

# Kleurenbeeldbuizen voor hogere sferen\*

## Prototypen voor de cockpit: nieuw leven voor index-buis?

J.C. Meijer

*In toenemende mate vinden beeldschermen toepassing als weergeefstelsysteem in de cockpit van vliegtuigen. Voor de eigenlijke beeldbuis van deze systemen gelden zeer stringente eisen. Niet alleen voor wat betreft de mechanische eigenschappen (afmetingen, gewicht en robuustheid) maar zeker ook ten aanzien van ergonomie-aspecten als helderheid en contrast. Tot voor kort konden alleen monochrome beeldbuizen hieraan voldoen. Inmiddels zijn echter sommige verkeersvliegtuigen al met een kleurenmonitor uitgerust. In de laboratoria van AEG werkt men aan de ontwikkeling van kleurenbeeldbuizen met een hoge resolutie, die ook geschikt zijn voor monitoren in helicopters en militaire straalvliegtuigen. Dit werk resulteerde in een tweetal laboratorium-prototypen, te weten een compacte ultraheldere schaduwmaskerbuis en een zogenaamde index-beeldbuis. Praktische realiseerbaarheid van de relatief eenvoudige indexbuis bleek in het verleden onmogelijk in verband met de vereiste zeer kritische besturingselektronica. We zullen in dit artikel kort ingaan op verschillende criteria die bij het realiseren van beide prototypen een rol spelen.*

Van de veelheid van eisen aan weergeefsystemen voor de genoemde toepassingen, zijn er drie die een groot beroep doen op de vindingrijkheid van de ontwikkelaars:

- de hoge bestendigheid tegen schokken en trillingen,
- het zeer grote operationele temperatuurgebied,
- het zeer felle omgevingslicht bij vliegen in daglicht op grote hoogte.

Tabel 1 maakt duidelijk hoezeer deze eisen verschillen van die voor een beeldbuis die is ingebouwd in bijvoorbeeld een werkstation voor normale kantoortoepassingen. Bijzonder opvallend is het verschil in omgevings-verlichtingssterkte tussen dag en nacht. Toch moet de leesbaarheid van het beeldscherm onder beide omstandigheden aan hoge criteria voldoen. Voorts zien we in deze tabel dat aanzienlijk hogere eisen gelden ten aanzien van de afscherming van elektromagnetische storingstraling.

In navolging van het kleurentelevisietoestel in de huiskamer, zijn ook professio-

nele kleurenmonitoren nagenoeg uitsluitend uitgerust met een schaduwmaskerbeeldbuis. Nu is in de loop der jaren een ruime kennis en ervaring verworven met de productie van conventionele kleurenbeeldbuizen. Ook is inmiddels ervaring beschikbaar met het vervaardigen van monochrome beeldbuizen voor de luchtvaart. Het lijkt daarom voor de hand liggend om het schaduwmasker-principe ook toe te passen voor vliegtuigmonitoren. Bundeling van de op beide gebieden opgedane kennis en ervaring zou immers de ontwikkeling van geschikte beeldbuizen aanzienlijk kunnen versnellen. Daarom kozen de ontwikkelaars bij AEG voor deze aanpak. Desondanks moest men een aantal specifieke moeilijkheden oplossen. Voor een goed begrip daarvan, geven we eerst een kort resumé van de werking van de schaduwmaskerbuis.

### Schaduwmaskerbuisen

Een wezenlijk onderscheid tussen kleurenbeeldbuizen en monochrome beeldbuizen is de samenstelling van de luminescerende laag aan de binnenzijde van het beeld-

	kantoor	cockpit
<i>verlichtingssterkte omgeving</i>	200 . 500 Lx	100 000 Lx ( 's nachts: 1 Lx)
<i>temperatuur</i>	+ 10 ... +40 °C	- 55 + 85 °C
<i>trillingsbestendigheid</i>	tot 150 Hz	tot 2000 Hz
<i>schokbestendigheid</i>	tot 10 g	tot 40 g
<i>elektromagnetische compatibiliteit</i>	volgens VDE-normen	volgens MIL

Tabel 1

Vergelijking van enkele eisen en omgevingscriteria geldend voor beeldschermen in een kantooromgeving en in vliegtuigen

scherm. Bij monochrome buizen is deze laag een homogene substantie. Om de primaire kleuren rood, groen en blauw te kunnen weergeven, bestaat de scherm laag bij een kleurenbeeldbuis daarentegen uit drie soorten zogenaamde luminoforen (ook wel "fosforen" genoemd) die in een bepaalde configuratie zijn aangebracht. Onder invloed van een elektronenbundel lichten deze per soort op in één van de drie primaire kleuren.

In de hals van de beeldbuis bevinden zich drie elektronenkanonnen, één voor elke primaire kleur, zie fig. 1a. Lange tijd is voor de plaatsing van de kanonnen de zogeheeten delta-opstelling gekozen. Sinds het begin van de jaren zeventig kwamen de in-lijn-beeldbuizen tot ontwikkeling. Zoals de benaming aangeeft, zijn de kanonnen hier niet in driehoekvorm maar naast elkaar opgesteld, zie fig. 1b. Behoudens enkele speciale toepassingen (waaronder in hogeresolutie-monitoren voor CAD-systemen) heeft de in-lijn-buis de detailbuis inmiddels geheel verdrongen.

Om te voorkomen dat alle elektronenbundels luminoforen van een willekeurige pri-

maire kleur kunnen exciteren, is op zeer korte afstand van het beeldscherm het schaduwmasker opgesteld. Dit masker is een dunne metalen plaat waarin een zeer groot aantal kleine gaatjes is geëtst, die in het geval van de deltabuis rond zijn. Achter elk maskergat liggen steeds drie ronde luminoforen ("kleurenpuntes") in een onderscheiden primaire kleur. Tezamen vormt zo'n bijelkaar behorend trio een "triplet".

