

**Asbjørn Jokstad**

---

# Tenner - Form og farge

Lunsjseminar, Klinikk for protetikk og  
bittfunksjon

Odontologisk fakultet  
19 Februar 1992

## FORORD

Kurset er utviklet fordi det i dag stilles store krav til reproduksjon av naturlige tenner fra pasientens side. Dette krever en korrekt utforming av morfologiske detaljer, og kjennskap til fargeestetikk. Kurset er lagt opp med tanke på å gjennomgå en del aspekter som medvirker til at resultatet skal bli vellykket. I kurset inngår et kompendium. Kurset følger stort sett innholdet i dette kompendiet. En litteraturliste er inkludert bakerst for spesielt interesserte deltagere.

Asbjørn Jokstad  
Odontologisk institutt for anatomi

# Innledning

Det innledes med en kort gjennomgang av den historiske utviklingen i optikk og fargefysikk.

For å reproducere en tann med korrekt farge er det nødvendig å kjenne til de fysiske og psykologiske aspekter som er involvert. Basale prinsipper innen optikk og fargefysikk er: **Brytning, Refleksjon, Absorpsjon & Fluorescens.**

Det finnes flere systemer for å måle, beskrive eller organisere farger på. Dette kan gjøres ved ulik apparatur; **Tristimuluscolorimetri** og **spectrofotometri**, eller ved hjelp av **sammenlikningsmålinger** for eksempel ved fargeskalaer eller Munsell-fargesystemet.

I klinikken har vi en **visuell persepsjon** av formen og fargen på tennene. Persepsjonsevnen er basert på evnen til å oppfatte farge, dvs **spektralresponsen** i øyet. Andre aspekter, som total eller partiell **fargeblindhet** og øyets **akkomodasjon**, spiller også inn ved fargepersepsjon.

Denne delen av kurset avsluttes med en fargetest (Ishihara) av alle deltagerne, samt med praktiske øvelser i fargesystematisering av fargeprøver i kompositt.

Del 2 går mer detaljert inn på hvordan en del av teorien kan appliseres i klinikken.

Det naturlige tannsett utviser kompliserte optiske og fysiske egenskaper ved belysning. Det er usikkert hvilke fysiske faktorer som er dominerende når fargen på en tann fremkommer. Samspillet mellom lys og tann beskrives. Det forutsetter kunnskap om **tannens mikroskopiske oppbygning**, og om hvordan **lys påvirkes av tannvev**.

Plast, kompositter, porselen og ulike sementer må tilsettes ulike pigmenter før disse materialene kan bli brukt som erstatning for naturlige tenner. Tannlegen bør kjenne til de optiske svakheter til ulike **dentale materialer**. Spesielt viktig er det å kjenne til **fargeskalaer's** begrensninger.

Enkelte ganger kan valget av en korrekt farge bli en frustrerende oppgave for tannlegen og en skuffende opplevelse for pasienten. En viktig forutsetning for korrekt fargeuttak er at lyskildene i klinikklandskapet er optimale. Momenter som er viktige er lyskildens **spektrale energifordeling, retning og styrke, temperatur og fargegjengivelse**, samt refleksjonene fra omgivelsene. Dersom dette ikke er kontrollert ved fargeuttak vil man oppleve at restaureringen utviser **metamerisme**-effekter.

Tannlegen bør ha kjennskap til hvilke faktorer som kan påvirke uttaket av korrekt farge i klinikken under selve **farge-uttak prosedyren**, spesielt bruken av ulike **fargeskalaer**. Dersom det dreier seg om et arbeid som tannteknikker skal utføre deler av arbeidet er det viktig at **kommunikasjonen mellom tannlege og tanntekniker** er korrekt og lett forståelig.

En korrekt overflatemorfologi på restaureringen er en forutsetning for et vellykket estetisk resultat. Det er nødvendig å gjenskape de grunnleggende og detaljerte **morfologiske trekk** på, spesielt de anteriore, tennene. Ved å konturere overflaten kan spesielle **optiske effekter** skapes. Kurset avsluttes derfor med en kort gjennomgang i tannmorfologi og tannkonturer.

# Historisk oversikt innen optikk

## Optikk

De optiske lover om brytning og refleksjon av lys var kjent i det gamle Grekenland. Praktisk anvendelse av disse teorier kom imidlertid først på 1600 tallet etter studier av araberer **Ibn Alhazar** og **Pierre de Fermat** (1601-1665) i Frankrike. **Isaac Newton** (1642-1727) postulerte at lys besto av små partikler, eller s.k. korpuskler. Korpuskelteorien kan forklare optiske fenomener som lysrefleksjon og lysbrytning. Omtrent samtidig postulerte imidlertid **Christiaan Huygens** (1629-1695) at lys besto av "bølger" som inngikk i et "universelt lyseter". Bølge teorien kunne forklare refleksjon og lysbrytning i tillegg til alle bølgefenomener som f.eks interferens, -lysbøyning og polarisasjon. Utover på 1800 tallet ble flere optiske prinsipper studert for å klarlegge lysets natur. Etterhvert økte bølge teorien popularitet, spesielt etter at **Faraday** i 1845 viste at lyset ble påvirket av elektromagnetisme. Den elektromagnetiske eller s.k. klassiske lysteori ble beskrevet av **Maxwell** i 1860. Inntil inn i vårt århundre ble denne lysteori antatt å være riktig. I dag er oppfatningen at lys vanskelig kan beskrives billedlig. Eksperimenter innen kvantefysikk og relativitetsteori har vist at da lys har en dualistisk egenskap. Det vil si at lys kan tolkes både som en bølge og som kvanter (fotoner). I begge tilfeller må lys betraktes som en form for energi.

Lysoptiske fenomener kan deles inn i ulike områder, avhengig av hvilken egenskap man tillegger lys. Lysets rettlinjede gang og fenomener som er forbundet med dette, studeres i den **geometriske optikk**. Eksempler er refleksjon (speiling) og brytning (refraksjon), ved overgang mellom 2 gjennomsiktige medier. Lyset kunne imidlertid også bli definert som elektromagnetiske bølger. I **bølgeoptikken** studeres derfor fenomener som spredning (diffusjon), bøyning (diffraksjon), og interferens (overlagring). I den **fysikalske optikk** studeres vekselvirkningen mellom lys og materie, og fysikalsk optikk har nær relasjon til elektromagnetisme. Fenomener som studeres i fysikalsk optikk er f.eks. emisjon, absorpsjon, og polarisasjon, m. m. Innen **kvanteoptikk** prøver man å kartlegge lysutsendelse og absorpsjon i relasjon til atomstrukturer, samt lysets kvanteegenskaper. Det bare en selektiv del av det elektromagnetiske spektrum som påvirker øyet, og blir tolket i hjernen som lys. Hvorfor og hvordan akkurat denne delen av det elektromagnetiske spektrum påvirker øyet samt hvordan visuell persepsjon i hjernen oppstår blir studert i **fysiologisk optikk**.

## Farge

Selv om de optiske prinsipper har vært ukjente, har det innen malerkunsten lenge vært benyttet teknikker hvor blandinger av ulike fargeprodukter har skapt farger og fargeeffekter. **Leonardo Da Vinci** (1452-1519) beskrev både det **additive og subtraktive fargesystem**, og demonstrerte at enhver farge kunne dannes fra grunnfargene rød, grønn og blå, samt svart og hvit.

Sammenhengen mellom farge og lys var ikke kjent før Newton fremsatte på grunnlag av eksperimenter to hypoteser om forholdet mellom lys og farger:

1. Ved hjelp av en prisme kan en solstråle deles i flere farger. Ved hjelp av nok en prisme kan disse samles til en stråle igjen. Konklusjon: Lys er sammensatt av ulike farger, det vil si et **fargespektrum**. Newton var sterkt opptatt av numerologi. Innen numerologi blir tallet 7 regnet som et gunstig tall. Det falt Newton derfor naturlig å dele inn fargene i 7

ulike **spektralfarger**. (I dag antas det være 130 nyanser i et spektrum).  
 2. Når blå og røde kuler blir belyst i et blått lys vil kulene bli henholdsvis sterkt blå og svakt blå. (Tilsvarende røde, men i omvendt styrke, i et rødt lys). Konklusjon: Alle gjenstander har en "iboende permanent farge". Når en farge fremtrer i et hvitt lys er det fordi gjenstand en enten reflekterer eller absorberer bestemte farger.

