

De digitale zonnwijzer: Zonnwijzerpark Genk nr. 8

Frans W. Maes

Een platte zwarte doos, hoog aan een paal. Met recht een 'black box'. Die indruk kreeg ik bij mijn eerste bezoek aan dit wonderlijke instrument. Het was bewolkt, en niets wees erop dat hier een zonnwijzer stond opgesteld, of het moest de ondersteuning zijn, die wel op de hemelpool gericht leek. Bij de term "digitale zonnwijzer" denk je al gauw aan elektronica en computers. Maar van een elektrische aansluiting was niets te bespeuren. Was de stroom nog niet aangesloten? Wat zou er op dat zwarte scherm te zien moeten zijn?

Pas toen een volgend keer de zon scheen, bleek wat er werd bedoeld met de term "digitaal": de aanduiding van de tijd verschijnt in oplichtende cijfers, *digits* in het Engels (fig. 1). En als je even blijft staan kijken, doven de cijfers langzaam en maakt de tijd een stapje van vijf minuten, naar 3.30 dus in dit geval.



Fig. 1. De digitale zonnwijzer.

De zonnwijzer wees toen nog de plaatselijke tijd. Dat exemplaar is inmiddels gesneuveld en tijdelijk vervangen door één die zomertijd wijst. De definitieve versie zal weer zonnetijd wijzen, zoals de meeste zonnwijzers in het park. Het bereik is van 7.30 tot 4.30 uur.

De digitale zonnwijzer is uitgevonden door een driemanschap: Hans Scharstein, zijn zoon Daniel en diens collega Werner Krotz-Vogel. In 1994 verkregen zij een octrooi hierop [1]. En Genk genoot de wereldprimeur van dit intrigerende ontwerp.

Dit is de negende aflevering van mijn rondleiding langs de unieke, boeiende, interessante, maar soms ook raadselachtige objecten in het Zonnwijzerpark.

Ook de digitale zonnwijzer is een wereldprimeur, naast de kegelzonnwijzer die we onlangs bezochten. Maar deze is *hi-tech* en maakt een essentieel gebruik van de Wet van Snellius. Ook andere zonnwijzers die van optische hulpmiddelen gebruikmaken, passeren de revue.

Zie over het Zonnwijzerpark ook mijn website: <http://www.fransmaes.nl/genk/>.

Principe

De digitale zonnwijzer bestaat uit twee platen, evenwijdig aan elkaar. De eerste plaat, aan de zuidzijde, is voorzien van een regelmatig patroon van smalle, verticale spleten. Als de zon schijnt, valt hierdoor een hele reeks van streepjes zonlicht op de tweede plaat. Ook deze bevat spleetjes, die in feite verticale reepjes zijn uit de cijfers die moeten verschijnen. De reepjes van verschillende cijfers zijn door elkaar gemengd (fig. 2).

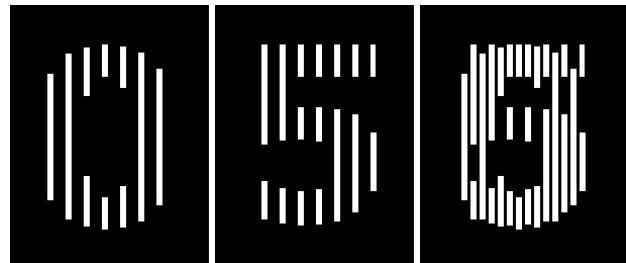


Fig. 2. Vereenvoudigde illustratie van het principe: verticale reepjes uit de cijfers 0 en 5 (links en midden) zijn door elkaar uit de tweede plaat gesneden (rechts).

Als de streepjes zonlicht die door de eerste plaat vallen hier overheen glijden, lichten achtereenvolgens de cijfers 0 en 5 op (fig. 3). Achter de tweede plaat is een melkglazen plaat aangebracht. Daardoor worden de smalle lichtstreepjes wat uitgesmeerd en kun je de cijfers tevens over een relatief grote hoek aflezen.

