

3D Topografie of het gebruik van een volumineus idee

De vraag naar 3D topografie is in een breed scala aan toepassingen aanwezig, terwijl de datasets meestal nog steeds twee gescheiden bestanden zijn: een topografisch bestand en een hoogtemodel. Integratie van die twee maakt in de toekomst directe 3D-analyses mogelijk. Vier uitgewerkte cases tonen aan, dat dit allesbehalve een onmogelijke opgave is.

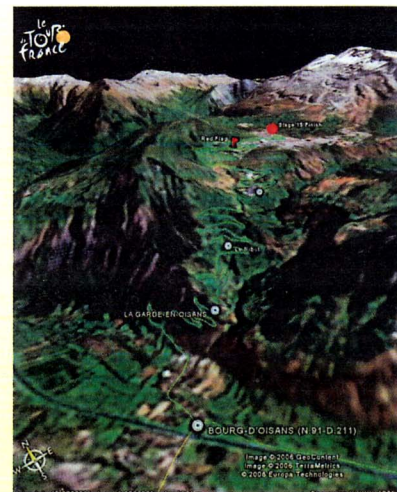
Afgelopen zomer kon elke liefhebber van de wielersport zich digitaal over het parcours van de Tour de France laten leiden, inclusief alle beklimmingen en afdalingen. Google Earth maakte het mogelijk om topografische informatie (in dit geval de route inclusief plaats- en bergnamen), luchtfoto's en een hoogtemodel te combineren tot een voor de gebruiker bijna realistische ervaring. Wat is die Galibier toch hoog en wat zitten er veel bochten in de weg naar Alpe d'Huez! (figuur 1 a en b).

De inzichtelijkheid van modellen geldt niet alleen voor de consumentenmarkt, maar ook voor professionele toepassingen. Bij stadsmodellen, stromingsmodellen, geluid- en stankanalyses geldt voor de gebruiker: hoe realistischer, des te beter. GIS-analyses die met topografische bestanden worden uitgevoerd, zullen daarom in de toekomst gebruik maken van 3D topografische bestanden. Maar wat zijn de eisen aan deze bestanden en hoe kan men deze op een efficiënte manier inwinnen en beheren?

Sinds de start van het Ruimte voor Geo Informatie-project 3D Topografie zijn onderzoeksgroepen van de TU Delft en het ITC Enschede actief op het gebied van



Figuur 1a. De "Nederlandse berg" Alpe d'Huez met een Nederlands (vlak!) landschap.



Figuur 1b. Een hoogtemodel brengt meer realiteit in de toepassing.

Beide figuren laten het laatste stukje van de route naar Alpe d'Huez zien, met het verschil dat in figuur b een hoogtemodel is toegevoegd. Dit verhoogt de belevingswaarde aanzienlijk.

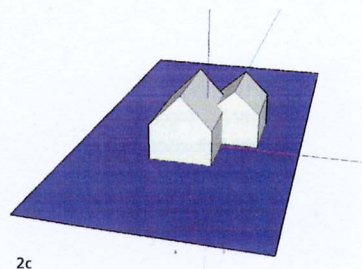
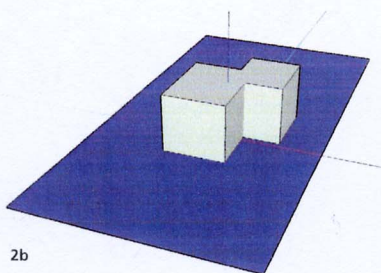
efficiënte inwinning en modellering van 3D Topografie. Samen met de overige partners in de projectgroep (AGI, TD-Kadaster, Oracle, NedGraphics en Stuurgroep AHN) worden korte- en lange-termijn doelen bepaald en besproken. Een belangrijk projectdoel is dat toekomstige gebruikers er ook echt iets aan hebben - een onderzoek dat aansluit op datgene waar de praktijk op wacht, maar dat toch wetenschappelijk verantwoord is. Een onmogelijke opgave of de ideale combinatie?

Wat de opzet van het gebruikersonderzoek betreft: er zijn vier groepen geselecteerd, die representatief zijn voor de toekomstige 3D topografie gebruikers. De geselecteerde gebruikers zijn bezocht en hun activiteiten op het gebied van 3D geo-informatie besproken. Vervolgens heeft een workshop 3D Topografie plaatsgevonden, waarbij de gebruikers hun case presenteren en de onderzoeksactiviteiten gepresenteerd werden door de onderzoeksgroepen. Ongeveer

80 geïnteresseerden bezochten de workshop om zich te laten bijpraten over de huidige stand van zaken van het onderzoek en om mee te discussiëren over toekomstige ontwikkelingen.

