

14 | Weergeefsystemen

14.1. Algemene opzet van systemen voor beeldweergave

Inrichtingen die in staat zijn met behulp van een sturend beeldsignaal een daarmee overeenkomend beeld te vormen, noemen we ‘weergeefsystemen’ (Eng. *display devices*). Als we er van uitgaan dat het beeldsignaal de beeldinformatie sequentieel overdraagt, zal het weergeefstelsel de volgende elementen moeten bevatten:

- a. Een aantal in een vlak geordende lichtbronnen, waarvan de intensiteit kan worden gestuurd met behulp van een uit het beeldsignaal afgeleid stuursignaal. Dit aantal dient minstens gelijk te zijn aan het aantal onderling gescheiden weer te geven beeldelementen.
- b. Een aftaststelsel, dat in het bij het beeldsignaal passende aftastritme het stuursignaal aan de lichtbronnen toevoert.

De aard van het beeldsignaal en het doel van de beeldweergave bepalen de eisen die aan het weergeefstelsel gesteld moeten worden. De belangrijkste eisen zijn die welke betrekking hebben op:

- a. De snelheid van het stelsel. Deze heeft verscheidene aspecten. Niet alleen het aftastproces dient aan bepaalde snelheidseisen te voldoen, ook aan het oplichten en uitdoven van de lichtbronnen worden in dit opzicht eisen gesteld.
- b. De moduleerbaarheid van de lichtbron. Hiermee wordt bedoeld de regelbaarheid van de intensiteit van het uitgestraalde licht met behulp van het stuursignaal. In gevallen waarbij het beeldsignaal slechts twee niveaus kent, vervalt deze eis. De lichtbronnen kunnen dan van het aan-uit type zijn. Als voorbeeld kunnen panelen voor het weergeven van alfa-numerieke informatie (letters en cijfers) worden genoemd.
- c. De lichtopbrengst van de lichtbron. De hierop betrekking hebbende eisen hebben niet zelden een verstrekende invloed op de inrichting en het ontwerp van het weergeefstelsel. Vaak wordt een aanzienlijke lichtenergie gevraagd. Zo wordt bijvoorbeeld van een weergeefstelsel voor televisie verwacht dat het een contrastrijk beeld produceert, dat ook bij aanzienlijke omgevingsverlichting goed waarneembaar is.

14.2. Fysische principes voor lichtopwekking

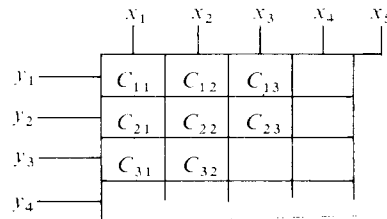
De natuur levert ons verscheidene mogelijkheden om elektrische energie om te zetten in lichtenergie. De belangrijkste fysische principes zijn:

- a. Lichtemissie door tot verhitting brengen van materiaal (gloeilamp).
- b. Lichtemissie in gasontladingen (glimbuizen en andere gasgevulde buizen).
- c. Luminescentie-effecten. Deze berusten alle op overgangen van elektronen tussen verschillende toegelaten energieniveaus in vaste stoffen. Sturing van de overgangsverschijnselen is mogelijk door beschieting met snelle elektronen (kathodeluminescentie, toegepast in elektronenstraalbuizen), door middel van elektrische velden (elektroluminescentie), door excitatie met ultraviolet licht (onder andere TL-buizen), door injectie van ladingdragers (luminescentie in *PN*-dioden).

Het is overigens niet nodig en soms zelfs niet gewenst dat het beeldsignaal de lichtbron zelf stuurt. Een andere mogelijkheid is dat de lichtbron een continue lichtstroom opwekt, die in een door het beeldsignaal bepaalde mate onderdrukt of afgebogen wordt. Het beeldsignaal stuurt dan een 'optisch relais', bijvoorbeeld in de vorm van een elektromechanisch bediend diafragma of van een elektro-optische of magneto-optische cel. Een andere mogelijkheid wordt geboden door bepaalde stoffen (zogenaamde vloeibare kristallen), wier transparantie en reflectie afhangen van de erin heersende elektrische veldsterkte. Deze laatste kan weer gestuurd worden met behulp van het beeldsignaal. Een nog weer andere mogelijkheid biedt de toepassing van een zogenaamde 'Schlieren-optiek'. Een voorbeeld daarvan zal nog aan de orde komen in de vorm van het zogenaamde eidophor-systeem. Toepassing van het lichtrelaisprincipe is de aangewezen weg, wanneer de beheersing van grote lichtstromen gevraagd wordt. Het kan dan zeer onpraktisch worden de lichtbron zelf met behulp van het beeldsignaal te sturen, daar juist lichtbronnen voor groot vermogen zich niet gemakkelijk, nagenoeg traagheidsloos en met beperkte stuuressnergie laten sturen, terwijl zulke lichtbronnen bovendien door hun constructie en omvang zich slecht lenen voor plaatsing in een voor beeldweergave geschikte ordening.

14.3. Aftasting

Is het aantal beeldelementen dat per tijdseenheid moet worden afgetast gering, dan staat een veelheid van mogelijke realiseringen van het aftastmechanisme ter beschikking. Men kan denken aan elektromechanische systemen (lichtkrant, facsimilesysteem), of aan systemen met luminescentiecellen. In het laatste geval werkt men als regel volgens het navolgende algemene principe. De cellen C_{ij} worden opgesteld in een patroon (matrix) van horizontale en verticale rijen (figuur 14.1). Elke cel vertegenwoordigt een beeldelement. De cellen kunnen van uiteenlopende typen zijn, meestal berust de werking op elektroluminescentie of luminescentie door injectie (emitterende *PN*-dioden). De matrix wordt voorzien van een adresseersysteem, dat het mogelijk



Figuur 14.1. Matrix van luminescentiecellen met aanduiding van het adresseersysteem.

