

Kartografische hoogtevoorstelling

Deel 2: Stereovisie, reliëfmodellen en digitale methoden

B.J. Köbben

visualisatie, 3D kartografie, hoogtevoorstelling, theorie, praktijk, overzicht
 visualisation, 3D cartography, relief representation, theory, applications, survey
 visualisation, figuration tridimensionnelle, orographie, théorie, applications, étude

TREFWOORDEN
KEYWORDS
MOTS-CLÉS

In deel 1 van dit kernkatern (verschenen in KT 2001.2) is uitgelegd hoe we hoogteverschillen waarnemen en kunnen visualiseren en is ingegaan op de verschillende methoden om die hoogten in traditionele kaarten weer te geven. In deze tweede aflevering wordt ingegaan op visualisatietechnieken die gebruik maken van stereovisie en van een echt driedimensionaal medium en bovendien op de nieuwe technieken van de virtual reality en de daarvoor onontbeerlijke digitale hoogtemodellering.



Dr. Barend Köbben is docent bij de divisie Geoinformatica, Kartografie en Visualisatie van het ITC, Postbus 6, 7500 AA Enschede, [e] kobben@itc.nl.

Hoogtevoorstelling met stereovisie

De in deel 1 beschreven hoogtevoorstellingstechnieken maken óf geen gebruik van 3D-perceptie (hoogtelijnen, hoogtezones en schrapjesmethode), óf van 3D-perceptie door psychologische stimuli (schaduwering en perspectief). Door gebruik te maken van de belangrijkste fysiologische stimulus stereovisie (zie figuur 1 in deel 1), kunnen we een zeer realistisch resultaat bereiken, waarbij de hoogteverschillen die worden waargenomen nauwelijks van echt te onderscheiden zijn.

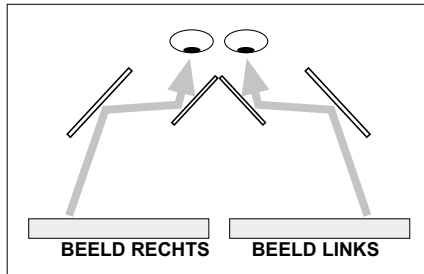
Om stereovisie mogelijk te maken moeten de twee benodigde beelden zó aan de kijker worden aangeboden, dat het ene beeld alleen door het linkeroog wordt waargenomen en het andere alleen door het rechteroog. Dat gebeurt in fotogrammetrische apparatuur meestal met optische technieken, zoals de spiegels in de stereoscoop in figuur 13. De twee beelden blijven daarbij apart beschikbaar, wat nog als belangrijk voordeel heeft dat de paralaxverschuiving gemeten kan worden, waardoor nauwkeurige opname van de

hoogteverschillen ook tot de mogelijkheden behoort. Hiervan wordt in de fotogrammetrie dankbaar gebruik gemaakt om in zogeheten stereoparen, twee luchtfoto's die elkaar deels overlappen en dus een stereobeeld vormen, metingen te verrichten die topografische elementen zowel een x-, een y- als een z-coördinaat geven.

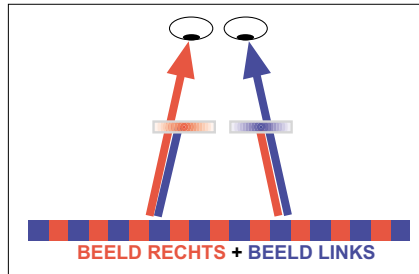
Voor kaarten is dit geen praktische oplossing, vanwege de twee los van elkaar staande beelden, die zorgvuldig relatief gepositioneerd moeten worden en alleen met een stereoscoop bekeken kunnen worden. Als alternatief is de anaglyfendruk ontwikkeld, waarbij de twee beelden van hetzelfde gebied over elkaar gedrukt worden in verschillende kleuren, in het voorbeeld in figuur 14 rood en blauw. Het stereo-effect wordt verkregen door dit gecombineerde beeld te bekijken met een speciale bril met filters die door het linkerglas alleen het linkerbeeld doorlaten en door het rechterglas juist het rechterbeeld. Op eenzelfde manier kan ook gebruik worden gemaakt van twee beelden die verschillend gepolariseerd zijn in combinatie met een bril met polarisatiefilters. De anaglyfen- en polarisatiedruktechnieken zijn ingewikkeld en kostbaar en het gebruik ervan is altijd beperkt gebleven.