In werkelijkheid zijn in de rechterhelft van de tweede plaat, die de minuten toont, de 12 cijferparen 00, 05, 10, ... 50, 55 in versneden vorm ondergebracht. Voor het meest rechtse cijfer zijn dus zes nullen en zes vijven aan reepjes gesneden en vermengd. In fig. 4 zie je hoe fijn deze reepjes zijn.

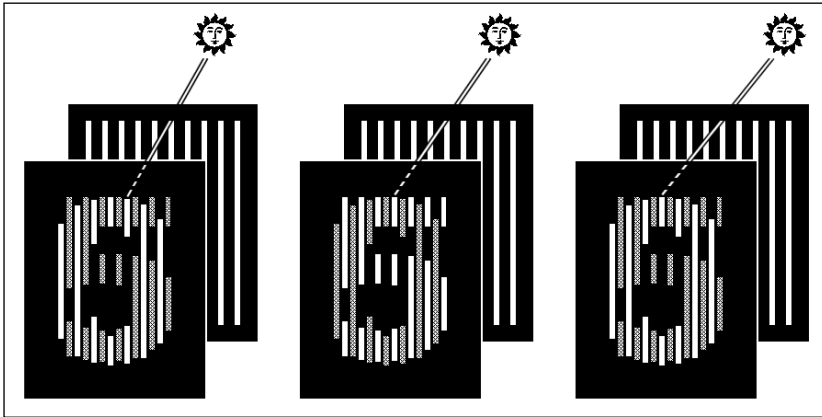


Fig. 3. Vereenvoudigde illustratie van het principe: achtereenvolgens laten de streepjes zonlicht die door de gleufjes in de eerste plaat vallen, de cijfers 0 en 5 in de tweede plaat oplichten. Kijk zo nodig door je oogharen om het verlichte cijfer te zien.

De spleetjes in de eerste plaat hebben een afstand van 7.14 mm en een breedte van 0.238 mm. Dit komt overeen met 20 (klok)minuten aan de urenkant en 2 minuten aan de minutenkant. De tweede plaat heeft aan de minutenkant op deze afstand 12 spleetjes van 0.595 mm breed liggen. Aan de urenkant heeft de tweede plaat 10 spleetjes van 0.714 mm. De afstand tussen de twee platen is 4 mm bij de uren en 40 mm aan de minutenkant. Buitenwerks meet de zonnwijzer 90 x 33 x 6 cm.

Het zal duidelijk zijn dat de patronen in de beide platen en hun onderlinge positionering een hoge graad van nauwkeurigheid vergen, willen de cijfers over het hele bereik van 9 uren gelijkmatig verschijnen en egaal verlicht worden, en dat ondanks hittegolf of poolwind. Dit is alleen mogelijk door het gebruik van *hi-tech* materialen en technieken.



Fig. 4. Detail uit fig. 1. Elk cijfer wordt door meer dan 20 verticale streepjes gevormd. Tussen elk tweetal streepjes zitten nog 11 andere. Je ziet hier de 0 van 3.30 uur al door de 5 schemeren.

Typologie: ploing of Chopin

De spleetjes in beide platen wijzen naar de hemelpool. In feite is elk spleetje in de eerste plaat een poolstijltje, en is hier dus sprake van een samenstel van zo'n honderd polaire zonnwijzertjes. Het bijzondere is natuurlijk de constructie van de tweede plaat, de eigenlijke wijzerplaat, die zo geprepareerd is dat de tijd er in cijfers verschijnt.

Is dit dan gewoon een meervoudige polaire poolstijlzonnwijzer? Ik vind van niet. Hier is sprake van een hoger organisatieniveau, wat een essentieel nieuw instrument heeft opgeleverd. Als ik de polaire zonnwijzer vergelijk met een strak gespannen snaar, die 'ploing' zegt wanneer je hem aantikt, dan is dit een piano, waarop je door de bijzondere rangschikking van vele snaren Chopin kunt spelen. Of een boogie-woogie. Want in plaats van cijfers zou je ook andere symbolen of figuren kunnen laten verschijnen.