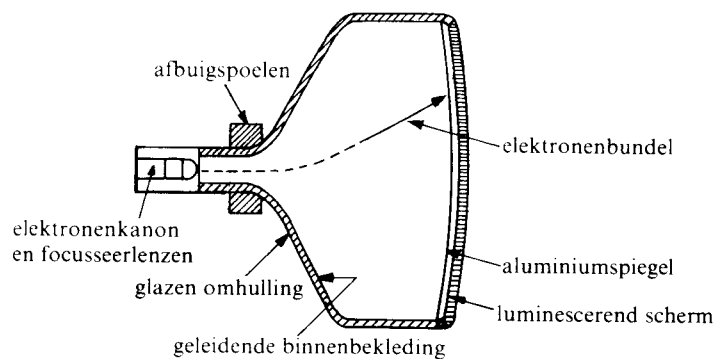
maakt een bepaald element te bereiken. In figuur 14.1 is dit systeem aangeduid met de achter de horizontale en verticale rijen lopende geleiders $x_1 \dots x_n$ en $y_1 \dots y_n$. Brengen we spanning op de lijnen x_i en y_j , dan wordt het element C_{ij} bekrachtigd. Door in een passend ritme op de lijnen x en y pulsformige signalen te brengen, is een voorgeschreven aftastschema te verwerkelijken. Dit principe mag eenvoudig lijken, in de praktijk blijkt men op vele moeilijkheden te stuiten wanneer men hoge eisen stelt aan omvang, snelheid, moduleerbaarheid en lichtopbrengst. Het is tot nog toe, ondanks zeer veel ontwikkelingswerk, niet gelukt om op basis van dit principe weergeefsystemen met bevredigende beeldkwaliteit voor televisieweergave te vervaardigen. De voornaamste problemen zijn in de regel het realiseren van het uitgebreide adresseersysteem ten behoeve van het grote aantal beeldelementen en het verkrijgen van de gewenste grote lichtopbrengst. Zijn de eisen ten aanzien van omvang, snelheid en lichtopbrengst geringer, en speelt de fabricageprijs ook niet zo'n grote rol, dan zijn weergeefsystemen volgens het besproken principe soms wel realiseerbaar. Een voorbeeld is de weergave van langzaam veranderende alfanumerieke informatie. Het besproken systeem heeft twee voordelen die het zeer aantrekkelijk maken: het leidt tot een zeer vlak weergeefstelsel dat een zeer geringe diepteafmeting kan hebben, en de bedrijfszekerheid en levensduur kunnen zeer groot zijn.

In alle gevallen waarin thans een grote aftastsnelheid gecombineerd moet worden met hoge lichtopbrengst en een goede moduleerbaarheid van de lichtbron, maakt men voor de aftasting gebruik van een elektronenbundel in vacuüm. De bundel wordt geleverd door een thermisch emitterende kathode, en afbuiging vindt plaats met behulp van in de tijd variërende elektrische of magnetische velden (zie onder andere Ref. 14.1 hoofdstuk 9). De bundel is gericht op een scherm dat bedekt is met een homogene laag materiaal, dat in staat is tot kathodeluminescentie. Er is dus geen sprake van afzonderlijke lichtbronnen, maar de beeldelementen worden gevormd door het plaatselijk oplichten van het scherm, daar waar het door de bundel wordt getroffen. Dit is uiteraard een enorm voordeel bij de fabricage. Niet alleen is een homogene structuur op zich zelf al veel gemakkelijker te construeren dan een discontinue structuur, maar een lokaal defect heeft ook minder invloed op de beeldweergave, zolang de omvang van het defect klein is ten opzichte van de afmetingen van een beeldelement. In een discontinue structuur is het gehele paneel praktisch waardeloos als één element defect

is. We zullen ons verder beperken tot weergeefsystemen van het elektronenstraalttype. Een algemene behandeling van weergeefsystemen geven Ref. 14.2, 14.3 en 14.4.

14.4. Weergeefbuizen

Figuur 14.2 duidt de algemene opbouw van een weergeefbuis aan. Een focuserend elektronenoptischstelsel (meestal elektrostatisch, soms magnetisch, zie Ref. 14.1, hoofdstuk 9) vormt een scherpe elektronenconcentratie (de zogenaamde 'crossover' of bundelknoop), die als voorwerp fungeert in een tweede elektronenoptisch stelsel. Afbuiging vindt plaats met behulp van elektrostatische velden (bij bundels van beperkte intensiteit en bij kleine afbuighoek) of magnetische velden. In weergeefbuizen voor televisie zijn de eisen ten aanzien van bundelintensiteit en -snelheid (enkele mA bij een versnellingsspanning van 15 à 20 kV) en ten aanzien van de afbuighoeken (in totaal 110° in moderne beeldbuizen) van dien aard, dat alleen magnetische afbuiging in aanmerking komt. De spoelen worden voor aftasting van een rechthoekig raster gevoed met stromen die zaagtandvormig in de tijd variëren. Sturing van de intensiteit van de bundel vindt plaats op de sturelektrode van het kanon (Wehneltcilinder).

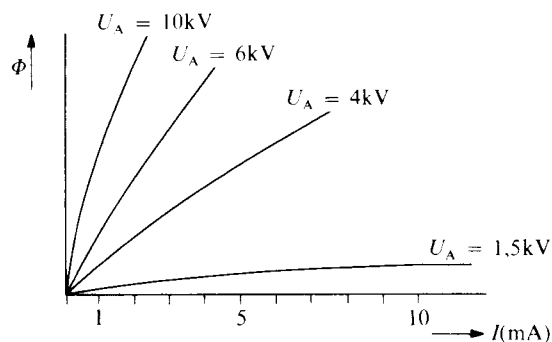


Figuur 14.2. Algemene opbouw van weergeefbuis.

De elektronenoptische eisen zijn — met name bij een weergeefbuis voor televisie — aanzienlijk. Gelukkig behoeven aan de focussing geen extreme eisen te worden gesteld, daar de doorsnede van de bundel die het scherm treft, niet kleiner hoeft te zijn dan één beeldelement. Een moeilijkheid is dat de bundeldoorsnede in het algemeen toeneemt met de bundelintensiteit, en dus met de grootte van het beeldsignaal. De binnenzijde van de buis is bekleed met een geleidende laag (colloïdaal grafiet, zogenaamd 'aquadag'), die op de potentiaal van de eindanode wordt gebracht, in praktische buizen gewoonlijk 15 à 20 kV. Op deze wijze bereikt men dat de uit het kanon tredende bundel zich in een veldvrije ruimte beweegt. De binnenzijde van het luminescentiescherm is in de meeste buizen voorzien van een dunne aluminiumlaag. Deze constructie levert vele voordelen op. De dunne laag (dikte ca. $0,2 \mu\text{m}$) belemmert

de zeer snelle elektronen niet noemenswaard, doch zij is, mits zij een bepaalde dikte heeft, vrijwel ondoordringbaar voor de veel grovere en langzamere negatieve ionen — ten gevolge van gasresten in de buis — die het scherm zouden kunnen beschadigen. In de tweede plaats zorgt de aluminiumlaag die op de potentiaal van de eindanode wordt gebracht, ervoor dat het scherm zich niet elektrostatisch oplaadt, hetgeen landingsfouten van de bundelelektronen zou kunnen veroorzaken. De aluminiumlaag heeft daarnaast belangrijke voordelen met betrekking tot de optische eigenschappen van de buis. Deze zullen aanstonds ter sprake komen.

De keuze van de versnellingsspanning wordt bepaald door de eigenschappen van het luminescerende materiaal en door de eisen ten aanzien van de te leveren lichtenergie en de focusering van de bundel. De focusering van de bundel is relatief gemakkelijk, als de bundelstroom niet te groot is (praktisch ca. 2 mA in topwit in televisiebuizen) en de spanning hoog is. Bovendien neemt het rendement (opbrengst in lumen per watt) van luminescerende stoffen toe bij toename van de elektronensnelheid. In figuur 14.3 zijn enkele hierop betrekking hebbende karakteristieken geschetst. Aan het gebruik van zeer hoge spanningen zijn echter ook bezwaren verbonden. De voor de afbuiging benodigde veldsterkte, en daarmee de bekrachtigingsstroom van de afbuigspoelen, is evenredig met de wortel uit de versnellingsspanning. Hoge spanningen vragen bovendien veel voorzorgen in verband met het voorkomen van doorslagverschijnselen en het optreden van röntgenstraling.



