



Trendrapport GIS

prof.dr.ir. P.J.M. van Oosterom
ir. F. Penninga
drs. M.E. de Vries

Onder redactie van E.M. Fendel

GISr Rapport No. 40
RWS Report AGI-2005-GAB-01

November 2005

Trendrapport GIS

prof. dr. ir. P.J.M. van Oosterom
ir. F. Penninga
drs. M.E. de Vries

Onder redactie van E.M. Fendel

Samenvatting

Dit trendrapport GIS is geschreven in opdracht van de Adviesdienst Geo-informatie en ICT (AGI). Er wordt met name geconcentreerd op de onderwerpen schaal- en tijdloze bestanden, Open GIS, 3D GIS en de integratie van GIS en CAD. Zonder in een vergelijk van individuele producten te willen uitmonden is getracht de belangrijkste ontwikkelingen aan te geven. Duidelijk is dat het een vakgebied sterk in beweging betreft. Integratie van *geografische en temporele informatie* wordt steeds belangrijker (historie bijhouden, alternatieve toekomstige plannen ontwerpen, mobiele objecten) en wordt bovendien steeds beter ondersteund door de tools. Lastiger is de aloude ‘worsteling’ rondom het schaal/resolutie aspect: hier zijn wel vorderingen (vooral *multi-schaal aanpak*), maar is het ideaal (*schaalloze aanpak*) nog lang niet bereikt. Op *Open GIS* gebied is er veel bereikt op het gebied van de interoperabiliteit (zowel van geo-informatie als van diensten) sinds de start van OGC in 1994; b.v. de consolidatie van OGC standaarden in ISO standaarden (GML en web services). Momenteel gaat de aandacht uit naar nieuwe uitdagingen (visualisatie, metadata/catalog services, sensor web) en verschuift de interoperabiliteitsaandacht van de syntactische naar semantische aspecten. De behoefte aan 3D geo-informatie wordt steeds groter en het betreft niet meer alleen de visualisatie, maar ook de *3D GIS* onderdelen voor uitwisseling (GML3, X3D) analyse (3D buffer, overlay, stroming) en opslag (3D datatypen in DBMS). In kader van de laagdrempelige ontsluiting zullen tools als Google Earth (met een prettige interface) een belangrijke rol gaan spelen. *CAD en GIS* blijken in de praktijk vaak gerelateerd via de levenscyclus van objecten: plan, ontwerp, realisatie, beheer). De huidige moeizame conversies geven aan dat een beter integratie is gewenst. CAD-GIS integratie moet mogelijk worden door formeel semantische beschrijvingen (gehele levenscyclus) en eenduidige manier van beheren (in een DBMS) van de feitelijke gegevens.

ISBN-10: 90-77029-08-7

ISBN-13: 978-90-77029-08-4

ISSN: 1569-0245

© 2005 Sectie GIS technologie
 Onderzoeksinstituut OTB
 TU Delft
 Jaffalaan 9, 2628 BX Delft
 Tel.: 015 278 4548; Fax 015-278 2745
Websites: <http://www.otb.tudelft.nl>
 <http://www.gdmc.nl>
E-mail: Sectie-GIS@otb.tudelft.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de sectie GIS technologie.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Schaal- en tijdloze bestanden.....	3
2.1	Ruimtelijk-temporele modellen	3
2.2	Bewegende objecten.....	8
2.3	Schaalloze en multi-schaal modellen	9
2.4	Samenvatting trends schaal- en tijdloze bestanden	13
3	Open GIS.....	15
3.1	Terugblik.....	15
3.1.1	Interoperabiliteit: standaarden en testbeds	16
3.1.2	Web service interface standaarden.....	16
3.1.3	Uitwisseling van vector data: GML	16
3.1.4	Open GIS is niet gelijk aan 'open source'	17
3.2	De stand van zaken	18
3.2.1	Consolidatie en ISO certificatie.....	18
3.2.2	Werken aan 'profielen'	18
3.2.3	Op elkaar afstemmen van specificaties	18
3.3	Nieuwe onderwerpen en/of vernieuwde belangstelling.....	19
3.3.1	Complexere geometrie en nieuwe toepassingsgebieden	19
3.3.2	Visualisatie en styling	19
3.3.3	Metadata en catalog services	19
3.3.4	Chaining van Web services	19
3.3.5	GeoAPI.....	20
3.3.6	Archiveren en 'conserveren' van digitale (Web) kaarten.....	20
3.4	Informatie integratie en semantische interoperabiliteit.....	20
3.5	De toekomst.....	21
3.5.1	Meer implementaties van de standaarden	21
3.5.2	Aansluiting bij 'gewone' ICT	21
3.5.3	Europese samenwerking.....	22
3.5.4	Gedistribueerde architectuur gebaseerd op Web services	22
4	Ontwikkelingen op 3D gebied	23
4.1	Begrippen: over 2D, 2,5D en 3D	23
4.2	De vraag naar 3D data	26
4.2.1	Mogelijke toepassingen 3D data.....	26
4.3	Ontwikkelingen per thema	27
4.3.1	3D & visualisatie	27
4.3.2	3D & opslag	28
4.3.3	3D & bewerking	28
4.3.4	3D & uitwisseling	29
4.4	3D-achtige ontwikkelingen	29
5	Integratie GIS/CAD systemen	31
5.1	Waarom integratie?	31
5.2	Kloof aanwezig	35
5.3	Ontwikkelingen richting de oplossing.....	37
5.3.1	Formele semantiek	38
5.3.2	Geïntegreerd gegevensmanagement	39

5.4	Conclusies	40
6	Conclusies	41
	Literatuur	43
	Appendix A. Verschillen tussen CAD and GIS.....	47

1 Inleiding

In dit rapport wordt een beeld geschetst van de huidige stand van zaken op het gebied van GIS. Daarnaast worden de belangrijkste trends geïdentificeerd en beschreven. Op verzoek van de Adviesdienst Geo-informatie en ICT (RWS-AGI) zijn vier onderwerpen specifiek uitgewerkt. In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de ontwikkelingen rond schaal- en tijdloze bestanden. De meest recente ontwikkelingen rond open GIS komen in Hoofdstuk 3 aan bod. De laatste stand van zaken op 3D gebied is onderwerp van Hoofdstuk 4, waarna Hoofdstuk 5 ingaat op de integratie van GIS en CAD systemen. Het rapport sluit af met conclusies in Hoofdstuk 6.

2 Schaal- en tijdloze bestanden

In dit hoofdstuk zullen aspecten aan de orde komen rondom geo-informatie waarbij het accent niet ligt op het representeren van een vaste schaal en een vaste tijd (momentopname). De tekst in dit hoofdstuk is gebaseerd op (vertalingen) van de volgende documenten (Molenaar en Van Oosterom 2006, NCG-GIM 2005, Van Oosterom en Van Putten, 2000). Wat betreft ruimtelijk-temporele modellen maken we onderscheid tussen modellen die vooral bedoeld zijn om de geografische veranderingen (zoals topografische of kadastrale mutaties) vast te leggen en modellen die bedoeld zijn voor het representeren van bewegende objecten. Deze zullen worden behandeld in respectievelijk Paragraaf 2.1 en Paragraaf 2.2. In Paragraaf 2.3 zullen dan multi-schaal en schaalloze modellen behandeld worden. In dit hoofdstuk zullen vooral de basisprincipes aan de orde komen. De belangrijkste trends zullen tenslotte worden samengevat in Paragraaf 2.4 inclusief korte aanduidingen van (recente) database-uitbreidingen voor ruimtelijk-temporele modellen en GIS-pakketten met ondersteuning voor generalisatie.

