

## Deel 1: principes van MO en het gebruik als CD-compatibel medium

## Magneto-optische audio-discrecorder

Th. van Gelder

Sinds hij als opslagmedium enkele jaren geleden op de markt kwam, heeft de magneto-optische disc zich een duidelijke plaats veroverd in de markt voor achtergrondgeheugens. Het toepassingsgebied is echter hoofdzakelijk beperkt gebleven tot de koppeling aan computersystemen voor de opslag van bulkgegevens of het maken van reservekopieën. Behalve dat hij kan worden gewist en beschreven, is de magneto-optische disc zowel in optisch als in mechanisch opzicht vrijwel identiek aan de CD. Dat maakt dat het medium in principe voor diverse andere toepassingen kan worden ingezet.

Een voorbeeld daarvan is het gebruik in audioapparatuur, waar hij kan fungeren als CD-speler die ook nog kan opnemen. Vorig jaar presenterden de ontwikkelingslaboratoria van Thomson een prototype van een dergelijke eenheid. Deze magneto-optische audiorecorder kan CD's weergeven en daarnaast digitaal geluid opnemen door MO-discs te wissen en te beschrijven.

## Optische schijven

Het beschrijven, weergeven en wissen van optische schijven is geen techniek van de laatste tijd. Al sinds de jaren zeventig wordt intensief geëxperimenteerd met optische registratiemethoden. Laservision van Philips is daar een voorbeeld van. Er zijn ook diverse methoden ontwikkeld voor het aanbrengen van de informatie, waaronder het vormen van blaasjes, het smelten of vervormen van

het materiaal, het onderscheiden van ruwe en gladde vlakken en het creëren van gaten onder het oppervlak, zie figuur 1. Al deze methoden hebben als beperking dat de gegevens slechts eenmaal kunnen worden geschreven, wissen is daarna niet meer mogelijk. Ook op het gebied van wisbare optische media wordt al lange tijd onderzoek verricht. Grote problemen daarbij waren vooral de betrouwbaarheid van het materiaal bij een groot aantal wis/schrijf-cycli, de snelheid van de toestandsverandering (lees: het schrijven van een bit) en het daarbij benodigde vermogen.

Pas sinds enkele jaren zijn hiervoor technieken beschikbaar die zich ook lenen voor toepassing in de praktijk. De meest bekende daarvan zijn de faseverandering tussen kristallijne en amorf structuur en, vooral, de magneto-optische registratie, zie figuur 2. Deze laatste methode lijkt de meestbelovende, getuige de opmars die de op het MO-principe gebaseerde systemen sinds een jaar of twee maken. Daarbij gaat het overwegend om randapparatuur voor computers.

De huidige standaard voor magneto-optische schijven maakt deze grotendeels compatibel met compact discs. Op basis van dit gegeven heeft Thomson een eenheid ontwikkeld die zowel audio-CD's kan lezen als MO-discs kan schrijven en lezen. Daarmee is in feite een CD-speler ontstaan die ook kan opnemen, een mogelijk alternatief voor DAT-recorders.

## Magneto-optisch

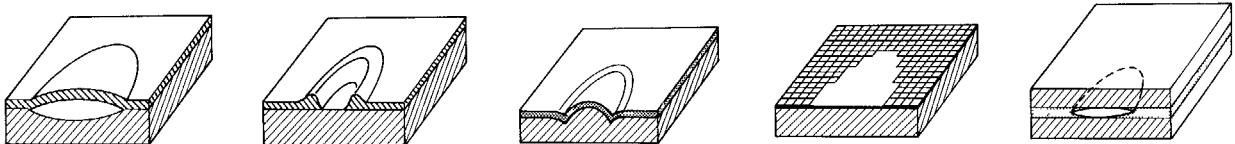
Bij het uitlezen van de informatie van een

MO-disc wordt gebruik gemaakt van het magneto-optische Kerr-effect. De term slaat op het verschijnsel dat gepolariseerd licht dat op een gebied met tegenstelde magnetisatie valt, bij het terugkaatsen een kleine polarisatiedraaiing ondergaat, zie figuur 3. Deze rotatie hangt af van de sterkte van het magnetische veld. Bij de MO-discs ligt de rotatie tussen  $0,3^\circ$  en  $1,2^\circ$  wat zonder al te veel kunstgrepen kan worden gedetecteerd. Dat levert, na enkele bewerkingslagen, weer het oorspronkelijke datasignaal op.