Figuur 14.3 Verband tussen lichtstroom ϕ (lumen) en bundelstroomsterkte bij verschillende anodespanningen. De lichtstroom neemt bij gegeven stroomsterkte meer dan evenredig toe met de anodespanning.

De gebruikte luminescerende stoffen duidt men wel aan met de algemene naam 'fosforen', (letterlijk: 'lichtdragers'). De meest gebruikte fosforen zijn sulfiden en silicaten, die gedoteerd zijn met geringe hoeveelheden metalen (de zogenaamde 'activatoren'). Aan fosforen voor televisiebuizen worden de volgende eisen gesteld:

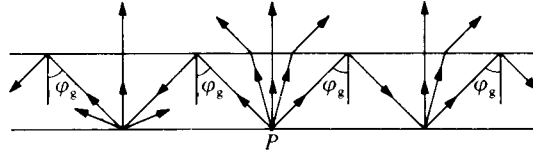
- a. Hoog rendement; in praktische weergeefbuizen ligt de lichtopbrengst in de orde van grootte van 30 à 40 lumen per watt.

- b. Gewenste kleur. Voor zwart-wit televisie wenst men een wit oplichtend scherm. Men heeft speciale fosforen ontwikkeld die wit licht produceren, doch meestal gebruikt men een mengsel van blauw en van geel oplichtende fosforen. Het mengsel van geel en blauw licht wordt door het oog waargenomen als wit licht.
- c. Lineaire werking bij gegeven elektronensnelheid, dat wil zeggen de lichtstroom dient in het gehele gebied van praktisch voorkomende belastingen evenredig te zijn met de bundelstroom (geen verzadigingseffecten).
- d. De nalichttijd of persistentie dient ruimschoots beneden de rastertijd (1/50 sec) te liggen. Wordt hieraan niet voldaan, dan leidt dit tot bewegingsonscherpte in de weergave. Achter bewegende objecten neemt men dan ‘vegen’ waar. Anderzijds heeft een relatief lange nalichttijd een gunstige invloed op het optreden van flikker-effecten. De zichtbaarheid van flikker is namelijk niet alleen afhankelijk van de frequentie van de lichtwisselingen en van de lichtsterkte, doch ook van de ‘duty cycle’ van de lichtwisselingen. Relatief langdurende lichtpulsen produceren minder flikkerverschijnselen dan relatief kortdurende lichtpulsen van dezelfde frequentie en van dezelfde gemiddelde intensiteit.

14.5. Contrast van weergeefbuizen

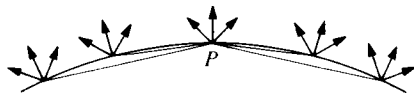
De maximaal bereikbare verhouding der luminantie van de helderste delen tot die van de donkerste delen in het weergegeven beeld noemt men de *contrastomvang* van het weergeefstelsel. De luminantie in de helderste delen (‘topwit’) wordt bepaald door de maximaal beschikbare bundelenergie en het fosforrendement. De luminantie der donkerste delen van het beeld wordt bepaald door verstrooiingsverschijnselen en door op het weergeefscherm gereflecteerd omgevingslicht. Zoals reeds uiteengezet werd in paragraaf 1.4 dient men onderscheid te maken tussen *totaalcontrast* en *detailcontrast*, waarbij eerstgenoemde grootte steeds de laatstgenoemde aanzienlijk overtreft.

De vermelde verstrooiing van het licht is het gevolg van verschillende gelijktijdig optredende effecten. Grote invloed hebben de inwendige reflecties in het dikke glasfront van de weergeefbuis. Het fosfor gedraagt zich in eerste benadering als een Lambert-straler, zodat de lichtstralen van een oplichtend beeldelement in alle richtingen door het glas naar buiten treden. Door het grensvlak tussen het glas en de lucht kunnen echter alleen die stralen uittreden, die met de normaal op het oppervlak een hoek insluiten die kleiner is dan de grenshoek (figuur 14.4). Stralen die het oppervlak onder een grotere hoek bereiken, worden gereflecteerd en bereiken vervolgens opnieuw de fosforlaag, waarna weer diffuse reflectie optreedt. Een deel van dit gereflecteerde licht treedt op enige afstand van het punt van oorsprong naar buiten en vormt op deze wijze een *haloring* om het beeldelement. Een deel van het licht reflecteert ten tweede male aan het grensvlak glas-lucht en veroorzaakt na hernieuwde reflectie aan de fosforlaag een tweede haloring, enz. Het is duidelijk dat dit effect met name het detailcontrast ongunstig beïnvloedt.

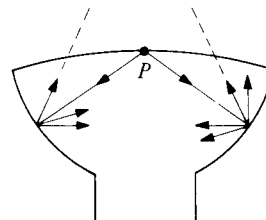


Figuur 14.4. Vorming van haloringen ten gevolge van de eindige dikte van het glasfront van de beeldbuis. P is een door de bundel tot oplichten gebracht beeldelement, ϕ_g is de grenshoek voor het grensvlak tussen glas en lucht (ca. 41°).

Een tweede mogelijke bron van contrastbederf is de kromming van het scherm. Een televisieweergeefbuis is een vacuümvat van aanzienlijke omvang, waarop de luchtdruk een formidabele kracht uitoefent. Om de buis hiertegen bestand te doen zijn, dient de glaswand dik te zijn en een vorm te bezitten die de druk zo gunstig mogelijk verdeelt. Om deze reden maakt men het scherm niet vlak, doch licht gekromd. Aangezien het oplichtende beeldelement naar alle kanten licht uitstraalt, kan een deel van het opgewekte licht verwijderde delen van het scherm bereiken en aldaar via reflectie naar buiten treden (figuur 14.5). Deze oorzaak van contrastbederf wordt voorkomen door het aanbrengen van de aluminiumspiegel waarvan we reeds andere voordelen hebben leren kennen. Deze spiegel voorkomt ook het optreden van een derde oorzaak van contrastbederf: reflectie van door het scherm uitgestraald licht tegen de binnenwand van de buis, gevolgd door uittreden van het licht op grote afstand van het punt van ontstaan (figuur 14.6).



Figuur 14.5. Verstrooiing van het licht ten gevolge van de kromming van het beeldscherm.



Figuur 14.6. Verstrooiing van het licht door reflectie tegen de binnenwand van de beeldbuis.