2.1 Ruimtelijk-temporele modellen

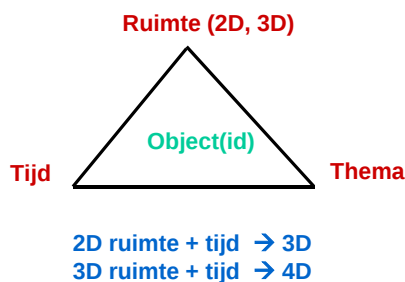
Traditionele geo-informatie modellen kunnen worden gezien als een momentopname in een ruimtelijk temporeel continuüm. Het is duidelijk dat de wereld niet statisch is, maar continu onderhevig aan veranderingen. Natuurlijk moeten deze veranderingen terug te vinden zijn in de informatiesystemen en de modellen waarop deze systemen gebaseerd zijn. Goede overzichten van het omgaan met ruimtelijk-temporele informatie kan worden gevonden in (Langran 1992, Al-Taha et al 1994, Abraham and Roddick 1999, CHOROCHRONOS: A Research Network for Spatiotemporal Database Systems 1996–2000). Sommige artikelen leggen meer nadruk op het modelleren (Egenhofer and Golledge 1998, Tryfona and Jensen 1999, Worboys 1994, Peuquet 2002).

Wanneer er met temporele veranderingen gewerkt wordt moeten verschillende vragen worden beantwoord zoals (Langran, 1992): Waar en wanneer deed een verandering zich voor?, Wat voor een type verandering vond er plaats?, In welk tempo vinden de veranderingen plaats (trend)?, Wat is de periodiciteit van de veranderingen (indien van toepassing)?, Waar was een bepaald object 2 jaar geleden?, Hoe is een bepaald gebied in de afgelopen 5 jaar veranderd?, Probeer te achterhalen welke processen ten grondslag liggen achter de veranderingen, en zo voort. Deze vragen betreffen de temporele aspecten van ruimtelijk-temporele fenomenen, zoals deze zijn weergegeven in de driehoek van Figuur 2.1 (links). Om met ruimtelijk-temporele informatie om te kunnen gaan moet een systeem functies bieden zoals: inventaris maken (complete beschrijving op specifiek moment in de tijd), analyse (verklaren, exploreren, voorspellen van ruimtelijke ontwikkelingen en processen), mutatieverwerking (opvolgers maken van verouderde ruimtelijke en thematische informatie door nieuwe versies), kwaliteitscontrole (monitoren en evalueren van nieuwe gegevens en controleren of deze consistent zijn met de oude gegevens), taken activeren (vaststellen van drempeltoestanden die vervolgens prégedefinieerde acties

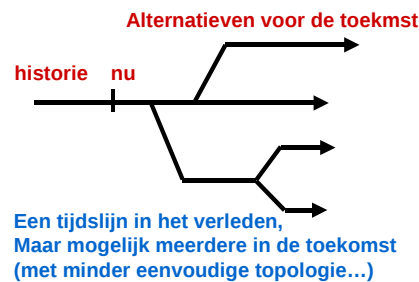
starten) en visualiseren (genereren van kaarten en tabellen die een temporeel proces weergeven).

Een aantal basale temporele modelleerconcepten zullen nu worden geïntroduceerd. De kleinste tijdseenheid wordt aangeduid met de term ‘chrono’ (in zekere zin vergelijkbaar met de fijnste resolutie in het ruimtelijk domein; b.v. pixel-maat). Een moment in de tijd wordt weergegeven door een punt op de tijdslijn, welke van links (verleden) naar rechts (toekomst) loopt. Er is een heel specifiek moment in de tijd en dat is ‘nu’, dat altijd vooruit beweegt is op de tijdslijn. De tijdslijn kan vertakkingen vertonen voor het representeren van alternatieve plannen/ scenario’s/ voorspellingen; zie Figuur 2.1 (rechts). Een tijdsinterval is een segment op de tijdslijn tussen twee momenten in de tijd. Een tijdsinterval kan worden gebruikt om de geldige tijd van een objectversie te representeren. De term ‘frequentie’ wordt gebruikt om aan te geven hoe vaak bepaalde patronen zich herhalen en wordt meestal uitgedrukt in Hertz (1/seconden). Analooq aan het ruimtelijk domein, wordt ook in het temporele domein topologie gebruikt bij het modelleren. Voor momenten in de tijd (punten op de tijdslijn) is dit heel eenvoudig: voor, na of gelijk. De topologische relaties tussen twee tijdsintervallen zijn wat interessanter: disjunct, raken, overlappen, bevatten, gelijk (en meer kunnen er worden voorgesteld; b.v. overlap en gelijktijdig stoppen).

Ruimte-Tijd-Thema driehoek



Meerdere tijdslijnen



Figuur 2.1 Basale ruimtelijk-temporele concepten: ruimte-tijd-thema driehoek (links) en de tijdslijn (rechts)

Gegevens-granulariteit (fijnheid) gerelateerd aan tijd is een belangrijk aspect bij het modelleren van een ruimtelijk-temporele dataset en kan variëren van ‘grof met veel redundantie’ tot ‘fijn met weinig redundantie’. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de volgende vier alternatieven voor de tijdsgranulariteit:

1. ‘Gehele universum’ niveau (gehele dataset); b.v. gebaseerd op luchtfoto’s die elke 6 jaar worden gebruikt om een gehele nieuwe topografische kaart te produceren (het gehele bestand heeft dezelfde tijdstempel).
2. Objectklasse niveau (thematisch); b.v. in de toekomstige topografische kaart zullen bepaalde objectklassen vaker worden bijgehouden dan andere objectklassen (de wegen zullen elke twee jaar worden bijgehouden).
3. Objectinstantie niveau; b.v. individuele percelen worden bijgehouden in de kadastrale registratie op een dagelijkse basis (een compleet perceel met alle attributen wordt vernieuwd, terwijl andere objecten in de database gelijk blijven).
4. Objectattribuut niveau; b.v. wanneer elk uur de grondwaterstand wordt gemeten op een specifieke locatie, dan blijven de andere attributen van dit

object gelijk, maar het attribuut grondwaterstand wordt dus apart bijgehouden.

Voor elke gebeurtenis zijn er verschillende tijdstippen die geregistreerd zouden kunnen worden:

- Wanneer vond deze plaats in de werkelijke wereld (werkelijke wereld of gebruikerstijd).
- Wanneer deze in de werkelijkheid werd waargenomen (b.v. fototijd).
- Wanneer deze in de database werd opgenomen (systeem transactietijd).
- Wanneer deze voor het laatst werd gecontroleerd in de werkelijkheid.
- De datum/tijd van de handtekening/registratie/poststempel.
- Wanneer een bepaalde fout (in de historische gegevens) werd ontdekt en gecorrigeerd (twee momenten).
- Wanneer het voor het laatst aan een gebruiker werd getoond (op het scherm).

