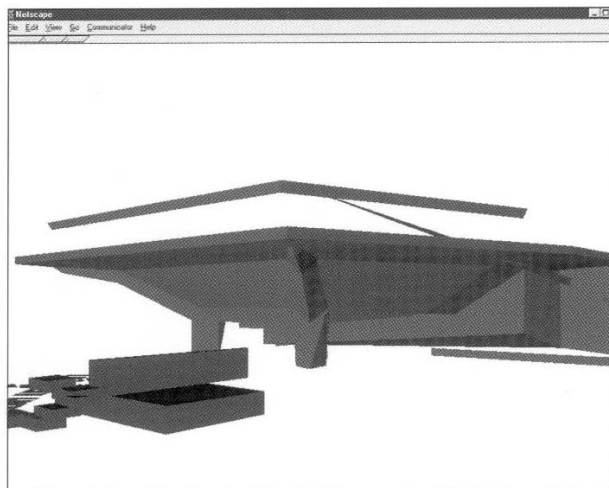


Onderzoek brengt 3D GIS in gangbare geo-software naderbij



Figuur 1: het reconstrueren van de aula in de TU wijk met behulp van close-range en luchtfotogrammetrie.

Er zijn vele mogelijke toepassingen van 3D GIS, van analyse en visualisatie van nieuwe bebouwing tot plaatsing van telecomzenders. Maar hoewel ook de inwinning van 3D data geen probleem meer is, blijft grootschalig gebruik van 3D geo-informatie uit. Dat komt voor een belangrijk deel omdat algemene 3D functionaliteit in de gangbare software ontbreekt, zo werd in Vi MATRIX 71 gesteld. Om uit deze impasse te komen onderzoekt de sectie GIS technologie, afdeling Geodesie, TU Delft hoe die functionaliteit daarin wél kan worden ondergebracht.

In dit artikel wordt een selectie van het onderzoek naar meer en betere 3D software-functionaliteit beschreven. Daarbij wordt de gehele geo-informatieketen gevolgd die bestaat uit de volgende schakels: 3D inwinning, 3D modellering, 3D opslag, 3D bevraging en analyse en tot slot 3D interactie en visualisatie. We beginnen bij 3D inwinning. Veel 3D toepassingen liggen in het grootschalige domein, zodat de 3D data met hoge nauwkeurigheid moet worden ingewonnen. Recente ontwikkelingen als terrestrische laserscanning maken het mogelijk om in zeer korte tijd een zeer grote hoeveelheid objectpunten aan te meten. Het grote probleem is echter om uit deze objectpunten de objecten zelf terug te vinden. Objectpunten en -lijnen, verkregen uit close-range en luchtfotogrammetrie en ander bronmateriaal, zoals de GBKN, zijn hierbij behulpzaam. Siyka

Zlatanova voert het onderzoek naar efficiënte objectreconstructie uit in samenwerking met de Geodesie-collega's van de sectie Fotogrammetrie en Remote Sensing (figuur 1).

De volgende schakel in de informatieketen is het ontwerp en de bouw van 3D modellen. 3D modellen zijn een stuk complexer dan 2D modellen. Hiervoor is een aantal redenen aan te geven. In de eerste plaats zijn er meer topologische relaties tussen objecten (of onderdelen van objecten) denkbaar en moet worden nagegaan welke expliciet worden meegenomen bij het modelleren.

Voldoen in de praktijk in 2D over het algemeen de lineaire primitieven (punt, polylijn en polygoon) met voor grootschalige toepassingen soms een toevoeging van een cirkel (boog), in 3D blijkt dat er behoefte is aan meer complexere geometrie (gekromde oppervlakken via parameters beschreven, zoals dit ook in de CAD-wereld gebeurt). Voor een deel is dit te verklaren door het grootschalige aspect en voor een ander deel door de relatie tussen 3D CAD-data en 3D GIS.

Het blijft echter de vraag of de 'kosten' van de introductie van dergelijke complexe geometrieën in een 3D GIS opwegen tegen de baten.