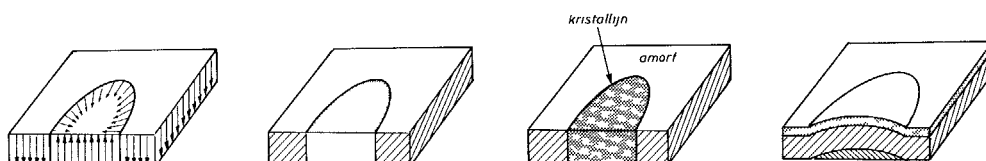
Het volledige lees/schrijf-traject is schematisch weergegeven in figuur 4. De laserdiode heeft een laag- en een hoogvermogen stand. Tijdens het uitlezen van de data zendt hij licht uit met een vermogen van circa 1,2 mW. Bij wis/schrijf-acties wordt dit opgevoerd tot 6 mW.

Het licht passeert een tralie, die uit de hoofdbundel twee nevenstralen afsplitst. Deze zijn niet van belang voor de gegevensterugwinning maar worden gebruikt om een signaal te genereren wanneer een sporingfout optreedt. Na de tralie volgt een deelspiegel, die alleen het terugkomende licht beïnvloedt, waarna een spiegel de bundel  $90^\circ$  afbuigt in de richting van de schijf. Een in de focuserings- en sporingrichting beweegbare objectieflens zorgt voor de scherpstelling op de juiste plaats en de juiste diepte.

Na door de schijf te zijn gereflecteerd gaat de lichtstraal, waarvan de polarisatie afhankelijk van de magnetisatie al of niet enigszins is geroteerd, dezelfde weg terug tot aan de deelspiegel. Hier wordt de bundel afgebogen in de richting van

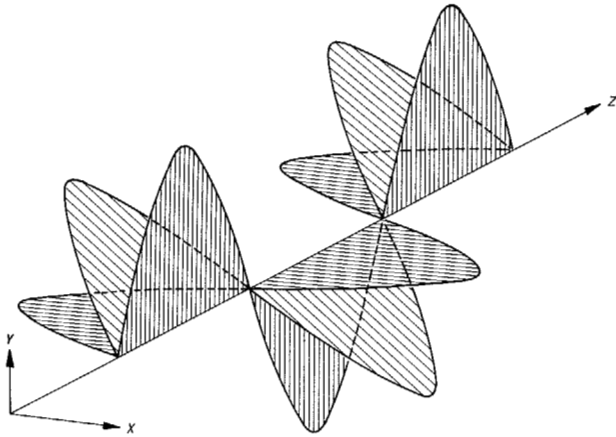


Figuur 1. Vijf manieren voor niet-wisbare optische registratie, respectievelijk blaasvorming, oppervlaktesmelting, vervorming, polijsting en tenslotte het maken van holten in het materiaal.

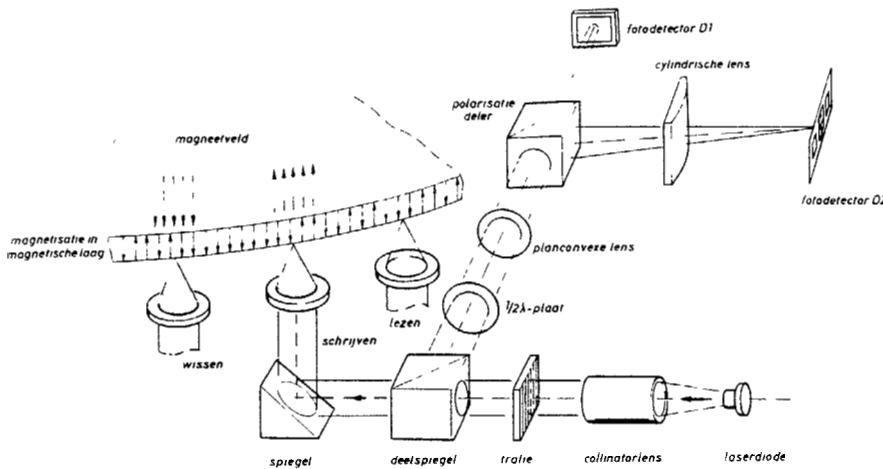


Figuur 2. Van de vier meestbekende wisbare optische media - van links naar rechts magneto-optisch, kleurwisseling, faseverandering en dubbelpolymeer - heeft alleen de eerste geleid tot commerciële producten.