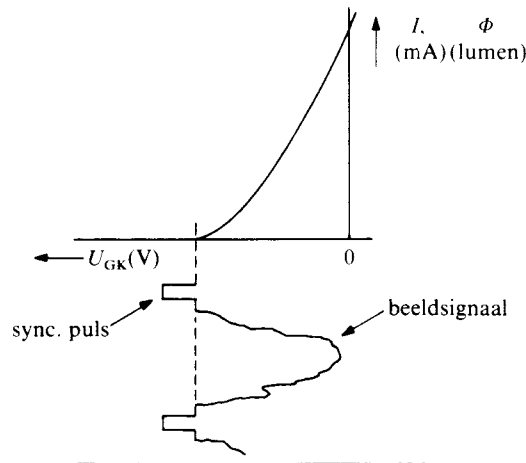
Niet alleen voorkomt de aluminiumlaag contrastbederf door interne reflecties, door haar gunstige reflectie-eigenschappen reflecteert zij zelf het licht dat het fosforelement aan de achterzijde uitstraalt, zodat dit ter plaatse aan de voorzijde naar buiten treedt. Zou de reflectie volledig zijn, dan zou de lichtopbrengst van het scherm verdubbelen! In praktische buizen bereikt men door aanbrengen van deze laag een verbetering van ca. 70% in de lichtopbrengst in voorwaartse richting.

Gaan we tenslotte na wat de invloed is van omgevingslicht op het contrast. Op het beeldscherm vallend omgevingslicht wordt voor een deel door het scherm spiegelen of diffuus gereflecteerd. Spiegelende reflecties zijn bijzonder hinderlijk, om deze reden

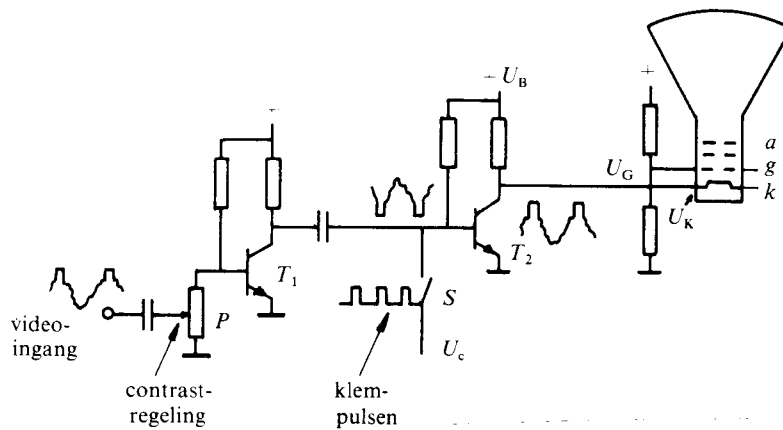
maakt men het buisfront enigszins ruw, zodat het in hoofdzaak diffuus reflecteert. Het meeste op het buisfront invallende omgevingslicht bereikt de fosforlaag en wordt daar diffuus gereflecteerd. Dit licht voegt zich bij het door de fosforexcitatie opgewekte licht. Aangezien het storende licht in het algemeen in gelijke mate wordt toegevoegd aan de heldere en aan de donkere partijen in het beeld, heeft het een zeer ongunstige invloed op het beeldcontrast. Om de invloed van het storende omgevingslicht te verminderen, maakt men het buisfront van neutraal absorberend filterglas. Onder neutraal is in dit verband te verstaan dat de absorptie onafhankelijk is van de golflengte van het licht (zogenaamd 'zwart glas'). Het glas laat ca. 55% van het licht door, bijna de helft wordt dus geabsorbeerd. De beeldhelderheid neemt hierdoor natuurlijk met eenzelfde percentage af. Echter: het storende omgevingslicht passeert het absorberende glas tweemaal, namelijk eerst op weg naar het fosfor en na reflectie daaraan nog eens op de terugweg. Dit levert een belangrijke verbetering van het beeldcontrast op. Helderheid en contrast van moderne televisiebuisen zijn zo gunstig dat zij zelfs in volledig daglicht nog een acceptabel beeld produceren.

14.6. Instelling van beeldbuisen

Voor een goede weergave van het beeldsignaal is vereist dat het zwartniveau van het beeldsignaal overeenkomt met de afknijpspanning van de beeldbuis. Het topwitniveau mag de beeldbuis niet oversturen (roosterstroom en defocussing, zogenaamd 'opblazen', van de bundel). Figuur 14.7 schetst de instelling van de beeldbuis, figuur 14.8 de opzet van de stuurschakeling. Het videosignaal wordt via een potentiometer P toegevoerd aan T_1 . Met behulp van P wordt de grootte van het stuursignaal ingesteld daarmee de mate van uitsturing van de weergeefbuis in topwit. In ontvangers en monitoren voor televisie wordt deze instelmogelijkheid gewoonlijk aangeduid met de naam *contrastinstelling*. Het door T_1 versterkte signaal wordt doorgegeven aan de vermogenstransistor T_2 . Om clamping op het hoge voor de sturing van de beeldbuis benodigde signaalniveau te vermijden, vindt de clampbewerking gewoonlijk plaats op de basis van de stuurtransistor T_2 . In figuur 14.7 is de klemschakeling schematisch aangeduid met de elektronische schakelaar S , die bekrachtigd wordt door in het blankinginterval gesitueerde klempulsen. De beeldbuis wordt in de regel gestuurd op de kathode. Dit heeft het voordeel dat het videosignaal op de basis van T_2 zo gericht is, dat bij afwezigheid van beeldsignaal T_2 slechts weinig stroom voert. Zou het videosignaal in tegengestelde polariteit op T_2 werken, dan zou de dissipatie hierin veel groter zijn, zodat een aanzienlijk zwaardere transistor nodig zou zijn. De juiste ligging van het videosignaal in de karakteristiek van de beeldbuis (figuur 14.7) wordt bij gegeven waarden van de vaste spanningen U_B en U_G (figuur 14.8) bereikt door regeling van het klemniveau U_c . De hierop betrekking hebbende instelling duidt men met een weinig gelukkig gekozen benaming wel aan als *helderheidsinstelling*. Zwartniveau-instelling zou een betere benaming zijn.



Figuur 14.7. Instelling van de beeldbuis.



Figuur 14.8. Opzet van de schakeling voor sturing van de beeldbuis. S stelt een klem-schakeling voor, U_c is het klemniveau.

14.7. Kleurenweergeefbuizen

Zoals we gezien hebben bij de bestudering van de kleurenleer moeten voor de weergave van een kleurenbeeld drie beelden in de primaire kleuren (rood, groen en blauw) op elkaar worden gesuperponeerd. Een voor de hand liggende werkwijze is om drie weergeefbuizen te gebruiken en de drie beelden via een projectiesysteem tezamen op een projectiescherm af te beelden. Deze werkwijze blijkt aanleiding te geven tot aanzienlijke technische problemen. Voor de vorming van beelden met een beelddiagonaal tot ca. 70 cm past men haar niet meer toe. Dit is mogelijk geworden door de ontwikkeling van direct-zicht buizen met steeds grotere afmetingen. Voor zeer

grote beeldformaten is men aangewezen op projectiesystemen. In de volgende paragraaf komen we hier nog op terug.

