

Enkele informatie theoretische aspecten van GIS

Martien Molenaar

Centrum voor Geo-Informatieverwerking
Vakgroep Landmeetkunde
Landbouw Universiteit Wageningen

Referaat

Voor het doorzien van de werking van GIS is van belang dat men een goed begrip heeft van de aard van geografische informatie. Deze wordt gekenmerkt door de verbinding van thematische met geometrische gegevens; het gaat daarbij zowel om de directe koppeling tussen thematische attributen en terreinposities, als om de beschrijving van terreinobjecten. Deze worden behandeld in rastergestructureerde en in vectorgestructureerde benaderingen. Beide typen benaderingen zijn geschikt voor bepaalde vormen van ruimtelijke analyse. Voor het verrichten van die analyses zijn drie klassen van modellen te onderscheiden. De integratie van GIS met zulke modellen leidt vaak tot complexe rekenprocessen. Deze vereisen speciale aandacht voor de informatie-overdracht tussen GIS en modellen en de aard van de interactie tussen de gebruikers en het systeem.

Trefwoorden: Geografische informatie, raster, vectorstructuur, topologie, terreinobjecten, modellen.

Inleiding

Geografische informatiesystemen maken tegenwoordig een grote ontwikkeling door. Deze betreft zowel de computertechnologie, de software, de databasetechnologie als de toepassingen. Ontwikkelingen over zo'n breed terrein zijn moeilijk te overzien of bij te houden. Daarom zullen we in het korte bestek van dit artikel ook niet proberen het GIS-veld in die breedte te behandelen. Het lijkt zinvoller om een aantal basisprincipes van het werken met geografische informatie te schetsen, in de hoop dat ze voldoende inzicht geven om de genoemde ontwikkelingen enigszins te doorzien. De aandacht gaat daarbij vooral uit naar de aard van de informatie die met GIS behandeld wordt, naar een aantal basisstructuren voor de opslag van gegevens in GIS en naar een aantal elementaire bewerkings- en analysemethoden die op de gegevens in GIS worden toegepast. Aan het eind van het artikel passeren dan nog een paar huidige ontwikkelingen en aandachtsvelden voor onderzoek de revue. Die geven aan in welke richting men de po-

tentie van GIS in de nabije toekomst denkt uit te bouwen.

In geografische informatiesystemen worden gegevens opgeslagen en verwerkt, die zowel thematische als geometrische (ruimtelijke) informatie bevatten. Bij het gebruik van deze informatie is vaak de thematische invalshoek primair, dat wil zeggen dat de analyse van de gegevens in eerste instantie gestuurd wordt door een thematische vraagstelling. Een geometrische analyse van de gegevens is daar dan een afgeleide van. De keuze hoe geometrie in een GIS moet worden weergegeven hangt dan ook af van de aard van de thematische gegevens en van de wijze waarop die gebruikt worden. Voor de koppeling tussen thematiek en geometrie zijn twee hoofdvormen mogelijk. In de eerste vorm worden terreinkenmerken in de vorm van attributen beschreven. In het terrein worden dan posities gekozen waarvoor aan deze attributen waarden worden toegekend. Deze basisgegevensstructuur is in figuur 1a. weergegeven. In de tweede hoofdvorm worden in het terrein objecten ge-