I motsetning til den mekanistiske naturoppfatning identifisert av Newton og Huygens ble det senere fremsatt mer filosofisk baserte hypoteser om sammenheng mellom lys og farger. Sentrale verker var arbeidene av den engelske akvarellmaleren **Moses Harris** og den tyske forfatteren **Johan Goethe**. Ved å arrangere de 7 spektralfargene i en sirkel lanserte Harris sitt fargehjul i 1766. Moses Harris hypotese var at enhver farge i fargesirkelen har en diametralt plassert farge i sirkelen som ved å adderes vil nøytralisere originalfargen. Fargene kalles da for **komplementære**. Ved hjelp av fargehjulet kan man forklare det **subtraktive fargesystem**. Goethes arbeid, "Zur Farben lehre" (1810), blir betraktet mer som en kulturfilosofisk oppfatning enn en vitenskapelig dokumentert definisjon av lys og farger. På den andre siden blir Goethes fargelære fortsatt i dag ansett som sentral i opplæringen innen kunst og maleri.

Det **additive fargesystem** er basert på en systematisering av lyskildefargene rødt, grønt og blått lys. Tilsammen gir disse tre lysene hvitt lys. Det **subtraktive fargesystem** er konstruert for gjenstandsfarger, hvor de tre primærfargene rød (magenta), gul og blå (cyan) tilsammen bevirker en reduksjon av lysrefleksjon over hele spekteret, slik at overflaten blir sort.

## Basale begreper innen lysfysikk

### Hva er lys

Enten man velger å betrakte lys som elektromagnetiske stråler eller partikler er **lys det samme som energi**. Man tenker seg at lys består av **fotoner**, som er bærere av energi. Fotonene kan ha ulike energi (polykromatisk lys, som regel det vi får fra de fleste lyskilder), eller de kan ha samme energi (monokromatisk lys, f.eks fremkallt ved hjelp av laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)). En gruppe av fotoner med ulike energi (alt: ulik bølgelengde) benevnes for et **(lys-)spektrum**. En gruppe av fotoner med samme energi (alt: lik bølgelengde) danner en **spektralfarge**.

Lys kan stamme fra ulike lyskilder, dvs solen, oppvarmede gasser eller gjenstander, lamper, laser, forforiserende legemer, osv. Lys kan også være reflektert fra objekter, eller fra små partikler. Felles for alt polykromatisk lys er det består av en gruppe fotoner med ulik energi, dvs et spektrum. Den relative andelen av fotoner med ulike energi vil variere, avhengig av lyskildens, objektenens eller partiklens sammensetning. Lyset gir derfor inntrykk av farge, som kan beskrives kvalitativt ved å angi lysets **spektrale energifordeling**.

Når fotonene treffer øyet blir dette tolket av hjernen som lys. Det oppstår en summasjon/subtraksjonseffekt som betegnes for en **spektral respons**. Hjernen tolker denne spektral responsen som en farge. Fortolkningen i hjernen vil variere fra person til person, og betegnes som evnen til **fargepersepsjon**. Dersom fordelingen av fotoner er identisk med solens, vil hjernen ikke registrere farge. Dersom fordelingen av fotoner er forskjellig, vil lyset bli oppfattet som farget. Imidlertid kan også spesielle kombinasjoner av fotoner bli oppfattet som ufarget.

Lys er energi. Energi kan aldri forsvinne. Energi kan overføres fra masse til lys og varme, og omvendt. Når hvert enkelt foton treffer et objekt, oppstår en vekselvirkning i atomenes elektronskall. Vekselvirkningen varierer og er på den ene siden avhengig av objektets kjemiske sammensetning, urenheter og struktur, og på den andre siden av fotonets energi. Fargen som fremkommer vil derfor være avhengig av lysets spektrale energifordeling (fotonens energi) og objektets kjemiske sammensetning og struktur.

Energien vil som et resultat av vekselvirkningene enten bli spredt eller absorbert. Dersom enkelte fotoner med et spesifikt energi blir absorbert av objektet, vil objektet fremstå med komplementærfargen. For eksempel vil objektet som sprer fotonene med høyt energi (blå område) og absorberer de med lavt energi (røde område) fremtre som blått. Graden av spredning varierer som nevnt med fotonens energi. Dersom et polykromatisk lys sendes gjennom et krystalgitter vil fotonene med ulike energi spres ulikt. Dette vil kunne registreres som et spektrum.

## Lysspredning

Ikke-lysende objekter blir synlige når lys treffer atomer, molekyler, små partikler eller objekter som forstyrrer lysets gang. Dersom objektets dimensjoner er mindre enn bølgelengden på lyset (dvs fotonens energi) anvendes ofte uttrykket **lysbøying**. I motsatt fall snakker man om **lysspredning**. Graden av spredning varierer med innfallslssets energi. Lysspredning er rettlinjert, men kan fortsette inn i mediet og til slutt bli absorbert. Det er det spredte lyset, altså det lyset som ikke absorberes, som gir objektet dets farge.

Når partikler er små, fungerer de som små utstrålingsentra, og hver partikkel sender lys i alle retninger. Kortbølget lys (blått) spres ca 10 ganger mer enn langbølget lys (rødt). Himmelen fremtrer som blåfarget fordi luftmolekylene i atmosfæren sprer den kortbølgede delen av lyset fra solen (det blå lyset) mest. Etterhvert som solen nærmer seg horisonten ser vi mer og mer av det av det spredte langbølgede lyset, og himmelen virker rødere. Dersom det er vanndråper i lufta spres sollyset likt for alle bølgelengder- vi får da et hvit/grålig inntrykk av himmelen.

Lysspredning oppstår i de aller fleste medier. I medier er koloranter enten fargestoffer eller pigmenter tilsatt for å frembringe farge. Fargestoffer er oppløst i mediet, mens pigmenter er uoppløste. I dentalmaterialer brukes først og fremst pigmenter, som som regel er ulike metalloksider. Pigmentene er meget små korn med forskjellig brytningsindeks (se senere definisjon) fra matrisen. Antallet og størrelsen på disse kornene bestemmer dentalmaterialets (farge-)optiske egenskaper. Ved å variere mengden, størrelsen eller sammensetningen av pigmenter kan fargen endres på det opprinnelige dentalmaterialet. Dessto større forskjell det er mellom brytningsindeks i mediet og kornene, dessto større blir lysspredning. Maksimal lysspredning oppstår når antall korn i mediet er høyt, samt når kornene er like store som bølgelengden på lyset.

Lysspredning er et resultat av de to optiske fenomenene **brytning** og **refleksjon**.

## Brytning (Refraksjon)

Lysets hastighet i en substans varierer med fotonens energi og substansens kjemiske sammensetning. 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 substansene. **Brytningsindeksen** (også kalt **refraksjonsindeksen**) med enheten  $n$ , er et uttrykk for hvor mye hastigheten blir endret, dvs forholdet mellom

bølgehastigheten i første og andre medium. Dersom substansene ikke har lik brytningsindeks vil det oppstå **lysbrytning** i grenseflaten. Fenomenet kan observeres når lys blir sendt gjennom et krystall. Lysets retning blir da endret i forhold til innfallsvinkelen. Den absolutte brytningsindeks, dvs mellom det tomme rom og luft er 1.0003, målt med gult Na-lys. For andre gjennomsiktige medier er  $n$  alltid større enn 1. Diamant har brytningsindeks  $n = 2,48$ , glass og porselen har ca. 1,5, vann lik 1,33 og sølv 0,18.

## Refleksjon

Når objektets dimensjoner er større enn lysets bølgelengde blir noe av lyset reflektert. Refleksjon oppstår alltid i grenseflaten mellom to medier hvor lysets hastighet endres, dvs medier med ulike brytningsindeks. På makroskopisk nivå fremtrer to former for refleksjon: **speilrefleksjon (spekulær refleksjon)** og **diffus refleksjon**.