Gemeenten

Om de gemeentelijke behoefte aan 3D geo-informatie te onderzoeken is een bezoek gebracht aan de gemeente Den Bosch. Namens de afdeling Geo-Informatie gaven Irwin van Hunen en Bram Verbruggen inzicht in talloze gemeentelijke processen die ondersteund kunnen worden met behulp van 3D topografie. Voordiel hierbij was, dat de gemeente zelf ook participeert in RGI-onderzoek en mede in dat kader een nieuw laserbestand heeft laten inwinnen, waardoor een gedetailleerd hoogtemodel van de gemeente beschikbaar is. Ondanks het brede scala aan toepassingen bleek de toegevoegde waarde van een 3D component eigenlijk altijd te liggen in de wens om met de data een beter inzicht in de



Figuur 2a t/m c. Het toevoegen van dakvormen zorgt voor fraaiere en beter matchende representatie van bebouwing.

werkelijkheid te geven. Hierdoor kan bijvoorbeeld voor de eigen medewerkers de noodzaak worden weggenomen om het veld in te gaan.

3D data kan de inzichtelijkheid vergroten in een aantal lastige situaties, met name waarbij meer objecten zich boven of onder elkaar bevinden. In algemene zin valt te denken aan tunnels, viaducten en bebouwing (onder- en overbouw), maar ook aan specifiek Boschse situaties: de tunnel tussen twee panden van V&D en natuurlijk ook aan de Binnendieze, die voor een groot deel van de lengte overkluist wordt door woningen.

Naast een inzichtelijke presentatie van complexe situaties is er op basis van de huidige ontwikkelingen een aantal functies en analyses te herkennen die een toekomstig model zou moeten ondersteunen. Als eerste geldt, dat er volumes bepaald moeten kunnen worden, onder andere voor belastingtoepassingen. Als tweede punt kan de zichtanalyse genoemd worden, zowel voor straalverbindingen als voor allerlei stedenbouwkundige analyses. Als derde punt is er de overstromingsanalyse, die plaatsvindt in de ruimte tussen de bebouwing. Een

laatste vermeldenswaardige bewerking is het detecteren van (nieuwe) dakkapellen voor Bouw- en Woningtoezicht, aangezien deze bewerking aangeeft dat de benodigde hoogtegegevens (laserscanning) een duidelijk hogere puntdichtheid moeten hebben dan het huidige AHN.

TD-Kadaster

In het huidige datamodel van de TOP10NL worden viaducten, bruggen en fly-overs (zoals het Prins Clausplein bij Den Haag) gemodelleerd met behulp van

relatieve hoogteniveaus: 0 voor de bovenste en vervolgens -1, -2, et cetera voor de onderliggende niveaus. Informatie over de daadwerkelijke hoogteligging ontbreekt, waarmee de niveaus soms lastig te interpreteren zijn. Het inzichtelijker maken van deze situaties is zowel een wens van TD Kadaster zelf als van gebruikers, die bijvoorbeeld voor wegenbeheer behoefte hebben aan afzonderlijk zichtbare en tastbare weggedelen, bijvoorbeeld om oppervlaktes van asfalt te bepalen of om taluds te maaien. Ook analyses op 3D infrastructuur zijn wenselijk (bijvoorbeeld routeplanning voor uitzonderlijk vervoer), waarbij maximale doorrijhoogtes van belang zijn.

De tweede categorie objecten waarvoor hoogtegegevens een duidelijke meerwaarde hebben, is bebouwing. Bebouwing wordt op dit moment in 2D in de TOP10NL opgenomen, al is er wel het oude onderscheid tussen hoog- en laag-

bouw (35 meter of meer dan 7 verdiepingen). Het datamodel biedt ruimte om een enkele gebouwhoogte als hoogteattribuut op te nemen. Dakvormen modelleren past lastig binnen het datamodel, waarin huizen

met behulp van polygonen worden gemodelleerd. Met een kleine wijziging van het datamodel zou echter in de geometrie de omtrek van het huis kunnen worden opgenomen (zoals dat nu ook gebeurt) en kan in een nieuw optioneel attribuut de dakgeometrie worden toegevoegd. Op deze manier hoeft het datamodel niet ingrijpend gewijzigd te worden, maar staat wel de deur naar fraaie visualisaties open (figuur 2 a,b,c).