Linearisatie dank zij Snellius

Het principe van deze zonnwijzer is betrekkelijk eenvoudig. Maar daarmee zou hij toch niet bruikbaar zijn. Waarom niet? Zoals gezegd, elk spleetje in de eerste plaat vormt de poolstijl van een polair zonnwijzertje. De spleetjes in de tweede plaat zijn in feite de tijdlijnen: 5-minuten lijnen op de rechter helft, uurlijnen links.

Maar de lijnen op een polaire zonnwijzer liggen vanuit het midden naar de zijkanten toe op steeds grotere afstanden, evenredig met de tangens van de uurhoek. En dat is met de tijdlijnen hier niet het geval: ze moeten op vaste afstanden liggen. Het gevolg zou zijn dat de zonnwijzer na de middag meer en meer voor zou gaan lopen, want de schuin invallende lichtlijntjes bereiken de betreffende tijdlijnen meer en meer te vroeg. En 's morgens zou hij achterlopen. Dat dat niet gebeurt, is te danken aan een gril van de natuur. Daarin schuilt het echte geheim van deze zonnwijzer.

De ruimte tussen beide platen is namelijk opgevuld met een transparant medium. De lichtstralen die door de spleetjes in de eerste plaat vallen, worden gebroken (fig. 5). Het verband tussen de hoeken \underline{a} en \underline{b} hangt af van de brekingsindex \underline{n} van het medium, volgens de brekingswet van Snellius:

$$\sin(\underline{b}) = \sin(\underline{a}) / \underline{n}$$

De brekingsindex van lucht is 1.0, van water 1.33 en van glas en vele kunststoffen tussen 1.4 en 1.6. Hoe groter hoek \underline{a} wordt, des te sterker is de breking en des te meer wordt het 'tangens-effect' tegengewerkt.

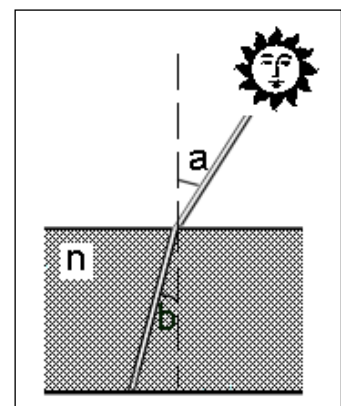


Fig. 5. Een lichtstraal valt op een transparant medium met brekingsindex \underline{n} . De brekingswet van Snellius beschrijft het verband tussen de hoek van inval \underline{a} en de hoek van uitbrede \underline{b} .

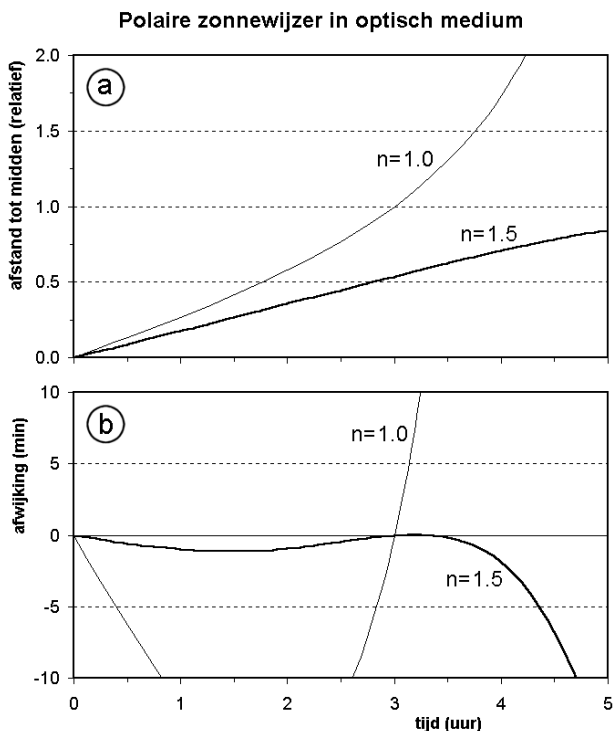


Fig. 6. a. Afstand van de uurlijnen van een polaire zonnwijzer tot het midden van de wijzerplaat, uitgedrukt t.o.v. de stijlhoogte, in lucht (brekingsindex $n=1.0$) en perspex ($n=1.5$). b. Afwijking in minuten t.o.v. een lineaire tijdschaal met de 3-uur lijn als referentie.