Vanuit elk kanon beschouwd, geeft elk maskergaatje "uitzicht" op één bepaalde luminofoor. Zodoende kan het blauwkanon alleen de blauw-luminoforen activeren, enzovoort. Het schaduwmasker is hier dus verantwoordelijk voor een goede kleurscheiding. Aan de convergentie-eis, dat wil zeggen het over het gehele beeldscherm samenvallen van de drie deelbeelden, wordt alleen voldaan indien de drie bundels elkaar in alle afgebogen posities steeds snijden in het vlak van het schaduwmasker. Deltabuizen vereisen daartoe kostbare en ingewikkelde correctieschakelingen.

Ook bij in-lijn-buizen kan de configuratie

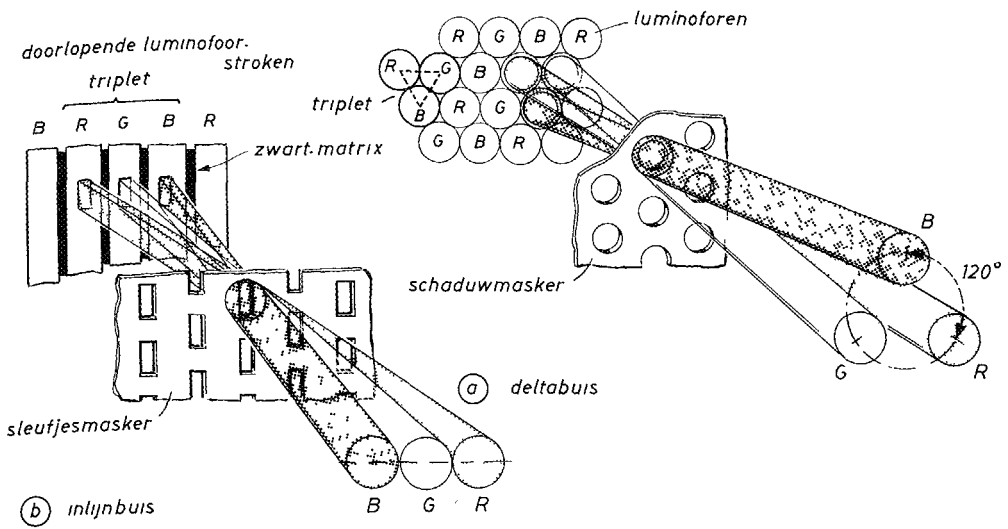


Fig 1

Principe van de schaduwmaskerbuis volgens het vroeger gebruikelijke delta-concept (a) en het gangbare sleufjesmasker-concept met in-lijn-opstelling van de elektronenkanonnen (b)

van de luminoforen zijn uitgevoerd als ronde puntjes. Bij veel buistypen is echter gekozen voor een groot aantal doorlopende verticale kleurstroken. Het schaduwmasker heeft dan geen ronde gaatjes, maar verticaal gerichte sleufvormige openingen ("sleufjesmasker") zoals in fig. 1b. Ter verbetering van het contrast is elke luminofoor omgeven door een zwartmatrix op basis van een grafiet-suspensie. In beide gevallen is het grote voordeel van de in-lijn-opstelling de mogelijkheid om de combinatie van beeldbuis en afbuiging als zelfconvergerend systeem te dimensioneren.

### Cockpit-prototype

Voor AEG's prototype van de schaduwmaskerbuis voor inbouw in cockpit-monitors werd gekozen voor een combinatie van in-lijn-opstelling van de elektronenkanonnen en een masker met ronde gaatjes, zie fig. 2. Een eerste probleem dat zich hier voordoet, is het voor deze toepassing gebruikelijke kleine beeldschermform-

maat van 127 x 127 mm. Om de vereiste beeldresolutie te bereiken, moet zo'n beeldscherm in totaal circa 1,4 miljoen kleurpunten bevatten. Dit stelt zeer hoge eisen aan de fabricage van masker en luminofoerlaag. Zo hebben de luminoforen een diameter van 85µm. Tussen de maskergaatjes bedraagt de hartafstand 0,2 mm; de diameter van de gaatjes is 100 µm.

Bij een dergelijke fijne structuur is de eerder genoemde zwartmatrix-techniek niet langer toepasbaar. Kleine rafelingen van de randen van de luminoforen en de niet denkbeeldige verontreiniging daarvan door kleine grafietdeeltjes, zouden onaanvaardbare afbreuk doen aan de vereiste uniforme beeldkwaliteit. Voor het vervaardigen van het beeldscherm werd daarom een dunnefilm-procedé ontwikkeld, dat in grove lijnen de volgende stappen omvat. Eerst wordt in een vacuüm de zwarte laag opgedampt. Vervolgens wordt hierin door foto-

etsen de puntenstructuur aangebracht. In de aldus in de zwarte laag geëtsde gaatjes brengt men daarna met behulp van een fotochemisch proces de drie typen luminoforen aan

### Samenstelling van de luminoforen

Gezien de vereiste hoge scherm-luminantie, moet men voor de luminoforen stoffen kiezen met een hoog omzettingsrendement. Bovendien moeten deze stoffen tot een zeer grote stroomdichtheid een lineaire elektro-optische omzetting geven. Bepaalde samenstellingen van verscheidene al bekende verbindingen met zeldzame aarden blijken voor het "rode" en "groene" aspect van dit probleem een bruikbare oplossing. Voor rood kan men bijvoorbeeld met europium geactiveerde yttriumverbindingen toepassen. Met terbium geactiveerde gadoliniumverbindingen zijn geschikt voor groene luminoforen. Daarentegen is met zilver gedoteerd zinksulfide tot op heden de beste samenstelling voor blauwe luminoforen gebleken. In de juiste mengver-

houdingen converteren de twee eerstgenoemde samenstellingen de energie van het elektronenbombardement in zichtbaar licht in enkele zeer smalle spectrale gebieden. Deze eigenschap is van belang omdat de inwendige zwartmatrix onvoldoende is om het vereiste contrast te bereiken. Daar het beeldscherm groen en rood nagenoeg als een lijnenspectrum uitstraalt, is het namelijk mogelijk het scherm te voorzien van een effectief meerbandig optisch filter.