Met de categorieën infrastructuur en bebouwing heeft TD Kadaster een duidelijke

beeld waar uitbreiding naar 3D het meest gewenst is. Zoals verderop in dit artikel uitgebreid aan bod zal komen, toont een eerste test van het ITC-Enschede aan, dat integratie van 2D topografie en hoogtegegevens complexer is dan alleen het toevoegen van wat attributen aan objecten. Na het enorme conversieproces van TOP10vector naar TOP10NL zal deze uitdaging bij TD Kadaster zeker aan de orde komen.

Dijkbeheer

De gebruikerswensen op het gebied van dijkbeheer zijn tot stand gekomen op basis van een gesprek met Stefan Flos en de presentatie van Job Nijman (Fugro Ingenieursbureau) en Hans Knotter (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden). Stefan Flos heeft recent diverse waterschappen geadviseerd en begeleid bij de inwinning van 3D topografische informatie. Hoewel hij geen eindgebruiker is van geoinformatie, is hij binnen dit onderzoek op basis van ervaring wel een nuttige intermediair tussen eindgebruikers en onderzoekers.

Voor dijkinspectie kunnen vier hoofdthema's onderscheiden worden:

1. Waterstanden, -spanningen en -stromen.
2. Dijkopbouw, geometrie en ondergrond.
3. Vegetatie en bekledingen.
4. Voorspellen (bezwijk)gedrag waterkering.

(bron: www.inspectiewaterkeringen.nl)

Voor bovenstaande thema's levert 2D topografie vooral voor punt 3 direct informatie. Indien 3D topografie beschikbaar is, kunnen ook waterstanden, en -stromen direct worden getoond. Tijdens de presentatie werd als voorbeeld een deel van de Lekdijk (in beheer bij Waterschap Rivierenland) genomen. Deze dijk is met hoge puntdichtheid laseraltimetrie ingewonnen en de verwerking tot gedetailleerde topografie is uitgevoerd op de originele puntenwolk. Zowel de inwin-

De richtlijnen van het
GBKN schieten tekort
als het gaat om de
derde dimensie

ning als verwerking is door Fugro uitgevoerd.

De topografische producten binnen een waterschap hebben als belangrijkste doel om het beheer en inspectie van dijken te ondersteunen. In het kader van de 'Wet op de waterkering' zijn waterschappen verplicht om minstens één keer per vijf jaar waterkeringen te toetsen en de resultaten te rapporteren.

Hoewel de waterschappen vooral het GBKN als referentiebestand gebruiken, zijn er speciale wensen ten aanzien van de kwaliteit van de data. Een interessante kwestie is dat de objecten die dicht bij de kruin van de dijk liggen, belangrijker zijn dan objecten die er verder vandaan liggen. Dat zorgt ervoor, dat de kwaliteit van de objecten dicht bij de kruin hoog moet zijn, terwijl elders de kwaliteit minder belangrijk is.

Daarnaast zijn er nog bestanden die de situatie onder het aardoppervlak in kaart brengen. Het is duidelijk, dat voor dijk-beheerders dit belangrijke bronnen zijn. Voorbeelden zijn databases over de bodemopbouw of CAD-tekeningen van kunstwerken. Hoewel het buiten het blikveld van 'topografie' valt, is de link met 3D Topografie duidelijk zichtbaar: de combinatie van de gesteldheid op de dijk (topografie) als in de dijk (bodemopbouw) geeft informatie over de sterkte van de dijk. Het is duidelijk dat in deze gebruikerscase de koppeling een belangrijke rol speelt.

De analyses liggen op het gebied van beheer en inspectie. Vragen als: 'Hoe ligt een deel van de dijk erbij', en, 'Is er iets veranderd in die situatie?' moeten beantwoord kunnen worden bij het analyseren van de topografische kaart en het hoogtemodel.