Speilrefleksjon er reflektert lys uten at noe av lyset diffunderer inn i mediet. Speilrefleks opptrer når atomene ligger i samme plan, eller når uregelmessighetene på overflaten er små.

Diffus refleksjon er reflektert lys som ikke er speilrefleksjon, dvs dersom overflaten er ru og fra det indre i mediet.

Når alt lyset blir reflektert fra overflaten brukes ofte uttrykket **speiling**. Lyset kan også bli helt reflektert fra det indre i et medium (papir).

Alle medier reflekterer noe lys i det øverste overflateskiktet. Graden av refleksjon kan uttrykkes ved **reflektansfaktoren** målt ved  $90^\circ$  påfallende lys. En sterkt reflekterende overflate, f. eks. magnesiumoksyd,  $MgO_4$ , har en verdi lik 98 %, krystall har 10%, glass 4%, vann 2% og grafitt i olje cirka 0,3% reflektans. For de fleste objekter øker mengden av reflektert lys med lysets innfallsvinkel. Hvis lyset treffer mediet i en innfallsvinkel over en viss størrelse vil lyset bli totalreflektert. **Reflektivitet** uttrykker objektets evne til å reflektere lyset uavhengig av objektets tykkelse.

**Glans** er speilrefleks i en overflate i en bestemt retning. Hvis refleksjonen spres jevnt til alle retninger, uansett innfallsvinkel, beskrives overflaten som **matt**.

Speilrefleks utviser mer lysets opprinnelige farge enn objektets farge, mens diffus refleksjon utviser overveiende objektets farge på grunn av de selektive sprednings- og absorpsjonsprosesser (se under) i objektet.

## Absorpsjon

Når lys beveger seg gjennom et medium kan noe av lysets energi transformeres til annen energi, som f.eks varme. Man sier at lyset **absorberes**. Når all lys absorberes, dvs når objektet fremtrer som svart, vil objektet fortære bli oppvarmet, sammenlignet med et objekt som reflekterer all lys. Absorpsjonen er selektiv, og er avhengig av fotonenes energi. Når et lys som sendes gjennom et medium antar en spektral energifordeling som er ulikt det til det innfallende lys, kan et medium klassifiseres i henhold til dets **absorptivitet**.

## Fluorescens

Uttrykket stammer opprinnelig fra  $CaF_2$  (Flusspat) og er et lys av en spesielt spektral sammensetning. Fluorescens er en form for luminiscens med kortere varighet enn  $1 \mu s$ . Dersom varigheten er mer enn  $1 \mu s$  kalles fenomenet for **fosforisens**. Fluorescens kan fremkomme når små sporstoffer eller metaller er inkludert i en krystallstruktur eks. Cr, Mg, Co, Ni, Mb. (Jern derimot reduserer fluorescens betraktelig). Naturlig forekommende hydroksylapatitter fluoriserer forskjellig.

Hydroksylapatitt i de fleste tenner fluoriserer med et (lyst) blått lys. Blåfargen gir en additiv effekt til rødt-gult, og gir dermed tennene et hvitere preg.

## Transmisjon

Når lys kan passere gjennom et medium kalles dette for **transmisjon**. Avhengig av hvor stor grad lyset passerer gjennom mediet (dvs materialets **transmittans**) kan materialet klassifiseres som **opakt** eller **translucent**. Translucente materialer slipper igjennom lys, men diffunderer lyset så mye at objekter ikke kan sees gjennom materialet. Dersom objekter kan sees gjennom materialet betegnes materialet som **transparent**. Opake materialer lar ikke lys passere. Lyset penetrerer i en viss grad, hvor det modifieres før det reflekteres tilbake som en komponent i det reflekterte lyset.

Dersom man antar at mediet sprer lyset maksimalt vil de fleste lysbrytningsprosesser skje i de øverste 0.2 mm lag når lyset har en bølgelengde lik 500 nm. Applisert til protetikk betyr dette at denne tykkelsen er nødvendig for at metallskjellet i MK kroner skal maskeres fullstendig.

Som for spredning og absorpsjon er transmisjon selektiv for ulike bølgelengder av lys. Jo høyere bølgelengder (rødere lys) jo mer translucens. Svært mange translucente materialer er svakt blålig ved ulike typer belysninger. Dette gjelder også for tenner. Tennene er translucente for rødt lys, mens blått lys vil reflekteres. Dette illuderes på porselenskroner ved å antyde et blålig skjær incisalt.

En konsekvens av at det alltid er en viss penetrasjon av lys også i opake materialer er at alle materialer vil være translucente dersom prøven som måles er tynn nok. Et numerisk uttrykk for hvor stor grad et materiale hindrer gjennomfallende lys er **transmittanskoeffisienten** eller materialets **optiske opasitet**.

## Interaksjoner

Graden av spredning og absorpsjon fra et bestemt objekt vil variere etter lysets sammensetning av fotoner med ulike energi.

Når lyset treffer objektet vil et eller flere fenomener opptre:

1. En del av lyset blir reflektert på overflaten
2. Lyset brytes i grenseflaten
3. Noe lys reflekteres i grenseflater mellom komponenter med ulik brytningsindeks i objektet, dvs en indre refleksjon
4. Lyset brytes i grenseflatene mellom komponenter med ulik brytningsindeks i objektet. Noe lys brytes så mye at det til slutt reflekteres tilbake gjennom overflaten.
4. En del av lyset absorberes
5. En del av lyset transmitteres

Lyset som transmitteres er ikke nødvendigvis det samme som reflekteres. Dette skjer dersom materialet selektivt absorberer noe av lyset. Humant tannvevs hvitfarge blir svakt gulig ved gjennomfallende lys, forfi de organiske komponenter i vevevt selektivt absorberer lyset med kort bølgelengde (blå lys). Dette forekommer også innen gemnologi. For eksempel er opal blålig ved påfallende lys, og oransje ved gjennomfallende lys. Dette kan man også se på dappenglass (av de eldre typene) som er laget av opal.

Sammensetningen av lyset fra objektet betegner dets **spektralrefleks**. Spektralrefleksjonen kan måles ved hjelp av et spektrofotometer (se senere). Dersom hele lysspekteret blir absorbert



fremtrer objektet som sort. Dersom hele lysspekteret blir reflektert på overflaten fremtrer objektet som blankt. Dersom hele lysspekteret blir spredt fremtrer objektet som hvit. Dersom hele lysspekteret blir absorbert fremtrer objektet som grått. Dersom selektive deler av lysspekteret blir absorbert fremtrer objektet med farge. Denne fargen kan måles eller beskrives på forskjellige måter.

## Fargeregistrering (Colorimetri)

Avhengig av anvendelsesområde og krav til presisjon er det blitt lansert og benyttet ulike måter å måle og beskrive farger.

De ulike metoder har med varierende hell blitt benyttet for å få fastlagt fargen på tenner, samt opake og translucente plastmaterialer, sementer og ulike dentale porselener.

### Spectrofotometri

Denne målemetoden anses i litteraturen å være mest presis, men er tidkrevende og dyr. I et spesielt lukket kammer blir objektet belyst enten i forskjellige monokromatiske lys, i polykromatisk lys, eller i ulike kombinasjoner av monokromatiske lys. Refleksjonen eller transmisjonen ved hver enkelt bølgelengde blir målt. Den totale refleksjon eller transmisjon som funksjon av bølgelengdene blir deretter beregnet. Denne totalverdien vil være konstant i alle typer belysning.

Dersom materialer er translucente brukes ulike opake bakgrunnsfarger. Ved hjelp av teoretiske beregninger (Kubelka-Munk teorien) kan både spredningen og absorpsjonen estimeres som funksjon av lysets bølgelengder. Inntil nylig kunne spectrofotometri bare bli utført på ekstraherte tenner. Verdiene fra ekstraherte tenner kan imidlertid vanskelig appliseres på tenner in situ, på grunn av en rødtoneeffekt fra gingiva, mucosa og pulpa på tannfargen.