Een ander probleem is dat een primitieve die in 2D goed gedefinieerd is, het polygoon, in 3D problemen kan opleveren (niet goed gedefinieerd, indien niet alle punten in hetzelfde vlak liggen). Dit is de reden dat onderzoek wordt uitgevoerd naar modellen gebaseerd op driehoeken, die dus ook in 3D altijd goed zijn gedefinieerd. De driehoeken kunnen zowel de basis vormen van modellen voor 2.5D oppervlakken (TIN) als echte 3D lichamen (TEN). Kader 1 (*Top10-3D*) beschrijft het onderzoek op dit gebied dat in samenwerking met de TDN wordt uitgevoerd in het kader van het 3D-aspect in de Top10NL van de toekomst.

Naast topologie en geometrie speelt ook de relatie met de thematiek in 3D een belangrijke rol. Om dit te illustreren beschrijft kader 2 (*3D kadaster*) het onderzoek naar de registratie van 3D vastgoedsituaties.

3D opslag, -bevraging en -analyse

Uit het bovenstaande blijkt wel, dat het modelleren in 3D een belangrijk thema voor onderzoek vormt. Echter, nadat de 3D data zijn ingewonnen en het 3D model is ontworpen, moeten de feitelijke gegevens worden opgeslagen. Is het voor CAD-systemen nog reëel om van file-gebaseerde oplossingen uit te gaan (project gebonden aanpak, relatief beperkte gebieden), voor GIS (zowel 2D als 3D) moet een DBMS het gegevensmanagement uitvoeren: continue bijhouden van gegevens, enorme hoeveelheden data, verschillende gelijktijdige gebruikers, koppelingen met andere (thematische) gegevens die ook in het DBMS opgeslagen staan, et cetera. Hiervoor moet het DBMS 3D geometrische primitieven bieden met bijbehorende operaties in 3D. In kader 3 (*3D geometrie*) is aangegeven hoe Oracle Spatial 9i uitgebreid zou kunnen worden met echte 3D primitieven (dit geldt natuurlijk evengoed voor andere merken DBMS's).

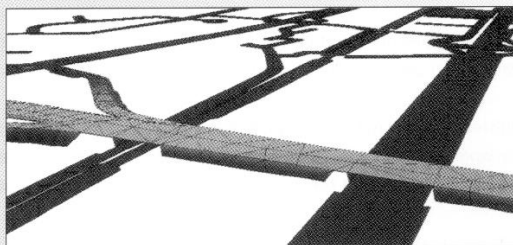
Voor ruimtelijke indexering en clustering kunnen soortgelijke technieken als in 2D worden gebruikt, maar dan (relatief eenvoudig) aangepast voor 3D; bijvoorbeeld 3D R-tree, 3D quadtree of een 3D Spatial Location Code. Indien de overlap in de 3^{de} dimensie gering is (slechts een aantal objecten boven elkaar), dan zal in de praktijk ook prima met een 2D index

TOP10-3D

Een kernproduct van de Topografische Dienst is de TOP10Vector. Dit digitale landschapsmodel representeert de topografie op een schaalniveau van 1:10000 als een verzameling punten, lijnen en vlakken. Om viaducten en aquaducten in de planimetrische kaart op de juiste wijze af te beelden zijn er extra cartografische elementen (zoals taluds) en coderingen (wel of niet 'van boven' zichtbaar) opgenomen. Door het ontbreken van de feitelijke hoogte-informatie zijn perspectivische afbeeldingen onmogelijk, laat staan het uitvoeren van 3D-analyses.

Een eenvoudige oplossing lijkt het draperen van de TOP10vector over het AHN-grid van 5x5 meter. Op het eerste gezicht zijn hiermee aardige visualisaties te maken. Maar het AHN is een 2.5D hoogtemodel, waarin de overhangende delen van viaducten óf zijn weggefilterd óf juist geen hoogte-informatie biedt over de onderliggende delen. Bovendien gaat door het grid het detail verloren. In het afstudeerwerk van Merlijn Simonse (2000) is voor dit probleem een elegante methode gevonden. Hij modelleert de TOP10Vector als twee Triangulated Irregular Networks (TINs): één voor het maaiveld en één voor de overliggende topografie. Alle polygonen worden keurig opgedeeld in een verzameling aanliggende driehoekjes. De originele, niet-gefilterde, data van het AHN biedt vervolgens voldoende informatie om de juiste hoogte aan de driehoekshoekpunten te koppelen (zie figuur 1.1).