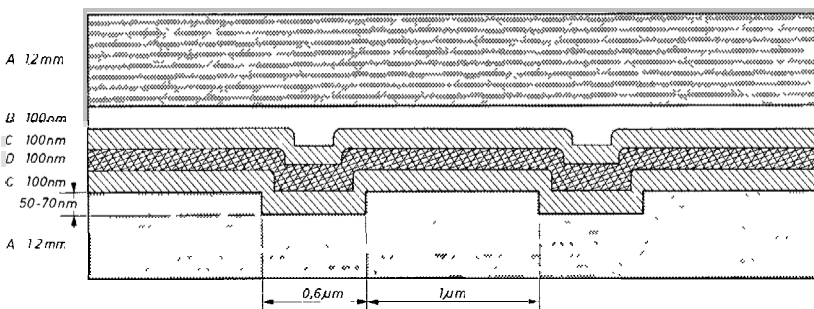
Magneto-optische audio-discrecorder



Figuur 3. Verandering van magnetisatie beïnvloedt de polarisatiehoek van het gereflecteerde licht.

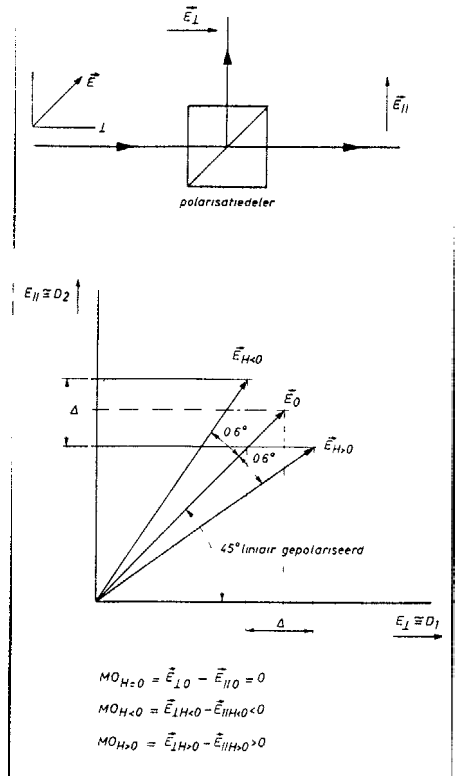


Figuur 4. Principeopbouw van de magneto-optische opnemer.



- A polycarbonaat of glassubstraat
- B beschermingslak
- C RETM-laag
- D kleeflaag

Figuur 6. De zes lagen van een MO-disc.



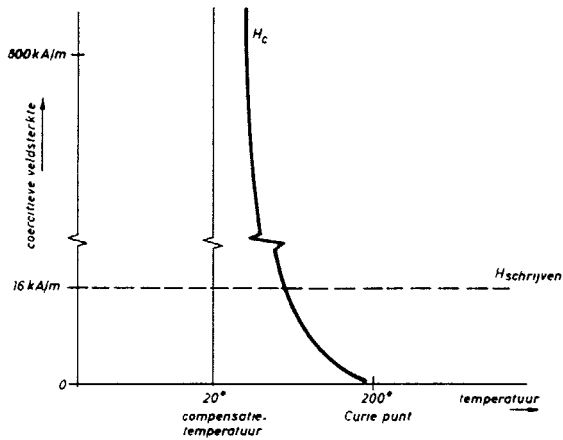
Figuur 5. Scheiding van de horizontale en verticale componenten in de polarisatiedeler.

de polarisatiedeler. De  $1/2\lambda$ -plaat in figuur 4, heeft alleen tot doel het polarisatievlak over  $45^\circ$  te draaien. Daardoor kunnen de fotodetectoren in een gunstige positie worden gemonteerd. De polarisatiedeler scheidt de horizontale en verticale polarisatiecomponenten in het licht zoals in figuur 5 is weergegeven. Het verschil in de lichtenergie tussen de twee detectoren  $D_1$  en  $D_2$  levert het magneto-optische signaal op.

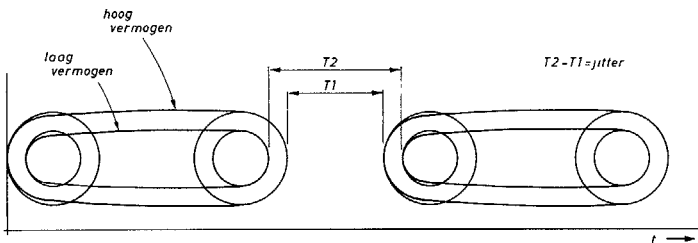
Schijfstructuur

De mechanische structuur van een magneto-optische schijf lijkt sterk op die van de CD. Het belangrijkste verschil, de kern van het MO-principe, wordt gevormd door een extra magnetische dunne film-laag van een zeldzame-aarde overgangslegering (RETm, Rare Earth Transition Metal) die zeer snel oxydeert; zie figuur 6. Een van de meestgebruikte legeringen hiervoor is terbiumferrokoobalt.

