materials. *J Prosthodont* 1997; 6: 183-8.
- ¹¹¹ Yannikakis SA, Zissis AJ, Polyzois GL, Caroni C. Color stability of provisional resin restorative materials. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 533-9.
- ¹¹² Lang R, Rosentritt M, Leibrock A, Behr M, Handel G. Colour stability of provisional crown and bridge restoration materials. *Br Dent J* 1998; 185: 468-71.
- ¹¹³ Um CM, Ruyter IE. Staining of resin-based veneering materials with coffee and tea. *Quintessence Int* 1991; 22: 377-86.
- ¹¹⁴ Uchida H, Vaidyanathan J, Viswanadhan T, Vaidyanathan TK. Color stability of dental composites as a function of shade. *J Prosthet Dent* 1998; 79: 372-7.

-
- ¹¹⁵ Inokoshi S, Burrow MF, Kataumi M, Yamada T, Takatsu T. Opacity and color changes of tooth-colored restorative materials. *Oper Dent* 1996; 21: 73-80.
- ¹¹⁶ Yeh CL. Optical properties of composites of selected shades *J Dent Res* 1982; 61: 797-801. & Color of selected shades of composites by reflectance spectrophotometry. *J Dent Res* 1982; 61: 1176-9.
- ¹¹⁷ SPRI. Dental operationsbelysning. Dentalbelysning: Allmänna synpunkter. Stockholm: SPRI 55101, 1970.
- ¹¹⁸ Barna GJ. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth. *J Prosthet Dent* 1981; 46. 450-3.
- ¹¹⁹ Sipple CH. Light rays and their influence on color in dentistry. *Quintessence Dent Techn* 1980; 3: 65-8.
- ¹²⁰ Bergen SF. Dental operatory lighting and tooth color discrimination. *J Am Dent Assoc* 1977; 94: 130.
- ¹²¹ Olsen HC, Selvig KA. Valg av belysning ved bestemmelse av tannfarger. *Nor Tannlegeforen Tid* 1982; 92: 329-31.
- ¹²² Davison SP, Myslinski NR. Shade selection by color vision-defective dental personnel. *J Prosthet Dent* 1990; 63: 97-101.
- ¹²³ McMaugh DR. A comparative analysis of the colour matching ability of dentists, dental students, and ceramic technicians. *Aust Dent J* 1977; 22: 165-7.
- ¹²⁴ Moser JB. Color vision in dentistry: A survey. *J Am Dent Assoc* 1985; 110: 509-10.
- ¹²⁵ Vryonis P. A custom shade guide. In: Preston JD. Proceedings of the fourth international symposium on ceramics. Chicago: Quintessence Publish Co. , 1988, 285-90.
- ¹²⁶ Schwartz RS, Duke ES, Haney SE, Herbold ET. Evaluation of a custom porcelain-fused-to-metal shade guide. *Quintessence Int* 1986; 17: 181-4.
- ¹²⁷ Riley EJ Sanderson IR Sozio RB. Shade determination, communication, and realization: a novel approach. *Quintessence Int* 1986; 17: 739-44.
- ¹²⁸ Clark EB. An analysis of tooth color. *J Am Dent Assoc* 1931; 18: 2093-2103 & The color problem in dentistry. *Dent Digest* 1931; 9. 571 & Tooth color selection *J Am Dent Assoc* 1933; 20: 1065-73,
- ¹²⁹ Miller L. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987; [Special]: 26E-40E.
- ¹³⁰ Smith PW, Wilson NH . Shade selection for single-unit anterior metal ceramic crowns: a 5-year retrospective study of 2,500 cases. *Int J Prosthodont* 1998;11(4):302-6.
- ¹³¹ Muia PJ. The four dimensional tooth color system. Chicago: Quintessence Publish Co., 1982.
- ¹³² Nobel Biocare. Procera fargesystem. Produktpresentasjon Oslo: november 1998.
- ¹³³ Pensler AV. Shade selection: problems and solutions. *Compendium* 1998; 19: 387-96.

-
- ¹³⁴ O'Brien WJ, Boenke KM, Groh CL. Coverage errors of two shade guides. *Int J Prosthodont* 1991; 4: 45-50.
- ¹³⁵ Culpepper WD. A comparative study of shade matching procedures. *J Prosthet Dent* 1970; 24: 166-73.
- ¹³⁶ Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent* 1998; 80: 642-8.
- ¹³⁷ Preston JD. Current status of shade selection and color matching. *Quintessence Int* 1985; 16: 47-58.
- ¹³⁸ Schwabacher WB, Goodkind RJ. Three-dimensional color coordinates of natural teeth compared with three shade guides. *J Prosthet Den.* 1990; 64: 425-31.
- ¹³⁹ Rubino M, Garcia JA, Jimenez del Barco L, Romero J. Color measurement of human teeth and evaluation of a color guide. *Color Res Appl* 1994; 19: 19-22.
- ¹⁴⁰ Wozniak WT. Proposed guidelines for the acceptance program for dental shade guides. Chicago: American Dental Association 1987: 1-2.
- ¹⁴¹ Geary JL, Kinirons MJ. Colour perception of laboratory-fired samples of body-coloured ceramic. *J Dent* 1999; 27: 145-8.
- ¹⁴² Groh CL, O'Brien WJ, Boenke KM. Differences in color between fired porcelain and shade guides. *Int J Prosthodont* 1992; 5: 510-4.
- ¹⁴³ Sipple CH. Factors that affect shade interpretation in the operatory and laboratory. Part I & II. *Quintessence Dent Techn* 1980: 11: 77-82.
- ¹⁴⁴ Braze GW. An accurate method for obtaining an improved shade determination. *Quintessence Dent Techn* 1985; 7: 27-9.
- ¹⁴⁵ Preston JD. The elements of esthetics - application of color science. In: McLean JW. *The science and art of dental ceramics*. Chicago: Quintessence Publish Co., 1980 , 491-532.
- ¹⁴⁶ Swepston JH, Miller AW. Esthetic matching. *J Prosthet Dent* 1985; 54: 623-5.
- ¹⁴⁷ Kato T, Kuwata M, Tamura K, Yamamoto M. The current art of porcelain shades: A discussion. *Quintessence Dent Techn* 1984; 8: 559-71.
- ¹⁴⁸ Aoshima H. A collection of ceramic tools. A communication tool for the dental office and laboratory. Chicago: Quintessence Publish Co, 1997.
- ¹⁴⁹ Muia P. *Esthetic restorations: Improved dentist-laboratory communication*. Chicago: Quintessence Publish Co, 1996.