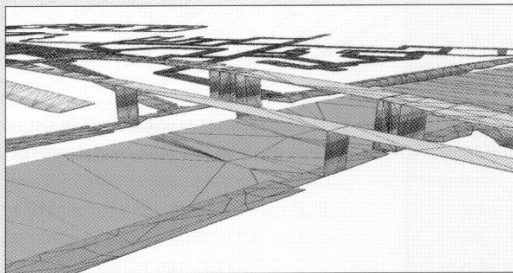
Toch is dit nog niet voldoende. De wereld blijft beschreven als een flinterdun oppervlak.



Figuur 1.1: TOP10Vector en AHN gecombineerd binnen een TIN.

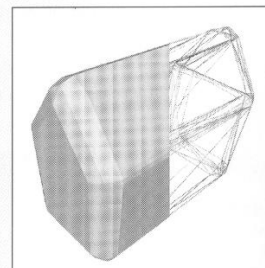
gevormde viervlakken. Jeroen de Vries heeft met zijn afstudeerwerk (2001) aangetoond dat op basis van dit TEN eenvoudig bufferberekeningen uitgevoerd kunnen worden (zie figuur 1.2).

TINs en TENs kunnen ook zeer goed gekoppeld worden (beide zijn immers op driehoeken in de 3D ruimte gebaseerd) en deze combinatie biedt zeer veel voordelen. Het is eenvoudig daar waar het kan (TINs voor het maaiveld) en complexer daar waar het moet (TENs voor bebouwing en kunstwerken); zie figuur 1.3. In het promotieonderzoek van Edward Verbree dat hij uitvoert in samenwerking met de Topografische Dienst zal op basis van dit idee een productspecificatie en implementatie van de TOP10-3D worden uitgewerkt. Dit onderzoek zal zich met name richten op de terreinobjecten die binnen planontwikkelingsprocessen van belang zijn en die onderling een ruimtelijke relatie met elkaar hebben die zich ook in de hoogte manifesteert. De TINs en TENs zullen binnen één daarvoor geschikt datamodel worden opgeslagen.



Figuur 1.3: de brug als TEN gemodelleerd, het maaiveld als een TIN.

3D-volume modellering is ook met een TIN onmogelijk en daarmee ook 'echte' 3D-analyses. Hiervoor biedt het Tetraeder Model (TEN) een oplossing. Convexe 3D-objecten worden hierin opgedeeld als een verzameling onregelmatig



Figuur 1.2: een buffer om één tetraëder.

3D kadaster

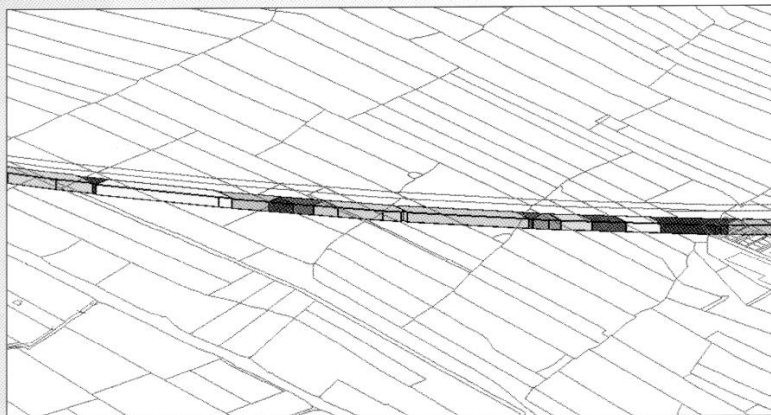
Twee jaar geleden startte Jantien Stoter een promotieonderzoek met als onderwerp '3D kadaster'. In dit onderzoek wordt onderzocht op welke wijze 3D vastgoedsituaties kunnen worden geregistreerd en vervolgens geraadpleegd bij het Kadaster. Met 3D situaties wordt bedoeld dat eigendommen met verschillende eigenaren zich boven elkaar bevinden, zoals tunnels in grond van derden of gebouwen die over wegen heen zijn gebouwd.

