

3D topografie: de volgende uitdaging in GIS-onderzoek

De huidige topografische producten in Nederland beperken zich tot het weergeven van de werkelijkheid in twee dimensies. Doordat de werkelijkheid bestaat uit 3D objecten, die bovendien steeds complexer worden als gevolg van het toenemend meervoudig ruimtegebruik in Nederland, groeit de vraag naar nauwkeurige 3D topografische modellen. Deze modellen richten zich op het faciliteren van 3D analyses om zo beleidsmakers meer grip op complexe ruimtelijke ontwikkelingen te bieden. Daarmee is realisatie van 3D datastructuren en algoritmes één van de grote uitdagingen voor het GIS-onderzoek in de komende jaren. De ontwikkeling en realisatie van een 3D datastructuur voor topografie is het belangrijkste doel van het in dit artikel beschreven onderzoek, zoals dat wordt uitgevoerd binnen de sectie GIS-Technologie van de TU Delft.

Voor een toekomstig 3D topografisch bestand kunnen tal van praktische toepassingen worden genoemd, zoals volumebepaling van huizen en gebouwen in het kader van de WOZ-waardering. Het vermenigvuldigen van de gebouwoppervlakte uit een 2D dataset met een (geschatte) hoogte introduceert een aanzienlijke onnauwkeurigheid, die aanleiding kan zijn voor het indienen van bezwaarschriften. Als de vorm (en daarmee ook het volume) van huizen en gebouwen nauwkeurig is vastgelegd in een 3D topografisch bestand, zou dat veel bezwaarprocedures kunnen schelen.

Een tweede groep 3D toepassingen is ook gerelateerd aan de 3D vorm van gebouwen, namelijk het modelleren en analyseren van bijvoorbeeld geluids- en stankoverlast en de verspreiding van schadelijke stoffen. Zo zal bij het bepalen van gebieden met teveel geluidsoverlast het resultaat beïnvloed

worden door de hoogte en vorm van de gebouwen; een flatgebouw zal bijvoorbeeld de achterliggende huizen vrijwel volledig afschermen van de geluidsbron. Een voorbeeld waarbij een nauwkeurige modellering van verspreiding van schadelijke stoffen wenselijk zou zijn, is het actuele geval waarin acht gemeenten langs de A15 en A16 verlaging van de maximumsnelheid op deze snelwegen heeft bepleit bij minister Peijs, om zo de uitstoot van stikstofdioxide en fijn stof terug te dringen. Dat het verlagen van de maximumsnelheid deze uitstoot boven de snelweg reduceert, is duidelijk, onduidelijk is echter hoe deze stoffen zich door de omliggende woonwijken verspreiden. Goede 3D analysemogelijkheden kunnen bijdragen aan het bevorderen van een duurzame leefomgeving en juist in het drukke Nederland is dit van toenemend belang.

Gezien dit dichtbevolkte en -bebouwde karakter van Nederland, wordt meervoudig ruimtegebruik steeds belangrijker, wat ook geschikte ruimtelijke planning-tools vereist. Dergelijke planningsmethoden moeten om kunnen gaan met 3D situaties. Maar het gebruik van 3D modellen blijft niet beperkt tot het aardoppervlak, ook geologische eigenschappen of bijvoorbeeld vlucht- en telecommunicatie corridors kunnen ermee gemodelleerd worden. Voor meer toepassingen van 3D GIS wordt verwezen naar [Oosterom, 2002].

Beschikbare datasets

De huidige topografische datasets in Nederland beperken zich tot twee dimensies. De gedrukte kaarten bevatten wel enige hoogte-informatie, met name door kartografische representaties als hoogtelijnen, duinschaduwering en symbolen voor taluds (schrapjes). Daarnaast staan enkele hoogtepunten weergegeven. Momenteel is de Topografische Dienst Kadaster druk



ir. Friso Penninga,
OTB TU Delft

doende met de conversie van de oude TOP10vector naar de objectgerichte TOP10NL. Alhoewel het datamodel van de nieuwe TOP10NL voorziet in 3D geometrie, zal voorlopig nog geen gebruik worden gemaakt van deze mogelijkheid.