### Contrastfilters

In fig. 3a is het door de drie soorten luminoforen opgewekte spectrum weergegeven, in combinatie met de transmissie-karakteristiek van het optisch filter. Fig. 3b toont het resulterende emissiespectrum van het beeldscherm. Bij de momenteel toegepaste filters bedraagt de doorlaatbaarheid voor de primaire kleuren respectievelijk circa 24% voor rood en groen en circa 17% voor blauw. Voor invallend buitenlicht is de doorlaatbaarheid echter slechts ongeveer 10%. Daar de gedeeltelijk zwarte inwendi-

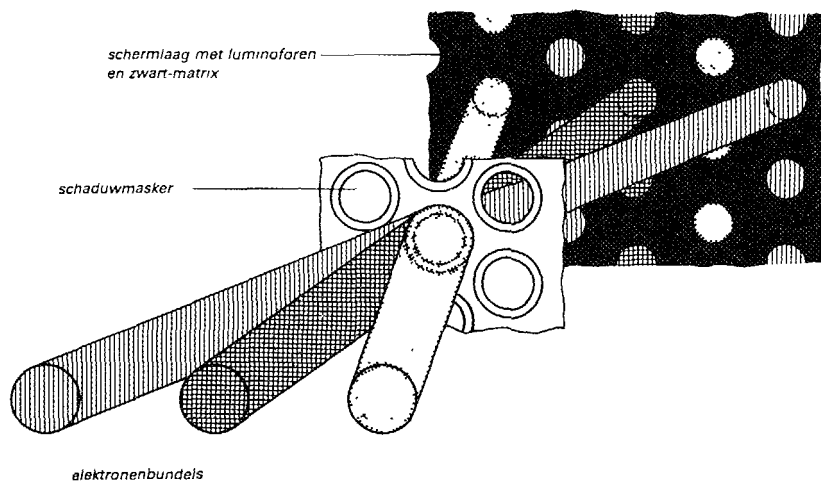


Fig 2

Combinatie van schermklaag met ronde luminoforen en schaduwmasker met ronde gaatjes voor een in-lijn-beeldbuis zoals ook toegepast in AEG's prototype van de schaduwmaskerbuis voor inbouw in cockpit-monitoren

	<b>kantoor</b>	<b>cockpit</b>
<i>verlichtingssterkte omgeving</i>	300 Lx	100.000 Lx
<i>remissiefactor</i>	0,25	0,003
<i>nominale contrastverhouding</i>	7 : 1	4 : 1
<i>vereiste scherm luminantie</i>	150 cd/m <sup>2</sup>	300 cd/m <sup>2</sup>
<i>filterverliezen</i>	—	75%
<i>op te wekken luminantie</i>	150 cd/m <sup>2</sup>	1200 cd/m <sup>2</sup>

Tabel 2 Helderheids- en contrastparameters geldend voor beeldbuisen toegepast in monitoren voor een kantoor-omgeving en in monitoren in een vliegtuig-cockpit

ge schermbekleding dit licht onvolledig reflecteert en het licht bovendien twee maal het filter passeert, wordt een effectieve onderdrukking bereikt (beter dan 3 promille)

Om ook reflecties aan het oppervlak van het frontglas sterk te reduceren, zijn op de buitenzijde van het scherm verscheidene antireflectie laagjes opgedampt. Verdere contrastverbetering is mogelijk door het inbouwen van een jaloeziefilter. Daarmee krijgt het door de beeldbuis gegenereerde licht een voorkeursrichting, die in de cockpit volgt uit de relatieve positie van piloot en beeldscherm. Voor het te onderdrukken omgevingslicht geldt deze voorkeursrichting niet.

Ter afscherming van storende elektromagnetische straling dient ten slotte een transparante elektrisch geleidende laag. Deze laag wordt reflectievrij met het frontglas verlijmd met behulp van een speciale kunstharz met een aangepaste brekingsindex.

Tabel 2 vergelijkt enkele getalswaarden die betrekking hebben op de vereiste contrastverhoudingen en luminantie (deze waarden zijn geldig voor conventionele lijnsgewijze beeldaftasting). Vergeleken met conventionele toepassingen moet een beeldscherm in een cockpit, zelfs bij concessies aan het contrast, ongeveer een dubbele luminantie (300cd/m<sup>2</sup>) uitstralen. Weliswaar is door de aangegeven maatregelen een aanzienlijk gunstiger remissiefactor bereikt. (De remissiefactor geeft aan welk deel van het omgevingslicht door het frontglas wordt teruggestrooid en zodoende contrastbederf veroorzaakt). Wegens het veel sterkere omgevingslicht is de contrastverhouding bij een cockpit-beeldbuis desondanks ongunstiger dan bij een conventionele beeldbuis in een normale daglicht opstelling.

Volgens de tabel veroorzaken de optische filters een totaal verlies van 75%. Zodoende is het bereiken van de genoemde hoge scherm luminantie alleen mogelijk door een

zodanige excitatie van de luminoforen dat een luminantie van 1200 cd/m<sup>2</sup> wordt opgewekt

### Schaduwmasker

Zojuist genoemde straalstromen stellen ook buitengewoon hoge eisen aan de constructie van het relatief kleine schaduwmasker. Een schaduwmasker absorbeert immers ongeveer 80% van de totale straalstroom en zet de hierbij vrijkomende energie in warmte om. Bij toepassing van een uit het gebruikelijke staal vervaardigd schaduwmasker zou dit zodanig uitzetten dat een bundel gedeeltelijk de verkeerde luminoforen zou treffen. Dit zou leiden tot een onaanvaardbare kleuronzuiverheid (storende onscherp afgetekende rode, blauwe of groene vlekken). Een tienvoudige vermindering van dit effect werd verkregen door het schaduwmasker te vervaardi-

gen uit een ijzer/nikkel-legering (Ni 36) met een zeer geringe uitzettingscoëfficiënt. Alle maskerbewerkingen (etsen van de gaatjes, trekken, uitgloeien e.d.) moeten uiteraard zijn aangepast aan dit nieuwe materiaal. Met de genoemde gatdiameter van 10 μm is overigens ongeveer de grens bereikt van wat met de huidige middelen produceerbaar is.