Figuur 1 - Gegevensstructuren



fig 1.a attribuutwaarde als functie van positie

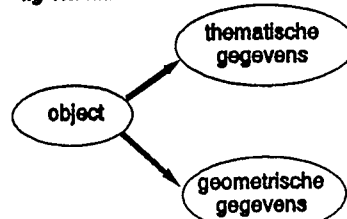


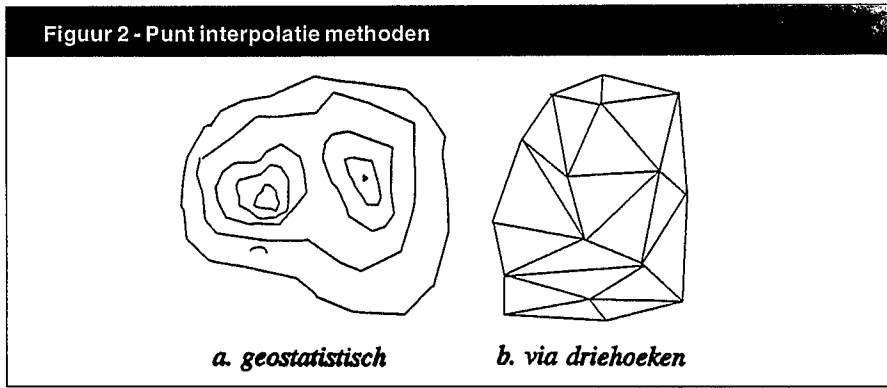
fig 1.b opslag structuur voor objecten

identificeerd. Van deze objecten worden dan de thematische en de geometrische kenmerken vastgelegd. Deze structuur wordt in figuur 1b. weergegeven. We zullen hierna de beide vormen wat nader beschouwen.

Attribuutwaarde als functie van positie

In de literatuur wordt deze benadering ook wel als "field approach" aangeduid, omdat men de attribuutwaarden beschouwt als de waarden van veldfuncties die op iedere positie in een twee dimensionale ruimte, het terrein, kunnen worden bepaald. Deze posities kunnen onregelmatig over de ruimte verspreid liggen of ze kunnen in een regelmatig grid geordend zijn.

Bij bemonstering van de waarden in het veld wordt meestal met een onregelmatig puntenpatroon gewerkt. De terreinattributen waarvan men de waarden bepaalt, kunnen van verschillende aard zijn. Het kan gaan om hoogte-gegevens, om grondwaterstanden, om de zuurgraad van de bodem, om bodemprofielen, of om vele andere zaken. De kaarteerder zal op basis van de aard van de te bemonsteren attributen en op basis van kennis van de samenhang tussen de waarden en terreinvormen, een puntenverdeling kiezen. Het bemonsterde patroon is dan meestal wel onregelmatig, maar zeker niet altijd willekeurig. Bij een dergelijke werkwijze is het van groot belang dat de kaarteerder direct zijn positie kan bepalen. Hier bieden Global Positioning System (GPS) metingen uitkomst. De vereiste nauwkeurigheid hangt natuurlijk van het doel van de kaartering af. Bij een bodemkundige- of een vegetatie-kaartering is een positienuwkeurigheid van één of twee meter vaak voldoende, maar bij



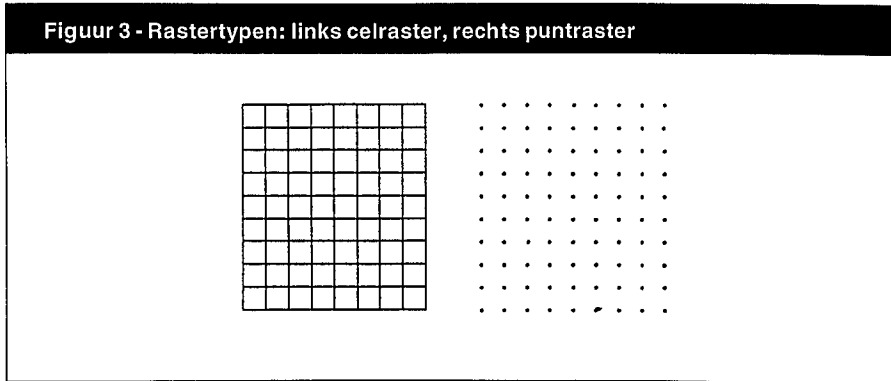
een bemonstering van bodemvervuiling kan de eis hoger liggen, in de orde van een decimeter. Bij de laatste soort toepassingen maakt men vaak gebruik van nauwkeurige interpolatiemethoden, of geostatistische methoden, om verspreidingspatronen van giftige stoffen precies vast te leggen, zie figuur 2.a. Een andere gangbare methode voor interpolatie is via de zogenaamde "triangular irregular networks", TIN's, een op de eindige elementen-methode gebaseerde techniek, zie figuur 2.b.