### Tristimulus-colorimeter

Baserer seg Young/Maxwell's teori om at enhver farge kan uttrykkes ved hjelp av 3 grunnfarger.  $Farge = aA + bB + cC$ . (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 tristimuliverdier. Additive farger kan også beskrives med tristimuliverdiene.

Målingene er lette og billige, idet objektene bare fargemåles 3 ganger. Vanligvis benyttes filtre med fargene rød, grønn og blå. En grov kurve over det spektralrefleksjonen kan registreres, fremfor å måle refleksjonen bølgelengde for bølgelengde gjennom hele spekteret. - Problemet ved å benytte et tristimulicolorimeter på tenner er at graden av translucens ikke kan måles. Målinger kan foretas in vivo ved hjelp av en intraoral sonde.

Tristimulus-systemet danner grunnlag for CIE standarden (International Color Index) fra 1931. CIE systemet er utelukkende konstruert for å måle om fargen på to prøver fremtrer som like. Tristimuliverdiene kan derfor ikke brukes for å beskrives hvordan en farge ser ut. Verdiene kan heller ikke fortelle oss hvordan eventuelle fargeforskjeller mellom de to prøver fremtrer. En ulempe med dette systemet er at siden fargesystemet primært er utviklet for å dekke andre områder enn odontologiske er differensene i det hvit/gul området store i systemet, og langt underlegent øyet.

### Sammenlikningsmålinger

For å fastslå en farge på et objekt kan man benytte et atlas eller filtre. For at slike atlas skal være anvendelige stilles det krav til at de er logisk oppbygd, og at forskjellene innbyrdes er adekvate. To kjente systemer er **Oswald-systemet**, som brukes innen malerindustrien, og **Munsell-systemet**. I begge systemer anvendes 3 dimensjoner for å beskrive en farge. Den 3-dimensjonale skalaen kan ha form av et fargetre, fargekule eller kurvet fargetetraeder.

Innen odontologi er den mest kjente av disse to systemene Munsellsystemet. Alle farger beskrives med en tredimensjonal indeks som angir:

**Valør** (lyshet eller gråtone) er gitt i en gradert skala i forhold til en hvit flate. Hvit er 10; svart er 0. Valør av en farge er den gråtonen som fremkommer av fargen i et sort-hvit fotografi (Eng: Value). Valør korresponderer med det optiske egenskapen refleksjonsgrad.

**Fargetone**, som er det vi til hverdags kaller "farge" (Engelsk: Hue). Fargetone korresponderer med det optiske egenskapen dominerende bølge. Man kan også si at fargetonen bestemmes ut fra stålingens relative fordeling i spektralrefleksjonen.

**Fargemetning** (eller fargeintensiteten) som også kan beskrives som en skala av innblanding av andre farger. (Eng: Chroma). Lave tall angir mindre farge. En ren spektralfarge har 100 % metning. En hvit, grå eller sort flate har 0 % metning. Fargemetning korresponderer med det optiske egenskapen spektral renhet. Man kan også si at fargemetningen er et uttrykk for hvor mye en bestemt bølgelengde reflekteres eller transmitteres.

De 3 faktorer henger nøye sammen. Det går ikke an å løsrive en av faktorene fra de to andre. Rene spektralfargene med 100 % fargeintensitet har ulike valører. Lyse farger, slik som spektralfargen gul, har høy valør, mens dunkle farger, slik som spektralfargen fiolett har lav valør.

Hver farge beskrives i Munsellsystemet som en kombinasjon av tall og bokstaver som angir henholdsvis gråtonen, fargetonen og fargemetningen. F.eks 10YR 6/4 eller 9.6YR 6.2/4.3.

Avhengig av presisjonsnivå kan 1000 - 100 000 ulike fargeblandinger fastslås med Munsellsystemet. Systemet er imidlertid i utgangspunktet kun beregnet til fargemåling av opake materialer. Nomenklaturen som benyttes kan imidlertid med fordel benyttes for å beskrive også translusente farger.

Datamaskiner med egnet programvare kan transformere verdiene fra spektrofotometriske målinger til CIE-tall eller til Munsell verdier. (Men ikke omvendt!). I odontologisk litteratur benyttes ofte spektrofotometriske målinger, hvor resultatene transformeres til en annen 3-dimensjonal fargenotasjon,; det s.k. **CIE-L\*a\*b** fargesystemet. Imidlertid anser mange at CIE-L\*a\*b systemet er uegnet til å skjelle fargeforskjeller som er synlige for det menneskelige øyet i det gule fargeområdet. Systemet brukes imidlertid mye for å karakterisering og standardiseringsmålinger av kompositter.

## Visuell persepsjon av form og farge

For at mennesket skal få en oppfatning av omverden må det foreligge et stimuli som aktiverer sanseorganer (spektral respons i øyet), og det må eksistere en indre struktur som påvirkningene kan passe inn i. Enhver visuell persepsjon blir derfor et resultat av to prosesser:

1. Selektiv prosess: øyet og hjernens kapasitet avgjørende
2. Konstruktiv prosess: inntrykkene organiseres og relateres. Eks. tredimensjonal form, overflatestruktur, farge, kontrast, linjer, skygger osv.

Det er 3 faktorer som betinger en bevisst oppfatning (visuell persepsjon) av form og farge på et objekt.

**Fysisk faktor:** Den totale og relative andel av de ulike bølgelengder av lyset som treffer øyet påvirker øyets følsomhet i større eller mindre grad.

**Medisinske faktor:** Øyets følsomhet for elektromagnetiske bølger generelt og eventuelle kombinasjoner av disse varierer fra person til person.

**Psykiske faktor:** Fortolkningen av form og farge er subjektiv. Med trening kan et menneske skille meget små variasjoner. Eksempel er personer som klassifiserer perler eller diamanter.

Det er vanskelig å skille strengt mellom faktorene når man skal analysere hvorfor individer oppfatter forskjellig formen og fargen på objekter.

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

1. Sammensetningen av bølgelengdene.
2. Ørets registrering av disse.
3. Fortolkning av lyden og eventuell sammenheng med andre lyder
4. Subjektiv klassifisering i godlyd eller ulyd.

Teorier om persepsjon og fortolkninger av farger har eksistert i mange år. Ikke minst innen kunst og maling benyttes fargeteknikker som skal fremkalle ulike emosjonelle assosiasjoner. Goethe snakket om "varme", "kalde", "mette" farger osv. Fargeestetikk og kunstterminologi faller imidlertid litt utenfor odontologi (selv om noen kanskje vil være uenig i dette!).

## Spektral respons i øyet

Øyet kan ikke skille mellom rene spektralfarger og blandingsfarger. **Young** hevdet i 1802 at det finnes 3 slags "partikler" i øyet som reagerer på fargene rødt-gult-blått. **Hering** mente imidlertid i 1878 at det i øyet fantes 2 stoffer som reagerte hhv. på rød/grønn og gul/blå. Reaksjonen på de ulike farger kunne gi en summasjonseffekt til hjernen. Lenge var problemet uløst, helt til **Rushton** i England og **Marks** i USA oppdaget at det i øyet fantes 3 pigmenter knyttet til tappene i netthinnen. De tre pigmentene reagerte karakteristisk (og hadde maksimal følsomhet ved spesifikke bølgelengder) på ulike lyskvaliteter.

De sensitive delene i øyet kalles staver og tapper. Mennesket har ca. 130 000 000 staver, og ca. 7 000 000 tapper i øyet. Tappene som kan best skille forskjellige fargespektre. I den gule flekk finnes kun tapper (ca. 4000). Den gule flekk er derfor meget sensitiv for fargevariasjoner. Tapper kan imidlertid ikke reagere i svak belysning. Evne til å skille fargeforskjeller avtar derfor med lystyrken. Ved betraktning av objekter i halvmørke ser øyet tydeligere hvis øyet fokuserer til siden for selve objektet. (objektet fokuseres dermed ikke i den gule flekk). Normalt kan menneskeøyet skille spektralfarger med 2-4 nm forskjeller.

Ved å myse kraftig tar stavene over i stedet for tappene, slik at fargesynet blir borte. Enkelte klinikere benytter seg av dette for å bestemme tenneses valør ved fargeuttak.