Het masker is op de bekende manier sferisch gewelfd (aangepast aan de aspectverhouding van 1:1 die volgt uit het vierkante scherm) en opgehangen in een raam. Aldus kon men door zorgvuldige dimensionering een stijve zelfdragende constructie realiseren die opgewassen is tegen alle gespecificeerde maximale schok- en trillingsbelastingen.

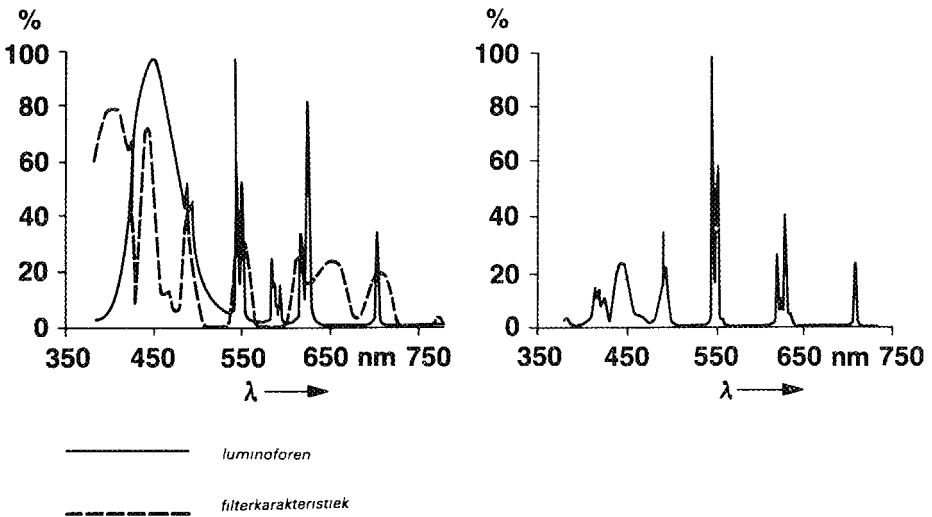


Fig. 3

Spectrale emissiekarakteristieken van de luminoforen. Verbindingen met zeldzame aarden stralen in bepaalde mengverhoudingen onder invloed van een elektronenbombardement zichtbaar licht uit in enkele zeer smalle spectrale gebieden. In (a) zijn de opgewekte spectra weergegeven in combinatie met de transmissiekarakteristiek van het optisch filter, (b) toont het resulterende emissiespectrum van het beeldscherm.



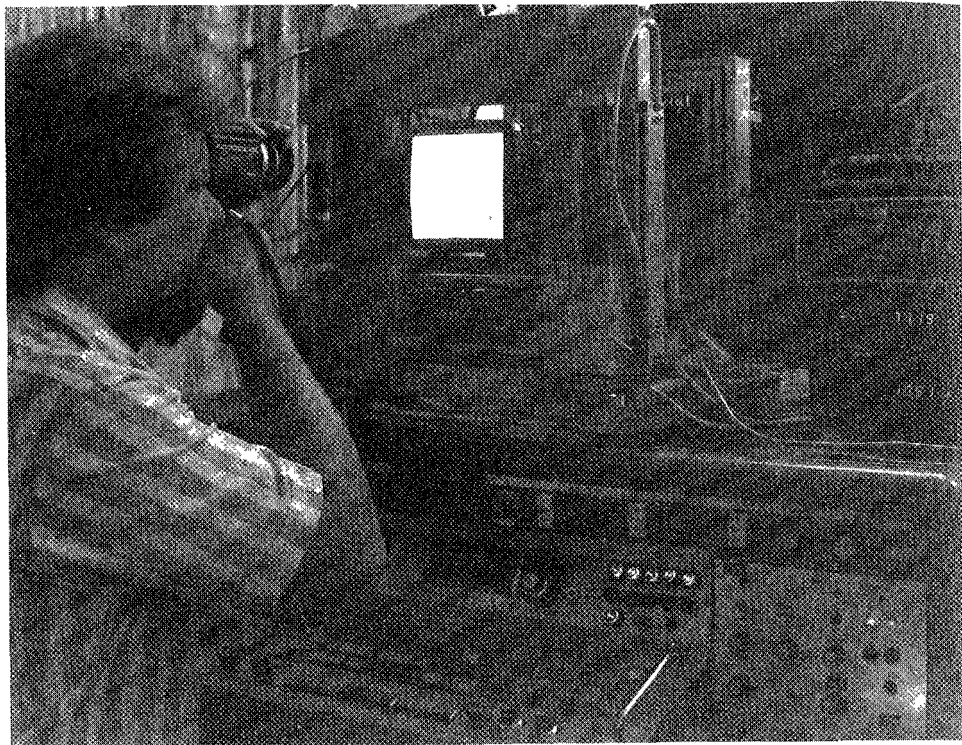
Meetopstelling met speciale microscoop voor de beoordeling van de beeldschermkwaliteit van 18-cm kleurenbeeldbuizen voor toepassing in cockpit-monitoren (foto AEG)

### **Elektronenkanonnen en afbuiging**

De drie volgens een monolithische techniek opgebouwde elektronenkanonnen zijn in één lijn opgesteld en vormen in combinatie met afbuigspoelen een zelfconvergerend afbuigstelsel. Elektrodenophanging en ondersteuning van de kanonnen in de buishals kregen speciale aandacht om te kunnen voldoen aan de normen voor schok- en trillingsbestendigheid. Door een goede dimensionering van de elektronenoptiek werd bij een straalstroom van 1 mA op het scherm een lijndikte van slechts 0,5 mm bereikt.