In fig. 6a is grafisch weergegeven hoe de afstand van de tijdlijnen tot het midden van de wijzerplaat met de tijd toeneemt. Wanneer er perspex tussen de platen zit, blijkt deze relatie vrijwel exact lineair te worden! Wanneer de afstand tot de 3-uur lijn als referentiepunt wordt gekozen, blijkt de afwijking tot meer dan 4 uur ter weerszijden van het midden hooguit enkele minuten te bedragen; minder dan de tijdsvereffening meestal is (fig. 6b).

Het ontstaan

Meestal wordt een uitvinding door één persoon gedaan, maar de digitale zonnwijzer is door een trio uitgevonden. Voor het huwelijk van Felix Scharstein, wetenschapper en kunstenaar, in 1994 zochten vader Hans (fysicus) en broer Daniel (wiskundige) een heel bijzonder cadeau. Een artikel van Ian Stewart in Scientific American van augustus 1991, getiteld *What in heaven is a digital sundial?* had hun belangstelling getrokken. Daarin lukte het Broeder Benjamin van de orde der Euclidische monniken om een digitale zonnwijzer te maken met behulp van *fractals*.

Theoretisch wellicht mogelijk, maar praktisch niet uitvoerbaar. Hoe zou het dan wèl kunnen? Oud-collega Werner Krotz-Vogel, eveneens fysicus, werd te hulp geroepen, en in een race tegen de kalender - de bruiloft was nog maar een half jaar weg - ontwikkelde het drietal een praktisch realiseerbare digitale zonnwijzer, gebaseerd op een heel ander concept dan dat van Broeder Benjamin.

Het cadeau viel kennelijk in de smaak, want toen de digitale zonnwijzer op de markt gebracht werd, raakte ook Felix bij het ontwerp betrokken. Vandaar dat ook hij op het informatiebordje (fig. 7) genoemd wordt. Deze en veel andere details vertelde Hans Scharstein mij toen we gastvrij ontvangen werden in zijn traditionele vakwerkhuis in de Eifel. Zo leerde ik daar dat de fraaie punt onderaan de steun in fig. 1 een resultaat is van een andere hobby: Hans is een fervent amateur-houtdraaiër. En we profiteerden van de gelegenheid om bijzondere zonnwijzers in de omgeving op te zoeken (fig. 8).

Vijf exemplaren wereldwijd

Genk had de wereldprimeur van de *hi-tech* digitale zonnwijzer. Die werd ingewijd op 20 juni 1998, bij de start van het project. Daarmee was Genk de Beierse hoofdstad München slechts vier dagen vóór. In het Deutsches Museum werd op 24 juni de *Sonnenuhrgarten* officieel geopend, waarin de ontwikkeling van de zonnwijzer door de eeuwen heen aanschouwelijk gemaakt is door Yves Opizzo en Christian Tobin [2]. Ook de digitale zonnwijzer maakt deel uit van deze permanente expositie.

Een derde exemplaar staat sinds de zomer van 2000 opgesteld bij het Stedelijk Museum van Keulen. Daarover vertelde Hans Scharstein, die verbonden is aan het Zoölogisch Instituut van de Keulse universiteit, mij nog een aardig detail. Het carnaval is een belangrijke gebeurtenis in het Keulse leven. De festiviteiten beginnen jaarlijks op 11 november om 11.11 uur 's morgens. Daarom telt

8 - Digitale zonnwijzer

| | |
|------------|---|
| Type | : digitale zonnwijzer |
| Ontwerper | : Werner Krotz, Daniel, Felix en Hans Scharstein (Duitsland) |
| Uitvoering | : Hans Scharstein (Duitsland) |
| Aflezing | : uren en minuten (om de 5 minuten) in ware plaatselijke zonnetijd |

Ook dit is een heel bijzonder type zonnwijzer. De benaming "digitaal" slaat enkel op het feit dat het zonne-uur op een digitale wijze wordt aangegeven. In de zonnwijzer zit geen enkel bewegend stuk of enige elektronische component. De digitale uuraanduiding wordt alleen maar verkregen door de beweging van de zon (in feite gaat het om de omwenteling van de aarde om haar as, ten opzichte van de zon). De zonnestrallen schijnen uiterst nauwkeurig aangebrachte strips op twee kunststofplaten die dicht tegen elkaar zijn geplaatst.