## Fargeblindhet

Fargeblindhet er oftest medfødt og arves recessivt. Hel fargeblindhet er meget sjeldent. Partiell fargeblindhet forekommer hos 8% av menn og 0,5% kvinner. Den vanligste formen for fargeblindhet er vanskeligheter med å skjelde rødt og grønt, mens evnen til å skille gult og blått er normal.

Av rød-grønn fargeblindhet finnes to typer, hvorav den deutane typen er mest vanlig (70%).

**1. Deutan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (5 nm) mot det røde. Sensitivitet for grønt er redusert, dvs denne fargen blir oppfattet som grå.

**2. Protan type.** Kan være hel eller delvis. Øyets sensitivitet er forskjøvet (15 nm) mot det blå. Sensitiviteten for dype røde farger er nedsatt. Den blå-grønne del av spekteret blir oppfattet som grått.

Ved normalt fargesyn befinner det gule området seg fra 575-595 nm. For de deutane rød-grønne fargeblinde er dette utvidet til 520-700, og til 500-600 ved den protane typen fargeblindhet. Gult og blått framtrer som kraftige farger for begge kategoriene. Imidlertid er det blitt hevdet at rød-grønn fargeblinde har vanskelig for å skille 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.

I en gjennomsnittsbefolkning er 5-10% fargeblinde i en eller annen form. Amerikanske undersøkelser har vist at fargeblindhet er like utbredt blant tannleger som i totalbefolkningen. Tannleger som ofte "bommer" på fargen bør derfor få kontrollert sitt fargesyn.

## Akkomodasjon

Øyet har en meget god evne til å akkomodere seg slik at to ulike farger framtrer som like. Hos noen skjer dette etter et par sekunder, hos andre tar det opp til 15 sek.

## Tannens oppbygning

Ulike komponenter i tannen vil fremkalle ulike optiske fenomener.

Emalje: Retziuslinjer

Perikymata

Hunter-Schreger linjer

Emalje-lameller

Tykkelsen / Sammensetning

Dentin: Dentinkanaler

Emalje-dentingrensen

Tykkelsen / Sammensetning

Pulpa: Sekundærdentin

Størrelsen

## Interaksjon mellom lys og tann

De optisk-fysikalske problemer forbundet med erstatning av tannvev ble beskrevet allerede i 1931 av den amerikanske tannlegen **Bruce Clark** i boka "The color problem in dentistry". I tidlige studier ble tannfarge målt på ekstraherte tenner med spektrofotometer. Fargen er imidlertid kun en av faktorene for estetisk vellykkede reproduisering av tannvev. Et lkike viktig faktor er å bevare eller illudere tannslucens, samt en optimal morfologi på restaureringen. Det er først i de senere år som avansert måleutstyr har gjort det mulig å studere mer inngående lysets interaksjon med tenner in vivo.

Formen og fargen på tennene fremtrer etter kompliserte interaksjoner av optiske og fysikalske fenomener. Lysets interaksjon med tennene er et samspill av så og si alle kjente optiske fenomener som kan opptre:

#### 1. Refleksjon

Overflaterefleksjon påvirkes av:

Overflate, regularitet og komponenter

Saliva

Overflatens geometrisk fasong.

Diffus refleksjon fra dypere komponenter

Pulpastørrelsen, hardvevtykkelse.

(varierer med eller uten anestesi /rotfylling)

Krystallene i emaljeprismene og i dentinet

Fargede elementer eller deffekter i krystallgitter

#### 2. Absorpsjon

Absorpsjon er selektiv

#### 3. Translucens

Optisk tetthet varierer mellom hver tann og individuelt,

Avhengig av fuktighetsgrad

#### 4. Fluorescens

Det er ukjent hvilken faktor som er viktigst. Det er ikke i detalj kjent i hvor stor grad emalje, dentin, pulpa, gingiva eller mucosa isolert sett bidrar til spektralrefleksjonen fra tannen. Per idag finnes det derfor ikke et akseptabelt fargemålesystem av tenner. Det er samtidig utført få undersøkelser som har korrelert tannfargedata med demografisk data. (alder, kjønn, medisin, mat, osv). Det er grunn til å anta at dette vil endre seg etterhvert som "vital bleking" vil øke i popularitet.

### Misfarginger

De vanligste misfarginger på tenner er forårsaket av:

**A. Dentinogenesis Imperfecta.** Tannen er relativt normal ved erupsjon. Etterhvert blir tennene mer og mer translucent, gule, blå-rosa, brunaktige eller gråbrune. Eventuelt vil også emaljen skalle av og dentin blir eksponert med påfølgende sterke overflatemisfarginger.

**B. Amelogenesis imperfecta.** 2 typer:

Hypoplastisk: Tennene er glatte og skinnende. Gulrød, rødlig, eller brune.

Hypomineraliserte: Fargen varierer: kalkhvite, gul, rød, svart. Emaljen kan etterhvert skalle av.

**C. Toksiske forstyrning under tanndannelsen:**

Fluorose: Alt fra opake lyse flekker til gulbrune flekker

Tetracyclinmisfarging: Forårsaket av kompleksdannelse av medikamentet. Tennene er alt fra lys gul til mørk gule. Karakteristisk fluorisering i UV lys. Mørkere cervicalt på grunn av emalje.

#### **D. Ulike blødersykdommer**

##### **Lokal trauma/eller infeksjoner**

**Iatrogene & ukjente årsaker.** Særlig fremkommet på grunn av sykelige tilstander i barnealderen.

## **Hvordan påvirkes lys av ulike dentale materialer**

I utgangspunktet strider det mot alle farge og lys prinsipper at 1 mm restaureringsmateriale skal illudere en vital tannkrone med en dybde på 6 mm. Man må derfor benytte lagvise oppbygninger med ulike farger ved såvel komositt/plast som porselen for å illudere tannvev.

Et ideelt restaureringsmateriale (med tilhørende fargeguide) må kunne.

1. Reprodusere i størst mulig grad spektralrefleksjonen fra en naturlig tann.
2. Generere farge på samme måte som naturlige tenner.
3. Transmittere, reflektere og bryte lys på samme måte som naturlige tenner.
4. Fluorisere identisk med resttannsettet.

Det finnes i dag ingen dentale materialer med disse egenskapene. Alle materialer vil derfor utvise metamerisme (se senere). Såvel plast som porselen innfarges med tilsetning av pigmenter, hovedsakelig metalloksyder, som reflekterer og absorberer lyset og dermed danner farge. Per idag eksisterer det ingen spektrofotometrisk kvalitetskontroll av restaureringsmaterialer. Det er grunn til anta at produkter fra samme produsent, men med forskjellige produksjonspartier, vil utvise forskjellige refleksjonsspektra.

Lysherdende kompositter må være translucente for at de skal kunne herdes med lampe. Det finnes derfor ikke er opake, fargesterke og mørke kompositter som er lysherdende. Lysherdende kompositt egner seg derfor dårlig som maskeringsmaterialer. Dersom tannlegen skal skape en spesiell fargeeffekt må intensivfarger alltid anvendes et stykke under overflaten. Oppskriftskart med kombinasjoner av de ulike intensivfargene kan leveres fra ulike leverandører. Varierende tykkelse vil influere på fargen. Jo tykkere skikt, jo mer farge, men mindre translucens. Dette er spesielt uttalt for de mest translucente kompositter. Lysherdende kompositter har varierende mengde filler. Observer at jo mer filler som materialet inneholder, jo mer opakt blir det. Microfillere er som regel mer opake enn hybridkompositter. Kompositt blir alltid noe lysere på grunn av vannopptak i munnhulen. Graden av overflatepolering vil også påvirke fargen. En høyglanspolert glassert keramikkflate reflekterer 40% av det infallende lys, uten annen modifisering enn endring av retningen på lyset.

Porselen i kroner blir oftets lagt lagvis, i kritiske tykkelser, for å oppnå en korrekt refleksjonsspektrum på kronen. Den reflekterte fargen fra opakeren som maskerer metallskjellet på MK kroner er sterkt avhengig av porselenstykkelsen over opakeren.