Een direct-zicht buis bevat slechts één fosforschermbuis. De drie benodigde fosforen zijn hierover volgens een bepaald patroon verdeeld. Uiteraard moet dit patroon zo fijn zijn dat elk beeldpunt afzonderlijk in zijn juiste kleur kan worden weergegeven. In de praktijk treft men uit punten en uit lijnen opgebouwde structuren aan. Er zijn nu principieel twee mogelijkheden om het scherm zodanig te exciteren dat het overgedragen beeld op de juiste wijze wordt weergegeven.

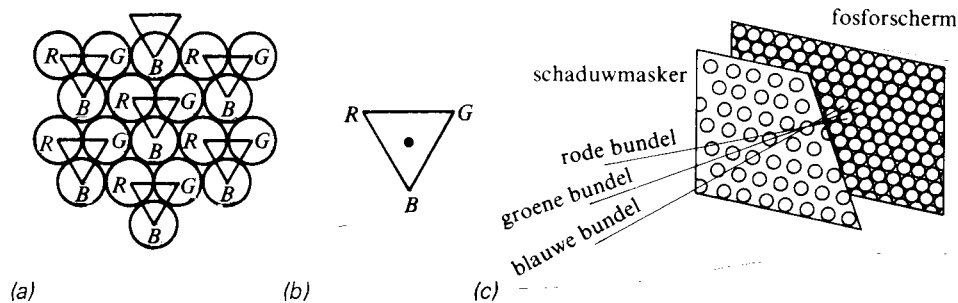
- a. Men brengt drie elektronenkanonnen aan, zodat er ook drie bundels zijn. Men richt de buis zo in, dat elk der bundels slechts één der fosforgroepen treft. De bundels worden gemoduleerd met de drie primaire kleursignalen *R*, *G* en *B*. Het principiële probleem is nu de buis zo te construeren dat elke bundel zijn eigen fosfor treft (kleurzuiverheid) en dat elk beeldelement tegelijkertijd door de drie bundels wordt getroffen (convergentie). Dat het voldoen aan deze beide eisen geen eenvoudige opgave is behoeft geen betoog. Niettemin berust de tegenwoordig vrijwel uitsluitend toegepaste *schaduwmaskerbuis* op dit principe.
- b. Men brengt slechts één elektronenkanon aan; er is slechts één bundel. Al naar de plaats waar de bundel op een bepaald moment het scherm treft, exciteert hij een rood, een groen of een blauw fosforelement. De kunst is nu er voor te zorgen dat op het moment dat een rood fosforelement wordt getroffen, de bundel gemoduleerd wordt met het rode signaal. Evenzo voor groen en blauw. Een dergelijk weergeefstelsel noemt men een sequentieel systeem. In de begintijd van de ontwikkeling van kleurenweergeefsystemen heeft men verscheidene op deze gedachte gebaseerde weergeefbuizen trachten te ontwikkelen. Ondanks de grote voordelen van deze aanpak, die geen convergentieproblemen kent, heeft tot nog toe geen dezer systemen geleid tot grootschalige productie. De enige tot deze categorie behorende weergeefbuis die toepassing gevonden heeft in bijzondere weergeefsystemen is de zogenaamde indexbuis. In dit type buis is het weergeefscherm voorzien van verticale fosforlijnen in de drie grondkleuren. Deze fosforlijnen zijn van elkaar gescheiden door niet oplichtende (zwarte) zogenaamde 'guard-stripes'. Om de bundelintensiteit op de juiste momenten te sturen met de kleursignalen die behoren bij de getroffen fosforen is een indicatie nodig met betrekking tot de positie van de bundel. Om deze te verkrijgen is de bundelzijde van het scherm voorzien van zogenaamde indexlijnen, die bestaan uit een ultraviolet oplichtend fosfor. De positie van de indexlijnen is op bekende wijze gerelateerd aan de positie van de kleurlijnen. Het ultraviolette licht wordt gedetecteerd met behulp van een fotocel. Het verkregen indexsignaal wordt gebruikt om de gewenste sturing van de bundel met de primaire kleursignalen tot stand te brengen. Het principe van de indexbuis is eenvoudig, maar de uitwerking er van stelt de ontwerper voor aanzienlijke problemen. Met

name blijkt het moeilijk te voldoen aan de elektronenoptische eisen. De focussing van de bundel moet tot in de uiterste hoeken van het scherm perfect zijn; de bundel mag immers steeds slechts één fosforlijn treffen.

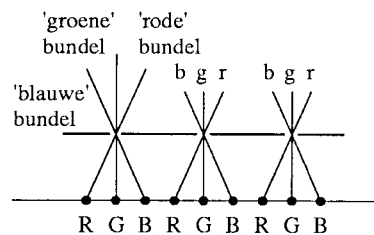
Het indexprincipe heeft tot nog toe alleen praktische toepassing gevonden in kleine kleurenweergeefbuizen (Ref. 14.5 en 14.6) alsmede in een weergeefbuis voor een projectiesysteem (Ref. 14.7). In dit laatste geval is het natuurlijk een enorm voordeel dat er slechts één buis nodig is. Uitgebreide beschouwingen over het indexprincipe en de wijze waarop met behulp van het indexsignaal de correcte sturing van de bundel kan worden gerealiseerd zijn te vinden in Ref. 14.8. Afgezien van deze kleurenweergeefbuizen voor bijzondere toepassingen zijn alle thans gebruikte weergeefbuizen van het schaduwmaskeprincipe. We zullen ons verder beperken tot dit type weergeefbuis.

Een schaduwmaskerbuis bevat drie dicht bij elkaar gelegen elektronbundels die tezamen afgebogen worden. In de buis bevindt zich vóór het beeldscherm op korte afstand daarvan (ca. 15 mm) een uit dun (ca. 0,2 mm dikte) metaalplaat vervaardigd masker dat evenveel gaatjes bevat als het scherm combinaties van rode, groene en blauwe fosfordotjes. Met elk gaatje correspondeert dus één 'fosfortriplet'. In de oudere uitvoeringsvormen van de buis zijn de kleurpunten gerangschikt in een driehoekconfiguratie (figuur 14.9). Het voordeel van deze wijze van arrangeren is dat er geen horizontale of verticale lijnen ontstaan die in één kleur oplichten en daardoor een aanleiding geven tot een zichtbare lijnenstructuur in het beeld. Het bezwaar van deze opstelling is dat het realiseren van kleurzuiverheid en convergentie veel extra hulpmiddelen vereist. Deze hulpmiddelen bestaan uit instelorganen in de vorm van enigszins verplaatsbare elektromagneten en de bekrachtigingscircuits hiervoor, alsmede de opwekking van veelal vrij ingewikkelde aan de lijn- en rasterafbuiging gerelateerde signaalvormen. Ook worden wel verplaatsbare en verdraaibare kleine permanente magneten toegevoegd. Met deze hulpmiddelen kunnen lokale statische en tijdsafhankelijke velden worden opgewekt die de loop van de elektronbundels beïnvloeden. Niet alleen vragen deze voorzieningen veel extra componenten, de afregeling vraagt bovendien veel tijd en vakmanschap, terwijl voor optimale werking de afregeling van tijd tot tijd moet worden bijgesteld. Deze bezwaren hebben geleid tot de ontwikkeling van zogenaamde 'in-line' buizen, waarbij de bundels zich op een horizontale lijn naast elkaar bevinden. Deze wijze van opstellen vindt thans algemene toepassing. Men neemt het bezwaar dat de fosforstippen van elke kleur zich op verticale lijnen bevinden dan voor lief. In beide uitvoeringsvormen worden de bundels zo op het masker gericht dat ze elkaar juist snijden op de plaats van de maskergaatjes. Ze treffen daardoor het scherm onder zodanige hoeken dat de elektronen van de 'rode bundel' alleen rode fosforstippen treffen, die van de 'groene bundel' alleen groene stippen en die van de 'blauwe bundel' alleen blauwe stippen (figuur 14.9c en figuur