Sinds begin 2004 is het Actueel Hoogtebestand Nederland [Heerd, 2000] gereed. Het AHN is een met behulp van laseraltimetrie ingewonnen puntenbestand met gemiddeld één hoogtepunt per 16 m². In gefilterde vorm bevat het in principe alleen terreininformatie: hoogtegegevens van onder meer huizen, vrachtauto's en vegetatie zijn eruit gefilterd. De ongefilterde data bevat deze gegevens wel, hierbij zijn alleen de blunders uit de ruwe data verwijderd.

De beschikbaarheid van zowel een 2D dataset als een hoogtedataset leidt tot pogingen om die verschillende datasets te combineren. Voor visualisatietoepassingen zullen dit vaak 'drapes' zijn, waarbij de 2D dataset over het hoogtemodel wordt gedrapeerd. In fig. 1 en 2 zijn twee bekende demobeelden van de AHN website (www.ahn.nl) weergegeven: het ongefilterde AHN in combinatie met een luchtfoto van Amsterdam in fig. 1 en in combinatie met een stukje TOP10vector in fig. 2. Alhoewel deze 'drapes' aardig zijn als visualisatie, ondersteunen ze geen 3D berekeningen, doordat de data uit beide bronnen niet geïntegreerd worden.

De ontwikkeling van 3D topografie is zowel aanbod- als vraag gedreven. De benodigde datasets zijn beschikbaar – zowel topografie als hoogtedata – en tegelijkertijd creëren het toegenomen meervoudig ruimtegebruik en het gegroeide besef van de noodzaak van duurzame stedelijke ontwikkeling de



Fig. 1.
'Drape' van een
luchtfoto over
ongefilterd AHN.
(bron: www.ahn.nl)

Fig. 2.
'Drape' van een stuk
TOP10vector over
ongefilterd AHN.
(bron: www.ahn.nl)



vraag naar een 3D topografisch datamodel.

Van 2D naar 3D modelleren

Dimensieaanduidingen van modellen willen nog wel eens de nodige verwarring veroorzaken, doordat verschillende typen dimensies door elkaar heen gebruikt worden. De aangeduide dimensie slaat vaak op zowel de interne als de externe dimensie. De interne dimensie is de (maximale) dimensie van de primitieven waarmee je modelleert, de externe dimensie is de dimensie van de ruimte waarin je dat doet. Een primitieve is de eenvoudigste vorm in een bepaalde dimensie, dus een punt in 0D, een lijn in 1D, een driehoek in 2D, etc. Pilouk [3] gebruikt deze twee begrippen om tot de volgende definities te komen:

- 2D : modelleren met 2D primitieven in een 2D ruimte
- 2,5D : modelleren met 2D primitieven in een 3D ruimte
- 3D : modelleren met 3D primitieven in een 3D ruimte

Dit betekent dus dat er in 2D modellen gebruik kan worden gemaakt van punten, lijnen en vlakken en dat deze in een 2D ruimte (x,y) worden vastgelegd. 2,5D maakt gebruik van dezelfde set primitieven, maar dan vastgelegd in 3D ruimte (x,y,z). Met deze definitie geeft Pilouk voor 2,5D echter een ruimere definitie dan veel anderen. Vaak wordt 2,5D daarnaast gekenmerkt (ook door de auteur) door de eis dat op elke x,y-locatie slechts één z-waarde kan voorkomen. 3D wordt gekenmerkt doordat naast punten, lijnen en vlakken ook volumes gebruikt worden om mee te modelleren.