For å korrigere farge i porselenskroner benyttes det subtraktive fargesystem. Den viktigste grunnen til dette er at man kan ha en høy kontroll av fargen uten at det går ut over kronens translucens. Så godt som alle som arbeider med tannfarger er enige i at den viktigste parameteren er tannens valør (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. Gråhet er et resultat av både farge og translucens. Det er derfor viktig at farger kan korrigeres uten at translucensen senkes. Da er det viktig å vite at hvit alltid vil senke translucens, mens mørke farger i liten grad påvirker dette. Gråhet senkes derfor ved å tilsette komplementærfarger til den uønskede fargetonen. Hvis fargen på en tann eller en tannerstatning er blitt for mørk kan den ikke korrigeres uten at overflaten blir maskert. Dersom den er for lys kan det subtraktive fargesystem med fordel benyttes. Dersom fargeintensiteten er korrekt kan tannens lages mørkere ved å legge på komplementærfargen. Hvis fargeintensiteten blir for svak korrigeres dette med å tilsette mer originalfargen, uten at gråheten påvirkes nevneverdig. Dersom svart/hvit blir benyttet for justering av gråtonen vil det riktignok bli en gråvariasjon, men tannen vil få et matt utseende, fargeintensiteten forsvinner og translucensen senkes. Det er publisert en rekke artikler og bruksanvisninger, fortrinnsvis for tann teknikere, som beskriver hvordan man praktisk arbeider innen det subtraktive fargesystem for å korrigere valør, fargetone og fargemetning ved porselensfremstilling.

Fluoriscensen av naturlige tenner blir forsøkt fremkalt i porselen ved at det tilsettes fluoriserende oksider av uran, ytterium o.l. Imidlertid har det vist seg at fluoroeringen ikke blir helt identisk med tannens fluoriscens.

## Fargeskalaer

Pr. idag finnes det ikke noen fargeskalasystemer som tilfredstiller kravene til fargeatlas. De fleste er ulogisk oppbygget, og er ikke basert på rasjonell bruk av fargesortering. Dagens fargeskalaer kan og bør forbedres for å tilfredsstille de krav det ellers settes til fargeskalaer.

Øyet kan differensiere mellom to ulike fargekvaliteter. Øyet har imidlertid vanskeligere med å vurdere grader av avvik. 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.

De mest populære fargeskalaer til porselensarbeid, MK og KK-kroner i bruk i Norge er **Lumin-vacuum-skalaen** (også kalt Vitaskalaen), og **Biodentskalaen**. Til porselen finnes det også flere andre skalaer: Trubyte Bioform og Ivoclar (Williams Gold Co), Crystar (Shofu Dental Corp), Ceramco, osv.

Man må være klar over mangler ved dagens tannfargeskalaer:

1. Alle tenner i munnhulen er rødere og har altså lavere valør (de er mørkere) enn prøvene på de fleste tannfargeskalaer.
2. Spektrofotometriske og UV-lys målinger har vist at identiske fargeskalaer fra samme leverandør har forskjellige refleksspektre.
3. Fargeskalaer fra ulike leverandører, men som er basert på samme system har forskjellige refleksjonsspektre.
4. Materialet som blir benyttet i de ulike tannskalaer er sjeldent identisk med restaureringsmaterialet. Som regel benyttes glass av ulike slag i skalaene. I tillegg er oppbyggingen av tennene i skalaene ulike fra de vanlige kliniske metoder for oppbygging av restaureringer. Refleksjonsspektrene fra tennene i tannskalaene blir derfor ikke

identisk med sluttproduktet. Problemet gjelder spesielt for fargeskalaer som er beregnet for porselensarbeid, og som ofte benyttes ved uttak av farge til MK kroner.

5. Ofte trengs opake materialer for å skjule defekter, misfarginger eller metaller. Dette medfører at det ofte må benyttes unødvendige tykke lag av det translusente materialet for å maskere den opake del. Det bringes dermed inn en variabel som er vanskelig å kontrollere teknisk. Et annet problem er at svært mange produsenter, av uforståelige grunner, opererer med ulik farge på opakeren og body-porselenet.

6. Fargen på metallet som brukes i MK kroner vil kunne innvirke på totalresultatet. Edellegeringer er som regel noe lysere enn halvedle legeringer.

I fremtiden vil fargemålinger av tenner kunne skje ved hjelp av en intraoral sonde tilknyttet en mikroprosessor som måler verdier av refleksspektre. Eventuell korrigering for refleks fra gingiva og mucosa kan utføres automatisk. Med egnet programvare kan datamaskinen gi et optimalt forslag til farge. Dersom de spektroskopiske data for de ulike tannfargede produkter er målt på forhånd kan prosessoren foreslå både det optimale produktet og fargen, eventuelt blanding av farger. En videreutvikling av dette konseptet er at en datamaskin kan kommunisere direkte med et apparatur som kan blande inn pigmenter i dentalmaterialet, som i utgangspunktet blir levert i én universalfarge.

## Spektral energifordeling fra lyskilder

**Ikke lysende objekter** (svarte legemer) vil ved tilstrekkelig tilførsel av energi avgi noe energi i form av elektromagnetisk bølger, bl.a lys (fotoner). Den spektrale energifordeling på lyset vil være avhengig av mengden av tilført energi. Ved lite tilført energi blir det avgitt lavenergetiske bølger (røde område). Med økende energitilførsel blir utsendelse mer høyenergetisk (blå område). Fargen på lyset som framkalles ved oppvarming benevnes for fargetemperatur. Denne kan måles og uttrykkes i Kelvin (K). Typiske fargetemperaturer er stearinlys 1000 K, glødelamper 2000-2700 K, fotolamper 3400 K, lysrør 3000-6000 K. Sollysets spektralkurve er konstant og har vanligvis en fargetemperatur rundt 5700-6500 K. Imidlertid vil sollyset gjennom atmosfæren endres i løpet av dagen. Lys i 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. I andre lyskilder benyttes imidlertid gasser som emitterer imidlertid kun noen få bølgelengder, spesifikt for det stoff som anvendes i lysrøret. De vanligst stoffene er kvikksølv, neon eller natrium. I lysrør er derfor 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 gul-grønt lys. Dette utnyttes ved fabrikasjon av lyskilder. Pærer med gul-grønn lysfarge er mest økonomisk, fordi det kan benyttes lavere styrke på lyset. I tillegg til fargen, bør lysstyrken (Candela), og lysstrømmen (Lumen) fra ulike lyskilder gi en adekvat belysning (Lux) i klinikken, innen arbeidsområdet og i munnhulens operasjonsfelt. Retningslinjer for optimal bruk av belysning i tannklinikker er beskrevet av ISO (ISO/TC 106/Dentistry/WG 6) og SPRI (Sverige) (SPRI Spec. 551 01 & 18/70).



## Belysning i klinikken

### Kvantitet

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

E1: Tannlegekontoret bør være over 500 Lux

E2: Arbeidsområdet over unit og pasientstolen bør være 1000 Lux

E3: Lyset i munnhulen bør være over 8000 Lux. (De aller fleste lamper i salg ligger godt over 8000 lux, målt 80 cm fra lampen)

Lyset bør komme rett ovenfra tannlegen og pasienten. Det er ikke nødvendig å installere lys i arbeidsområdet med høyere lux-verdier med tanke på å lette fargeutvelgelse. Lysrør kan anbefales, da disse ikke blander pasienten ved direkte fokusering. Lyspærer 18 stk x 40 W, eller 3x3 120 cm. lysrør over pasienten er tilstrekkelig i de fleste klinikker. Lysrørene bør være fargekorrigerte.

### Kvalitet

Arbeidslyset må inneholde alle de tilstedeværende farger i tannen for at alle tannens fargekomponenter skal være synlige. For å angi dette benyttes CRI tallet (Color Rendering Index, målt fra 1 til 100), som beskriver pærens/lysrørets evne til korrekt å gjengi farger. CRI indeksen i lys i tannklinikken må være på mer enn 90. Eksempler på lysrør i tak som tilfredstiller kravene er Philips TL 47 og Luma Colorette.

Denne indeks vil man ikke kunne oppnå i lyset fra halogenlamper (som er den vanligste på uniten). Pærene i operasjonslyset bør gi et lys med en CRI indeks over 70.