Het Kadaster gebruikt het 2D perceel om de wettelijke status van vastgoed, zoals bijvoorbeeld het recht van eigendom, te registreren. Het (volledige) eigendom op een perceel is in Nederland niet begrensd in de derde dimensie. Met beperkte rechten en belemmeringen (die ook weer gekoppeld zijn aan de 2D percelen) kunnen eigendommen die zich boven elkaar bevinden administratief worden aangeduid, door bijvoorbeeld een recht van opstal of een appartementsrecht. Deze oplossing heeft echter nog al een aantal beperkingen. Neem bijvoorbeeld de HSL-tunnel. Een aantal percelen die de tunnel snijdt, zijn in eigendom van particulieren, terwijl het recht van opstal in handen is van het ministerie van Verkeer en Waterstaat (andersom komt ook voor). De rechten zijn (administratief) gekoppeld aan het gehele 2D perceel en daarom alleen op die wijze opvraagbaar. Echter, de volgende bevragingen zijn in het huidige kadaster niet mogelijk:

- "Op welk deel van het perceel (in 3D) heeft dit opstalrecht betrekking?"
- "Welke percelen worden doorsneden door de tunnel?"
- "Wie is de eigenaar van de tunnel?"
- "Op welke diepte bevindt de tunnel zich onder dit perceel?"
- "Ik ben geïnteresseerd in een perceel dat in de buurt loopt van de HSL, maar doorkruist de HSL het perceel?"

Wanneer de Openbare Registers worden geraadpleegd, kan in sommige gevallen aanvullende informatie worden opgevraagd (denk aan appartementstekeningen), maar het kadastrale registratiesysteem is in 3D gevallen niet toereikend om de benodigde informatie (digitaal) te verschaffen.

Op dit moment is het aantal 3D situaties in Nederland nog gering. Omdat verwacht wordt dat dit aantal zal groeien (denk aan meervoudig ruimtegebruik), is, in samenwerking met het Kadaster, onderzoek gestart naar de werkelijke behoefte aan een 3D kadaster en hoe deze wensen gerealiseerd kunnen worden. Er wordt een prototype gebouwd dat een uitbreiding is van het huidige kadastrale systeem waarin 3D vastgoedsituaties digitaal opgeslagen en gevisualiseerd kunnen worden en daardoor inzichtelijk kunnen worden gemaakt (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1: de rechten voor de HSL gevisualiseerd in 3D. De blauwe lijn geeft de projectie van de HSL op het maaiveld weer. De 2D begrenzing van de rechten is de intersectie tussen de tunnel (blauwe lijn) en de percelen.

kunnen worden volstaan, daar de X en Y reeds selectief genoeg zijn bij het zoeken. Na opslag volgt *bevraging en analyse* in de 3D geo-informatieketen. Eenvoudige 3D bevraging kan worden gerealiseerd door de operatoren die het DBMS biedt voor de 3D geometrische primitieven, zoals beschreven in kader 3. Een van de belangrijkste operatoren hiervoor is de ruimtelijke overlap operator. Andere nuttige 3D operatoren zijn: afstand tussen twee objecten, volume en oppervlak van een lichaam, oppervlak en omtrek van een vlak, zwaartepunt van een vlak of lichaam, et cetera. Dit zijn echter relatief eenvoudige bewerkingen en bij analyse in een GIS denkt men toch ook aan complexere operaties zoals buffers, overlays en interpolaties (zie ook kader 1).

3D interactie en -visualisatie

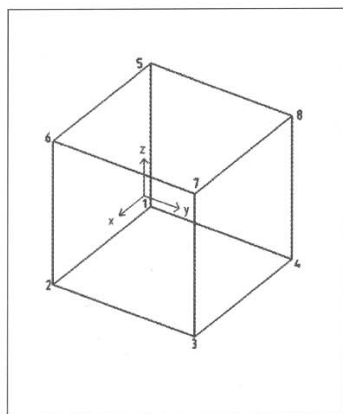
Aan het einde van de 3D geo-informatieketen bevinden zich de wat meer tastbare aspecten: *3D interactie en -visualisatie*. Het zal duidelijk zijn dat dit een stuk ingewikkelder is dan bij 2D GIS waar de visualisatie relatief voor de hand ligt, daar de meeste weergavemediën (beeldschermen en papieren documenten) ook 2D zijn. Er moet dus een transformatie plaatsvinden van het 3D model naar het 2D weergavemedium. Op zich is dit geen specifiek GIS probleem (het doet zich ook bij 3D CAD voor). Er is hier binnen het vakgebied van de computergrafiek al veel onderzoek naar verricht. Geavanceerdere interactie en visualisatie kan plaats vinden in zogenaamde virtual reality (VR) en/of augmented reality (AR) omgevingen. Het bijzondere aspect van GIS is echter weer, dat we met enorme hoeveelheden gegevens (en een koppeling met een DBMS) te maken hebben. In kader 4 (*Virtual and augmented reality*) worden twee onderzoeken beschreven, Karma en Ubicom, waarbij de TU Delft betrokken is.