Alhoewel het misschien zo lijkt dat er slechts één tussenstap zit tussen het beschikbaar hebben van data in 2D en in 3D, is dit in werkelijkheid complexer. De volgende stappen zijn te onderscheiden:

- Objecten in 2D, geen hoogtegegevens beschikbaar;
- Objecten in 2D, (deels) met hoogtewaarde als attribuut;
- Objecten in 2,5D: integratie objecten met hoogtegegevens;
- Objecten waar mogelijk in 2,5D, in complexe situaties in 3D;
- Objecten volledig in 3D.

De eerste stap richting 3D topografie kan het koppelen van een hoogteattribuut aan elk 2D object zijn. In fig. 3 is het resultaat te zien. Aan elk vlak in de TOP10vector is een gemiddelde hoogtewaarde uit het AHN gekoppeld. De gebruikte software, in dit geval ArcView met de 3D Analyst,

kan een visualisatie afleiden op basis van deze hoogte-waarde, waarbij automatisch zijvlakken aan de objecten worden gekoppeld. Doordat de achterliggende geometrie nog volledig 2D is, ondersteunt een dergelijk model geen 3D analyses, al is het voor bijvoorbeeld het plannen van de plaatsing van GSM-antennes al heel aardig dat men kan zien welke gebouwen nu echt hoog zijn en of er vrij zicht is richting het te bestrijken gebied.



Fig. 3
3D visualisatie
o.b.v. 2D geometrie
en toegevoegd
hoogteattribuut

Een volgende stap kan het toevoegen van hoogte-informatie op geometrieniveau in plaats van op attribuutniveau zijn. Omdat 3D modelleren in vergelijking met 2D modelleren een stuk complexer is, wordt vaak geprobeerd om 3D modelleren te omzeilen door in 2,5D te werken. Deze aanpak is zeer geschikt voor het modelleren van terreinhoogten, aangezien het aardoppervlak in het algemeen beschreven kan worden met een enkele hoogte waarde op elke x,y-positie (fig. 4a). Deze hoogtegegevens zijn ook te combineren met 2D data, in dit geval percelen (fig. 4b). Na integratie (figuur 4c) zijn deze percelen in 2,5D bekend.

Het grootste nadeel van modelleren in 2,5D is dat het niet mogelijk is om meerdere oppervlakken op één x,y-locatie en