Een aantal waterschappen heeft hun keringen met hoge punt dichtheid laser-altimetrie ingewonnen. De richtlijnen voor een gestandaardiseerde manier van inwinnen ontbreken echter nog. De richtlijnen van het GBKN schieten tekort als het gaat om de derde dimensie en specifieke waterschapwensen. Waterschap Rivierenland heeft al aangegeven behoefte te hebben aan gestandaardiseerde karteringsspecificaties om laserbestanden in 3D om te zetten. Ook bij andere waterschappen zijn deze geluiden te horen: het wiel wordt steeds weer uitgevonden. Dit is een potentieel belangrijke bijdrage vanuit 3D topografie-project.

Google Earth

"Bij RWS zie ik een ontwikkeling die begint bij de landmeter en die eindigt bij de Google-Earth-gebruiker. Daar wil ik naar toe. Mijn droom is een Google Earth RWS of een Google Earth Overheid met kadastergrenzen, waterleidingen, rioleringen enzovoorts ... We hebben de data, dus dat is het probleem niet. Verder wil ik meer en actuele gegevens. Bovendien wil ik ze sneller."

Aan het woord is Luc Kohsiek, plaatsvervangend DG bij Rijkswaterstaat. Binnen het RGI 3D-topografie project is RWS-AGI één van de vier partijen die betrokken is bij het (toekomstig) gebruik van 3D-topografie. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de case van RWS-AGI zich richt op het gebruik van Google Earth als middel voor het al dan niet aanbieden van 3D geo-informatie.

De centrale vraag in deze case is welke mogelijkheden Google Earth biedt voor het ontsluiten van de bij de AGI beschikbare 2.5D hoogte-informatie en (belangrijker nog) 'echte' 3D-topografie. Hoewel het perspectief beeld van het hoogtemodel voor Nederland beperkt is, is een goede hoogtekwaliteit wel degelijk van belang. Het hoogtemodel wordt namelijk gebruikt als referentievlak voor het modelleren van objecten 'op de grond'. Binnen Google Earth is nu een hoogtemodel aanwezig dat in 2000 is ingewonnen met de (Space) Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Over de exacte nauwkeurigheid van dit model bestaat nog wat onduidelijkheid. Voor de AGI zou het daarom logischer zijn om het Actueel Hoogtemodel Nederland via Google Earth te ontsluiten. De ruimtelijke resolutie (bijvoorbeeld het 25 meter grid) is hoger dan de SRTM-data. Daarnaast zijn de hoogtekwaliteit (door het gebruik van laserscanning) en de nabewerking

(filtering) van het AHN beter dan de SRTM-data.

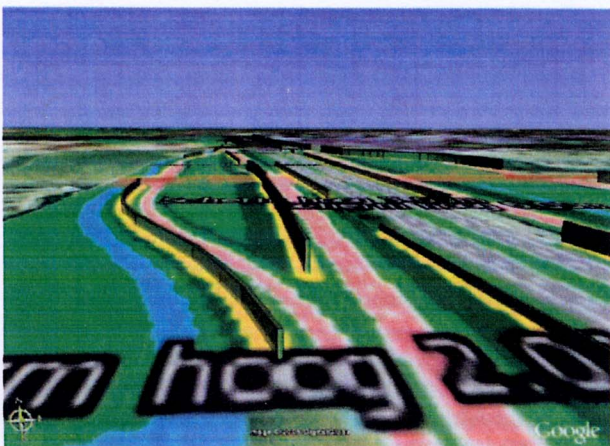
Naast de ontsluiting van kwalitatief goede data blijft Google Earth natuurlijk ook een optie voor de vervaardiging van fraaie visualisaties, bijvoorbeeld om bij grote projecten reeds in de planfase alle ideeën met de burger te kunnen communiceren. Bij de plannen voor de randweg Eindhoven is hiervan gebruik gemaakt (figuur 3).

Volumes beschrijf je met... volumes

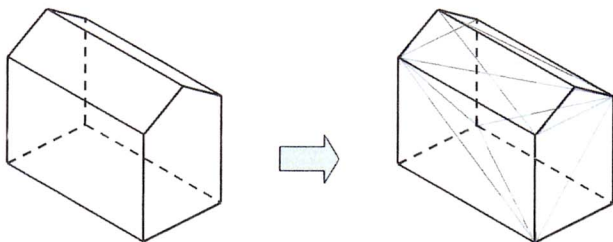
In de literatuur zijn talloze manieren voorgesteld om driedimensionale geo-informatie op te slaan, te bevragen en te bewerken. Hoogte-informatie, en dan met name de hoogte van het terrein, kan in 2.5D worden beschreven (zie ook 'Het leven in 2,5D bestaat uit driehoeksverhoudingen' in Vi MATRIX 95). Zodra dergelijke beschrijvingen niet meer voldoen (als gevolg van verschillende objecten boven elkaar en waarmee meer z-waardes aan één x,y-locatie gekoppeld moeten worden) is de overstap naar 3D modellering noodzakelijk.