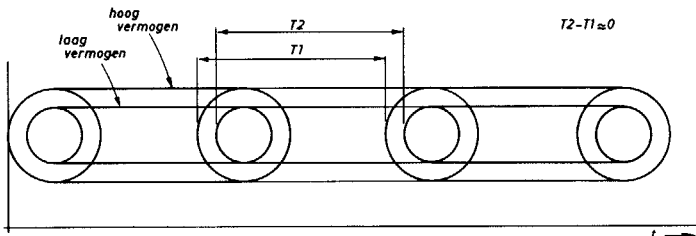
De laag heeft een dikte van slechts 40 nm en mede daardoor krijgt hij bijzondere magnetische en optische eigen-



Figuur 7. Magnetisatiecurve van de RETM-laag (Rare Earth Transition Metal).



Figuur 8. Schakelen van de laser vergroot de jitter. Ook de invloed van de warmtecapaciteit van de laag wordt dan merkbaar.



Figuur 9. Als de laser continu vermogen geeft, wordt de groef veel gelijkmatiger.

schappen. Bij kamertemperatuur bedraagt de coërcitieve veldsterkte van de laag enkele honderdduizenden ampère per meter. Naarmate de temperatuur toeneemt, daalt deze waarde, zie figuur 7.

Het Curiepunt ligt bij circa 200 °C en bij deze temperatuur wordt de legering magnetisch zwak. Dat houdt in dat hij op dat moment de polariteit overneemt van het externe magnetische veld, vooropgesteld dat er zo'n veld aanwezig is. Is het externe veld sterk genoeg, dan treedt de polariteitsovername ook al op bij een lagere temperatuur. Koelt de laag weer af, dan blijft de laatste aangelegde polarisa-

tie behouden; de magnetisatie wordt als het ware ingevroren.

#### Onbeperkt wissen en beschrijven

Dit principe van afnemende coërcitieve kracht wordt nu gebruikt om de informatie vast te leggen. Hiertoe wordt het materiaal plaatselijk verwarmd met een laserdiode. Een extra magneetkop zorgt voor het externe veld, waarvan de polariteit afhangt van de toestand van het weg te beschrijven bit.

De mechanische uitvoering van de MO-disc bepaalt zijn eigenschappen waar het schrijfsnelheid en opslagcapaciteit betreft. Omdat de RETM-laag van de

huidige discs slechts 40 nm dik is, kan deze met een goed gefocuseerde laserstraal zeer snel en zeer plaatselijk worden verhit.

Snelle verhitting, en derhalve ook vlotte afkoeling, maakt korte schrijfcycli mogelijk en dat bevordert de snelheid van de gegevensregistratie. Omdat maar een zeer klein gebied heet wordt, kunnen de bits dicht op elkaar kunnen staan en is dus een hoge informatiedichtheid haalbaar.

Zowel in het geval van lasermodulatie met bias-magneetveld als bij magneetveldmodulatie met bias-laser heeft magneto-optische registratie nog enkele algemene voordelen ten opzichte van andere opslagmethoden. Ten eerste is MO-opslag zeer betrouwbaar.

Gegevensverlies door verhitting treedt pas op bij circa 200 °C. Externe magnetische velden kunnen de informatie alleen beschadigen als zij bijzonder sterk zijn en in combinatie met een hoge omgevingstemperatuur. In beide opzichten zijn MO-discs veel minder kwetsbaar dan de gebruikelijke vormen van magnetische opslag op banden of diskettes.

In vergelijking met andere technieken voor wisbare optische registratie heeft het magneto-optische principe duidelijk het voordeel dat het aantal schrijf- en wiscycli fysiek niet beperkt is. Dit is juist een van de kernproblemen bij media die werken op basis van faseverandering in de kristalstructuur van kristallijn naar amorf en vice versa of bij het dubbelpolymeer-systeem zoals dat onder andere door Tandy is voorgesteld.

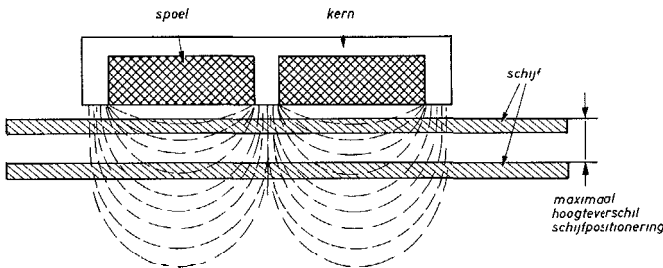
#### Kwaliteit van de schrijfmethode

Voor de technische uitvoering van dit principe dienen zich twee benaderingen aan. De eerste is dat het systeem een statisch magneetveld aanlegt en de datastroom in het lasersignaal moduleert. Dit heeft als nadeel dat voorafgaand aan de feitelijke schrijfslag een wiscyclus nodig is. Voor diverse toepassingen, vooral die waar het om real-time registratie gaat en daar is audio een voorbeeld van, is dat geen bijzonder elegante oplossing.