Fig. 7. Het informatiebordje bij de digitale zonnwijzer.

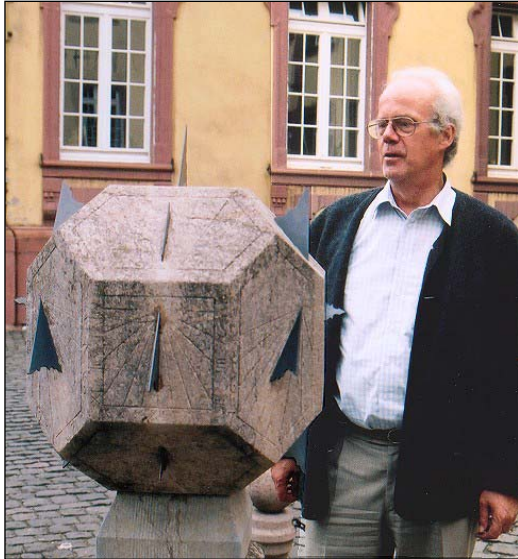


Fig. 8. Hans Scharstein bewondert het werk van een collega-zonnewijzerontwerper van drie eeuwen terug in het klooster Steinfeld (Eifel).

de Keulse zonnewijzer de minuten niet 00, 05, 10, 15, ..., maar 00, 05, 11, 15, ..., zodat hij op alle zonnige ochtenden eventjes 11.11 uur wijst.

In 2002 is in Amerika het vierde exemplaar verzezen, op het eiland Martha's Vineyard, voor de kust van de staat Massachusetts. Dan staat er sinds kort een in Daniel Scharsteins tuin in Middlebury, Vermont, en binnenkort verrijst er een in Santa Monica, Californië.

Het huiskamer-model

Scharstein c.s. hebben inmiddels ook een kleine uitvoering van de digitale zonnewijzer ontwikkeld, die in de vensterbank van een op het zuiden uitziend raam geplaatst kan worden, of met een zuignapje aan het glas gehangen wordt (fig. 9). Het afleesvlak meet slechts 3 bij 5 cm. Een echt hebbedingetje! Zie



Fig. 9. De huiskamer-versie van de digitale zonnewijzer. Aflezing op enkele minuten nauwkeurig: het getal 40 licht sterker op dan 30; het is dus tussen 12.35 en 12.40 uur.

de website [1] voor details. De resolutie is beperkt tot 10 minuten, waarvan de cijfers boven elkaar naast de uurscijfers verschijnen. Het voordeel is tweeledig: door vergelijking van de twee helderste minutenwaarden kan de tijd zelfs op minder dan 5 minuten geschat worden. Voorts wordt de onduidelijkheid vermeden bij de overgang tussen de minutenwaarden. Die kan bij de grote uitvoering optreden wanneer beide minutencijfers tegelijk veranderen. Als in fig. 1 het getal 25 langzaam vervangen wordt door 30, kan het eventjes moeilijk zijn te beslissen of het 20, 25, 30 of 35 minuten na 3 uur is.

Die onduidelijkheid is ook de reden dat de zonnewijzer zulke fraaie, geprononceerde cijfers gebruikt. Bij een digitale zonnewijzer zou je een uitlezing kunnen verwachten in de bekende 7-segment cijfers, zoals op een zakrekenmachientje. Maar als bijvoorbeeld de 4 door de 5 vervangen wordt, lijkt het mengsel even op een 6, en dat is niet zo handig. De karakteristieke cijfers voorkomen die verwarring.

Andere 'digitale' zonnewijzers

Sommige uitvindingen hangen kennelijk in de lucht en worden meerdere keren onafhankelijk van elkaar gedaan. De Amerikaan Bob Kellogg ontwierp eveneens in 1994 een 'samengestelde polaire zonnewijzer', die net zo werkt als die van Scharstein c.s. [3]. De minutencijfers verschijnen echter onder de uurscijfers. De resolutie is 10 minuten en het bereik is 2 uur ter weerszijden van het midden. Kellogg schreef onlangs een uitgebreid overzichtsartikel over digitale zonnewijzers [4].