Een bijzondere eis voor een cockpit-monitor kan luiden dat deze behalve voor

de conventionele uit de televisietechniek bekende lijnsgewijze aftasting (rasteraftasting) tevens geschikt moet zijn voor vector- of XY-aftasting en ook voor gemengde raster/vector-aftasting. Hieruit volgt dat voor de horizontale en verticale afbuiging identieke spoelen met een uiterst lage zelfinductie (circa 100  $\mu\text{H}$ ) nodig zijn. Om de spoelen met de hiertoe vereiste stabiliteit, nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid te kunnen vervaardigen, zijn de windingen gefixeerd in gleuven van de ferrietkern. Voorts dient men om vectoraftasting mogelijk te maken voor de kern een ferrietsoort te gebruiken met een zeer kleine hysteresis en remanent magnetisme.



Luminantiemeting met microfotometer aan het beeldscherm van een 18-cm kleurenbeeldbuis voor toepassing in cockpit-monitoren (foto AEG)

Correctie van de statische bundelposities (voor statische convergentie) vindt plaats met door een instelbare gelijkstroom geactiveerde achtpolige elektromagneten op de buishals.

### **Buiseenheid**

Inbouw in een cockpit-monitor vereist dat een beeldbuis is uitgevoerd als een robuuste en compacte eenheid. Daartoe wordt de buis inclusief de componenten op de buishals met behulp van speciale kunst-harsen in een metalen behuizing gegoten. Dit huis bevat alle noodzakelijke bevestigingspunten en dient tevens als elektrische en magnetische afscherming. Het

gietsel waarborgt de permanente positie van de vooraf ingestelde afbuigeneid en convergentiemagneet en absorbeert een groot deel van de optredende schokken en trillingen.

### **Indexbuizen als alternatief**

Aanzienlijk eenvoudiger van constructie dan de schaduwmaskerbuis is de zogenaamde *indexbuis*. Dit type kleurenbeeldbuis onderscheidt zich eigenlijk vooral van een monochrome beeldbuis voor wat betreft de opbouw van de luminescerende schermklaag. Voordelen van deze éénkanonbuis zijn er vele. Zo ontbreekt het schaduwmasker waardoor de indexbuis



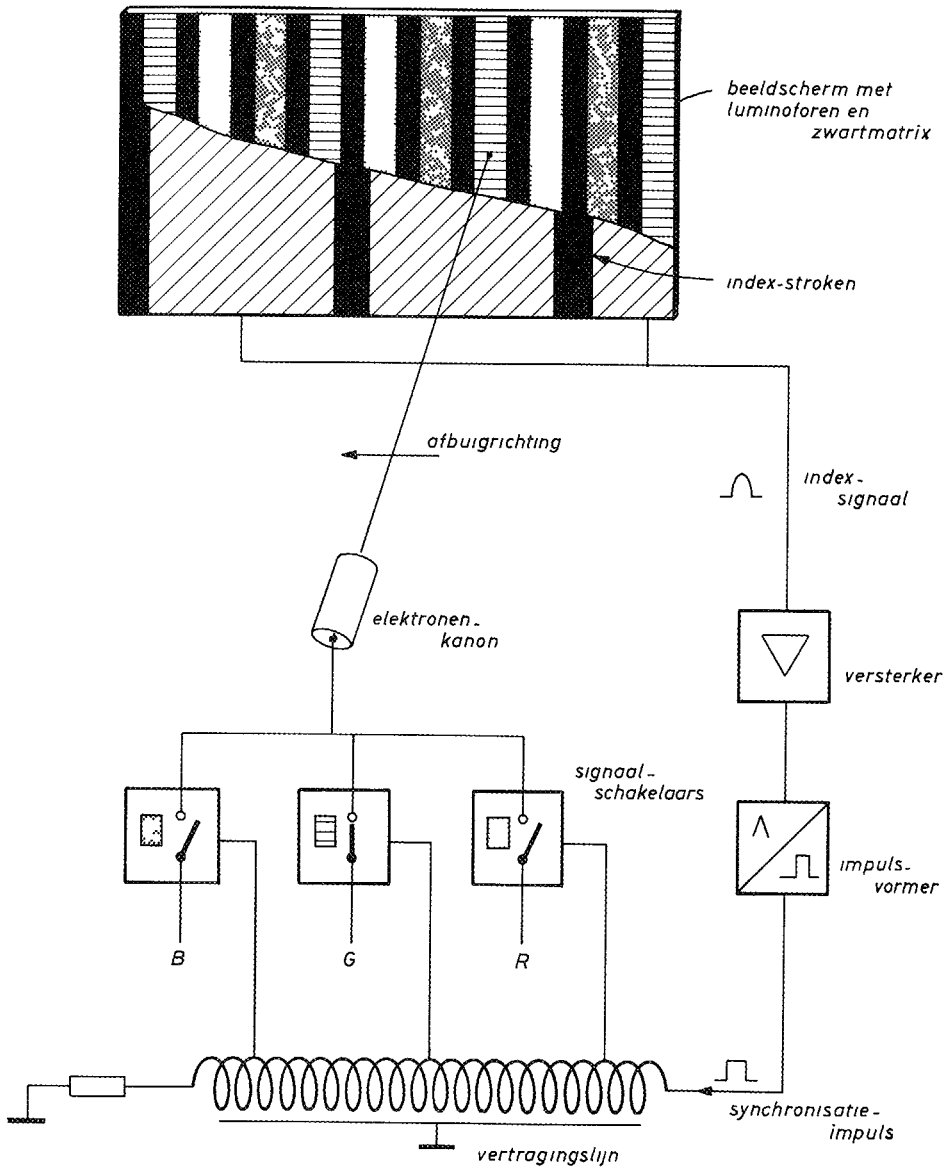
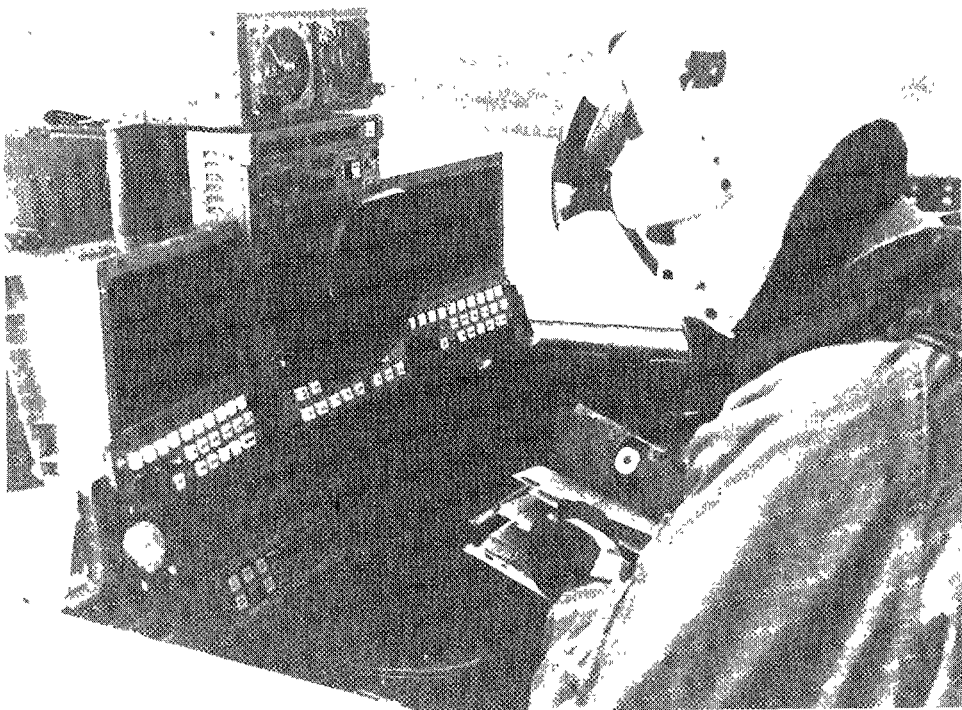