In het geval dat een kaartering met behulp van remote sensing-technieken wordt uitgevoerd, of met behulp van gescande luchtfoto's, ontstaat er meestal een regelmatig grid van waarnemingsposities. Dat is inherent aan de opnametechniek en aan de wijze van verwerking van de opnamen. Deze grid of rasterstructuur kan op twee manieren geïnterpreteerd worden. De waarnemingen kunnen worden beschouwd als betrekking hebbend op de positie van een waarnemingspunt, maar ze kunnen ook betrekking hebben op een oppervlakte-element dat door een rastercel beschreven wordt. In het eerste geval spreekt men van een puntraster, in het tweede van een celraster, zie figuur 3. Welke van de twee interpretaties relevant is hangt uiteraard weer van de aard van de

kaartering en dus van de terreinattributen af. Zo zal een hoogte-raster meestal als puntraster behandeld worden, terwijl een raster met landgebruik of vegetatie-gegevens eerder als celraster gezien wordt.

De rasterstructuur is voor twee soorten operaties zeer geschikt: voor vensteroperaties en voor overlay-operaties. Bij vensteroperaties wordt telkens om een raster element een omgeving gedefinieerd van een beperkte omvang, meestal 3x3 of 5x5. In zo'n omgeving worden dan bewerkingen op de attribuutwaarden uitgevoerd, zoals het berekenen van een gemiddelde of een mediaan, of het zoeken naar gradiënten (hellingen) of randen. De uitkomst van de bewerkingen wordt dan toegekend aan het centrale element van het venster, daarna wordt het verschoven naar het volgende raster element waar de bewerking wordt herhaald, en zo door totdat het hele raster is bewerkt. Op deze manier ontstaat een nieuw raster uit het oorspronkelijke, zie figuur 4. Deze operaties noemt men ook filterbewerkingen.

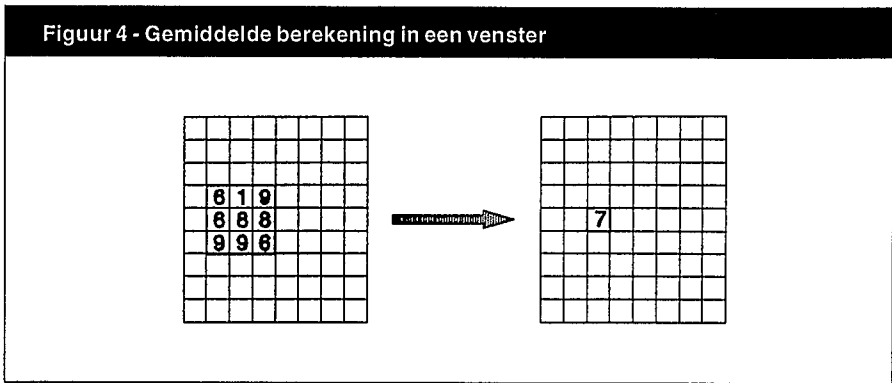
Bij het creëren van overlays worden rasters met verschillende thematische inhoud gecombineerd, zoals in figuur 5. Als de geometrische definities van de rasters gelijk zijn, dat wil zeggen de oorsprong en de richting van de assen is dezelfde en de stapgrootten tussen de elementen ook, dan kunnen in de overlay de attribuutwaarden uit de verschillende rasters per element gecombineerd worden. Deze waarden kunnen dan in samenhang geanalyseerd worden. Men kan bijvoorbeeld vragen naar de gebieden met een hoogte boven 100m +NAP, met een helling van meer dan 10%, een zandige bodem en bedekt met naaldbossen. Als de geometrie van de rasters niet gelijk is, dan wordt één raster als mas-



ter aangewezen. De geometrie van de andere rasters wordt dan naar die van de master omgezet, ook de attribuutwaarden moeten aan die geometrie worden aangepast, men spreekt dan van een herbemonsterings operatie. Zo'n operatie kan de kwaliteit van de attribuutwaarden aanzienlijk beïnvloeden en moet dan ook zorgvuldig worden uitgevoerd.