Verscheidene andere zonnewijzerontwerpen tooien zich met de aanduiding 'digitaal', in de zin dat de zoncijfers projecteert. Het oudste is een ontwerp van de Amerikaan John Thew, gepatenteerd in 1960. Zijn model is nog steeds in de handel en siert onder andere mijn tuin (fig. 10). De uurscijfers zijn uitgespaard in de equatoriale ring. De tijd wordt afgelezen op de verticale lijn, in feite de poolstijl, op de stervormige wijzerplaat. Ik noem dit type een 'geïnvverteerde hoepelsfeer': in plaats dat de schaduw van de poolstijl op de urenring valt, valt het licht door de urenring op de poolstijl. Een aardig detail van dit model is dat de cijfers in de band naar opzij smaller worden, zodat ze ongeveer even breed op de wijzerplaat geprojecteerd worden als de cijfers in het midden. Voorts is de band wat groter dan 180°, zodat je hem wat kunt verschuiven om zonetijd, kloktijd of zomertijd in te stellen. Helaas is de oversteek niet genoeg om bij ons aanwijzing in zomertijd te kunnen instellen.

De Thew-zonnewijzer is ook een van de modellen in *The Great Sundial Cutout Book* van Robert Adzema en Mable Jones [5], overigens zonder vermelding van zijn oorsprong. Maar daaraan maakte ook Thew zich al schuldig, want zijn 'uitvinding' werd twee



Fig. 10. Het ontwerp van John Thew wordt nog steeds op de markt gebracht door de firma Whitehall, veelal onder de naam Sunclock.

eeuwen daarvoor al beschreven door Lalande, zoals Fred Sawyer signaleerde [6].

Een verfijndere versie, met ingebouwde correctie voor de tijdsvereffening, is ontworpen door Dietrich Ahlers uit Bremen [7]. Deze haalt een nauwkeurigheid van 1 à 2 minuten (fig. 11).

De aflezing ontkoppelen met glasvezels

De Amerikaanse firma HinesLab brengt een ontwerp op de markt onder de wel erg pretentieuze titel "de eerste digitale zonnwijzer ter wereld" [8]. Deze bestaat uit een bouwtekening met aanvullende informatie van - in principe - een equatoriale zonnwijzer. Het zonlicht valt door spleten op de uiteinden van glasvezels (*optic fibers*), die zo uitgesplitst worden dat ze cijfers in de vorm van een 7-segment display doen oplichten. Bij de wisseling van sommige cijfers kan dus een verwarrende

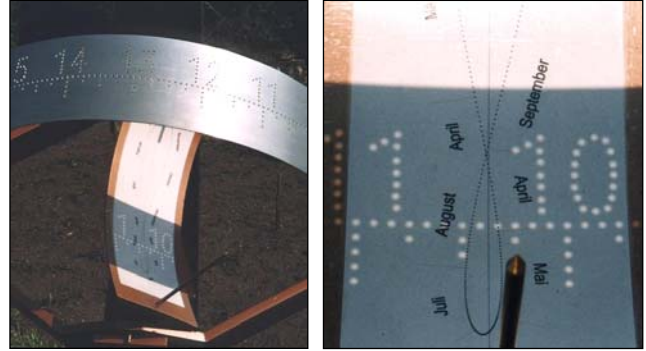


Fig. 11. De digitale zonnwijzer van Dietrich Ahlers uit Bremen. Links: De wijzerplaat is gekromd om de cijfers door het jaar heen even groot te houden. Met het staafje onderaan wordt hij op de zon gericht. Rechts: De urenring heeft gaatjes per 5 minuten en markeringen per kwartier en half uur. De tijdsvereffeningslus is opgebouwd uit stipjes per dag. Het is hier 10.20 uur op 30 april of 10.27 uur op 13 augustus. Foto's van [7].

aflezing ontstaan, zoals hierboven uiteengezet. De resolutie is 10 minuten.