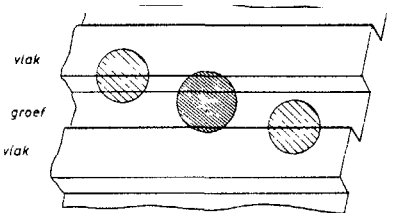
Een tweede mogelijkheid is de laser alleen als warmtebron te gebruiken. Modulatie van de magneetkop zorgt dan voor de opname van het datasignaal. Het voordeel hiervan is dat bestaande putjes rechtstreeks kunnen worden overschreven.

Deze werkwijze brengt nog een tweede voordeel met zich mee, namelijk dat de grootte van de 'magneetputjes' relatief constant is en onafhankelijk van schom-

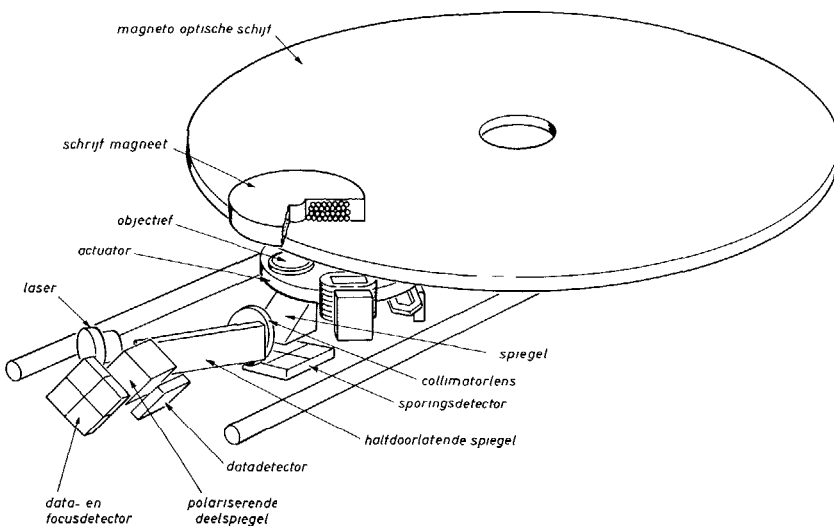
Magneto-optische audio-discrecorder



Figuur 10. De hoge eisen die aan het magnetische gedrag van de schrijfkop worden gesteld, limiteren ook de mechanische toleranties.



Figuur 11. Normaal gesproken schijnen de nevenbundels precies op de grens tussen vlak en groef.



Figuur 12. In de huidige optische opnemers is de sporingcontrol verplaatst.

melingen in het uitgangsvermogen van de laser. Als de laser zou worden gemoduleerd dan kunnen variaties in stijgtijd en aansturing leiden tot verschillen in omvang van opeenvolgende bits en daarmee ook in verschillen in afstand, zie figuur 8. De daardoor ontstane jitter bemoeilijkt de synchronisatie en het inlezen van het signaal. Als de laser constant vermogen afgeeft dan zijn de fluctuaties veel langzamer, minder intensief en beter beheersbaar. De afstand tussen de putjes is dan vrijwel constant; zie figuur 9. Overigens is de enigszins druppelachtige vorm van de sporen bij lasermodulatie, zoals in figuur 8 valt te zien, het gevolg van de niet oneindig kleine warmtecapaciteit van de laag.

**Technische beperkingen**

Een nadeel van magneetveldmodulatie is dat een relatief sterk veld van ruim 10

$kAm^{-1}$  moet worden geproduceerd. Hiertoe moet de elektromagneet niet meer dan enkele tienden van een millimeter boven de schijf hangen. Bovendien zal deze een signaal met een



Als sinds de jaren zeventig wordt gewerkt aan opslag met optische media. Philips' Laservision was het eerste consumentenproduct in die richting.