Het doel van ons onderzoek is het gebruik van 3D geo-informatie te stimuleren. De TU Delft en in het bijzonder de sectie GIS technologie beseft heel goed dat er meer nodig is dan alleen onderzoek. Hiervoor is dan ook in november 2000 een open onderzoekscentrum opgericht, het GDMC (Geo-Database Management Centrum, zie <http://www.gdmc.nl>), waarin een aantal Geo-ICT spelers participeren, onder andere Oracle, Computer Associates, ESRI en Bentley. De onderzoeksresultaten zullen op termijn beschikbaar komen in commercieel verkrijgbare producten.

3D geometrie

Omdat DBMS functionaliteit bij 3D GIS onmisbaar is, wordt onderzoek verricht om volledige 3D geometrische datatypes te ontwerpen binnen het DBMS. De huidige ruimtelijke functies (afstandsberekening, buffer, overlay) moeten worden uitgebreid, zodat deze ook werken in 3D op de reeds bekende 0D, 1D en 2D data types, maar dan nu in 3D gedefinieerd. We gebruiken daarvoor Oracle Spatial 9i, hoewel de ideeën achter de implementatie generiek zijn. Oracle kent het ruimtelijk datatype 'sdo_geometry'. Hiermee kunnen punten, lijnen en vlakken worden opgeslagen (ook gedefinieerd in 3D).

Bij de definitie van een sdo_geometry wordt een sdo_ordinate_array gebruikt, waarin alle coördinaten staan opgesomd waaruit het object bestaat. Tevens wordt een sdo_elem_info gedefinieerd. Deze lijst bevat parameters over hoe de sdo_ordinate_array geïnterpreteerd dient te worden. Voor elk element waaruit een object bestaat zijn daarvoor drie parameters gereserveerd. De eerste hiervan geeft de positie aan in de sdo_ordinate_array waarop het element begint (offset). De tweede en de derde parameter geven het type element aan. Deze laatste worden hier voor de beknoptheid buiten beschouwing gelaten.



Figuur 3.1: de codering van een 3D object in Oracle spatial

```
insert into geom3d (shape, TAG) values (
mdsys.SDO_GEOMETRY(3008, NULL, NULL,
mdsys.SDO_ELEM_INFO_ARRAY(25,1006,1)
— eerste vlak op offset 25
29,1006,1, 33,1006,1, 37,1006,1, 41,1006,1, 45,1006,1),
mdsys.SDO_ORDINATE_ARRAY(0,0,0,
— coördinaten triplet van punt 1
5,0,0, 5,5,0, 0,5,0, 0,0,5, 5,0,5, 5,5,5, 0,5,5,
1,2,3,4, 5,8,7,6, 4,3,7,8,
— onder, boven, rechter vlak
1,5,6,2, 1,4,8,5, 2,6,7,3)),
— linker, achter en voor vlak
22); — ID
```

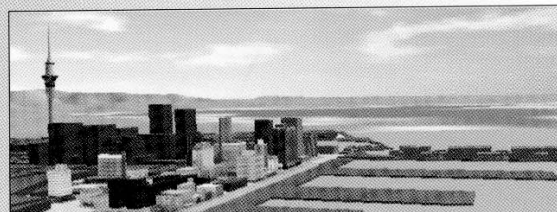
Het sdo_geometry type breiden we naar 3D uit met de polyhedron primitieve. Dit is een 3D lichaam dat begrensd wordt door platte vlakken. Bij de definitie van een 3D lichaam worden eerst alle nodes (knooppunten) waaruit het lichaam is opgebouwd opgesomd in de sdo_ordinate_array. Voor een kubus zijn dat bijvoorbeeld acht coördinaat-triplets, bestaande uit een X-, Y- en Z-waarde. Vervolgens worden alle buitenvlakken gedefinieerd door te verwijzen naar de nodes waaruit de vlakken bestaan. Deze verwijzingen worden aan het einde van de sdo_ordinate_array toegevoegd. De implementatie wordt geïllustreerd aan de hand van een simpel voorbeeld: een kubus (zie figuur 3.1). De coördinaten van de kubus zijn: 1=(0,0,0), 2=(5,0,0), 3=(5,5,0), 4=(0,5,0), 5=(0,0,5), 6=(5,0,5), 7=(5,5,5) en 8=(0,5,5).