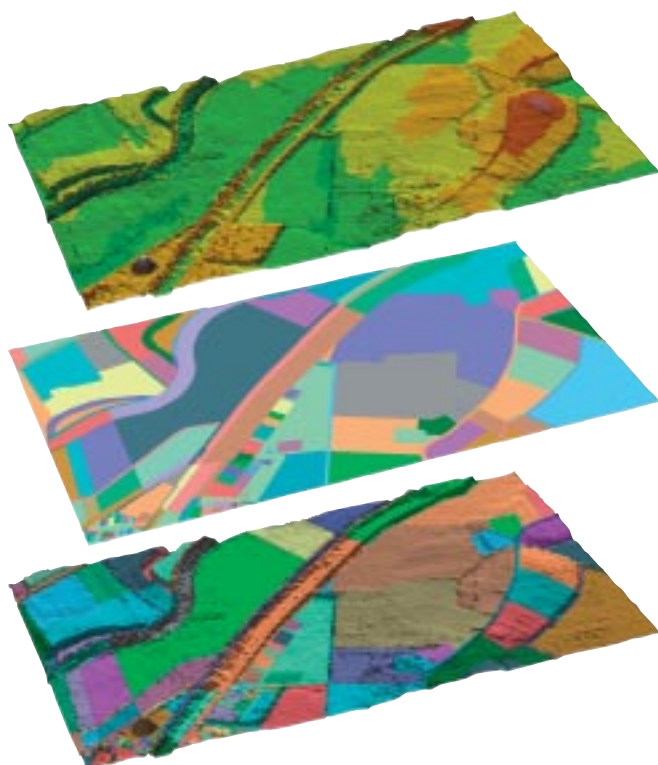


Fig. 4
a. Hoogtemodel

b. 2D percelen

c. Integratie van
percelen met
hoogtedata

verticale vlakken te modelleren. Meerdere vlakken op dezelfde x,y-locatie komen bijvoorbeeld voor bij viaducten, waar twee wegen elkaar ongelijkvloers kruisen. Om toch in 2,5D te kunnen blijven werken, kan men kiezen voor een zogenaamde multi-layer aanpak [Simonse, 2000]. In fig. 5 is te zien hoe een dergelijk viaduct in twee lagen kan worden gemodelleerd.

De 2,5D modellen, inclusief de multi-layer aanpak, voldoen voor het modelleren op niet al te grote schaal, maar het modelleren van door de mens gemaakte complexe objecten is zo goed als onmogelijk in 2,5D. Fig. 6 geeft een voorbeeld van dergelijk complex meervoudig ruimtegebruik. In deze plannen voor het nieuwe station WTC op de Amsterdamse Zuidas lopen zowel de snelweg, spoorbaan en metrolijn in tunnels, waarop onder andere het station en kantoren gebouwd worden.

Om complexe 3D objecten zoals in fig. 6 goed te kunnen modelleren, is het gebruik van een 3D primitieve (volume) nodig, naast de 0-2D primitieven punten, lijnen en vlakken. Omdat 3D modellen leiden tot snel toenemende complexiteit en meer dataopslag vragen, is het ook mogelijk om 2,5D en 3D modellen met elkaar te combineren. Hiermee wordt modelleren maatwerk: als de situatie erom vraagt, wordt er in 3D gemodelleerd, anders wordt er in 2,5D gemodelleerd. Deze pragmatische aanpak wordt ook binnen dit onderzoek gehanteerd. Dit sluit aan bij de waarneming dat voor grote delen van Nederland de modellen alleen natuurlijk terrein hoeven te representeren en dat dat in principe van nature 2,5D is. Daarnaast is deze keuze ook deels het gevolg van de mogelijkheden van bestaande algoritmen voor het afleiden van triangulaties. In 2D en 2,5D is hier veel onderzoek naar gedaan, in 3D een stuk minder.

Keuze voor 3D modelleertechniek

Een belangrijke ontwerpkeuze is die van de selectie van de 3D modelleermethode, waarbij elke methode zijn eigen sterke en zwakke punten kent. Er bestaat een ruime variatie aan methoden, zoals 'primitive instancing' (objecten worden beschreven met een set parameters), boundary-representaties (objecten worden beschreven met de grenselementen zoals punten, lijnen

en vlakken), CSG (constructive solid geometry, waarbij objecten worden beschreven als een samenstelsel van een aantal basisvormen, bijvoorbeeld een kubus die doorsneden wordt door een cilinder) en de zogenaamde 'spatial-partition' representaties (objecten worden opgebouwd uit cellen, waarop alleen de union-bewerking is toegestaan (dit in tegenstelling tot CSG). Binnen de toepassing voor 3D topografie komen twee representaties in aanmerking: de polyhedron aanpak (een boundary representatie) en het Tetrahedronized Irregular Network (TEN) aanpak, een voorbeeld van een onregelmatige spatial-partition representatie.

De polyhedron aanpak (zoals onder meer gebruikt in [Zlatanova. 2000]) is een bekende boundary-representatie waarbij een polyhedron een veelvlakke gesloten ruimte is. Deze manier van modelleren sluit goed aan bij de perceptie van de werkelijkheid van de gebruiker, want het klinkt bijvoorbeeld logisch om een huis te beschrijven met een vloer, muren en een dak. Het modelleren van datzelfde huis als een set tetraëders (onregelmatige viervlak), zoals in een TEN gebeurt, komt een stuk complexer over. Als je de polyhedron-aanpak vergelijkt met de TEN-aanpak is het duidelijk dat het gebruik van polyhedrons eenvoudiger is en zal resulteren in een 1:1 relatie tussen een object en de bijbehorende representatie in het model. In ruil voor de 1:n relatie tussen een object en de representatie in een TEN en de toegenomen complexiteit van het modelleren, biedt een TEN het grote voordeel dat de computationale complexiteit flink wordt teruggebracht doordat de vormen en onderlinge relaties helder zijn gedefinieerd [Pilonk, 1996].