In digitale toepassingen van stereovisie wordt meestal gebruik gemaakt van een snelle afwisseling (in praktijk 50 maal per seconde of vaker) van het linker- en rechterbeeld op het beeldscherm (figuur 15). Ook nu is weer een speciale bril nodig die de beelden scheidt, bijvoorbeeld door middel van eerder genoemde polarisatie. Deze techniek is dankzij de tegenwoordige krachtige computer hard- en software relatief simpel en goed-

Figuur 13 - Stereovisie – scheiding van beelden door middel van optische stereoscoop.



Figuur 14 - Stereovisie – scheiding van beelden door middel van anaglyfen.



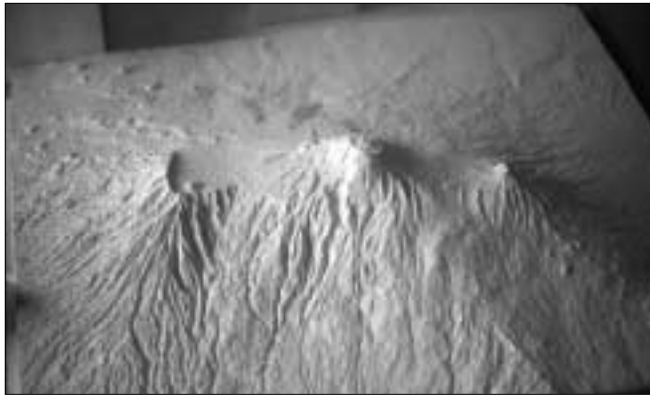
koop in te zetten en wordt dan ook in toenemende mate gebruikt, met name voor digitale fotogrammetrie.

Al met al is hoogtevorming door stereovisie in praktijk toch vooral in gebruik voor een aantal gespecialiseerde toepassingen en wordt er in de alledaagse kartografie weinig gebruik van gemaakt.

Hoogtevorming op een driedimensionaal medium

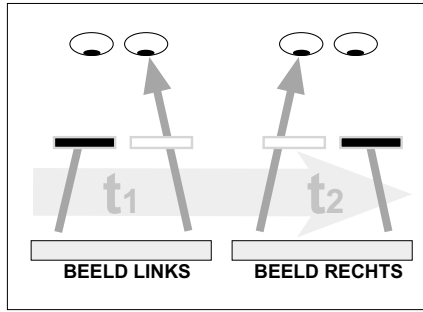
Alle hiervoor besproken kaarten worden afgebeeld op het platte vlak van papier of beeldscherm en gebruiken de in deel I verklaarde fysiologische en psychologische stimuli om hoogteverschillen te suggereren waar die er feitelijk niet zijn. Daarnaast is het natuurlijk ook mogelijk om kaarten te maken die échte hoogteverschillen kennen en dus gebruik maken van een driedimensionaal medium. We onderscheiden daarbij de blindentast-kaarten, globes en reliëfmodellen. Daarvan vallen de eerste twee buiten het bestek van dit kernkatern, omdat hierbij de derde dimensie niet gebruikt wordt voor hoogtevorming, maar voor respectievelijk het voelbaar maken van grafische elementen en voor het zichtbaar maken van de bolvorm van de aarde.

Een reliëfmodel of reliëfkaart is een schaalgetrouwe, driedimensionale weergave van een deel van het oppervlak van de aarde. Daarbij is meestal de verticale schaal groter dan de horizontale (men spreekt dan van een overdreven reliëfmodel). De noodzaak is door een rekenvoorbeeld snel duidelijk te maken. Het land Nepal heeft op een schaal 1:1.000.000 een grootte in Oost-West richting van zo'n 80 centimeter, terwijl de Mount Everest, toch geen kinderachtige berg, op diezelfde schaal nog geen centimeter hoog zou zijn...



Figuur 16 - Gipsen reliëfmatrijs.

Reliëfmodellen worden meestal vervaardigd door eerst uit gips, kunstharz of metaal een massief model te vervaardigen, de reliëfmatrijs (figuur 16). Dit kan met de hand gebeuren, maar meer gebruikelijk is het automatisch uitfrezet door een computergestuurde freesmachine, die werkt aan de hand van een digitaal terreinmodel (zie verderop). Door vervolgens een eerst met het gewenste kaartbeeld bedrukte plaat kunststof onder verhitting tegen de reliëfmatrijs aan te zuigen, neemt de kunststofplaat de gewenste vorm aan en blijft in die vorm na afkoeling. De resulterende plastic reliëfkaart is een zeer effectieve combinatie van traditionele kaart en goed voorstelbare en zelfs tastbare terreinvormen, die echter niet goed gemeten kunnen worden. Ze geven met andere woorden een zeer goede beeld-