Terreinbeschrijving op basis van terreinobjecten

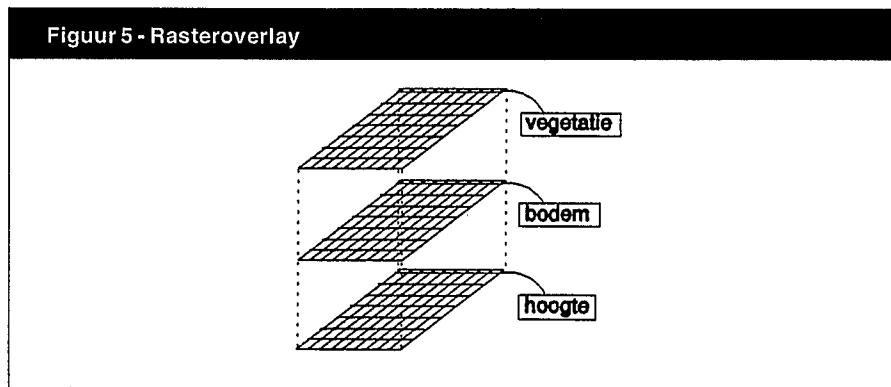
Als een terreinbeschrijving gebaseerd is op terreinobjecten, dan is de verbinding tussen thematische en geometrische gege-



object moeten worden beschreven. Deze keuze hangt niet alleen af van de verschijningsvorm van de objecten in het terrein, maar veel eerder van de topologische rol die de objecten spelen in de analyse van de terreinsituatie en die hangt weer samen

tuur als in de vectorstructuur. En verder is er nog de overweging of topologische relaties tussen objecten expliciet in de gegevensstructuur moeten worden gerealiseerd, of niet. Voorbeelden van topologische objectrelaties zijn in figuur 6 gegeven.

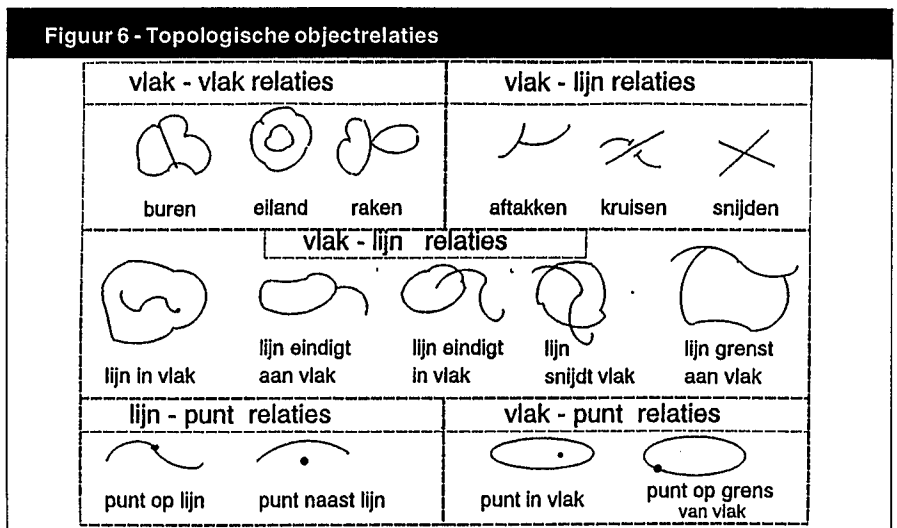
Uit het voorgaande blijkt dat uit een goed gedefinieerde ruimtelijke database, verschillende soorten van geometrische informatie afleidbaar zijn. Geometrie omvat topologie, vorm/grootte en positie/oriëntering. Voor wat betreft de topologie valt op te merken dat de relaties op objectniveau, bij een goede data definitie, afleidbaar zijn uit de relaties tussen de geometrische elementen onderling en de relaties tussen deze elementen en de objecten. Dit is weergegeven in figuur 7. In een rasterstructuur betekent dat voor ieder element is aangegeven tot welk object het behoort. Via de nabuurschapsrelaties van deze elementen kan dan onderzocht worden welke objecten aan elkaar grenzen. Rasters zijn niet zo geschikt voor het behandelen van punt- en lijnobjecten, terwijl vlakobjecten zich goed in rasters laten beschrijven. Als