Ook 'eilanden' in de buitenvlakken, evenals gaten in de 3D lichamen, zijn bij de implementatie meegenomen. Het voordeel van deze implementatie is dat elke node van een 3D lichaam slechts één keer hoeft te worden genoemd, en niet bij ieder vlak of lijn.

Virtual en Augmented Reality

Er bestaat veel begripsverwarring over de termen VR en AR. Dat is op zich logisch, want de ontwikkelingen op dit gebied gaan snel en zijn niet allemaal even relevant voor geografische toepassingen. VR is erop gericht de gebruiker een beeld te geven van een bepaalde werkelijkheid en is daarin niet anders dan de traditionele cartografie. Wat wél verschilt, is dat dit binnen de cartografie juist door abstractie en selectie wordt bereikt, terwijl binnen VR toepassingen veelal juist een zo realistisch mogelijke weergave van de werkelijkheid in een real-time dynamische situatie wordt nagestreefd. De vraag is of dit ook voor geografische toepassingen wel het hoofddoel is.

Het antwoord is eigenlijk al gegeven met de ontwikkeling van de GIS/VR-omgeving Karma binnen onze sectie. Al in 1998 is hiermee aangetoond dat het binnen GIS/VR toepassingen niet alleen gaat om realisme, maar vooral ook om de interactie met de enorme hoeveelheden gegevens (zowel de ruimtelijke als de thematische aspecten hiervan): het handelen en de terugkoppeling. Vandaar dat toen al is gekozen voor het centraal stellen van de geo-DBMS. De geometrie van de objecten was hierin weliswaar nog 2D, maar bij het afbeelden hiervan werd een eenvoudig 3D-model afgeleid of zelfs vervangen door een van texturen voorzien CAD-model. Dus: realistisch waar het moet, abstract waar het kan. In combinatie met het juiste 'zicht' op de wereld (planimetrisch, birds-eye of vanaf ooghoogte) én de hierin beschikbare middelen voor interactiviteit met directe terugkoppeling naar de geo-DBMS leverde dat een zeer werkbare omgeving op, zie figuur 4.1. Het vervolg van dit project is te vinden op: www.k2vi.com.



Figuur 4.1: voorbeeld van K2VI-output. Let op samenspel tussen abstractie en realisme.

Een ander antwoord is te vinden in de resultaten van het Ubiquitous Communication (UbiCom) programma, waarin door Siyka Zlatanova is gewerkt aan het Augmented Reality gedeelte. Hierin wordt de gebruiker niet een virtuele wereld voorgetoefd, maar wordt hij, voorzien van een helm en rugzakje met apparatuur, in de bestaande wereld losgelaten. De werkelijkheid hoeft daardoor niet meer gemodelleerd te worden. Een videocamera aan de helm registreert kenmerkende lijnen die in real-time worden vergeleken met een vooraf geometrisch vastgelegde dataset. Uit deze matching is in principe de positie en kijkrichting te achterhalen. Vervolgens kan in de doorzichtbril informatie worden gespiegeld, zowel tekstueel als correct in het beeld gepositioneerde geometrie en foto's. Ontwerpen van nieuwbouw kunnen zo in het terrein zelf worden beoordeeld. Of ook: kadastrale grenzen en pijpleidingen onder de grond. Voor meer informatie: www.ubicom.tudelft.nl.

tember 2002 voor het eerst in haar geschiedenis twee MSc-varianten aan: Geomatics Engineering en Geo-Information Engineering & Land Management. Beide varianten besteden in het onderwijs ruim aandacht aan 3D GIS.

PETER VAN OOSTEROM, JANTJEN STOTER,
EDWARD VERBREE EN SIYKA ZLATANOVA