Figuur 15 - Stereovisie – scheiding van beelden door middel van digitale beeldwisseling.

vorming, maar zijn qua nauwkeurigheid vrij beperkt en zijn vooral bruikbaar in onderwijs toepassingen. Daar komt natuurlijk bij dat een dergelijk kaart niet praktisch in gebruik is, want hij is bijvoorbeeld niet op te rollen of te vouwen! In een aantal landen maken de topografische diensten dergelijke reliëfkaarten in reguliere uitgaven, zoals het IGN in Frankrijk (zie het voorbeeld in figuur 17) en de Turkse HGK, maar over het algemeen zijn ze vrij zeldzaam en ook nog eens relatief duur.

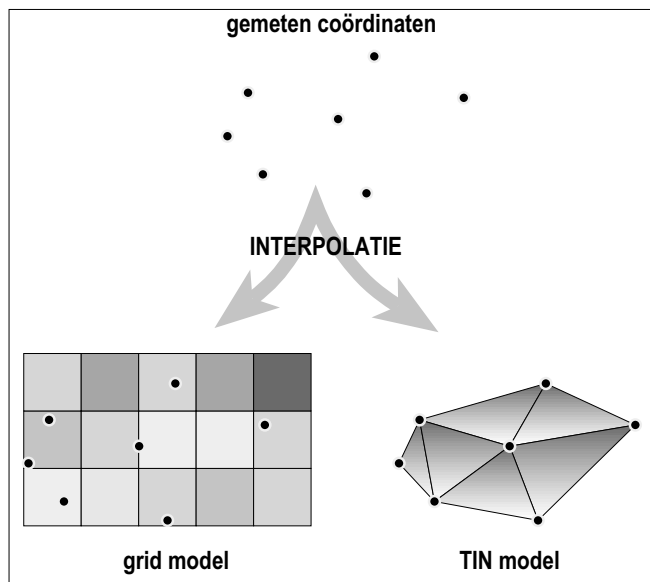


Figuur 17 - Plastic reliëfkaart van het IGN.

Digitale terreinmodellen

Voor vervaardiging van alle soorten hoogtevormingen is informatie over de hoogtes in het landschap natuurlijk onontbeerlijk. In de traditionele kartografie was die informatie meestal beschikbaar in de vorm van hoogtelijnen en -punten in topografische kaarten of speciale hoogtekaarten. Met de komst van de computertechnieken werd ook deze informatie digitaal beschikbaar in zogenaamde digitale hoogtemodellen of digitale terreinmodellen (DTM). Een DTM bestaat uit twee onderdelen: ten eerste een set van coördinaten die een (beperkt aantal) bekende gemeten punten in het terrein bevat en ten tweede een interpolatie-algoritme dat een ononderbroken terreinoppervlak definieert.

De bekende coördinaten bestaan uit een aantal punten waarbij de hoogte gezien kan worden als een functie van de positie. Die positie kan in geografische coördinaten (lengte-breedte, f-l) zijn gedefinieerd of in een rechthoekig stelsel als UTM of het Rijksdriehoekstelsel. De hoogte wordt uitgedrukt in een afstand ten opzichte van een vastgestelde datum, bijvoorbeeld in meters boven of onder Nieuw Amsterdams Peil. De gemeten waarden kunnen afkomstig zijn uit traditionele geodetische metingen met theodolieten of waterpasinstrumenten, van GPS-metingen of van laser-altimetrie. Vooral deze laatste techniek, waarbij vanuit een vliegtuig met behulp van een laserinstrument op relatief goedkope wijze een zeer dicht net van nauwkeurige



hoogtemetingen wordt uitgevoerd, heeft de laatste jaren voor een grote toename van beschikbare hoogtedata gezorgd. De Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) die Rijkswaterstaat op deze wijze vervaardigt biedt bijvoorbeeld een hoogtepunt van zo'n beetje elke vierkante meter van Nederland! Andere veelgebruikte bronnen van hoogtemetingen zijn verder fotogrammetrische technieken en het digitaliseren van bestaande hoogtelijnen en -punten.

Om nu uit de bekende hoogtepunten een ononderbroken oppervlak te kunnen construeren moet voor elke denkbare locatie een hoogte kunnen worden berekend. Dit komt neer op een benadering van deze hoogte waar die niet gemeten is door middel van zogenaamde interpolatie-algoritmen. Hier zijn zeer vele mogelijkheden voor, onder te verdelen in technieken waarbij het oppervlak benaderd wordt door een raster- of gridstructuur en die waarbij een vectorstructuur in de vorm van een 'triangulated irregular network' (TIN) wordt gebruikt (zie figuur 18).