Het is mogelijk om meerdere tijden in een model op te nemen en een veel voorkomende aanpak is het bi-temporele model, dat zowel de gebruikerstijd als de systeemtijd bevat. De veranderingen in een ruimtelijke database (zoals die van het Kadaster) zijn van het discrete type in tegenstelling tot meer continue veranderingen, zoals bij natuurlijke fenomenen die gerepresenteerd worden in het veldmodel (Cheng and Molenaar 1998). Er zijn twee soorten modellen om dit weer te geven:

- Toestandgeoriënteerd: elk object wordt uitgebreid met twee extra tijdsattributen (t_{min} en t_{max}).
- Gebeurtenisgeoriënteerd: opslaan en documenteren van de veranderingen (welk attribuut verandert er, waarom, wanneer).

Zowel toestand- als gebeurtenisgeoriënteerde modellen zijn geschikt voor het bevragen van de veranderingen in het verleden ('geef de veranderingen in periode t_1 - t_2 '; zie Figuur 2.2 rechts). Het is echter niet eenvoudig om elk willekeurig moment in de tijd ('geef de situatie op moment t ') te selecteren in de gebeurtenisgeoriënteerde modellen. Daarom wordt het toestandsgeoriënteerde model ook vaker gebruikt (soms in combinatie met het gebeurtenisgeoriënteerde model om de veranderingen te documenteren). Meer informatie betreffende de gebeurtenisgeoriënteerde modellen wordt gegeven in Chen and Jiang (1998).

In toestandsgeoriënteerde modelleren (met objectinstantie-granulariteit) gaat het om een minimale aanpak waarbij elk object twee extra attributen heeft: t_{min} en t_{max} zoals in het Postgres model (Stonebraker and Rowe 1986). De objecten zijn geldig vanaf en inclusief t_{min} en tot en met uitsluiting van t_{max} . Nu nog steeds geldige objecten krijgen een speciale t_{max} waarde: max_tijd , wat aangeeft dat het nog een geldige objectversie betreft. Dit betreft allen systeemtijden. Vervolgens kan het model verder worden uitgebreid met de gebruikerstijden $gebruiker_t_{min}$ en $gebruiker_t_{max}$, die het dan een bi-temporeel model maken.

Wanneer er een nieuw object wordt toegevoegd, dan wordt de huidige tijd gebruikt als waarde voor t_{min} en t_{max} krijgt dan de speciale waarde max_tijd . Wanneer een attribuut van een bestaand object verandert, dan wordt dit attribuut niet aangepast, maar dan wordt het hele object (inclusief oid) gekopieerd met de nieuwe attribuutwaarde. De huidige tijd wordt gebruikt als waarde voor t_{max} in de oude versie van het object en tevens als waarde voor t_{min} in de nieuwe versie van het object. Dit is nodig om op elk moment in het verleden een correcte beschrijving te

kunnen genereren. De unieke identificatie (sleutel) wordt gevormd door het paar (oid, tmin) voor elke objectversie in ruimte en tijd.

In het bi-temporele model worden de gebruikerstijd en de systeemtijd beide bijgehouden. Indien beide tijdsintervallen (gebruikerstijd en systeemtijd) gezamenlijk worden beschouwd dan betreft dit feitelijk een rechthoek. Er vanuit gaande dat de systeemtijd ligt na de gebruikerstijd, dan ligt het linksonder (en tevens ook het rechtsboven) punt van deze rechthoek normaliter onder de diagonaal, die systeemtijd uitzet tegen gebruikerstijd; zie Figuur 2.2 (links).



Figuur 2.2 Tijdsinterval in het bi-temporele model (links), objectinstantie veranderingen in een tijdsinterval (rechts)

Het moet worden opgemerkt dat er geen temporeel model is dat in alle situaties het beste is (dit is vergelijkbaar met ruimtelijke modellen: soms is een raster model beter, en soms is een vector model meer geschikt, denk aan natuurlijke fenomenen en door de mens gemaakte objecten). Het benadrukte model is in meer detail gepresenteerd omdat het in veel situaties relatief goed functioneert.

In de praktijk worden ruimtelijke ordeningssystemen (percelen, gebouwen, transportsystemen, etc.) gekarakteriseerd door (relatieve) referenties in ruimte en tijd. Hierbij wordt een systeem opgevat als een object, inclusief het resultaat van veranderingsprocessen. De dynamische aardse systemen worden veelal opgesplitst in deelsystemen, die door geologische, geofysische, geochemische, geohydrologische en geo-technische natuurlijke discontinuïteiten bepaald en afgebakend zijn in ruimte en tijd met vaak onregelmatige vormen. Voor ruimtelijke ordening systemen en voor beheersystemen geldt dit ook. De deelsystemen worden bepaald door de mens ontworpen discontinuïteiten die eenvoudiger weer te geven zijn; zij zijn vaak regelmatig van vorm, bepaald door het bouwproces of het materiaal. Al deze systemen zijn dynamisch wat betreft hun ruimtelijk-temporele eigenschappen, niet alleen wat betreft de geometrie en de onderlinge topologische eigenschappen, maar ook wat betreft hun interne eigenschappen. We spreken hier van ruimtelijk-temporele informatie.

Nu steeds meer geo-informatieverzamelingen digitaal beschikbaar zijn, wordt de bijhouding het belangrijkste geo-informatie productieproces. Een belangrijke bijhoudingsvariant is zoals eerder aangegeven het continu veranderingen op entiteitsniveau traceren en verwerken. De basisgedachte is dat vóór de verandering de database zich in een consistente toestand bevindt, zowel wat betreft administratieve attributen als topologische structuur en andere verwijzingen. De mutatieoperatie past

één of meer entiteiten aan binnen een databasetransactie. Na deze transactie is de database in een nieuwe consistente toestand of de gehele transactie gaat niet door.

Muteren van een bestand vindt in eerste instantie plaats om het bestand actueel te houden. Voor gebruikers, die slechts geïnteresseerd zijn in het heden, is dit voldoende en hoeft het verleden niet bewaard te worden. Er is echter ook een groep gebruikers die belangstelling heeft voor de historie. De klassieke manier voor het vastleggen van historie is het opgezette tijden maken van een kopie van de database en deze kopie te bewaren op een fysieke schijf ('snapshot' methode). Een alternatieve en meer flexibele methode is om de tijdsdimensie expliciet in de database op te nemen. Dit maakt het mogelijk om iedere individuele mutatie afzonderlijk vast te leggen. Op deze manier wordt een nagenoeg continue historische registratie van het fenomeen verkregen. Uit de ervaringen die hierbij zijn opgedaan bij bijv. de Kadastrale Registratie en het Nationaal Wegenbestand, komen een aantal onderzoeksvragen naar voren:

- Hoe kan onderscheid worden gemaakt tussen correcties (herstel fouten) en 'echte' mutaties?
- Hoe zijn fouten uit het verleden correct te herstellen?
- Hoe om te gaan met de historie van geplande objecten (bijv. wijken die nooit aangelegd zijn)?
- Hoe om te gaan met het doorvoeren van mutaties in het moederbestand naar dochterbestanden?