Een TEN is de 3D-variant van een 2D/2,5D TIN (Triangulated Irregular Network). Een TIN is een surface opgebouwd uit punten, lijnen en driehoeken. Een TEN vormt een volume dat naast uit punten, lijnen en driehoeken ook is opgebouwd uit tetraëders. Deze bouwstenen zijn elk de eenvoudigste mogelijke vorm (simplex) in hun dimensie (0-3D). De onderlinge relaties zijn helder gedefinieerd: een k-D simplex wordt begrensd door k+1 (k-1)-D-simplexes, bijvoorbeeld een tetraëder (3D simplex) wordt begrensd door 4

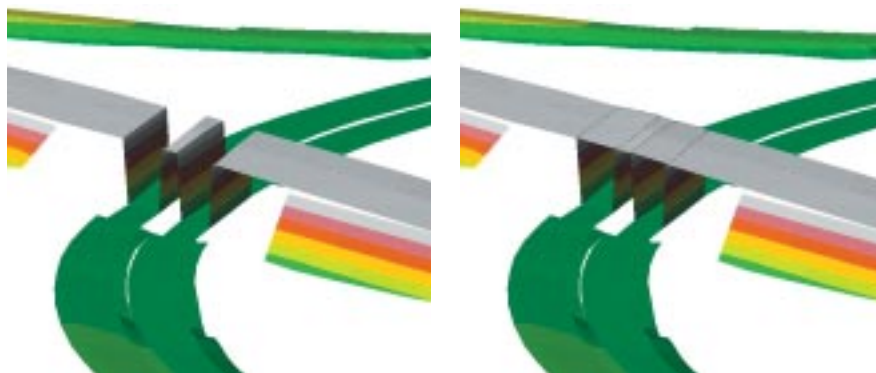
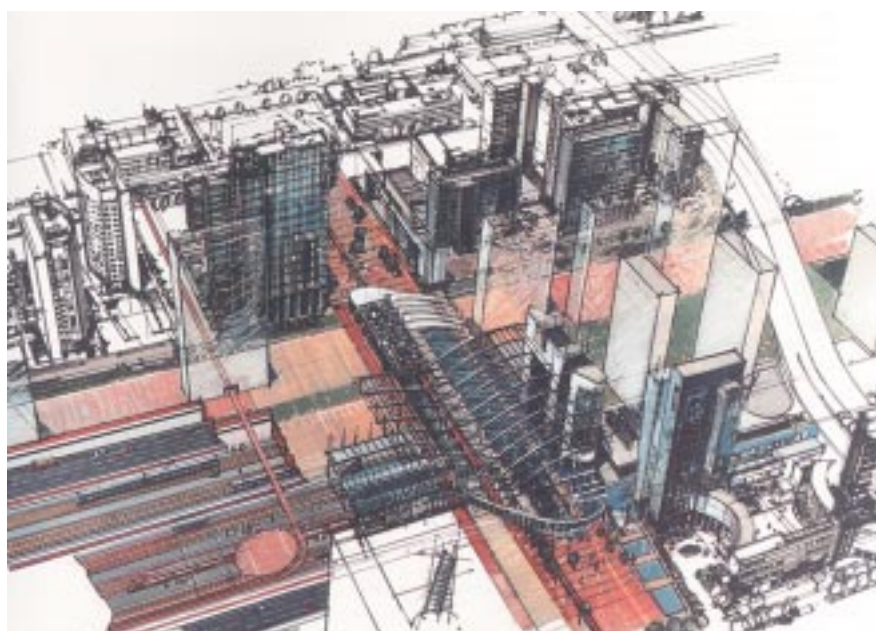