På den andre siden har disse lampene for høy stråleenergi, slik at det oppstår overflaterefleks. Fargeuttaket bør gjøres indirekte i arbeidslyset og ikke i operasjonslyset.

Lys blir reflektert fra vegger, tak og klinikk møbler. Dersom disse flater har kraftige farger kan fargevalget påvirkes. Flatene bør derfor være pastelfarget eller hvite. Av samme grunn bør personalets påkledding være nøytralt farget. Videre bør servietten rundt pasientens hals være nøytral.

### Metamerisme

Et materiale vil fremtre med forskjellig farge i forskjellig belysning som en følge av selektiv absorpsjon/refleksjon av ulike deler av spektralfordelingen av innfallende lys. To overflater vil kunne fremtre med identisk farge i en type belysning. I en annen type belysning derimot - hvor spektralforeddlingen av lyset er ulik - vil fargene fremtre som forskjellige.

De optiske egenskaper av et objekt bestemmes av dets struktur og kjemi. Hvis to objekter fremtrer med samme farge i en type belysning, men ulike farger i en annen belysninger beskrives disse som et metamerpar. Objektene fremtrer med ulik spektralrespons- og dermed farge -i lys med ulike spektral energi fordeling. Fenomen betegnes belysning- metamerisme. Dersom to personer opplever samme farge ulikt betegnes fenomenet som observatør metamerisme. Også geometrisk metamerisme kan oppstå hvis objektet fremtrer med ulike farger etter fra hvilken vinkel objektet studeres.

## Uttak av farge, fargevalg

Et stimulus til hjernen om tannens form og farge er resultatet av et samspill av 3 spektrale faktorer:

SPEKTRAL	*REFLEKSJON	*RESPONS
ENERGIFORDELING	/ABSORPSJON	I ØYET
FRA LYSKILDEN	/TRANSMISJON	
	I TANNEN	
	I	
	i	
	V	
	FORTOLKNING I HJERNEN	
	FORM, TRANSLUCENS OG FARGE	

Forutsetningen for at fargevalget blir korrekt er at klinikerer har kjennskap til faktorene som influerer på fortolkningen, det vil si persepsjonen av form og farge.

Fargevalget bør foretas før preparering begynner. Ved gaping over 5 min skjer det en uttørring i de anteriore tenner som vanskeliggjør korrekt fargevalg. Tennene blir da mer opake og lysere. Dersom tannen er anestet vil tannen virke lysere pga den lavere blodforsyning. Fargeuttak bør derfor gjøres før en eventuell anestesi.

Både plast, farget glass og porselener utviser metamerisme. 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). Fargen som passer best i de ulike lystypene bør benyttes. Det er en fordel om flere personer kan komme med forslag. Benytt gjerne kontorassistenten. Kvinner har som regel bedre fargepersepsjon enn menn. Det er også blitt hevdet at fargepersepsjon blir dårligere med alderen.

Valg av hovedfarge på erstatningen kan foregå etter følgende prosedyre:

1. Velg en farge i skalaen og hold den ved siden av tann.
2. Fikser øynene på en nøytral farge i 2- 3 sek. F.eks. kittelen eller en nøytralt farget serviett rundt pasientens hals. (Lys blå eller lys grå er ofte benyttet)
3. Sammenlign skala og tann i ikke lenger enn 5 sek. Registrer ditt førsteinntrykk av gråtone (For lys, mørk, grå osv)
4. Fikser øynene på den nøytrale fargen.
5. Gjenta pkt.3. Dersom fargen fortsatt ikke er korrekt gå videre til neste farge.

Forhåpentligvis ender tannlegen opp med 2-3 ulike valører. Gjenta prosedyren, men denne gang sjekk for fargetone og fargemetning. Dersom du til slutt ender opp med to alternativ-velg den med høyeste gråtone (lysest). En eventuell for høy valør kan endres med komplementærfargen og ekstra fargetone uten at translucensen endres.

Enkelte forslår at det er en fordel å plassere en sort (pap-)plate bak tannen, eller en sort avskjerming foran den aktuelle tann, for å avskjerme uønskede synsinntrykk.

Tidligere er det nevnet at farge kan beskrives i 3 dimensjoner. Imidlertid kan farger i forbindelse med translucente gjenstander sees på som et firedimensjonalt fenomen. Når en erfaren protetikker bruker 3 eller 4 fargeskalaer som referanser er det ikke bare fordi han ser etter et

bredere utvalg av farger. Han ser også på forskjeller i andre optiske egenskaper som påvirker utseendet, slik som translucens og måten laget med emaljeporselen er lagt på i forhold til dentinporcelen.

## Kommunikasjon med teknikker

Neste gang du besøker din tannteknikker forsøk å 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 i dag ikke er klar over de muligheter for form- og fargeeffekter en flink tannteknikker i dag kan fremkalle i et materiale som porselen. Den enkleste løsningen (som mange tannleger praktiserer), er å sende pasienten til tannteknikker. En nøyaktig prosedyre og beskrivelse av form og farge av en ønsket erstatning kan imidlertid forhindre et slikt ekstrabesøk. Et minstekrav til en nøyaktig beskrivelse er å benytte korrekt nomenklatur. Den odontologiske nomenklatur behersker vi; det nye er fargenomenklatur. De entydige begreper i Munsells fargesystem bør benyttes, dvs fargetone, fargeintensitet og gråhet. Forhåpentligvis slipper da tanntekniker å tolke beskrivelser som:

"Biodent 21-men mørkere."

"Lumin A2. Noe lysere i kanten."

"Biodent 32.Ikke så gul." osv.

Som tidligere nevnt har de eksisterende fargeskalaer på markedet i dag enkelte uheldige egenskaper. Det beste ville derfor være å vedlegge utvalgte farge fra fargeskalaen. En form for bytte med tannteknikker burde være mulig slik at tannlegen ikke behøver å disponere mange fargeskalaer. Vær også oppmerksom på at enkelte fargeskalaer har kraftigere fargeintensitet cervicalt på modellene. Reflektert lys fra denne sonen vil gi hele modellen en kraftigere intensitet. Spesifiser derfor på bestilling om du benytter skala med eller farging cervicalt.

Et avtrykk av de anteriore tenner i over- og underkjeven er til stor hjelp for tanntekniker for å fastslå artikulasjon. Videre vil avtrykket indikere eventuell incisale slitasje (ingen grålig translucent emalje incisalt), trangstilling (graden av mørkere brunlig skygging approximalt), overflatenes kurvaturer relatert til nabotennene og antagonistene, osv. Det er også viktig at avgrensningen mktot gingiva beskrives. Dette er eksempler som tekniker må ta hensyn til ved utforming av restaureringer. Men det er ikke gitt at tannteknikker korrigerer disse faktorene automatisk. Ut i fra en basalfarge følger tannteknikker en bestemt sammensetning av porselenspulver cervicalt, incisalt og opaker foreslått av porselensprodusenten. F.eks har Vita 14 opaker, 12 dentinfarger og 4 emaljefarger som kan kombineres. Fargene på en erstatning blir derfor oftest godt avstemt til hverandre, men vil ikke nødvendigvis alltid passe i pasientens munn. Beskriv derfor alltid ditt ønskede produkt tredimensjonalt (både formen og fargene) og så detaljert som mulig. Til det estetiske hører også en spesifisering av overflatestrukturen (ujevn eller jevn) og glansen på tannen. Denne kan tanntekniker studere ved å benytte sølvlakk på en modell av den kontralaterale tann. Det er tannlegen som er ansvarlig for sluttproduktet. Unngå derfor den mulige friksjon som kan oppstå hvis "gale" produkter blir levert.

## Tannmorfologi

Detaljbeskrivelse: Sentral

Lateral	
Hjørnetann	OKJ
Incisiv	
Hjørnetann	UKJ

Utforming av kontaktpunkt  
 Utforming av spylorom  
 Buccale og proximale emaljeseementgrense  
 Vanlige utformingsfeil

Spesielle optiske effekter kan oppnås med små operative inngrep. Vertikale detaljer gir inntrykk av lange tenner. Lyse flater virker større enn mørke. En lys buccalflate gir også inntrykk av anterior plassering av en tann.