Mutatieacties zouden moeten zijn opgebouwd uit één of meerdere goed gedefinieerde elementaire mutatiefuncties. Voor het muteren van de topologische en geometrische elementen in een geografisch bestand, bestaan deze basisfuncties reeds min of meer. Het gebruik van deze basisfuncties garandeert de onderlinge consistentie van lijnen, bogen en vlakken. Daarnaast bestaat behoefte aan basisfuncties, die de consistentie kunnen garanderen van zaken als classificatie, identificatie en administratieve gegevens. Wellicht dat aanvullend onderzoek in de richting van Euler-operaties, zoals deze in de CAD-wereld al wel gebruikt worden, hier antwoord op kan geven.

Bij het muteren van omvangrijke databestanden moet aandacht worden geschonken aan de multi-gebruiker aspecten: de mutatieoperatie van de ene editor mag niet in conflict komen met die van een ander. Op zich is dit geen nieuw fenomeen bij administratieve databases. Bij geo-informatie kunnen de transacties echter complex en langdurig zijn, waardoor een bekende oplossing als 'database locking' mogelijk om een alternatieve oplossing vraagt zoals 'versioning'. Hierbij spelen ook zaken een rol als de verhouding tussen de centrale database en fragmentkopieën (de werkruimte) die de editor op zijn desktop onder handen heeft. Bij een keuze voor 'versioning' dient er speciale aandacht uit te gaan naar de bewaking van de consistentie. Ook hier zullen er verschillen zijn met klassieke 'locking' technieken. Bij 'locking' wordt tijdelijk de controle op de integriteit opgeschort. Deze wordt pas weer geactiveerd aan het einde van de transactie, meestal als de werkruimte weer wordt vrijgegeven.

Momenteel zien we een enorme toename van op allerlei manieren ingewonnen en beschikbare gegevens. Niet alleen in bijvoorbeeld de remote sensing neemt zowel de ruimtelijke als de temporele resolutie van de vele gegevens toe, ook via GPS en locatie gebaseerde diensten komt een schat aan bruikbare tijdseries beschikbaar, die bestudeerd kunnen worden om een beter begrip van allerlei processen – die zich in de tijd afspelen – te verkrijgen. Het inzicht in de processen kan mede verbeterd

worden door een juiste visualisatie van deze gegevens, maar veelal wel in combinatie met computationele methoden en technieken. De interactieve animatie is waarschijnlijk het bekendste voorbeeld om dergelijke informatie in beeld te brengen, maar heeft zijn beperkingen. Interactie is bij het gebruik van animaties noodzaak.

2.2 Bewegende objecten

Dankzij technologische ontwikkelingen zoals mobiele telefoons (GSM en UMTS) en plaatsbepalingssystemen (GPS en in de toekomst ook Galileo) komen er steeds meer gegevens die allerlei menselijke activiteiten (bewegingen weergegeven als trajecten) representeren. In principe zijn deze gegevens heel eenvoudig van structuur; b.v. een triplet (id, locatie, tijd) en wellicht nog wat 'meta informatie' zoals nauwkeurigheid van de locatiebepaling. Echter, het probleem in het gebruiken van deze gegevens zit in de enorme omvang van de verzameling. Stel je voor dat 1 miljoen mensen elke seconde een nieuwe positie genereren voor de duur van een jaar (want nog niet voldoende is voor het ontdekken van lange termijn patronen): $60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1.000.000 = 31.536.000.000.000 > 3 \cdot 10^{13}$ triplets! In het geval dat elke triplet 40 bytes opslag nodig heeft (bescheiden schatting), dan is voor deze dataset van 1 jaar van 1/15^{de} van de Nederlandse bevolking meer dan een Peta byte nodig!

Dit vraagt om speciale compressie-, opslag- (clustering) en indexerings technieken willen we nog zinnige ruimtelijk-temporele analyses kunnen uitvoeren. Deze analyse kan worden onderverdeeld in een aantal complexiteitsniveaus, elke niveau gebruikt dan de analysetools van het onderliggende niveau om steeds meer betekenisvolle resultaten te kunnen bereiken:

- Afleiden van informatie zoals snelheid en versnelling van de individuele objecten (ontdekken van hele snelle auto's of boten).
- Ontdekken van paren (of clusters) van objecten die elkaar ontmoeten in ruimte en tijd (of die tenminste heel dicht bij elkaar zijn; b.v. files of 'bumperklevers').
- Pogen het type object te classificeren op basis van de beschikbare en afgeleide informatie: boot, auto, fiets, voetganger (mogelijk mede op basis van bekende wegen en paden).
- In het geval dat veel objecten op een bepaalde manier bewegen en niet volgens bekende wegen, dan zou dit mogelijk een indicatie kunnen zijn dat het hier een nieuwe weg betreft (en mogelijk kan zelfs de geometrie van deze weg worden afgeleid en aan het bestand worden toegevoegd).
- Het gebruik van massale hoeveelheden gegevens om fouten uit te middelen (b.v. de geometrische beschrijving van een weg of de ingang van een gebouw, waar waarschijnlijk personen tijdelijk even verdwijnen in geval van GPS waarnemingen).
- Pogen om systematische veranderingen in het gebruik van de ruimte te ontdekken (over langere periode), grondgebruikveranderingen.
- Analyseren of in verschillende delen van de wereld de grondgebruikveranderingspatronen gelijk of verschillend zijn (gedurende gegeven perioden), mogelijk b.v. als gevolg van het type beleid van de overheid.
- Ontdekken van herhalende processen en hun frequentie (dag, week, maand, jaargetijde, jaar, ...).

Veel objectieve en bruikbare informatie zou op deze manier kunnen worden afgeleid uit eenvoudige waarnemingen (zoals posities van mobiele telefoons, zelfs ondanks hun relatief beperkte ruimtelijke nauwkeurigheid). Daarom moet meer onderzoek worden gedaan naar het analyseren van deze massale ruimtelijk-temporele puntenwolken.

De objecten, die op een bepaald tijdstip een bepaalde vaste plek op het aardoppervlak hebben, kunnen vanuit een ruimtelijk-temporele benadering redelijk goed beschreven worden. Binnen deze min of meer discrete vastlegging komen echter tal van objecten voor, die zich continu door de ruimte verplaatsen. Alles wat van doen heeft met verkeer en vervoer is hiervan een voorbeeld, niet alleen het transportmiddel, maar ook de reiziger wiens locatie door GPA (Galileo) en/of tracking van de mobiele telefoon kan worden bepaald. Uit al deze losse, onafhankelijk, bepaalde waarnemingen kunnen tal van geaggregeerde gegevens worden afgeleid. Daarnaast worden momenteel veel locatiegebonden diensten (Location Based Services) ontwikkeld en aangeboden, die ieder voor zich steunen op binnen het OGC/OpenLS gedefinieerde protocollen en standaarden op het gebied van (reverse) geocoding, routing en beeldschermcartografie.