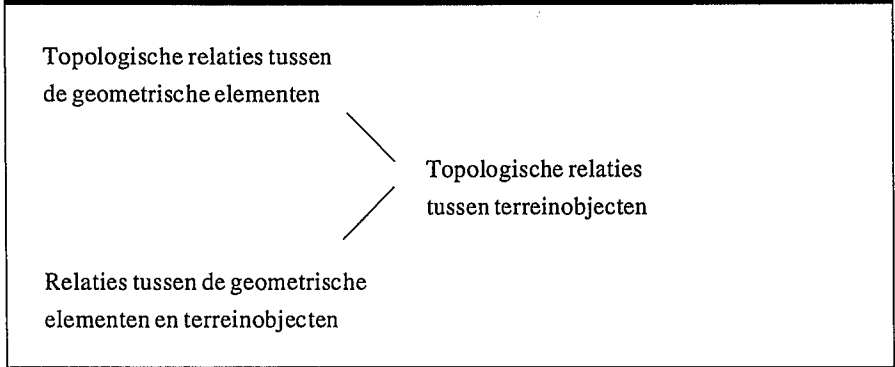
vens als in figuur 1. b. Ook hier weer zal de definitie van objecten vanuit een thematische invalshoek geschieden, de attribuutstructuur van de objecten wordt dan vastgelegd. Hiervan uitgaande zal men dan overwegen welke geometrische beschrijving relevant is. Dat deze afweging in tweede instantie pas gemaakt wordt, moge blijken uit het feit dat er vele databestanden zijn die betrekking hebben op locatiegebonden objecten, zonder dat deze bestanden geometrische of locatiegegevens bevatten. In vele gevallen wordt deze informatie niet als relevant beschouwd door de gebruikers van de data. Als geometrische informatie wel relevant is, dan moeten er nog een aantal keuzes gemaakt worden over hoe de geometrie van de objecten moet worden weergegeven. Deze keuzes zullen worden afgestemd op het gebruik dat men van de informatie wil maken.

Zo zal men per objecttype moeten beslissen of de objecten als punt-, lijn-, of vlak-

met o.a. het schaalniveau van de kaartering en de thematiek. Verder moet men beslissen hoe precies de geometrie van de objecten beschreven moet worden. Dit betreft zowel de nauwkeurigheid van de positiebepaling als de gedetailleerdheid van de vormbeschrijving. Dan is er nog de keuze in welke vorm de geometrie wordt beschreven. Dat kan zowel in de rasterstruc-



Figuur 7 - Drie topologische niveau's



de geometrie van terrein-objecten in een vectorstructuur beschreven wordt, bedient men zich meestal van geometrische elementen zoals in figuur 8. De puntobjecten worden dan door punten of knooppunten weergegeven, de lijnobjecten door ketens van zijden en de vlakobjecten door polygoon. Door vanuit de zijden relaties aan te geven naar de polygoon (of direct naar de vlakobjecten) links en rechts en naar de lijnobjecten waar ze eventueel deel van uitmaken, kunnen topologische relaties tussen deze objecten gevonden worden. Dit betreft relaties zoals die tussen aangrenzende vlakken of tussen lijnobjecten en de vlakken die ze doorsnijden.

Bij de huidige generatie van geografische informatiesystemen is de representatie van terreinobjecten niet altijd expliciet, de gebruiker heeft vaak zelf de keuze hoe die behandeld moeten worden. Hierdoor wil het nog wel eens onduidelijk zijn of de geometrische gegevens nu rechtstreeks aan klassen van objecten refereren of aan objecten. Onder andere door dit soort onduidelijkheden en door onscherpe definities van begrippen is de uitwisseling van gegevens tussen verschillende gebruikersgroepen vaak problematisch. Een veel zorgvuldiger strategie voor gegevensdefinitie is dringend gewenst, hieraan wordt op het ogenblik in het onderzoek gewerkt.

De koppeling van GIS aan modellen

De nu gangbare geografische informatie systemen zijn vooral gericht op de opslag, bevraging en eenvoudige bewerking van ruimtelijke gegevens en op de grafische weergave van de gegevens en de

bewerkingsresultaten. Steeds meer doet zich echter de behoefte gevoelen om ruimtelijke gegevens als invoer voor modellen te gebruiken. De integratie van modellen en GIS is een groeiend aandachtsveld voor onderzoek en ontwikkeling. Daarbij zijn drie hoofdgroepen van modellen te onderscheiden:

- Ruimtelijke modellen of spatial models
Hierbij worden uit attribuutwaarden voor gegeven posities (X_i, Y_i), de onbekende attribuutwaarden voor nieuwe posities (X_r, Y_r) berekend. Het gaat meestal om de toepassing van interpolatiealgoritmen gebaseerd op stochastische procesmodellen of op analytische polynoomfuncties.
- Inferentie modellen
In deze modellen wordt uit de waarden van een aantal attributen gegeven voor een positie (X_i, Y_i), eventueel met omgeving, de waarde van een aantal andere attributen voor dezelfde positie afgeleid:

$$(A_1, A_2, \dots, A_k | X_i, Y_i) \rightarrow$$

$$INF \rightarrow (B_1, \dots, B_n | X_i, Y_i)$$

Deze inferentiemodellen zijn meestal gebaseerd op de toepassing van de propositionele logica, de statistiek of expertsysteem technieken.