14.10). Omdat elk der bundels continu aanwezig is, doch slechts een derde deel van het schermoppervlak mag treffen, wordt ten minste tweederde van de bundelenergie in het schaduwmasker gedissipeerd. Dit leidt tot temperatuurverhoging van het masker. En omdat de positionering van het masker ten opzichte van het fosforscherf aan zeer hoge nauwkeurigheidseisen moet voldoen, mag het scherm niet uitzetten. Het



Figuur 14.9. a. Opbouw van het fosforscherf bij de zogenaamde 'deltabuis'. (b) Een kleurentriplet. Het centrum van het triplet bevindt zich juist achter een gaatje in het schaduwmasker. (c) Principe van het schaduwmasker.



Figuur 14.10. In-line opstelling van de bundels en tripletten.

dient daarom vervaardigd te worden van een materiaal met een zeer geringe thermische uitzettingscoëfficiënt. Een andere methode om problemen ten gevolge van het opwarmen van het masker te voorkomen is om dit zo in de buis te bevestigen dat het zich bij expansie enigermate verplaatst. Men kan de constructie zo uitkienen dat deze verplaatsing de geometrische verhoudingen zodanig beïnvloedt, dat de convergentie gehandhaafd blijft.

Als men bedenkt dat het masker een aantal gaatjes moet bevatten dat overeenkomt met het aantal weer te geven beeldpunten, dat is ca. 450 000 bij de in de omroep televisie gebruikelijke resolutie, zal het duidelijk zijn dat de schaduwmaskerbuis een uiterst complexe elektronische component is die alleen gemaakt kan worden in een zeer zorgvuldig beheerst fabricageproces. In buizen voor toepassingen waarbij een hogere resolutie vereist is, bijvoorbeeld voor hoogwaardige beeldstations in computersystemen, is het aantal gaatjes in het masker nog aanzienlijk groter. Het masker zorgt er voor dat de bundels alleen het weergeefscherm kunnen bereiken als ze in staat zijn

de hun toebedeelde fosforen te treffen, waarbij de overige delen van het scherm worden afgeschaduwd: vandaar de benaming 'schaduwmasker'.

Een groot bezwaar van het schaduwmasker als kleurselecterend element is dat van elke bundel ten hoogste 33% van de elektronen het scherm bereikt. De afbuiging is immers continu. Zonder de aanwezigheid van het masker zou elke bundel het hele scherm aftasten, terwijl slechts ten hoogste een derde deel van het masker bedekt is met de bij de betreffende bundel behorende kleurfosfor. In werkelijkheid is het verlies groter, daar er tussen de fosforstippen een zekere niet met fosforen bedekte ruimte aanwezig moet zijn om te voorkomen dat kleine afwijkingen in de exacte bundelrichting kleuronzuiverheid zouden veroorzaken. De niet met fosfor bedekte delen van het scherm worden zwart gemaakt, hetgeen gunstig is voor het contrast in het weergegeven beeld. Praktisch heeft dit alles tot gevolg dat niet meer dan ca. 20% van de bundelelektronen bijdraagt tot de fosforexcitatie. Om niettemin voldoende helderheid te verkrijgen moet de bundelenergie hoog zijn. Men gebruikt daarom een versnellingspanning van ca. 25 kV, terwijl men bovendien de bundelstroom per bundel relatief hoog kiest, in de orde van gemiddeld 0,5 mA per bundel. Het masker dissipeert dus meer dan 30 W, hetgeen de reeds vermelde temperatuurverhoging verklaart.

Vanwege het zeer specialistische karakter van het onderwerp laten we hier de technische uitvoering van de voorzieningen ten behoeve van de focussing en de convergentie der bundels en die ten behoeve van de kleurzuiverheid, buiten beschouwing. Een beschrijving van een moderne schaduwmaskerbuis is te vinden in Ref. 14.9.

14.8. Weergeefsystemen voor grote beeldformaten

Zoals reeds werd aangegeven is de huidige fabricagetechniek in staat direct-zicht kleurenbuizen in massa te produceren tot een diagonaalgrootte van ca. 70 cm. Men is ook wel in staat nog grotere beeldbuizen te vervaardigen. Een direct-zicht buis met een beelddiagonaal van 1 meter is echter een zeer volumineuze component met een gewicht van meer dan 100 kg. Tot nog toe bestond de behoefte aan zeer grote formaten alleen in typisch professionele toepassingen. Hiervoor heeft men vanouds projectiesystemen gebruikt. Voor de in aanmerking komende bijzondere gebruikssituaties was een aanzienlijke kostprijs geen groot bezwaar. Met de komst van televisie met hoge definitie ontstaat de behoefte aan zeer grote weergeefsystemen voor gebruik in de consumentenelektronica. Dit heeft aanleiding gegeven tot een hernieuwde activiteit in de ontwikkeling van projectiesystemen. Zulke systemen bestaan uit een opstelling met drie kleine weergeefbuizen die oplichten in de primaire kleuren. Via een vergrotend optisch stelsel worden de drie beelden overgedragen op een projectiescherm. Het zal duidelijk zijn dat de drie (kleine) primaire beelden zeer lichtsterk moeten zijn. Als

gevolg van de vergroting neemt de lichtsterkte van het geprojecteerde beeld af, maar bovendien treedt er aanzienlijk lichtverlies op in het optische stelsel. Een ander probleem is dat het optische stelsel moet worden gevrijwaard tegen het aantrekken van stof, daar hierdoor veel lichtverlies en contrastverlies kan optreden. Men bedrijft de projectiebuizen met hoge versnellingsspanningen. Zeer hoge spanningen geven echter grote problemen met betrekking tot doorslag en röntgenstraling. Praktisch gaat men tegenwoordig niet veel verder dan 30 kV. Ook de stroomsterkte van de bundels kan men niet willekeurig opvoeren, daar een grote stroomsterkte zich niet laat verenigen met de zeer hoge eisen die men moet stellen aan de focussing van de bundel. Tenslotte moet men fosforen ontwikkelen die bij de zeer hoge optredende fosforbelasting geen verzadigingsverschijnselen vertonen. De gebruikelijke fosforen zijn ongeschikt voor toepassing in buizen voor zeer hoge lichtsterkte. Enkele recente artikelen over ontwikkelingen op het gebied van projectiesystemen en de daarvoor benodigde componenten zijn Ref. 14.10, 14.11 en 14.12.