De huidige GeoDBMSen hebben geen expliciete opslagmogelijkheid voor mobiele objecten, die gedurende een bepaalde tijdsperiode een bepaald ruimtelijk traject afleggen. Het relateren van deze objecten met de wél in het GeoDBMS beschikbare datatypen voor het beschrijven van de in tijd en ruimte vastliggende objecten is dan ook lastig. Het ontwikkelen van een generieke datastructuur voor de vastlegging en bevraging van bewegende objecten vanuit een GeoDBMS is van groot belang. Daarnaast moet dit GeoDBMS in staat zijn ruimtelijke relaties te leggen tussen bewegende objecten onderling en tussen bewegende objecten tot hun vastliggende omgeving. Bovendien zal op een eenvoudige wijze geaggregeerde informatie afgeleid moeten kunnen worden.

2.3 Schaalloze en multi-schaal modellen

Met de komst van geografische informatiesystemen (GISen) is de wijze waarop mensen kaarten of geografische data gebruiken drastisch veranderd. De moderne informatiesystemen maken het mogelijk door geografische datasets te browsen door middel van het selecteren van (typen van) objecten en ze vervolgens te tonen op verschillende schalen. Echter, simpelweg verkleinen van objecten als de gebruiker uitzoomt, zal resulteren in een matige kwaliteit kaartrepresentatie. Bovendien zou deze kaartrepresentatie erg langzaam worden opgebouwd, omdat deze veel te veel informatie bevat. Niet alleen moeten de objecten verkleind worden, maar ze moeten ook veel minder gedetailleerd weergegeven worden (vanwege de kleinere schaal). Verder, zullen minder belangrijke objecten in zijn geheel moeten worden weggelaten, omdat ze voor de kleinschalige kaart niet van belang zijn. Een relatief eenvoudige oplossing voor dit probleem is om de kaart representatie op verschillende schalen, d.w.z. op verschillende detailniveaus, op te slaan (de *multischaalrepresentatie*). Dit zou enkele serieuze nadelen met zich meebrengen: mogelijke inconsistenties tussen de verschillende representaties en een fors toegenomen gebruik van het geheugen. Daarom is het belangrijk om te garanderen dat deze schaalniveaus onderling consistent zijn, zodat bij wijziging van schaalniveau geen tegenstrijdigheden naar voren komen.

Het zou nog beter zijn indien de geografische data opgeslagen worden op een geïntegreerde manier zonder redundantie, en waar nodig, tevens ondersteund door een speciale datastructuur. Deze zogenaamde *schaalloze* (of vario-schaal) bestanden vormen een verdere ontwikkeling van de generalisatie, waarbij objecten op elke gewenste schaal kunnen worden gegeneraliseerd (landschapsmodel) en afgebeeld (cartografisch model). Schaal en bijbehorende detailniveaus zijn zeer nauw gerelateerd aan cartografische generalisatie technieken. Het idee van on-the-fly kaart generalisatie (Van Oosterom 1993) verschilt sterk van andere benaderingen, zoals beschreven worden in het overzichtsartikel (Müller et al 1993): batch en interactieve generalisatie. De term batch generalisatie wordt gebruikt voor het proces waarin een computer een input dataset krijgt en een output dataset retourneert met gebruik van algoritmen, regels, of constraints (Lagrange et al 1993) zonder tussenkomst van menselijk ingrijpen. Dit in tegenstelling tot interactieve generalisatie waarin de gebruiker interactief met de computer werkt en een scala aan generalisatie algoritmen kan toepassen en beoordelen voor gegeven situaties binnen de dataset. On-the-fly kaartgeneralisatie maakt geen tweede dataset, omdat dit redundante informatie zou opleveren. Het probeert een tijdelijke generalisatie te maken, alleen bedoeld om vluchtig op het scherm getoond te worden, dit op basis van een gedetailleerde geografische database. Snelle antwoorden, gevraagd door de interactieve gebruikers van een GIS, vereisen de toepassing van specifieke datastructuren, omdat anders de generalisatie te traag zou gaan voor datasets van enige omvang. Naast kaartgeneralisatie, moeten deze datastructuren ook ruimtelijke selectie bieden, d.w.z. het moet mogelijk zijn alle objecten binnen een specifiek gebied op efficiënte wijze te zoeken. Dit type datastructuren wordt 'reactive data structures' (Van Oosterom 1989, 1991, 1994) genoemd. Hieronder volgt een voorbeeld van een dergelijke structuur: de GAP-tree, geschikt voor ondersteuning van generalisatie van vlakkenpartities.

Een vlakkenpartitie van de ruimte, waarin elk punt in het 2-dimensionale domein tot precies één van de gebieden behoort, wordt vaak gebruikt als basisstructuur van de kaart, b.v. topografische kaart, bodemkaart, kadastrale kaart, thematische choropleth kaart, etc. Enkele problemen die ontstaan tijdens het toepassen van generalisatie technieken op deze gegevens zijn:

1. Simplificatie: onafhankelijke lijngeneralisatie kan resulteren in lelijke kaarten, omdat de vlakobjecten nu overlappingen en/of gaten kunnen bevatten. Een oplossing voor dit probleem is om een topologische datastructuur te gebruiken en lijngeneralisatie toe te passen op de gedeelde grenzen/randén (en niet direct op de lijnen van de vlakken zelf).
2. Selectie: een onbelangrijk vlakobject weg laten zal een kaart produceren met een gat (gap) wat natuurlijk onacceptabel is. Tot voor de GAP-tree bestond nog geen duidelijke oplossing voor dit probleem.

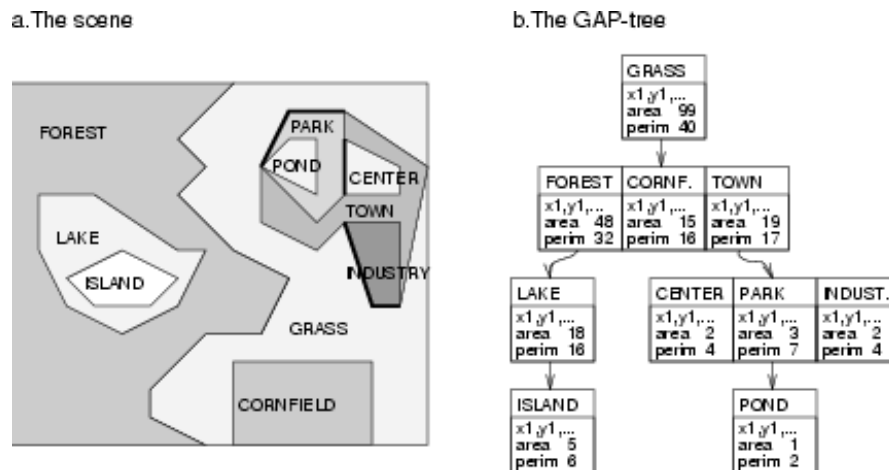
Het gat, dat ontstaan is door het minst belangrijke vlakobject weg te laten, moet opnieuw ingevuld worden. De beste resultaten zullen verkregen worden door het gat met buurvlakken in te vullen. Dit kan vrij eenvoudig in het geval het gat een zogenaamde enclave of 'eiland' vormt in de topologische structuur: het gat kan opgevuld worden met het omliggende gebied. Echter, een goede keuze zal in 'niet enclave' situaties een stuk moeilijker zijn. Het minst belangrijke vlakobject a heeft de laagste waarde voor de Importantie functie; bijvoorbeeld:

$$Importantie(a) = prioriteit_t(a) * Oppervakte(a)$$

waar prioriteit_t(a) de gewichtsfactor is voor de objectklassen (typen) waartoe vlakobject a behoort. Buurman b met de hoogste waarde voor de Samenvoegfunctie mag het gat van object a invullen. Een voorbeeld Samenvoeg functie is:

$$\text{Samenvoeg}(a,b) = \text{compatibiliteit}_t(a,b) * \text{Lengte}(a,b)$$

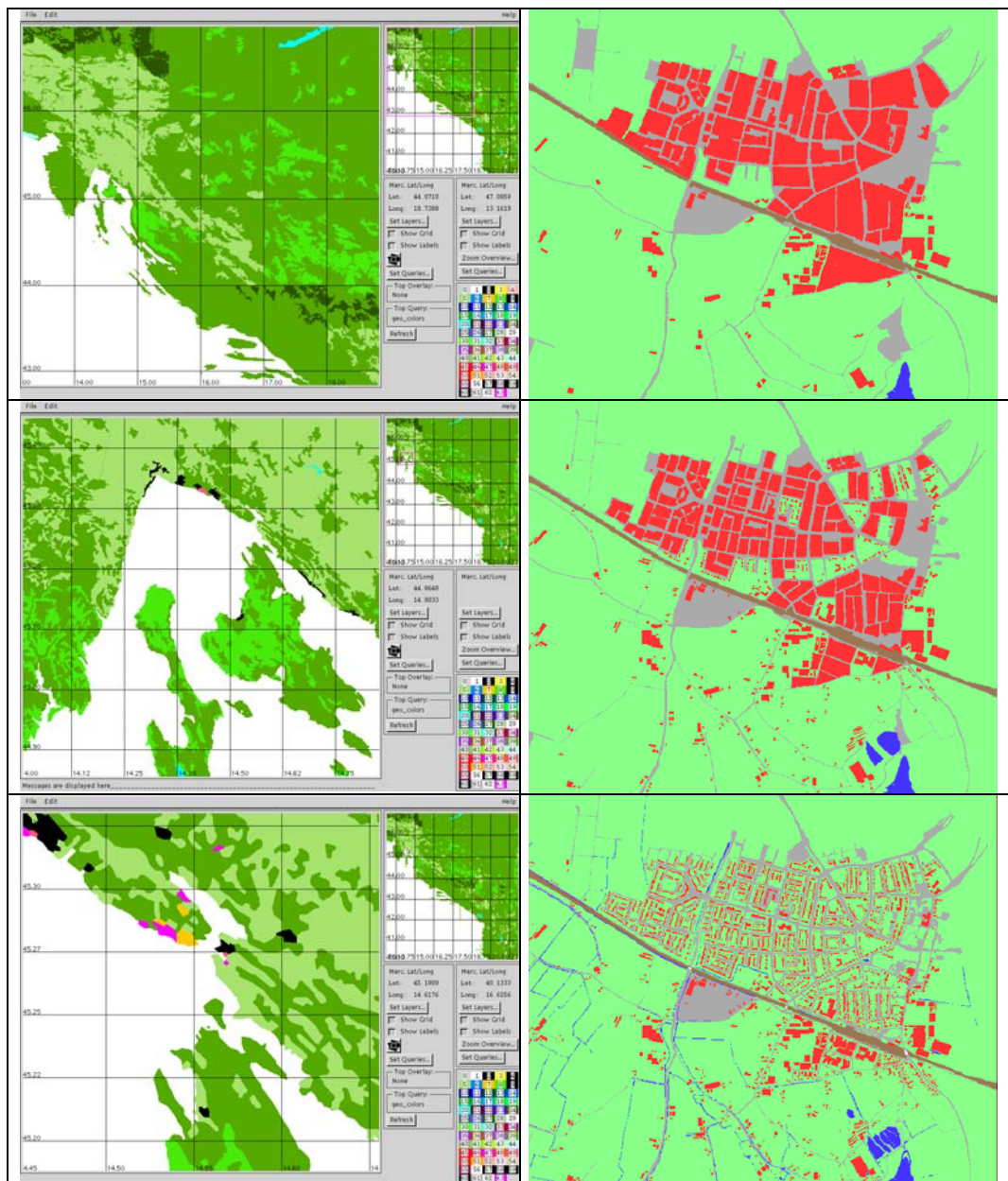
met $\text{compatibiliteit}_t(a,b)$, de compatibiliteit tussen de objectklassen (typen) waartoe respectievelijk de vlakobjecten a en b behoren, en $\text{Lengte}(a,b)$ de lengte van de gemeenschappelijke grens tussen a en b . De compatibiliteit is gerelateerd aan de semantische nabijheid van twee object klassen in de object classificatiehiërarchie geassocieerd met de betreffende dataset. Rekening houdend met de ruimtelijke relaties, de importantie (prioriteit) van objecten en de compatibiliteit tussen objecten, wordt een hiërarchische vlakkenopdeling gecreëerd door het herhaaldelijk samenvoegen van vlakken (d.w.z. het bovengenoemde proces blijven herhalen totdat er slechts één vlak over is) en in een boomstructuur weergegeven; zie Figuur 2.3.



Figuur 2.3 De oorspronkelijke GAP-tree (Van Oosterom, 1993)

Het resultaat is opgeslagen in de GAP-tree en het laatste vlakobject vormt de wortel van de GAP-tree. Tijdens het interactieve gebruik in een GIS, zal deze van tevoren berekende GAP-tree afgedaald worden totdat de knopen (behorende bij vlakobjecten) onder het vereiste importantieniveau voor de gewenste kaartrepresentatie dalen. Figuur 2.3.a toont een scene van een grondgebruikkaart in de vorm van een vlakkenpartitie. In Figuur 2.3.b wordt de GAP-tree, berekend volgens de hierboven beschreven methode, getoond. Elk polygoon staat op zichzelf en bevat alle coördinaten. De GAP-tree is geen binaire boom, maar kan per 'ouder'knoop een willekeurig aantal kinderen hebben. Enkele visuele resultaten van de on-the-fly generalisatie met echte datasets worden getoond in Figuur 2.4.

Het zal duidelijk zijn dat met de opkomst van Internet-GIS de behoefte aan on-the-fly generaliseren nog sterker is toegenomen dan dit al het geval was in de tijd van 'gewoon' GIS. Ten eerste omdat de bandbreedte beperkt is en het dus van belang is dat er zo weinig mogelijk onnodige details overgestuurd worden (bespaart tijd). Belangrijk is verder dat snel een goed beeld wordt opgebouwd, wat eventueel later kan worden aangevuld met meer details, al dan niet na het inzoomen op een specifieke locatie. Ten tweede omdat Internet-GIS het mogelijk maakt om datasets van verschillende schaal te combineren. Dit is echter alleen zinnig indien eerst van alle betrokken datasets een presentatie op gelijke schaal wordt afgeleid.



Figuur 2.4 Links: GAP-tree principe toegepast op DLMS DFAD (toevoegen detail wanneer gebruiker inzoomt) en rechts: GAP-tree toegepast op een grootschalige topografische dataset (GBKN), steeds op dezelfde schaal getoond.