Fig. 5.
Links alleen de
terreinlaag, rechts
de terreinlaag
gecombineerd met
de viaductlaag
(illustratie o.b.v.
data van [4])

driehoeken (2D simplexes), een driehoek (2D simplex) wordt weer begrensd door 3 lijnen (1D simplexes), etc. Naast deze voorkennis kan de gereduceerde computationele complexiteit ook worden geïllustreerd door te bedenken hoe een functie in 3D eruit ziet om het volume van een huis te bepalen. Implementatie van een volumeformule voor polyhedrons is lastig, omdat polyhedrons een vrijwel onbeperkte variatie aan vormen toestaan, terwijl in een TEN slechts een enkele formule voor het volume van een tetraëder benodigd is. Deze formule moet weliswaar meerdere keren worden toegepast voordat het totale volume van het huis bekend is, maar die herhaling is exact de kracht van een computer. Als laatste voorbeeld van een operatie die eenvoudiger op een TEN is uit te voeren, kan de point-in-polygon test genoemd worden. Doordat simplexes in alle dimensies convex zijn, is deze operatie eenvoudiger dan op (mogelijk concave) polyhedrons.

Fig. 6.
Meervoudig
ruimtegebruik: op
elkaar bouwen van
tunnels, station en
kantoren (bron:
deltametropolis.nl.
tripod.com)



Het doorslaggevende argument in de keuze tussen de polyhedron en de TEN-aanpak is tot nu toe niet genoemd. Elke 3D modelleertechniek kent zijn eigen sterke en zwakke punten en daarmee ook toepassingen waarvoor die techniek meer of minder geschikt is. Sommige technieken zijn erg effectief als het gaat om visualisatie, andere technieken zijn erg effectief voor bepaalde analyses. De discussie wat nu de 'beste' techniek is, zal nooit tot een unanieme conclusie leiden, juist doordat de conclusies altijd afhankelijk zijn van de beoogde toepassing. Een topografische dataset is

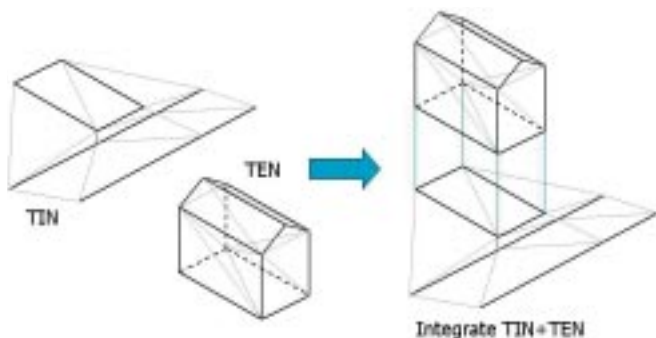


Fig. 7.
Topografie
gemodelleerd in
geïntegreerd 2,5D
TIN en 3D TEN

bijzonder door het brede scala aan gebruikers en toepassingen; denk aan alle verschillende sectoren (IMRO, IMWA, IMKICH, etc.) in de piramide Geo-Informatiemodellen van het Basismodel Geo-Informatie. Met dit brede toepassingsdomein in het achterhoofd is het belangrijk om een datamodel en structuur te kiezen die het mogelijk maakt om verschillende vormen van output te leveren, zoals polyhedrons, surface-TINs, etc. Het afleiden van verschillende vormen is het beste mogelijk vanuit simplexen, reden om voor 3D topografie te kiezen voor de combinatie van TIN en TEN-aanpak (zie ook fig. 7).