Fig 4  
 Werkingsprincipe van de indexbus



Multifunctie-invoerapparatuur en -beeldmonitoren in de "Tornado" (foto AEG)

genoegen neemt met een veel kleinere straalstroom. Ook is dus geen sprake van de hiervoor geschetste kleurzuiverheidsproblemen. Omdat de indexbuis maar één elektronenkanon heeft, ontstaan geen dekkingsfouten en kunnen alle convergentiemaatregelen achterwege blijven. Hiervan afgeleide voordelen zijn de gewichtsbesparing en de geringere inspanningen om aan mechanische eisen (schokken en trillingen) te voldoen.

Het principe van de indexbuis is al enkele decennia bekend en in verscheidene varianten beproefd in de laboratoria van diverse fabrikanten. Toch kon dit buistype nooit uitgroeien tot een werkelijk alternatief voor de toch veel gecompliceerdere schaduw-

maskerbuis. Dit doet terecht een keerzijde van de medaille vermoeden. Die keerzijde bestaat er namelijk uit dat het kleurscheidingsprobleem bij de indexbuis is verlegd van het schaduwmasker naar de externe besturingselektronica. Destijds was het gezien de toenmalige stand van de techniek niet mogelijk om kleurentelevisieapparaten op economisch verantwoorde basis met de vereiste gecompliceerde elektronica uit te rusten.

Toch heeft men de aantrekkelijkheden van de indexbuis in de loop der tijd nooit geheel uit het oog verloren. Op grond van de grote vooruitgang die de halfgeleidertechniek laatste jaren heeft geboekt, besloot ook AEG te onderzoeken of men de indexbuis

nieuw leven zou kunnen inblazen. Juist in de context van "kleurenmonitoren voor de cockpit" lijkt de indexbuis immers superieur aan de schaduwmasker-variant. Er volgde intensief ontwikkelingswerk waarvan enkele voorlopige resultaten in de volgende beschrijving zijn verwerkt.

### Principes en opbouw van de indexbuis

Een principiële verschil tussen de werking van de schaduwmaskerbuis en de indexbuis is dat de eerstgenoemde de deelbeelden in de drie primaire kleuren simultaan weergeeft. Daarentegen is bij de indexbuis sprake van sequentiële weergave. Indexbuizen hebben zoals gezegd slechts één elektronenkanon en genereren bijgevolg ook maar één bundel. Fig. 4 toont het principe. Evenals bij veel moderne in-lijn-schaduwmaskerbuisen, bestaan de luminoforen op het scherm uit verticale kleurstroken die in de volgorde B-G-R zijn

aangebracht. Op het moment dat de bundel bijvoorbeeld een groene kleurstrook treft, mag alleen het G-signaal de beeldbuis-kathode besturen, enzovoort. Om de hiertoe noodzakelijke signaalschakelaars op de juiste tijdstippen te kunnen activeren, moet dus op elk moment de exacte bundelpositie bekend zijn. Voor dat doel bevat het scherm van de indexbuis behalve de luminofoorstroken ook een reeks verticale *indexstroken*. Bij AEG's prototype zijn dit aluminium stroken die in een configuratie van twee in elkaar grijpende kammen op het scherm zijn aangebracht. Bij het aftasten veroorzaakt de elektronenbundel potentiaalverschillen tussen de aangrenzende indexstroken. Daaruit wordt een indexsignaal afgeleid waaruit na geschikte bewerkingen een stuursignaal ontstaat voor het synchroniseren van de schakelaars voor de signalen R, G en B.