Uit het voorgaande blijkt wel dat de mogelijkheden om beelden met grote afmetingen en een grote lichtsterkte te verkrijgen met behulp van projectiesystemen met zelfoplichtende kathodestraalbuizen, beperkt zijn. De voornaamste oorzaak hiervan is dat alle lichtenergie moet worden geleverd door de elektronenbundels. Wil men naar nog grotere afmetingen en een grotere lichtsterkte, dan schiet de conventionele projectie-opstelling te kort. Men dient dan zijn toevlucht te nemen tot systemen waarbij het licht wordt opgewekt door een sterke uitwendige lichtbron (bijvoorbeeld een xenonlamp). Het beeldsignaal dient dan gebruikt te worden om het licht van deze bron zo te verdelen, dat het gewenste beeld ontstaat. Men vormt hiertoe met behulp van het beeldsignaal een oppervlak waarvan de lichtreflecterende eigenschappen van plaats tot plaats overeenkomen met de door het beeldsignaal overgedragen beeldinformatie. De bekendste realisering van dit principe is de zogenaamde eidophorprojector. De in deze projector gebruikte elektronenstraalbuis bevat een trefplaat, die niet oplicht onder invloed van het elektronenbombardement, doch die daardoor *mechanisch gedeformeerd* wordt. De elektronenstraal schrijft als het ware een miniatuur berglandschap op de trefplaat. Wordt deze nu belicht door de lichtbron dan wordt het licht van plaats tot plaats verschillend gereflecteerd. Een ingenieus optisch systeem (zogenaamde *Schlieren-optiek*) maakt het mogelijk het door de trefplaat gereflecteerde licht op de gewenste wijze een uitwendig opgesteld beeldscherm van grote afmetingen te doen verlichten.

De trefplaat dient blijkens het voorgaande te bestaan uit een onder invloed van de elektronenstraal plastisch deformeerbare stof. In de eidophorprojector bestaat de trefplaat uit een metalen plaat, waarover een ca. 0,1 mm dikke laag van een speciale oliesoort is uitgestreken. De beoogde deformatie komt tot stand door de elektro-statische krachten die op de olielaag werken, wanneer elektronen worden ingevangen.

De olielaag wordt voortdurend ververs. Daartoe draait de holle metalen dragerplaat langzaam rond, terwijl een speciale inrichting voortdurend nieuwe olie aanvoert. Uit de gegeven summiere beschrijving blijkt wel dat de eidophorprojector een zeer gecompliceerd instrument is. Niet alleen wordt een grote beeldhelderheid verkregen, ook het contrast kan zeer goed zijn, in de orde van 1:100. Voor details ten aanzien van de uitwerking van het principe moge verwezen worden naar de literatuur (onder andere Ref. 14.4. 14.13 en 14.14).

14.9. Nieuwe ontwikkelingen: toekomstperspectief

Weergeefsystemen vormen zonder twijfel het grootste probleemgebied van de elektronische beeldtechniek. De beschikbare weergeefsystemen met kathodestraalbuizen zijn in staat tot het reproduceren van beelden met een hoge beeldkwaliteit. Maar aan dit type weergeefsystemen kleven vele bezwaren van praktische aard: ze zijn volumineus en zwaar, ze vergen de opwekking van hoge spanningen en vooral kleurenbuizen vereisen vele extra voorzieningen om ze goed te laten functioneren. Zowel voor de weergave van TV-beelden als voor beeldstations in informatieverwerkende systemen zou een vlak en licht weergeefstelsel met een gering energieverbruik zeer welkom zijn. Met name voor verplaatsbare of draagbare apparatuur is deze behoefte evident. Als de voeding uit batterijen moet plaatsvinden is ook het energieverbruik van groot belang. Een kathodestraalbuis is een vrij efficiënte omzetter van elektrische energie in licht. Echter, het is een actieve lichtbron: het uitgestraalde licht moet in het systeem worden opgewekt. Voor toepassingen waarbij het energieverbruik zo gering mogelijk moet zijn zou men moeten beschikken over een stuurbare reflector voor opvallend licht, bijvoorbeeld het in de ruimte waarin het beeld wordt waargenomen beschikbare daglicht of kunstlicht. Het enige op dit principe berustende weergeefstelsel dat beelden van TV-kwaliteit kan leveren is het eidophorsysteem, dat overigens over een eigen zeer heldere lichtbron moet beschikken. Het mag als uitgesloten worden beschouwd dat op basis van het eidophorprincipe ooit compacte, goed hanteerbare, weergeefsystemen zullen worden ontwikkeld.

Betere kansen maken weergeefsystemen op basis van vloeibare kristallen. Men spreekt van LCD-schermen (liquid crystal displays). Met de benaming vloeibare kristallen wordt een groep van stoffen aangeduid waarvan de optische eigenschappen beïnvloed kunnen worden met behulp van een elektrisch veld. Het gaat daarbij om organische kristallen die zijn opgebouwd uit lange moleculen die bij hun smeltpunt een fase-overgang vertonen naar een anisotrope vloeistooftoestand. Met anisotroop wordt bedoeld dat de eigenschappen van de vloeistof niet in alle richtingen dezelfde zijn. Hoewel de nauwkeurig periodieke structuur van de kristallijne vaste-stoffase is verbroken, vertonen de moleculen nog altijd een voorkeursrichting, die mede bepalend is voor de optische eigenschappen. De voorkeursrichting hangt af van het elektrische veld waarin de moleculen zich bevinden. Brengt men nu een laagje vloeibaar kristal

aan tussen twee glazen platen, die voorzien zijn van transparante geleidende lagen, dan beschikt men daarmee over een element waarvan de optische eigenschappen bestuurd kunnen worden met behulp van een elektrische spanning. Er bestaan vele verschillende typen vloeibare kristallen met verschillende eigenschappen, onder andere ten aanzien van de temperatuurafhankelijkheid en de snelheid waarmee de kristaloriëntatie zich kan wijzigen. Bepaalde typen zijn goede kandidaten voor toepassing in LCD's voor televisietoepassingen.

In een TV-display moet elk beeldelement afzonderlijk worden aangestuurd. Hiertoe brengt men op de achterzijde van het display een schakelmatrix aan, die veelal is uitgerust met dunne-laag transistoren (TFT's). Hiermee kan het voor de beïnvloeding van de optische eigenschappen benodigde elektrische veld per gebiedje ter grootte van een beeldelement bestuurd worden.