Bij het gridmodel wordt een regelmatig raster over het landschap geconstrueerd en vervolgens wordt van iedere cel de hoogte berekend op grond van de nabij gelegen gemeten hoogtewaarden. De nauwkeurigheid van dit model is in de eerste plaats afhankelijk van de gekozen celgrootte of resolutie. Kleine rastercellen maken een grote precisie mogelijk, maar doen de data-redundantie in relatief vlakke gebieden enorm toenemen. Over het algemeen zijn rastermodellen vooral geschikt om gebieden met veel natuurlijke variaties goed te benaderen. Bij het TIN-model worden driehoeken geconstrueerd met de bekende punten als hoe-

ken. Van deze driehoeken is dan dus de hoogte van de hoekpunten bekend en daarmee kan de hellingshoek ('slope') en hellingsrichting ('aspect') van de driehoek worden berekend. Er zullen dus veel kleine driehoeken ontstaan waar veel punten beschikbaar zijn en grotere waar weinig meetwaarden zijn (bij een goed opgezette meting zal dat in de relatief vlakke gedeelten zijn). Hierdoor kan goed worden aangesloten op kenmerkende breuklijnen in een landschap, bijvoorbeeld randen van wegen of terrassen en wordt data-redundantie vermeden. Zijn de oorspronkelijke meetwaarden echter zeer dicht en regelmatig verdeeld (zoals bijvoorbeeld bij laseraltimetrie het geval is) dan voldoet het gridmodel juist weer beter.

Virtuele Werkelijkheid

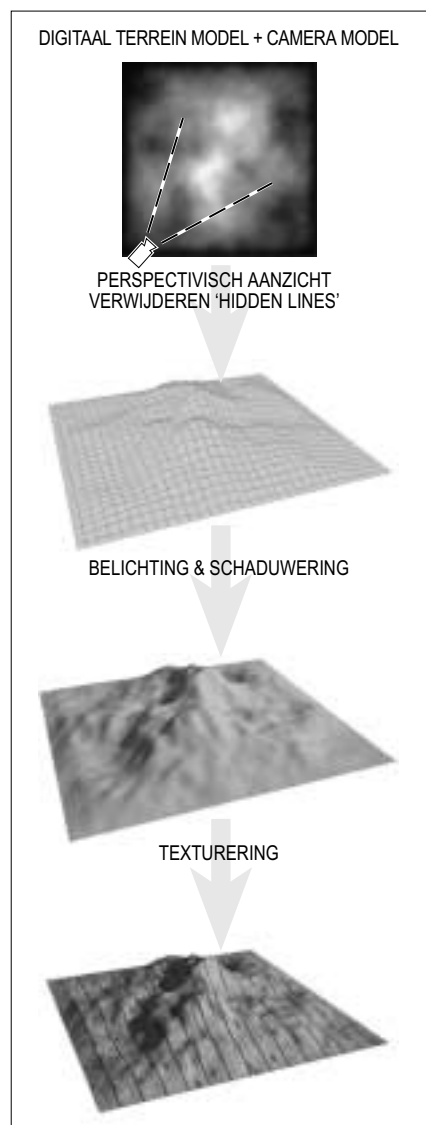
In deel 1 is al duidelijk gemaakt dat door gebruik te maken van de perspectivische technieken zeer realistische panoramakaarten gemaakt kunnen worden. Kartografen zijn vanouds gewend de wereld weer te geven op een weinig realistische manier. Een kaart is immers een sterk vereenvoudigde, gegeneraliseerde en gesymboliseerde weergave van het landschap. Om een meer realistische weergave van de wereld te maken is het niet alleen nodig de eerder vermelde perspectivische aanzichten te vervaardigen, maar ook om het landschap te bevolken met realistisch uitzijende bomen, gras, rotsen enzovoorts. Met

analoge productietechnieken en een fikse dosis artistieke aanleg is dit zeker mogelijk, zoals het berggezicht van Berann in deel 1 bewijst. Maar ook hier is het weer de computer die het mogelijk heeft gemaakt ook met relatief eenvoudige middelen zogeheten virtuele werelden te maken. Voor het vervaardigen van deze virtuele werelden zijn minimaal de in figuur 19 weergegeven stappen nodig.