Een aantal schaalloze structuren is de afgelopen jaren met redelijk succes ontwikkeld en getest in 'lab' omgevingen; o.a. verschillende varianten van de GAP-tree (generalized area partitioning), promotieonderzoek John van Smaalen (2003) (ook met nadruk op vlakkenpartitie). Op basis van deze (tussen)resultaten zal bepaald moeten worden in hoeverre echte schaalloze opslagstructuren voldoende zijn en daar waar dit niet zo is zal er overgestapt moeten worden naar een gecontroleerde multi-schaal aanpak (voor bepaalde typen objecten of zelfs bepaalde instanties van objecten). Ook hebben de bekende schaalloze structuren nog een aantal minpunten (b.v. de redundante opslag van grenzen in GAP-tree en het ontstaan van mogelijke slivers tussen buurvlakken), die onderzocht en waar mogelijk opgelost zouden moeten worden. Onderzoek¹ zal resulteren in datastructuren en algoritmen die in een

¹ Recent is een topologisch gestructureerde GAP-tree voorgesteld (Van Oosterom 2006).

spatial DBMS omgeving getest worden op performance (hoe snel gaat de generalisatie) en functionaliteit (hoe goed is de kwaliteit van de generalisatie). Omdat gebruik van gegeneraliseerde geo-data vaak in Internet context van belang is, moet er ook aandacht worden besteed aan ‘progressive transfer’: van grof naar steeds nauwkeurigere representatie bij overzenden van server naar client: dit is voor vector data veel moeilijker dan het bekende voorbeeld van progressive transfer in het geval van raster data (data pyramids). Bij het toekomstig gebruik zal specifiek de nadruk worden gelegd op:

- vlakkenpartities (topografische kaart, bodemkaart, postcodekaart, etc.);
- aansluiten van schaalloze en multi-schaal oplossingen;
- consistentie van de generalisatie tussen de objectsoorten en hun 2.5D of 3D karakter (een weg kan nooit te stijl lopen, ook niet na een generalisatie slag doordat haarspeldbochten eruit zijn, een meer blijft altijd vlak, etc.);
- spatial DBMS/Internet testomgeving voor generalisatie van datastructuren en bijbehorende algoritmen.

2.4 Samenvatting trends schaal- en tijdloze bestanden

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de ontwikkelingen op het gebied van ruimtelijk-temporele bestanden en schaalloze (of multi-schaal) bestanden. De behoefte aan deze typen bestanden neemt de laatste jaren sterk toe: zo worden steeds meer ruimtelijke databases voorzien van een temporele component om ook de historie goed bij te kunnen houden (en deze niet te ‘vergeten’); denk hierbij aan LKI (kadastrale kaart en GBKN) en de nieuwe TOP10NL productieomgeving. Daarnaast zien we ook een toename van de behoefte om ook (verschillende) versies van toekomstige plannen in hetzelfde bestand te integreren. Een geheel ander type van ruimtelijk-temporele bestanden wordt gevormd door het traceren van mobiele objecten (GPS/Galileo, mobiele telefoons, etc.). Ook hier zien we een sterke groei die de komende jaren alleen nog maar verder door zal zetten. Een mix van beide soorten ruimtelijk-temporele bestanden wordt gegenereerd door de in opkomst zijnde sensornetwerken, waarin (mogelijk ook) mobiele sensoren tijdreeksen van waarnemingen genereren. Gelukkig bieden ook de geo-ICT producten een oplossing voor de verschillende typen ruimtelijk-temporele gegevens; denk hierbij aan geo-DBMSen (zo kent PostgreSQL het tmin/tmax historie mechanisme, heeft Oracle Spatial ondersteuning voor versiebeheer/transactiemanagement en biedt IBM/Informix uitbreidingen in de vorm van de time-series datablade) en modules in GIS pakketten (verschillende edit- omgevingen die behoud van historie ondersteunen en specifieke uitbreidingen ter ondersteuning van traces, b.v. ESRI’s tracking analyst).

Ook de behoefte aan schaalloze bestanden neemt steeds verder toe. Zo zien we de wens om i.p.v. van enkele losse (kaart)series van bestanden op de verschillende schalen een meer geïntegreerde oplossing te kiezen; denk hierbij b.v. aan het afstemmen van de regiokaart, beheerkaart en het D’TB-nat. Hiermee kan dan een betere consistentie tussen de verschuillende schalen geboden worden (b.v. door middel van mutatie-propagatie). Grofweg zijn er twee aanpakken mogelijk: multi-representatie (gecontroleerd meerdere schalen representeren) en multi/vario-schaal (een meest gedetailleerde representatie met aanvullende structuren om daaruit efficiënt op verzoek verschillende schalen af te leiden). Op dit moment zijn de meeste ontwikkelingen in de markt gericht op het kunnen maken van een generalisatie-stap (b.v. de tools van LaserScan, ESRI en in beperkte mate ook binnen de geo-DBMS; b.v. Douglas-Peucker lijngeneralisatie in Oracle Spatial) om zo een

multi-representatie te kunnen ondersteunen. De multi/vario-schaal ondersteuning bevindt zich nog steeds in de onderzoeksfase (en er zijn nog nauwelijks commerciële tools beschikbaar), maar het is duidelijk dat dit een lang gekoesterde wens van de gebruikers is.

3 Open GIS

‘Open GIS’ is een term die synoniem is geworden voor het streven naar uitwisselbaarheid van geo-informatie, interoperabiliteit tussen software systemen, Web services, en open standaarden die dit alles mogelijk moeten maken. De term is nauw verbonden met de naam van het OpenGIS (nu Open Geospatial) Consortium (OGC). Daarom wordt eerst in paragraaf 3.1 ingegaan op ontstaansgeschiedenis, doelstellingen en werkwijze van het OGC. In de paragrafen 3.2 en 3.3 wordt gekeken naar de stand van zaken: welke onderwerpen spelen vooral op dit moment en wat verwachten we voor de nabije toekomst. De laatste twee paragrafen van dit hoofdstuk zetten de Open GIS ontwikkelingen in een wat bredere context: die van de Geo-Informatie Infrastructuur.

3.1 Terugblik

Naarmate het aantal GIS- en CAD-pakketten in de jaren '90 toenam, kreeg de geowereld er ook een probleem bij: hoe ervoor te zorgen dat de verschillende bestandsformaten niet een barrière zouden vormen voor het uitwisselen van geo-informatie tussen die verschillende pakketten. Uitwisselen van geo-informatie gebeurde met het op floppy zetten en later ook e-mailen of downloaden van bestanden, maar het was altijd maar de vraag of de bestanden goed konden worden ingelezen in het GIS of CAD-systeem van de ontvangende partij.

Tegen deze achtergrond werd in 1994 in de VS het OpenGIS Consortium (OGC) opgericht door een aantal geo-software bedrijven, overheidsinstellingen en universiteiten met als belangrijkste doel om de uitwisselbaarheid van geo-informatie (binnen organisaties en tussen organisaties) te verbeteren (OGC, 2005a). De term 'Open GIS' is sindsdien een zelfstandig leven gaan leiden en in de loop der jaren synoniem geworden voor: interoperabiliteit, uitwisselbaarheid, gestandaardiseerde Web services, informatie integratie, open standaarden in combinatie met aansluiting op algemene ICT trends.