Zonnwijzers die met behulp van glasvezels de aflezing naar elders verplaatsen en daarmee de ontwerper vrijheid geven om de vorm van de aflezing naar zijn hand te zetten, zijn er wel meer. Al in 1974 liet Iwan Kahn (Zwitserland) een instrument zien dat hiervan gebruikmaakte [9].

De bekendste is die in de Jardin des Halles in Parijs (fig. 12), ontworpen door de wiskundige François Dandrel en vormgegeven door de beeldhouwer Henri de Miller in 1988. Zonlicht valt door drie polair lopende gleuven in een 2.5 meter hoge bronzen 'monoliet' op de uiteinden van bundels glasvezels. De gleuven bestrijken samen de hele zonnedag. De glasvezels vervoeren het zonlicht naar een reeks 'oogjes' onder een langgerekte betonnen golf. De golf rijst in de ochtend geleidelijk op, bereikt zijn hoogtepunt in de middag en ebt in de avond weer weg. De kam van de golf is zo vormgegeven dat de



Fig. 12. De glasvezel-zonnwijzer in de Jardin des Halles in Parijs. Het zonlicht valt door gleuven in de monoliet rechts op glasvezels, die naar de kwartier-punten net onder de rand van de golf links lopen. Op de halfronde bank rechts van de monoliet staat o.a. een grafiek van de tijdsvereffening. Op de achtergrond de Beurs met de kolom van de Médicis, waaraan ooit de uurvlakzonnwijzer van Pingré zat [10].

zon nooit het bijbehorende oogje kan verblinden. Er is een oogje per kwartier, van 7.00 tot 22.30 uur. Door interpolatie van de lichtsterktes in naburige oogjes kan een nauwkeurigheid van enkele minuten bereikt worden. De tijd loopt - onverwacht - van rechts naar links, tegen de zon in.

Andere glasvezel-zonnewijzers, elk met hun inventieve details, zijn die van W.G. Benoy en van Mike Shaw, beide uit Engeland [11].

Andere optische effecten waarvan gebruikgemaakt is voor het bouwen van zonnewijzers zijn de polarisatie van de hemel, holografie en reflectie tegen concentrische ringen. Een voorbeeld van dat laatste is een cd. Als je die in de zon houdt en loodrecht op het centrum kijkt, zie je een kleurige lichtstreep die naar de zon wijst. Hiermee kun je naar believen een azimut-, een equatoriale of een hoogtemetende zonnewijzer maken [12].

Vinger-zonnewijzers

De eerste betekenis van 'digitaal' die de Dikke van Dale geeft is: op de vingers betrekking hebbend. Daarin zien we de Latijnse afkomst van dit woord: *digitus* is vinger. En via het tellen op je vingers is de tweede betekenis ontstaan: cijferverwerkend.

Inderdaad kun je je hand ook als zonnewijzer gebruiken. Fred Sawyer & Mario Araldi diepten uit oude literatuur verscheidene methoden op, soms met gebruikmaking van een stokje of strootje als schaduwgever (fig. 13), of van beide handen samen [13]. En Karen Deal Robinson beschreef hoe ze met haar handen een universele equatoriale ringzonnewijzer nabootst [14].

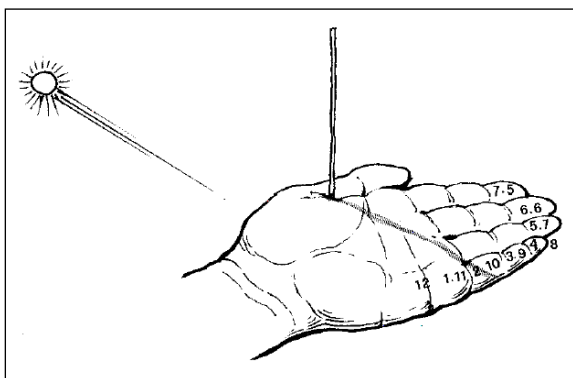


Fig. 13. De hand als horizontale zonnewijzer. Uit [13].