Als eerste zijn de in het voorgaande besproken digitale hoogtemodellen onontbeerlijk. Die hoogtemodellen worden gecombineerd met een zogenaamd camera model. Daarin wordt de positie van de imaginaire kijker of camera gedefinieerd, samen met de zichthoek en -richting. Uit die combinatie kan een perspectivisch aanzicht berekend worden, dat zo getekend wordt dat de vanaf de camerapositie niet zichtbare delen worden weggelaten ('hidden line' of 'hidden surface removal').

Vervolgens wordt de licht- en schaduwval berekend bij een vastgestelde belichting. Het resultaat is een zogeheten 'solid model'. De complexiteit en het daarmee gepaarde realiteitsgehalte van het belichtingsmodel kan variëren van een eenvoudige 'linksboven' belichting zoals bij traditionele kaartschaduwering (zie deel 1), tot een op het feitelijke seizoen, breedtegraad en tijd gebaseerde belichting door realistisch gepositioneerd en

Figuur 18 - Hoogtemodelling – interpolatie naar raster (grid) en vector (TIN) model.



Figuur 19 - Stappen in vervaardiging van virtuele werelden.

gekleurd 'zonlicht', waarbij ook nog rekening kan worden gehouden met atmosferische invloeden, weersomstandigheden en andere omgevingsfactoren.

Om dat klei-achtige model vervolgens realistische terreineigenschappen te geven, wordt er textuur op aangebracht. Ook hier is weer een enorme variatie van technieken mogelijk: eenvoudige patronen zoals in figuur 19, het draperen van luchtfoto's, satellietbeelden of kaarten, het met fractaltechnieken genereren van realistische (maar 'random') landschapsvormen, het 'monteren' van foto's of 3D-modellen van bestaande vegetatie- en landschapsvormen en combinaties van dit alles. De kwaliteit en het realisme van de texturering hangt verder nog af van de grafische verfijningen die mogelijk zijn (zoals het 'anti-aliasen' om kartelige randen en bruuske overgangen te voorkomen) en van de mate waarin de feitelijke toestand van het terrein als basis voor de visualisatie dient.

Software om dergelijke virtuele werelden te vervaardigen is in alle soorten en maten verkrijgbaar, maar kan over het algemeen in twee hoofdcategorieën worden verdeeld. Aan de ene kant de programma's die uit de GIS-hoek afkomstig zijn en ook vaak extensies van bestaande GIS-en zijn, zoals 3D-analyst van ESRI ArcView en Virtualgis van Erdas Imagine. Zij hebben als voordeel dat de visualisaties gestuurd kunnen worden vanuit en gebaseerd zijn op ruimtelijke bestanden en daarom geografiegericht zijn en ruimtelijke analysemogelijkheden kennen. Om echt 'foto-realistische' beelden te maken ontbreken echter de nodige gereedschappen. Deze zijn juist weer sterk vertegenwoordigd in de software uit de grafische hoek, zoals Bryce (MetaCreations) en VistaPro (Virtual Reality Laboratories), maar hier ontbreekt weer de mogelijkheid van analyse en geo-

referentie. Er is momenteel weinig software die het beste van deze twee werelden in zich verenigt. Op het ITC is sinds kort ervaring met zo'n systeem, World Construction Set van 3D Nature, LLC. De visualisatie in figuur 20 is met dit pakket vervaardigd. De geometrie is gebaseerd op het AHN van Rijkswaterstaat en de TopoVector van de Topografische Dienst. Op die bestanden zijn ook de landschaps- en vegetatievormen gebaseerd: er zijn zogenaamde 'ecosystems' gedefinieerd die begrensd worden door de polygonen van uit de TopoVector, de landgebruikscategorieën uit de bijbehorende tabellen en een set 'Rules-Of-Nature', die bijvoorbeeld bepalen dat op zandgrond boven een bepaalde hellingshoek geen vegetatie meer groeit en dat bodems in naaldbossen een typische laagheid vertonen (als te zien in de steilrand langs de rivierbocht). Voor de samenstelling van de vegetatie worden uit de beschikbare bibliotheken die boom- en plantensoorten gekozen die in de betreffende landgebruikscategorieën voorkomen. Let wel: het blijft een 'bedachte' werkelijkheid, de bomen staan in het echt niet precies op de plaatsen als in het figuur en elke keer dat het landschap gegenereerd wordt ziet het er enigszins anders uit!

Figuur 20 - Visualisatie van de Dinkel bij het Lutterzand – vervaardigd in World Construction Set op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland en de TopoVector.