vrij hoge frequentie (720 kHz) aan moeten kunnen

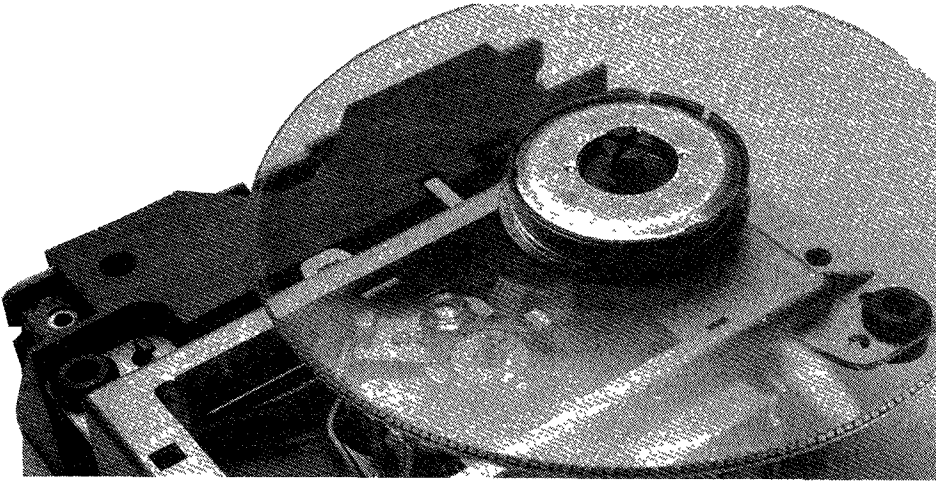
Een en ander is gerealiseerd door de vorm van de kop aan te passen, door materialen met een lage relatieve permeabiliteit te gebruiken en door speciale buffers te gebruiken voor de elektrische aansturing. Mechanisch is een constructie ontworpen waarbij de magneetkop wel radiaal meebeweegt met de opnemer maar verder verticaal gefixeerd is. Dat stelt wel weer eisen aan het maximale verschil in hoogte bij de positionering en bij roteren, zie figuur 10, van de schijf

**Focussering van de laser**

Sensor  $D_1$  is een standaard fotodiode; zie figuur 4.  $D_2$  daarentegen bestaat uit zes foto-elektrische vlakken waarvan er vier gezamenlijk het feitelijke signaal opwekken. Deze laatste zijn gegroepeerd als een vierkant met vier kwadranten wat dient om behalve de gegevensstroom ook het servosignaal voor de focussering uit de lichtbundel af te leiden. Dat gebeurt met de astigmatisme-methode. De grootte van de focusseringsfout kan worden opgemaakt uit het verschil in vermogen dat de vier kwadranten ABCD leveren. Een cilindrische lens voor de detector zorgt ervoor dat een niet-volledige scherpsstelling leidt tot astigmatisme. In dat geval is de som  $A + C$  ongelijk aan  $B + D$ . De grootte van het verschil tussen deze waarden is een maat voor de afwijking in de scherpsstelling. Dit verschilsignaal wordt gebruikt voor het aansturen van de focusseringsservo.

**Sporing van de kop**

Het MOD-loopwerk werkt met het driestraals-principe voor de controle op juiste sporing. Hiervoor genereert, zoals reeds vermeld, de tralie achter de laserdioden twee nevenbundels; zie figuur 4. Op de disc levert dat een beeld op zoals in fi-



De MO-opnemer kan net zo compact worden uitgevoerd als zijn tegenhanger voor CD's.

guur 11 is geschetst. Als de hoofdstraal goed spoort, liggen de nevenbundels met hun midden precies op de grens tussen het vlak en de groef

Om een en ander te kunnen waarnemen beschikt sensor  $D_2$  aan weerszijden van de vier kwadrantvlakken over nog eens twee optische opnemers E en F. Hier valt het door de schijf teruggekaatste licht van de nevenbundels op. De sporingstof is evenredig met het verschil in energie die E en F leveren.

Overigens is in de jongste prototypen van de recorder een enigszins afwijkend optisch systeem voor de lichtstraalrouting en de sporingcontrole gebruikt. De deelspiegel die de heen- en teruggaande stralen splitst, is nu een halfdoorlatende spiegel die niet meer dwars op de bundel staat maar juist onder een vrij kleine hoek daarmee is gemonteerd. Zoals ook in figuur 12 valt te zien, heeft dit tot gevolg dat laser en detectie-eenheid veel dichter bij elkaar staan. De spiegel onder de schijf buigt van het door de disc gereflecteerde licht alleen de hoofdstraal af en laat de nevenbundels passeren. Onder deze spiegel is een derde detector aangebracht die de sporingssignalen levert.

### Codering

Teneinde zoveel mogelijk compatibel te zijn met de CD, wordt voor de kanaalcodering het EFM-formaat gehanteerd. EFM (Eight to Fourteen Modulation) houdt in dat 8-bit blokken aan de hand van een vertaaltabel worden omgezet naar 14-bit woorden. Een "1" of een groep enen wordt gerepresenteerd door een niveau-overgang. Daarna volgen minimaal twee nullen, wat de kortste afstand tussen niveauwisselingen drie bits maakt.