Globaal zijn er twee verschillende typen van aanpak te onderscheiden, namelijk de *boundary* representaties (waarin een volume-object beschreven wordt als verzameling grenzen, bijvoorbeeld een huis middels de muren, het dak en de vloer) en de volume-representaties (waarbij het huis daadwerkelijk als volume wordt beschreven, en niet als datgene dat binnen een aantal vlakken valt). In dit onderzoek is gekozen voor de volume-aanpak, met name vanwege mogelijkheden die dit biedt voor validatie van de data en het ondersteunen van analyses. Het consistent houden van de data en uitvoeren van analyses, bijvoorbeeld zichtlijnen, volumeberekeningen et cetera, zijn wensen die duidelijk naar voren kwamen uit de verschillende cases. De onderzoekers in het project 3D topografie nemen deze wensen dan ook als criteria in de zoektocht naar de geschikteste datastructuren.

Specifiek is in dit onderzoek gekozen voor de representatie van topografische objecten in een Tetrahedronized Irregular Network (TEN), de 3D variant van het TIN, Triangulated Irregular Network (zoals besproken in het artikel over 'Driehoeksverhoudingen'). Een tetraëder is de 3D-vorm die je krijgt als je vier driehoeken tegen elkaar zet (dus niet geen piramide, want die heeft vier driehoeken plus een vierkante onderkant).



figuur 3. Screenshot van een filmpje van de randweg Eindhoven, inclusief 3D aluidsschermen.



Figuur 4. Voorbeeld van huis opgebouwd uit tetraëders.

Alle topografische objecten worden opgebouwd uit tetraëders, die van verschillende grootte mogen zijn. Het nut van deze methode is dat complexe vormen (ingewikkelde gebouwen, tunnels of verkeerspleinen) gerepresenteerd kunnen worden als set eenvoudige vormen. Hierdoor wordt het rekenwerk ook aanzienlijk vereenvoudigd. Probeer bijvoorbeeld eens om een formule te verzinnen voor het berekenen van de inhoud (volume) van een huis (figuur 4). Dat huis kan een plat dak of een zadeldak hebben en misschien zijn er ook nog wel dakkapellen. De volume-formule zou met al deze variaties in vorm om moeten kunnen gaan. Als de huizen nu eerst opgedeeld worden in tetraëders, kan van alle tetraëders afzonderlijk het volume berekend worden om vervolgens deze deelresultaten bij elkaar op te tellen.

Het ontwerpen van de algoritmes die alle objecten opdelen in tetraëders en het slim opslaan van het TEN in een ruimtelijke database zijn de belangrijkste uitdagingen binnen het onderzoek naar datamodellering. Bovendien is het belangrijk om de complexiteit die bij de tetraëders hoort, inclusief alle algoritmes, zo goed mogelijk 'onder de motorkap' te verbergen, zodat de gemiddelde gebruiker alleen met objecten werkt en zich niet druk hoeft te maken over tetraëders.

Opwaardering van 2D topografie

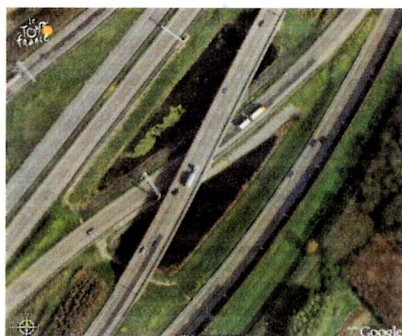
De vervaardiging van grootschalige topografische producten is een arbeidsintensieve en (dus) dure activiteit. In drie dimensies inwinnen zal nog een grotere klus zijn, tenminste, als je met niets begint. De meeste gebruikers hebben al

een topografisch bestand in hun bezit, zoals de TOP10Vector, GBKN of DTB. En uit de cases blijkt ook, dat laseraltimetrie in veel gevallen beschikbaar en bruikbaar is, bijvoorbeeld in de vorm van een AHN of een zelf ingewonnen bestand met een hogere punt dichtheid. In veel gevallen is het mogelijk om topografische informatie te combineren met laseraltimetriedata om de 2D topografie op te waarderen naar 3D.