- Simulatiemodellen
Hier zijn de waarden van een aantal attributen voor een positie (X_i, Y_i), met evt. omgeving, bekend op een tijdstip T₁. De waarden van deze attributen worden dan voor dezelfde positie voor een later tijdstip T₁+n berekend:

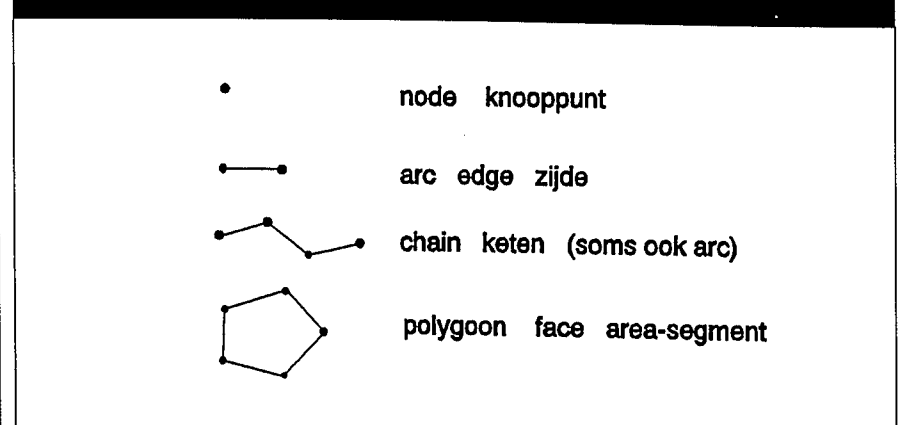
$$(A_1, \dots, A_k | X_i, Y_i, T_1) \rightarrow SIM \rightarrow$$

$$(A_1, \dots, A_k | X_i, Y_i, T_1+n)$$

De algoritmen zijn gebaseerd op procesmodellen waaruit de toestandovergangsfuncties T₁---T₁+n afgeleid worden. Dit kunnen bijvoorbeeld fysische modellen zijn, maar ook stochastische modellen zoals Markov ketens.

Als GIS in statische zin wordt beschouwd, dat wil zeggen een GIS bevat toestandsbeschrijvingen van het aardoppervlak, dan kent de koppeling van GIS en modellen twee hoofdmomenten: een GIS levert input aan de modellen en de output van de modellen wordt weer teruggevoerd naar het GIS als aanvulling of update van het gegevensbestand. Bovendien worden de ruimtelijke aspecten van deze output via GIS faciliteiten gevisualiseerd. De input die

Figuur 8- Geometrische elementen voor een terreinbeschrijving in vectorstructuur



GIS aan de modellen levert, kan van verschillende aard zijn:

- er wordt input in enge zin geleverd voor het oplossen van stelsels vergelijkingen;
- er worden waarden geleverd voor de parameter instelling van het vergelijkingstelsel (vgl. de stuurvariabelen van een proces) en
- uit het GIS worden voorwaarden afgeleid voor de oplossingsruimte van het model.

Bij vele toepassingen blijkt nu dat de hierboven beschreven koppeling op twee hoofdmomenten niet toereikend is. Er is dan behoefte aan interactie tijdens het rekenproces. Dit kan nodig zijn omdat:

- aanvullende input nodig is die het GIS niet kan leveren,
- tussentijdse resultaten beoordeeld moeten worden op niet geformaliseerde criteria,
- tussentijdse algoritmekeuzen of inferenti stappen gemaakt moeten worden volgens niet geformaliseerde regels.