Op CD zijn de gegevens opgeslagen in de vorm van ingeperste putjes die een diepte van ongeveer een kwart van de golflengte van het laserlicht hebben. Deze veranderen de richting van het teruggekaatste licht en veroorzaken daardoor een variatie in de intensiteit die op zijn beurt, na foto-elektrische omzetting, resulteert in de oorspronkelijke informatiestroom.

De lengte van de putjes ligt tussen de drie en elf klokcycli. Deze dataklok werkt op een frequentie van 4,3 MHz en heeft dus een periode van 231 ns. Het afasten van de schijf gebeurt bij een snelheid van 1,2 m/s. Een enkele klokperiode komt derhalve overeen met  $0,55 \mu\text{m}$  zodat de lengte van de putjes kan variëren van 1,65 tot  $6,05 \mu\text{m}$ . De afstand tussen twee sporen is  $1,6 \mu\text{m}$ .

De fysieke indeling van CD's is gestandaardiseerd volgens de maten zoals die in figuur 13 zijn aangegeven. Op 23 mm vanaf het middelpunt begint het gebied van de data, startend met de voorloopsporen. Deze beslaan een ring van

2 mm en bevatten diverse gegevens over onder andere de indeling van de disc en een inhoudsopgave. Daarna volgt over een breedte van 33 mm het feitelijke programmeergebied waarna een ring van 0,5 mm is gereserveerd voor de uitloopsporen. Een en ander is in figuur 14 nog eens afzonderlijk geschetst, waarbij gerekend is in sporen van een halve millimeter met het middelpunt op de 0.

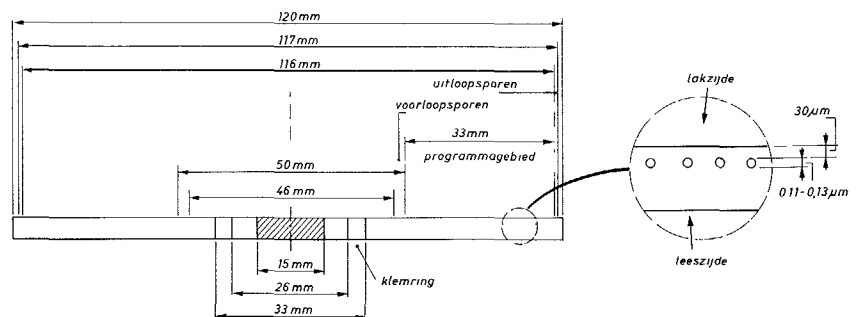
### Discindeling

De organisatie van de data is bij de magneto-optische disc enigszins afwijkend van de CD en dat is ook nodig vanwege de van elkaar verschillende registratiemethoden en het feit dat het hier om een door te gebruiker te beschrijven medium gaat; zie figuur 15. Evenals bij de CD begint een MO-disc met een reeks voorloopsporen. Hierin zijn nu behalve de informatie over de data-indeling ook gegevens over de disc zelf opgenomen, onder meer welk laser vermogen optimaal is om te schrijven en dergelijke.

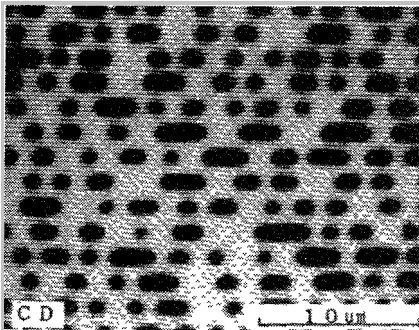
Een klein deel van het oorspronkelijke programmeersegment is gereserveerd voor een door de gebruiker gegenereerde aanhef, als verlengstuk van de voorgeprogrammeerde voorloopsporen.

Daarna volgt ruim 32 mm lees/schrijfgebied, gevolgd door dezelfde, vastgeprogrammeerde uitloopsporen als bij de CD.

De gebruikersaanhef, aangeduid met UTOC-gebied, wordt als laatste deel van de schijf beschreven. Informatie met betrekking tot de opgeslagen bestanden, programmanummers en -tijdsduur en dergelijke, slaat de MOD-recorder eerst in een intern geheugen op. Pas op het moment dat de schrijfcyclus wordt afgesloten en de disc uit het loopwerk moet, schrijft het apparaat de inhoud van dit tussengeheugen weg. Het UTOC-gebied wordt bij elke aanpassing van de opge-



Figuur 13. De afmetingen en indeling van een CD zijn gestandaardiseerd.



Putjes en magnetisatievlakjes bij CD's respectievelijk MO-discs kunnen in lengte variëren van 1,65 tot ruim 6 µm.

slagen data opnieuw ingelezen, gewijzigd en weer weggeschreven; zie figuur 16.