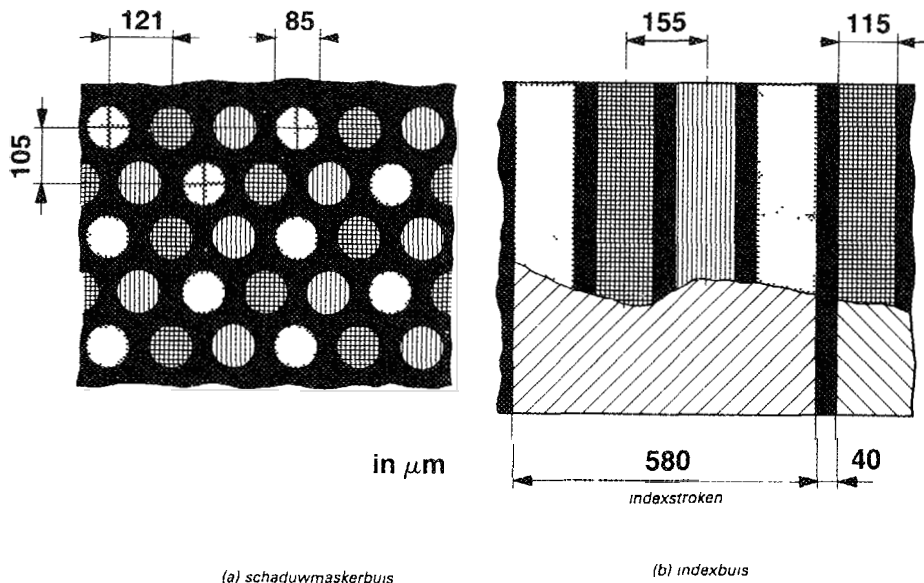


Fig 5  
Vergelijking van de schermopbouw en maatvoering van AEG's prototypen van de schaduwmaskerbuis (a) en de indexbuis (b). Een indexstrook volgt steeds na vier luminoforen, samenvallend met een strook van de zwart-matrix

In fig. 5 is de opbouw van het scherm van de behandelde schaduwmaskerbuis vergeleken met die van de desbetreffende indexbuis. We zien dat tussen de kleurstroken een zwartmatrix is aangebracht. Deze zwartstroken (*guard bands*) dienen ter verbetering van het contrast. Tevens voorkomt de zwartmatrix kleurscheidingsproblemen door inschakel- en uitschakelverschijnselen en door focusseeronscherpte

Voor wat betreft het aanbrengen van de luminofoorstroken en zwartmatrix is het fabricageproces in grote trekken identiek met dat voor de schaduwmaskerbuis. Evenals een monochrome beeldbuis, is ook het scherm van de indexbuis voorzien van een uiterst dunne aluminiumspiegel. Na het opdampen van de aluminiumspiegel wordt deze met behulp van een fotoetsprocédé opgedeeld in de beschreven structuur van twee afzonderlijke in elkaar grijpende kammen waarvan de tanden dan de indexstroken vormen. Beide kammen zijn voorzien van separate elektrische aansluitingen waartussen het indexsignaal ontstaat. Omdat het beeldscherm op anodepotentiaal (25kV) ligt, wordt dit signaal naar buiten gevoerd via een speciale transformator.

De kam-configuratie voor het direct genereren van het indexsignaal vormt een interessante variant op vroeger voorgestelde methoden. Als bekendste daarvan memoreren we de concepten die een indexsignaal opwekten door secundaire emissie of door het opvangen van ultraviolet-straling met een fotovermenigvuldiger. In dit laatste geval zijn de indexstroken eveneens uitgevoerd als luminoforen die de energie van het elektronenbombardement omzetten in onzichtbare en dus niet storende UV-straling.

### Indexsignaal

Hoewel het aansturingsprincipe van de indexbuis erg simpel lijkt, gaat het realiseren ervan gepaard met complexe problemen.

Zo ligt de duur van een zichtbare beeldlijn, afhankelijk van het toegepaste afbuigfrequenties, in de orde van enkele tientallen microseconde (bijvoorbeeld circa 52  $\mu$ s bij een 625-lijns/50 Hz televisiesysteem). Binnen die periode vereist het weergeven in horizontale richting het drievoudige aantal schakelacties. De hieruit volgende schakelfrequentie kan niet constant zijn, maar moet steeds exact zijn aangepast aan de momentane schrijfsnelheid. Door niet-lineariteit van de afbuiging en stabiliteit van de lijntijdbasis is immers de beweging van de bundel niet steeds eenparig. Dit geeft een idee van de eisen aan de elektronische schakelaars, en meer nog van de extreme toleranties waarbinnen de synchronisatie ervan moet plaatsvinden.

Alles staat of valt hier met de mogelijkheid om uit het indexsignaal op het juiste moment een eenduidig synchronisatiesignaal af te leiden. Een eerste probleem dat zich hierbij voordoet is de overspraak van het videosignaal in het signaal dat van de indexstroken wordt afgenomen. Voor een eenduidige scheiding van video-overspraaksignaal en het gewenste indexsignaal zijn twee methoden denkbaar, namelijk het toepassen van een *tijdmultiplex*- of een *frequentiemultiplex*-techniek. Tijdmultiplex heeft grote praktische bezwaren die samenhangen met de noodzakelijke nauwkeurigheid. Frequentiemultiplex is eenvoudiger te realiseren. Voor deze methode moet een duidelijk onderscheid mogelijk zijn tussen de frequenties van het videosignaal en het indexsignaal. Aan deze eis wordt voldaan indien de periodiciteit van de indexstroken niet overeenkomt met die van de kleurtriplets

In fig. 5 zien we de oplossing die AEG's ontwikkelaars voor hun indexbuis hebben gekozen. Een indexstrook volgt steeds na vier luminoforen, samenvallend met een zwarte strook. Om na de lijnterugslag reeds in de linkerbeeldrand een stabiele en fasezuivere synchronisatie te verkrijgen, is

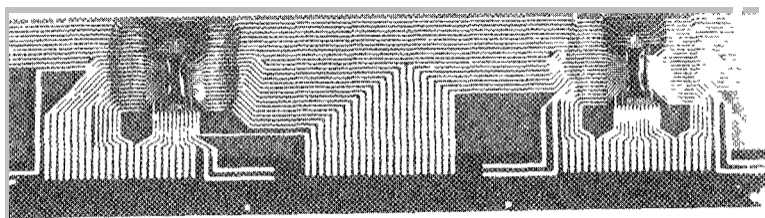
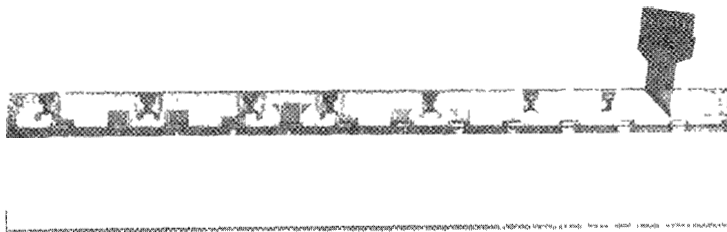