## Referanser

For den interesserte leser følger en referanseliste for videre studier. Ytterligere referanser kan skaffes frem av forfatteren.

- Bangston LK. The conversion of chromascan designation to CIE tristimulus values J Prosthet Dent 46 610 1982
- Barghi N. A study of various factors influencing the shade of bonded porcelain J Prosthet Dent 39 282 1978
- Barghi N. Color and glaze: Effects of repeated firing J Prosthet Dent 47 393 1982
- Barghi N. Effects of batch variation on shade of dental porcelain J Prosthet Dent 54(5) 625-627 1985
- Barna GJ. The influence of selected light intensities on color perception within the color range of natural teeth J Prosthet Dent 46(4) 450-453 1981
- Bazola FN Malone WF. Shade guide for vacuum-fired porcelain-gold crowns J Am Dent Assoc 74 114 1967
- Bergen SF. Dental operatory lighting and tooth color discrimination J Am dent Assoc 94 130 1977
- Braze GW. An accurate method for obtaining an improved shade determination Quintess Dent techn 7(1) 27-29 19
- Burgt van der TP A new method for matching tooth colors with color standards J Dent Res 64(5) 837-841 1985
- Clark EB. An analysis of tooth color J Am Dent Assoc 18 2093-2103 1931
- Clark EB. The color problem in dentistry Dent Digest 9 571 1931
- Clark EB. Tooth color selection J Am Dent Assoc 20 1065-1073 1933
- Clark EB. The Clark tooth color system. Part 3 Dent Mag Oral Top 50 249-258 1933
- Clark EB. Selection of tooth color for the edentulous patient J Am Dent Assoc 35 787-793 1947
- Clark WD. The Clark tooth color system. Part 1 & 2 Dent Mag Oral Top 50 139-152 1933
- Clarke JJ. Measurement of colour in human teeth. In: McLean JW ed. Dental ceramics. Proceedings of the first international symposium on ceramics Chicago: Quintessence Publ Co 441-488 1983
- Cook WD. Optical properties of esthetic restorative materials and natural dentition J Biomed Mater Res 19 469-488 1985
- Culpepper WD. A comparative study of shade matching procedures J Prosthet Dent 24(2) 166-173 1970
- Dennison JB Powers JM Koran A. Color of dental restorative resins J Dent Res 57(4) 557-562 1978
- Eckes AE. Surface staining: the surest way to destroy translucency Quintess Dent Techn 1 25-26 1979
- Geller W. Dark and shadowed zones: An important aspect of the creative shading technique Quintess Dent Techn 7(8) 483-486 1983
- Goodkind RJ. A comparison of chromascan and spectrophotometric color measurements of 100 natural teeth J Prosthet Dent 53(1) 105-109 1985
- Hayashi T. Medical color standard. V. Tooth Crown Tokyo: Jap Color Res Inst. 1967
- Johns RB. An investigation into the lighting requirements for operative dentistry J Prosthet Dent 29 195 1973
- Johnston WM O'Brien WJ Tien TY. The determination of optical absorption and scattering in translucent porcelain. Color research and application New York. John Wiley & Sons. 1985
- Jorgenson MW Goodkind RJ. Spectrophotometric study of five porcelain shades relative to dimensions of color, porcelain thickness, and repeated firings J Prosthet Dent 42(1) 96-105 1979
- Kato T. The current art of porcelain shades: A discussion Quintess Dent Techn 8(9) 559-571 1984
- Kessler JC. Chairside characterization of porcelain restorations Quintess Int 17(9) 551-555 1986
- Korson DL. The simulation of natural tooth colors in the ceramo-metal system with highly chromatized dentin powders Quintess Dent Techn 9 453-456 1985
- Larson TD. Techniques for achieving realistic color distribution in large composite resin restorations J Am Dent Assoc 112 669-672 1986
- Lee JH. Dental esthetics Bristol: Jhn Wright & Sons Ltd. 1962
- Lemire PA Burk B. Color in dentistry Hartford: J.M Ney Comp. 1975
- Levin EI. Dental esthetics and the golden proportion Quintess Dent Techn 1 65-70 1980
- Lombardi RE. The principle of visual perception and their application to complete denture esthetics J Prosthet Dent 29(4) 358-382 1973
- McLean JW. The science and art of dental ceramics. Chicago: Quintessence Publ Co 1980
- Moser JB. Use of the Munsell system to compute color differences in composite resins J Dent Res 57:958-63 1978

Moser JB. Color vision in dentistry: a survey J Am Dent Assoc 110 509-510 1985  
 Muia PJ. The four dimensional tooth color system Chicago: Quintessence Publ Co 288 pp. 1982  
 O'Brien WJ. Double layer color effects in porcelain systems J Dent Res 64(6) 940-943 1985  
 Powers JM. Color stability of new composite restorative materials under accelerated aging J Dent Res 59 2071 1980  
 Preston JD Bergen SF. Color science and dental art St Louis. C V Mosby Co. 1980  
 Preston JD. Current status of shade selection and color matching Quintess Int 16(1) 47-58 1985  
 Riley EJ Sanderson IR Sozio RB. Shade determination, communication, and realization: a novel approach Quintess Int 17(11) 739-744 1986  
 Rinn LA. Applied color theory in metal ceramics Quintess Dent Techn 10(9) 561-569 1986  
 SPRI. Dental operationsbelysning. Dentalbelysning allmänna synpunkter Stockholm: SPRI 55101 1970  
 Seghi RR. Spectrophotometric analysis of color differences between porcelain systems J Prosthet Dent 56:35-40 1986  
 Shotwell JL. Color comparisons of denture teeth and shade guides J Prosthet Dent 56(1) 31-34 1986  
 Sipple CH. Factors that affect shade interpretation in the operator and laboratory. Part I Quintess Dent techn 8/80 77-82 1980  
 Sipple CH. Factors that affect shade interpretation in the operator and laboratory. Part II Quintess Dent techn 11(9) 79-82 1980  
 Sipple CH. Light rays and their influence on color in dentistry Quintess Dent Techn 3/80 65-68 1980  
 Spitzer D. The absorption and scattering of light in bovine and human enamel Calcif Tissue Res 17 129 1975  
 Sproull RC. Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color J Prosthet Dent 29(4) 416-424 1973  
 Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color J Prosthet Dent 29(5) 556-566 1973  
 Sproull RC. Color matching in dentistry. Part III Color control J Prosthet Dent 31(2) 146-155 1974  
 Swepston JH Miller AW. Esthetic matching J Prosthet Dent 54(5) 623-625 1985  
 Viohl J. Dental operating lights and illumination of the dental surgery Int Dent J 29(2) 148-63 1979  
 Waltke R. Color in the human dentition Jelenko Thermotrol Technician pp.20 1977  
 Yamada HN. Dental porcelain. The state of the art. Los Angeles: Univ South Calif Pp 325 1977  
 Yeh CL. Color of selected shades of composites by refl. spectrophotometry J Dent Res 61 1176-9 1982  
 Yeh CL. Optical properties of composites of selected shades J Dent Res 61(6) 797-801 1982  
 Zimmerman B. Tooth histology applied to dental ceramics Quintess Dent Techn 10(7) 435-438 1986

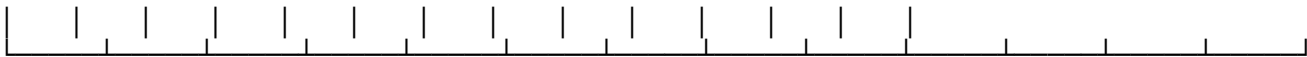
Fargetestskjema

1. 25 plater skal observeres.
2. Hver plate skal observeres i 3 sek.
3. Tallene varierer mellom 1 og 99.  
 Noen plater har ikke tall.
4. Skriv tallet du ser nederst på dette skjema.
5. Skriv et 4 sifret tall/bokstav øverst (for egenkontroll)

-----

Nr: \_\_\_\_\_

1    2    3    4    5    6    7    8    9    10    11    12    13



14    15    16    17    18    19    20    21    22    23    24    25