Het LCD-principe heeft, in vergelijking met de KSB, twee grote voordelen. Ten eerste leidt het van nature tot de constructie van een vlak en zeer plat weergeefstelsel. Ten tweede is het een passief systeem. De lichtenergie wordt ontleend aan een uitwendige ongestuurde lichtbron. Bij monochrome weergeefsystemen is het in principe mogelijk gebruik te maken van gereflecteerd daglicht, hoewel de bereikbare contrastomvang dan wel zeer gering is. Deze wijze van bedrijven vindt reeds ruime toepassing in alfanumerieke displays, zoals die in horloges en eenvoudige computer-beeldschermen gebruikt worden. Om kleurweergave mogelijk te maken worden de schermen voorzien van een patroon van kleurfilters. Een zich achter het scherm bevindende vlakke lichtbron zorgt voor de belichting. De gelijkmatigheid van deze belichting moet voldoen aan zeer hoge eisen.

Er wordt zeer veel onderzoek verricht naar technieken voor de vervaardiging van LCD's voor TV-toepassingen. De tot nog toe bereikte resultaten zijn bemoedigend en wettigen verder onderzoek. Commercieel bruikbare uitvoeringen beperken zich tot nog toe tot weergeefsystemen met kleine afmetingen ('zak-TV'). De vervaardiging van grote schermen met aanvaardbare kwaliteit heeft men nog lang niet onder de knie. Er is nog altijd een grote kloof tussen wat technisch mogelijk is en wat er gewenst wordt. Eén van de mogelijkheden die in studie zijn is de vervaardiging van kleine LCD's met zeer hoge resolutie, ten gebruike in een projectiesysteem, waarbij de LCD als een 'stuurbare dia' wordt gebruikt. Enkele recente artikelen over de LCD-techniek zijn Ref. 14.15 en 14.16.

Een geheel andere aanpak om tot vervaardiging van platte weergeefsystemen te komen baseert zich op handhaving van het KSB-principe. Men tracht daartoe het bundelvormende systeem te plaatsen in een vlak evenwijdig aan het weergeefscherm

en op korte afstand daarvan. De bundel beweegt zich langs het scherm tot het punt bereikt is waar het scherm moet oplichten. Op deze plaats dient de bundel dan scherp te worden afgebogen om zich op het scherm te richten. De eerste experimenten met zulke systemen dateren uit de vijftiger jaren en hieruit blijkt wel dat de gestelde opgave allerm minst eenvoudig is. Voor heel kleine schermen, waar geen hoge resolutie vereist is, beschikt men thans over bruikbare weergeefsystemen in deze categorie. Ref. 14.17 en 14.18 beschrijven zulke weergeefsystemen voor gebruik in 'zak-TV-ontvangers'.

In het recente verleden is eveneens veel onderzoek verricht naar de mogelijkheden om weergeefsystemen te vervaardigen op basis van LED's (light emitting diodes) en op basis van gasontladingen. Laatstgenoemd type display vindt soms wel toepassing in weergeefsystemen voor computers. Voor TV toepassingen lijken de kansen van LED-weergeevers en plasmaweergeevers thans gering. Met zekerheid valt overigens niets te voorspellen; nieuwe ontdekkingen kunnen soms plotseling de levensvatbaarheid van potentiële systemen veranderen.

Het onderzoek naar alternatieve weergeefsystemen is al meer dan twintig jaar een miljardenzaak. Het blijkt echter zeer moeilijk de kathodestraalbuis uit zijn vooraanstaande positie te verdringen. Reeds in de jaren zestig durfde men voorspellen dat de dagen van de KSB spoedig geteld zouden zijn. Dit is één van de weinige sectoren van de elektronica, waarin voorspellingen steeds te optimistisch bleken. Toch moet men wel aannemen dat eens een alternatieve techniek tot rijpheid zal komen: de bezwaren die aan de conventionele KSB-techniek kleven zijn te groot om ze blijvend te aanvaarden.

Literatuurverwijzingen

- Ref. 14.1 J. Davidse, *Grondslagen van de elektronica I*, Het Spectrum. 1979; Delta-Press 1986.
- Ref. 14.2 S. Sherr, *Fundamentals of display systems*, Wiley, 1970.
- Ref. 14.3 D. Bosman (editor), *Display Engineering*, North-Holland, Amsterdam, 1989.
- Ref. 14.4 S. Middelhoek, *Displays, printers en externe geheugens*, College-handleiding, Fac. ET, Technische Universiteit Delft, 1990.
- Ref. 14.5 M. Yameno, e.a., *A color flat cathode ray tube*, IEEE Trans. CE-31, 3, pp. 163-173, (Aug. 1985).
- Ref. 14.6 Y. Shimada, e.a., *A beam-index TV receiver for consumer application*, IEEE Trans. on Consumer Electronics, CE-35, 3, pp. 334-342 (Aug. 1989).
- Ref. 14.7 T. Tohyama, e.a., *A new 5,3 V high-brightness beam index display*, IEEE Trans. CE-31, 3, pp. 174-183 (Aug. 1985).

- Ref. 14.8 J. Davidse, *Elektronische Beeldtechniek*, Het Spectrum, 1973. (Hoofdstuk 14).
- Ref. 14.9 P.G.J. Barten and J. Kaashoek, *30 AX self-aligning 110° inline colour TV display*, *Electronic components and applications*, 1,2, pp. 103-108, (Febr. 1979).
- Ref. 14.10 L. Vriens, J.A. Clarke en J.H.M. Spruit, *Interferentiefilters in buizen voor projectietelevisie*, *Philips Technisch Tijdschrift*, 44, 7, pp. 213-223 (Febr. 1989).
- Ref. 14.11 R. Raue, A.T. Vink en T. Welker, *Fosforscheren in kathodestraalbuizen voor projeetielevisie*, *Philips Technisch Tijdschrift*, 44, 11/12, pp. 358-372 (Dec. 1989).
- Ref. 14.12 T.G. Spanjer, A.A. van Gorkum en W.M. van Alphen, *Elektronenkanonnen voor projectielevisie*, *Philips Technisch Tijdschrift*, 44, 11/12, pp. 373-382 (Dec. 1989).
- Ref. 14.13 F. Kerkhof en W. Werner, *Televisie*, Centrex 1963 (hoofdstuk 5).
- Ref. 14.14 D.G. Fink, *Television Engineering Handbook*, McGraw Hill 1957, (hoofdstuk 3).
- Ref. 14.15 W.J.A.M. Hartmann, *Ferroelectric Liquid-Crystal Video Display*, *IEEE Trans. on Electron Devices*, 36, 9, pp. 1895-1899 (Sept. 1989).
- Ref. 14.16 G. Stix, *Manufacturing hurdles challenge large-LCD developers*, *IEEE Spectrum*, Sept. 1989, pp. 36-40.
- Ref. 14.17 C. Cohen, *Sony's pocket TV slims down CRT technology*, *Electronics*, 55, 3, pp. 81-82 (Febr. 1982).
- Ref. 14.18 A. Ohkoshi, e.a., *A compact flat cathode ray tube*, *IEEE Trans. CE-28*, 3, pp. 431-436. (Aug. 1982).