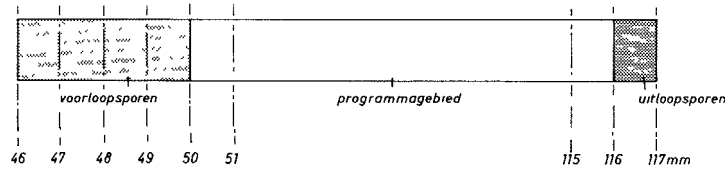
**Tijdcode**

Bij CD's kan het kloksignaal rechtstreeks uit het datasignaal worden herleid. Datzelfde geldt voor de weergave van MO-discs. Tijdens de opname is dit signaal echter niet beschikbaar en dat houdt in dat informatie over de draaisnelheid en de positie van de opneemkop op een andere manier moet worden verkregen. Hiervoor kan uit drie verschillende benaderingen worden gekozen.

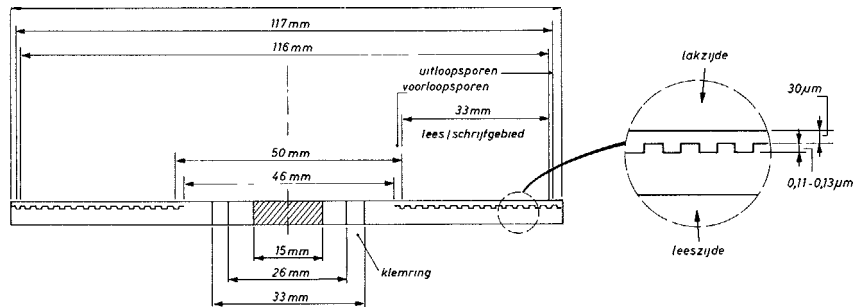
Ten eerste is het mogelijk om, en dat is ook in het MO-disc-prototype gebeurd, de discmotor te voorzien van een toerentalmeter en het opnemermechanisme met een positiesensor uit te rusten. Deze twee leveren samen voldoende informatie om een gesloten servosysteem te creëren dat tijdens het opnemen actief is. Dit principe heeft als nadeel dat in elke recorder extra hardware moet worden ingebouwd.

Een tweede mogelijkheid is het voorformateren van discs in de vorm van prebits, in dit geval 'prebits'. Dit heeft echter tot gevolg dat vooraf al een gegevensstructuur dwingend wordt opgelegd. Het werken met verschillende structuren - bijvoorbeeld afwijkende bemonsteringsfrequenties als MSC, Mascam en OFC - wordt hierdoor sterk bemoeilijkt.

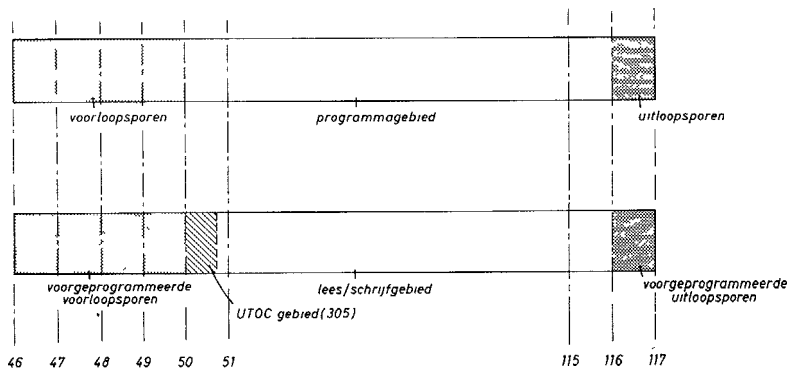
De door Thomson voorgestelde standaard is het toevoegen van een extra, data-onafhankelijke tijdcode op de schijf. Dit zou dan moeten worden gerealiseerd door bij de fabricage van de disc een spiraalspoor toe te voegen. Daarin worden dan met een amplitude van circa 30 nm en een frequentie van 22 kHz de absolute tijd en het sectornummer gemoduleerd met behulp van FM. Inmiddels is hiervoor een data-onafhankelijke tijdcode ontwikkeld.



Figuur 14. Indeling van het programmagebied van de compact disc, gerekend in stappen van een halve millimeter vanuit het middelpunt van de schijf.



Figuur 15. De MO disc is qua afmetingen identiek aan de CD.



Figuur 16. Vergelijken met de indeling van de CD (boven) onderscheidt het datagebied van de magneto-optische disc zich door de toevoeging van een gebruikersaanhef.



Teneinde bij onbeschreven discs toch een kloksignaal te kunnen genereren, is voorgesteld om de media bij de fabricage van een tijdcodespiraal te voorzien.