Bij deze interactie zal informatie over de status van het rekenproces door het systeem aan de gebruiker moeten worden overgedragen en de gebruiker moet zijn reactie aan het systeem mededelen. De aard van deze communicatie moet naar inhoud en vorm gedefinieerd worden. Dat geldt ook voor de weergave van de eindresultaten van het rekenproces. De inrichting van deze interactieve processen zullen in de nabije toekomst veel aandacht vragen van onderzoekers en systeemontwikkelaars. Deze ontwikkeling lijkt echter een noodzakelijke voorwaarde voor de verdere verbreiding van de mogelijkheden om GIS te operationaliseren.

Ten slotte

Aan een aantal verdere ontwikkelingen wordt ondertussen gewerkt en het is dan ook te voorzien dat de mogelijkheden van GIS zich in de nabije toekomst zullen uitbreiden. Allereerst is er de uitbouw van 2 dimensionele naar 3 dimensionele terreinbeschrijvingen. Deze ontwikkeling vindt in de CAD-wereld al plaats, maar nu zijn ook in de GIS-omgeving de eerste voortekenen te zien. Voor raster-toepassingen is de ontwikkeling van 2D naar 3D softwarematig het snelst te realiseren. Het knelpunt is de grote massa data die behandeld moet worden. Hier kunnen otreebeneringen een oplossing bieden. Voor de toepassers ligt het probleem bij de datavergaring. Het vullen van 3D-gegevensbestanden is geen triviaal probleem. Voor vectorbenaderingen is er nog het conceptuele probleem: hoe een 3D-topologie te beschrijven. Ook hier is al het nodige werk gedaan, o.a. door de auteur van dit artikel, maar er zijn nog vele vragen open en er is nog zeker geen eenstemmigheid over wat de meest efficiënte benadering is.

Andere ontwikkelingen betreffen het hanteren van onzekerheden ten aanzien van geografische informatie. De huidige systemen en software zijn nog niet ingesteld op het uitvoeren van nauwkeurigheds- en betrouwbaarheidsberekeningen voor informatie die uit GIS-bestanden is afgeleid. Dit is een serieuze tekortkoming, daar bekend is dat vele in GIS opgeslagen gegevens een zeer beperkte nauwkeurigheid of betrouwbaarheid hebben. Er zijn nog geen goede concepten voor het beschrijven van deze onzekerheden. Hier moet nog veel fundamenteel werk gedaan worden. Voor bepaalde soorten gegevens en operaties is echter al een goede vordering gemaakt. Dit betreft de onzekerheid in positiegegevens en het gebruik van geostatistische methoden voor interpolatie doeleinden.

Voor al op dit laatste gebied heeft het onderzoek al tot operationele methoden geleid.

Ten slotte wil ik hier nog verwijzen naar het onderzoek dat er toe moet leiden dat de communicatie tussen gebruikers en GIS op een hoog taalniveau kan plaatsvinden. Nu nog moet een gebruiker veel van de interne systeem en gegevensstructuur afweten om zijn analyses te kunnen uitvoeren. Dit is voor vele gebruikers een te hoge drempel, zodat de potenties van de systemen niet ten volle worden benut. Het onderzoek richt zich er nu op de interne systeemstructuur voor de gebruiker af te scherpen, door de gebruiker met het systeem te laten communiceren in een taal die dicht bij hem staat. Dat wil zeggen dat hij zich zoveel mogelijk in zijn eigen terminologie kan uitdrukken. Deze communicatie zal dan moeten geschieden in een bijna natuurlijke taal en in een sterk grafische vorm. Voor dat laatste bieden de belangrijkste GISsen op de markt al verregaande mogelijkheden. Het onderzoek richt zich er nu op hoe deze mogelijkheden te gebruiken. De communicatie in een bijna natuurlijke taal zal nog wel wat langer op zich laten wachten, maar ook hier gaan de ontwikkelingen snel.

Al met al nemen de ontwikkelingen van geografische informatie systemen een geweldige vlucht en we hebben de grootste moeite om de technologische vooruitgang bij te houden en de informatie theoretische concepten voldoende snel mee te laten mee groeien. Toch zullen we onze uiterste best moeten doen om de adequate theoretische concepten te ontwikkelen, anders zullen we niet voldoende in staat zijn om de mogelijkheden van de technologie uit te buiten. Goede theoretische inzichten blijken steeds meer nodig, naarmate de toepassingen complexer worden.