Inhoud onderzoek

De centrale vraag van het onderzoek is hoe een 3D topografische terreinrepresentatie kan worden gerealiseerd in een object-gericht geïntegreerd TIN/TEN model. Binnen deze vraag kunnen drie afzonderlijke stappen worden onderscheiden, die overigens niet strikt op elkaar zullen volgen, maar eerder in een iteratief proces zullen plaatsvinden.

Als eerste stap zal het onderzoek zich richten op het logische ontwerp van het model. Dit model is object-gericht, wat betekent dat vertrouwde topografische objecten zoals wegen, huizen en rivieren in het model opgeslagen kunnen worden opgeslagen en bevraagd. In het model zullen dus zowel geometrie als semantiek terug moeten komen. In het geval van een TEN betekent dit dat bijvoorbeeld de begrenzing van een huis wordt vastgelegd in de geometrie van de punten, lijnen en vlakken, die op hun beurt een volume begrenzen dat het object huis representeert in het model. Een ander aspect van het ontwerp van het model is dat het een geïntegreerd TIN/TEN model wordt. De TIN/TEN combinatie is gekozen om zo complexe gebieden in 3D te kunnen modelleren, terwijl in minder complex gebied volstaan kan worden met 2,5D modelleren. Dit vereist algoritmen voor het opbouwen van zowel een constrained TIN (een TIN dat objecten bevat) als van constrained TENs. Gezien de complexiteit van constrained TENs is ervoor gekozen om elk 3D object als afzonderlijk TEN te representeren. Deze 3D objecten worden vervolgens op of onder het terreinoppervlak (het TIN) 'geplakt'. Deze integratie is ook een punt van aandacht, want in het datamodel zullen de TIN en TENs goed op elkaar moeten aansluiten, niet alleen geometrisch maar ook topologisch, om zo analyses om het geïntegreerde model mogelijk te maken.

De tweede stap in het onderzoek richt zich op de vraag hoe een 3D topografische representatie er eigenlijk uitziet. Dit vereist onder andere het uitbreiden van huidige 2D topografische productspecificaties naar 3D specificaties. Geke-

ken zal worden hoe dit het beste kan, mede door specificaties van bestaande datasets met een 2,5D of 3D component, zoals de DTB Nat en de DTB Droog van Rijkswaterstaat, te analyseren. Binnen deze stap zal ook onderzocht worden hoe de verschillende bronbestanden, zoals de TOP10NL en het AHN, gecombineerd kunnen worden en of beide schaalniveaus wel op elkaar aansluiten. Zo bevat de huidige TOP10vector 2 à 3 kenmerkende hoogtepunten per hectare, terwijl het AHN (5x5 m grid) er 62.500 bevat. Het aantal punten in de 3D dataset zal ergens tussen beide waarden komen te liggen, waarbij ook bepaald zal worden op welke wijze dergelijke punten geselecteerd kunnen worden. Een mogelijkheid daarvoor is het filteren op kenmerkende hellingsveranderingen [Stoter, 2004].

De derde stap draait om het woord realisatie in de centrale onderzoeksvraag. Tot nu toe zijn er tal van publicaties die op conceptueel niveau beschrijven hoe 3D GIS eruit zou moeten zien. Deze beschrijvingen zijn zeer nuttig, maar houden vaak op op het moment dat de echte problemen beginnen. Dit onderzoek poogt een volgende stap te zetten door de concepten ook daadwerkelijk te implementeren. Deze proof-of-concept zal uitgaan van implementatie van het datamodel in een geoDBMS, waarop met behulp van SQL of de bij de DBMS horende API de bewerkingen zullen worden uitgevoerd.