Fig 6

Vloeistofkristal-displays voor "glazen cockpit" Het eigenlijke vloeistofkristal heeft een laagdikte van slechts ongeveer 10 micrometer en is aangebracht tussen twee glasplaten met elektroden CMOS-besturings-IC's zijn rechtstreeks aangesloten op de frontelectroden van de cellen en besturen elk 40 segmenten (foto AEG)

aan de rand van het scherm een afzonderlijk aangesloten indexstrook aangebracht. Deze strook levert het startsignaal en wordt gevolgd door zes tot acht strokenparen van de kamstructuur, waartussen zich geen kleurstroken bevinden. Een consequentie van het index-principe is dat de kathode ook in zwarte beeldscènes nog een geringe straalstroom moet opwekken om het indexsignaal te kunnen produceren. Tevens volgt hieruit het nadeel dat de indexbuis per definitie ongeschikt is voor vectoraf-tasting

#### **Elektronenoptiek van de indexbuis**

Bundelfocussing is bij de indexbuis een aanzienlijk groter probleem dan bij de schaduwmaskerbuis. Ook bij grote straalstromen moet de diameter van de schrijfstip (apertuur) kleiner zijn dan de breedte van de kleurstroken. Dit stelt zeer hoge eisen aan de focussing en aan de

totale elektronenoptiek Een circulatie bundel van voldoende energie zou een zeer grote stroomdichtheid hebben. Als elektronenkanon wordt daarom voor de indexbuis een type gebruikt dat een elliptische bundel opwekt met een zeer fijne apertuur, in combinatie met nauwkeurige magnetische focussing.

Het elektronenkanon is uitgerust met een zwaar-belastbare voorraadkathode, zoals die ook vaak wordt toegepast in een lichtstipaf-taster ("flying-spot scanner"). Daar de lange as van de ellips parallel ligt aan de verticaal gerichte kleurstroken, wordt een reductie van de stroomdichtheid verkregen. Een dwingende eis is hier dat die asrichting onder invloed van het afbuigveld tot in de beeldhoeken gehandhaafd blijft. Zorgvuldige dimensionering en zeer nauwkeurige constructie van de afbuigspoelen kunnen zulke rotaties voorko-

men. Als gevolg van de noodzakelijke elektronoptiek, is de buislengte van de indexbuis duidelijk groter dan van de schaduwmaskerbuis

### Slotopmerkingen

Hoewel met de voorgaand beschreven ontwikkelingen aanzienlijke inspanningen zijn gemoeid, vormen de twee beeldbuisprototypen bij AEG geen doel op zichzelf. Beide hier behandelde projecten zijn namelijk een onderdeel van een onderzoek en ontwikkelingsprogramma dat is gericht op de modernisering van de instrumentatie voor militaire vliegtuigen van de volgende generatie. Dit programma bestrijkt een belangrijk terrein van alles wat samenhangt met het begrip "de glazen cockpit". Kenmerken hiervan zijn een verregaande automatisering en de presentatie van een veelheid van informatie op beeldschermen in plaats van door middel van de klassieke veelheid van analoge wijzerinstrumenten en andere conventionele signaleringssystemen. Zwaartepunten van deze ontwikkelingen liggen bij genoemde fabrikant op het vervangen van koperleiding door glasvezel, het onderzoek naar de mogelijkheden van mens/machine-communicatie door spraakherkenning en spraaksynthese alsmede op de genoemde beeldbuis-technologie. Ook de ontwikkeling van geschikte vloeistofkristal-displays zijn een onderdeel van deze activiteiten, zie afb. 6. Tot de inmiddels produktierijpe resultaten van dit werk behoort onder meer een glasvezelbussysteem. Een "sprekend" waarschuwingssysteem bevindt zich momenteel in de evaluatiefase.

Enmaal gezeten in een "glazen cockpit", is het onder alle operationele omstandigheden kunnen aflezen van de beeldschermen

voor een vliegtuigbemanning letterlijk van levensbelang. Getracht is aan de hand van beide beschreven ontwikkelingsprojecten enig inzicht te geven in de veeleisende ergonomische en mechanische criteria die een rol spelen bij de ontwikkeling van daarvoor geschikte beeldbuizen.

Zoals ook blijkt uit onderstaande literatuurvermelding, is het oude idee van de indexbuis binnen de muren van de laboratoria nooit echt in vergetelheid geraakt. Wellicht zal dit idee juist voor de veeleisende toepassing in cockpits uiteindelijk dan toch levensvatbaar blijken.

### Literatuur

1. A. M. Morell e a.: *Color television Picture Tubes — Advances in Image Pickup and Display*, supplement 1, Academic Press, New York, 1974
2. *Aircraft Cockpit Display Applications*, proc. IEEE National Aerospace and Electronics Conference, NAECON 1981, Vol. 3.
3. Ikegaki, Nakanishi, Tsuruzoe: "High Resolution Color CRT for Avionics Display", JEE, mei 1983, p. 82.
4. Hayashi e.a.: "Development of a Shadowmask Type High Resolution Picture Tube for Cockpit Display", IEEE SID Biennial Display Reserach Conference, 1980, p., 120.
5. Robinder e a : "A High Brightness Shadowmask Color CRT for Cockpit Display", SID 83 Digest, p. 72.
6. J. A. Turner: "A New Beam Indexing Colour Display Tube using Direct Pickup of the Electron Beam, IEEE SID Biennial Display Reserach Conference, 1976, p. 83.
7. J.A. Turner: "An Electron Beam Indexing Colour Display System", oktober 1979, p. 155.

Dit artikel verscheen eerder in *ELEKTRONICA* 86/7, p 29 41, en is geschreven naar aanleiding van de voordracht "Das Gläserne Cockpit — Displays zur Mehrfachdarstellung grosser Informationsmengen" Deze voordracht werd gehouden door H. Hermes en H. Seifert ter gelegenheid van het twintigste door AEG georganiseerde Technisches Presse Colloquium (oktober 1985).