Ik moet bekennen dat ik niet uitprobeerde hoe nauwkeurig deze methoden zijn, voorzover ik de beschrijving al kon volgen. Maar je moet ze niet gebruiken om de trein te halen, lijkt me...

Besluit

Ik besluit met de enige écht digitale zonnewijzer die ik ken (fig. 14). Die zag ik op de tentoonstelling *Schaduw van de tijd. Zonnewijzers in Limburg*, zomer 2000 in het Stedelijk Museum Stellingwerff-

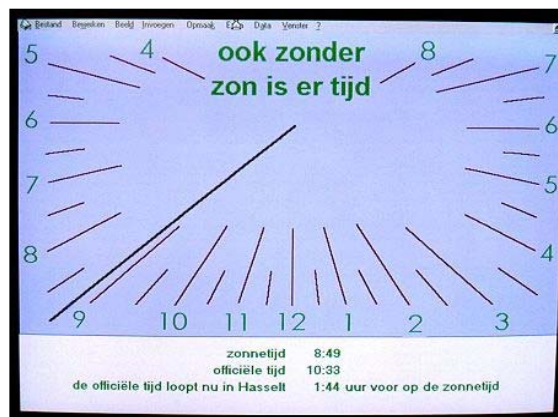


Fig. 14. De digitale zonnewijzer van Willy Leenders op een tentoonstelling in Hasselt. Ook zonder zon is er zonnewijzertijd, dankzij de computer.

Waardenhof in Hasselt. Hij is geprogrammeerd in Excel door Willy Leenders uit Hasselt.

Referenties

- [1] Website <http://www.digitalsundial.com> van Digital Sundials, waarop o.a. het patent.
- [2] Website <http://www.deutsches-museum.de/ausstell/dauer/zeitmess/sonne.htm>. Het museum geeft ook het gidsje *Sonnenuhrgarten, Führer durch die Ausstellung*, 1999, uit.
- [3] Robert L. Kellogg, A true digital sundial, NASS Compendium 2 nr. 3, 1995, p. 4-10.
- [4] Robert L. Kellogg, Digital sundials in review, NASS Compendium 11 nr. 2, 2004, p. 1-10 en nr. 3, p. 1-10.
- [5] Robert Adzema & Mable Jones, The great sundial cutout book, Hawthorn Books, New York 1978.
- [6] Fred Sawyer, J.G. Thew's patented sundial, NASS Compendium 1 nr. 2, 1994, p. 18-19. Aansluitend (p. 19-20) de Engelse vertaling van het artikel van Lalande uit 1757.
- [7] Website <http://planetarium.hs-bremen.de/planetarium/astroinfo/sonnenuhren/digital.htm> van het Olbers Planetarium in Bremen.
- [8] Website <http://www.hineslab.com/DigitalSundial.html>.
- [9] Melding van Marinus Hagen in het Bulletin van de Nederlandse Zonnewijzerkring 16, 1983, p. 827.
- [10] Frans W. Maes, De grote uurvlakzonnewijzer: Zonnewijzerpark Genk nr. 10, Bulletin van de Nederlandse Zonnewijzerkring 2004 nr. 1, p. 25-29.
- [11] W.G. Benoy, A remote reading sundial, BSS Bulletin 1989 nr. 2, p. 16-18. Mike Shaw, A remote reading sundial using fibre optics, BSS Bulletin 13 nr. 2, 2001, p. 67-68 en zijn website <http://homepage.ntlworld.com/jmikeshaw/>.
- [12] Mario Catamo & Cesare Lucarini, Light as a shadow - sundials without gnomons, NASS Compendium 6 nr. 3, 1999, p. 19-22.
- [13] Fred Sawyer & Mario Araldi, Digital sundials - time at your fingertips, NASS Compendium 7 nr. 3, 2000, p. 18-23.
- [14] Karen Robinson, A "digital" universal ring dial - more time at your fingertips, NASS Compendium 9 nr. 1, 2002, p. 29-30. Nederlandse vertaling: Fer J. de Vries, Karen's hand zonnewijzer, Bulletin van de Nederlandse Zonnewijzerkring 2002 nr. 1, p. 5-8.