Ten slotte

De ontwikkeling en implementatie van een datamodel voor 3D topografie is een grote uitdaging. Topografische bestanden kennen een zeer gevarieerde gebruikersgroep en als gevolg daarvan ook een zeer gevarieerd aantal toepassingen. Door toenemend meervoudig ruimtegebruik en stijgend bewustzijn van de noodzaak van duurzame stedelijke ontwikkeling neemt de (latente) vraag naar 3D topografie toe. Tegelijkertijd beschikt Nederland binnenkort over een objectgericht topografisch bestand (de TOP10NL) en nu reeds over een landsdekkend hoogtebestand met unieke hoge puntdichtheid. Al deze ingrediënten tezamen vormen de aanleiding voor gedegen onderzoek naar 3D topografie. Door

dit onderzoek zal in de toekomst 3D GIS niet meer alleen een (VR) tool voor fraaie visualisaties zijn, maar juist ook voor analyses, van origine de kracht van GIS-systemen. Helaas onderkent een enkeling de noodzaak hiervoor (nog) niet... (Geo-Info 2005-1, p.7). ■

Literatuur

- Heerd, R.M. van, et al., *Product-specificatie AHN 2000*. Technical Report MDTGM 2000.13, Rijkswaterstaat, Delft, 2000.
- Oosterom, P.J.M. van, et al, *3D GIS komt er wel, maar 't zal wel even duren*. In: VI-Matrix, jaargang 10, nummer 3, mei 2002.
- Pilouk, M., *Integrated Modelling for 3D GIS*. PhD-thesis, Enschede, 1996.
- Simonse, M., *3D TOP10, Integratie van TOP10vector en het AHN*. Delft, 2000
- Stoter, J.E., et al, *Generalization of integrated terrain elevation and 2D object models*. In: Proceedings of 11th International Symposium on Spatial Data Handling, Leicester, 2004.
- Zlatanova, S., *3D GIS for Urban Development*. PhD-Thesis, Graz, 2000.

Samenvatting

3D topografie: de volgende uitdaging in GIS-onderzoek

Dit artikel beschrijft het onderzoek naar 3D topografie zoals dat wordt uitgevoerd bij de sectie GIS-technologie aan de TU Delft. De ontwikkeling van 3D topografie is zowel vraag- als aanbodgedreven. Deze aanlei-

ding wordt behandeld, gevolgd door de verschillende stappen tussen 2D en 3D modelleren. In het onderzoek is ervoor gekozen te werken met een gecombineerd 2,5D/3D model, om zo de voordelen van beide systemen optimaal te benutten. De keuze voor de gebruikte 3D modelleertechniek wordt vervolgens toegelicht en het artikel sluit af met een beschrijving van de concrete onderzoeksstappen.

TREFWOORDEN

GIS-technologie, GIS/LIS, onderzoek

Summary

3D topography: the next challenge in GIS research

This article describes current research into 3D topography at the GIS technology section at Delft Technical University. The development of 3D topography is both demand as supply-driven. It focuses on the reason, followed by the various steps between 2,5D en 3D modelling, to fully utilize the advantages of both systems. The choice for the 3D modelling technique that has been applied is explained and the article ends describing concrete steps in research.

KEYWORDS

GIS-technology, GIS/LIS, research

Résumé

Topographie en 3D: la prochaine étape de la recherche SIG

Cet article décrit la recherche dans le domaine de la topographie 3D telle qu'elle est effectuée au département de technologie SIG de l'université de Delft. Le développement de la topographie 3D est axée tant sur la demande que sur l'offre. Ce sujet est traité et suivi par différentes étapes entre la modélisation 2D et 3D.

Dans la recherche on a choisi de travailler sur un modèle combiné 2.5/3D, afin de mettre à profit et de façon optimale les avantages des deux systèmes. Le choix de la technique de modélisation 3D est commenté par la suite et l'article se termine par une description des étapes concrètes de la recherche.

MOTS CLÉS

Technologie SIG, SIG/SIT, recherche

Ook gemeente Barendrecht kiest voor NedBrowser

NedGraphics Gemeentebreed CAD/GIS www.nedgraphics.nl

 cadgis.info@nedgraphics.nl • Telefoon (0347) 329 600 