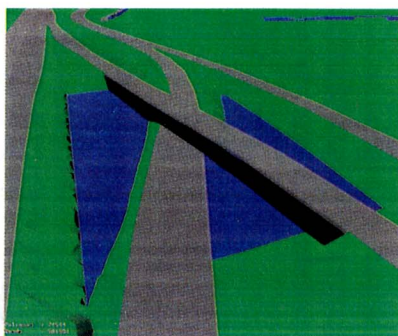
Het promotie-onderzoek op het ITC richt zich op de inwinning van 3D topografie door reeds bestaande 2D topografie met laseraltimetrie te combineren. De start is gemaakt met de minst gedetailleerde bestanden, TOP10NL en AHN, waarna in 2007 en verder de combinatie tussen hoge punt dichtheid laseraltimetrie

Hierin hebben gebruikers en wetenschappers duidelijk hetzelfde doel: het 3D model moet een realistische weergave zijn van de werkelijkheid. Daarom wordt niet alleen de hoogte, maar ook de 3D-vorm van topografische objecten uit de laserdata berekend. Eerst worden punten op de objectgrenzen voorzien van een hoogte, vervolgens de vlakken. Natuurlijk mag ook de semantiek niet ontbreken, vaak in de vorm van voorwaarden aan de hoogte en de omgeving. Zo zullen wateroppervlakten als horizontaal vlak worden vastgelegd, die lager moeten liggen dan omliggende objecten. Aan elkaar grenzende wegdelen zullen in werkelijkheid in elkaar overlopen; kleine rekentechnische hoogteverschillen tussen twee delen worden dus met behulp van semantische voorwaarden verwijderd.

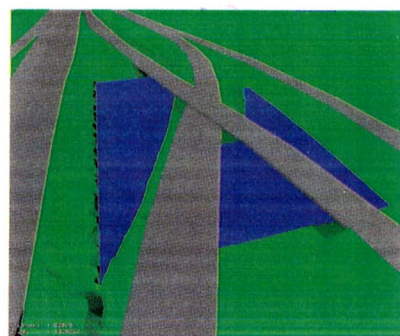
Iets gecompliceerder wordt al de inwinning van objectdelen, die niet vanuit de lucht waarneembaar zijn. Een veel voorkomend voorbeeld is een viaduct. Met de combinatie van TOP10NL en AHN-data wordt allereerst een model gemaakt, zoals afgebeeld in figuur 5b. De gaten die overblijven worden gevuld met behulp van aanvullende informatie. Deze



Figuur 5a. Luchtfoto van een viaduct.



Figuur 5b. Hoogte aan reeds bestaande objectvlakken en -grenzen.



Figuur 5c. 3D Model wordt aangevuld met ontbrekende objectvlakken.

en de grootschalige topografische bestanden, zoals de GBKN en het DTB, wordt onderzocht.

Van 2 naar 3 dimensies door hoogte aan topografie te koppelen - het klinkt simpel. Voor sommige toepassingen is het dat ook: bijvoorbeeld de bepaling van de gemiddelde hoogte van een object. Met de gemiddelde hoogte en de oppervlakte kan men namelijk al een redelijke schatting maken van het volume van bijvoorbeeld een huis of gebouw. De visualisatie van een gemiddelde hoogte leidt echter vaak tot verwarrende situaties. Schuine en glooiende objecten en objecten met meer hoogtes zullen niet representatief zijn.

informatie kan bijvoorbeeld de aanwezigheid van 'onzichtbare' topografische objecten in de TOP10NL zijn. Deze zullen gekoppeld worden aan de lagere delen van het 3D-model, zodat een waterdicht en realistisch model ontstaat, zoals afgebeeld in figuur 5c. Gebruikers en onderzoekers tevreden; een realistische 3D-weergave lijkt dus eerder een ideale combinatie dan een onmogelijke opgave.

SANDER OUDE ELBERINK

ITC, DEPARTMENT OF EARTH OBSERVATION SCIENCE

FRISO PENNINGA

TU DELFT, SECTIE GIS TECHNOLOGIE