Twee ontwikkelingen kwamen hier bij elkaar: de toegenomen vraag naar geo-informatie voor allerlei (beleids)toepassingen en maatschappelijke vraagstukken, en de nieuwe mogelijkheden die Internet bood. Veel van de OGC standaarden hebben dan ook direct of indirect te maken met Web technologie.

In 2004 besloot OGC om de naam OpenGIS Consortium te veranderen in Open Geospatial Consortium. Met deze naamsverandering van 'GIS' naar het voor Nederlanders wat redundante 'geospatial' wil men aangeven dat de OGC doelstellingen en initiatieven niet alleen met GIS te maken hebben, maar dat het gaat om allerlei ruimtelijke informatie en allerlei geo-informatiesystemen, ook CAD bouwtekeningen, mobiele toepassingen (routeplanners), sensor gegevens (van bijvoorbeeld verkeersdrukke of luchtvervuiling), remote sensing beelden, luchtfoto's, 3D stadsmodellen voor stedenbouwkundige of ruimtelijke ordening toepassingen, geologische gegevens met dwarsprofielen, etc.

Op dit moment (eind 2005) heeft OGC 305 leden, die al dan niet actief betrokken zijn in werkgroepen en interoperabiliteitsinitiatieven. Vier maal per jaar is er een OGC bijeenkomst, afwisselend in Europa en Noord-Amerika. De laatste

bijeenkomst was in november 2005 in Bonn. Paragraaf 3.3 van dit hoofdstuk, over een aantal nieuwe ontwikkelingen op OpenGIS gebied, is mede gebaseerd op deze laatste bijeenkomst.

Belangrijker nog dan het aantal leden van het OGC is natuurlijk de mate waarin de OGC standaarden en 'best practices' doorwerken in de geo-informatie wereld. Een graadmeter hiervoor is de groeiende lijst van producten die aan een van de standaarden voldoen. Ook in Nederland zien we de doorwerking terug: op gebied van Web services bijvoorbeeld is de GBKN on-line service een mooi voorbeeld van een OGC Web Map Service die (als men een abonnement heeft) op meerdere manieren te benaderen is: vanuit een daarvoor ontworpen Web client, maar ook 'los' vanuit andere applicaties die WMS ondersteunen (Basiskaart On Line, 2005). Maar ook binnen organisaties wordt onderzocht hoe OGC Web services kunnen worden ingezet. Een voorbeeld hiervan is het Geoservices project bij Rijkswaterstaat (RWS-AGI, 2005).

3.1.1 Interoperabiliteit: standaarden en testbeds

Belangrijk kenmerk van de gevolgde werkwijze binnen het OGC is dat het interoperabiliteitsvraagstuk op meerdere niveau's wordt aangepakt. Theorie en praktijk gaan als het ware hand in hand: door middel van 'testbeds' probeert men zaken boven tafel te krijgen die moeten worden geregeld in standaarden of 'best practices', vervolgens worden concept-specificaties opgesteld, die weer worden getoetst in nieuwe testbeds. Op die manier probeert men te voorkomen, dat de standaarden alleen maar op papier werken en niet in de praktijk.

Eén van de eerste interoperabiliteitsexperimenten van OGC was in 1999: men liet zien dat het met een simpele Internet browser mogelijk was om rastergegevens van meerdere Web servers te benaderen, en in één Web client te integreren. Deze eerste testbeds resulteerden in de Web Map Service (WMS) interface specificatie. Daarna volgden een aantal andere interface standaarden: de Web Feature Service (WFS), voor vector data; de Web Coverage Service (WCS), o.a. voor grid data, en – hoewel dit werk even heeft stilgelegen – ook de Web Terrain Service voor 3D images (gezien vanuit een bepaald standpunt). Voor Location Based Services is er de OpenLS specificatie.

3.1.2 Web service interface standaarden

Het basisprincipe van alle Web service standaarden van OGC is dat het mogelijk moet zijn dat Web service software en Web client software van verschillende software leveranciers met elkaar kan communiceren.

Hoe dit kan worden gerealiseerd is: in de eerste plaats door de manier om de Web service te benaderen (aan te roepen en te bevragen) in een zogenaamde 'interface specificatie' (of standaard) vast te leggen. In de specificatie is vastgelegd hoe de 'requests' die naar de service gestuurd kunnen worden eruit moeten zien en - andersom – welke 'response' de service terug zal (= mag of moet) geven. En in de tweede plaats door de Web service 'self describing' te laten zijn (door de zogenaamde GetCapabilities operatie): de Web service kan bevraagd worden 'wat heb je te bieden'.

3.1.3 Uitwisseling van vector data: GML

Als onderdeel van de WFS testbeds was het nodig ook te werken aan een standaard formaat voor vector data. Dit werd GML (Geography Markup Language). Voor Web

ontsluiting van raster images waren er immers al voldoende standaardformaten (gif, jpeg, png), maar voor vector geo-data nog niet. GML was dan ook in eerste instantie bedoeld als formaat voor Internet, namelijk als output van de OGC Web Feature Service. Maar GML kan net zo goed gebruikt worden voor 'off-line' levering van gegevens, in de vorm van bestanden. Toen de Ordnance Survey in Engeland als één van de eerste belangrijke dataleveranciers besloot haar geo-data in GML te gaan leveren, gebeurde dit in de vorm van GML bestanden.

In Nederland is de Topografische Dienst Kadaster de eerste dataleverancier die GML gaat gebruiken, voor levering van TOP10NL (1:10.000 vector data). Het opzetten van Web Feature Services, waarbij data-afnemers 'on-line' ruimtelijke en niet-ruimtelijke gegevensselecties kunnen maken, om die vervolgens als GML naar zich toe te halen, wordt in de toekomst opgepakt.

Het conceptuele gegevensmodel waarop GML gebaseerd is, is in overeenstemming met de ISO 19107 standaard. Hierin worden o.a. de geometrische primitieven voor geo-informatie gedefinieerd. GML heeft nu versie 3.1.1, en het streven is dat versie 3.2 gelijktijdig een ISO standaard zal zijn, namelijk ISO 19136.

GML is gebaseerd op XML (eXtensible Markup Language), één van de belangrijke Internet standaarden van het World Wide Web Consortium (W3C). Dit heeft een aantal voordelen, onder andere het feit dat ook tools en software van buiten de geo-ICT gebruikt kunnen worden om GML te produceren (exporteren) of in te lezen en te visualiseren. Een ander belangrijk inhoudelijke voordeel is dat er geen informatieverlies hoeft op te treden als GML gebruikt wordt als uitwisselingsformaat tussen geo-informatiesystemen. XML is namelijk een zeer flexibele manier om informatie te coderen.

3.1.4 Open GIS is niet gelijk aan 'open source'

Het is uitdrukkelijk niet zo dat 'Open GIS' of 'open interface' gelijk staat aan 'open source'. In het geval van 'open source' software is niet alleen de gecompileerde versie maar ook de broncode van de software beschikbaar. Bij Open GIS gaat het daar niet om. Het is alleen belangrijk dat de software aangeroepen kan worden door software van een andere leverancier, of doordat de interface voldoet aan de vastgestelde standaard, of doordat de gebruikte dataformaten en gegevensmodellen geïmplementeerd zijn volgens één van de OGC of ISO standaarden.

Het is wel zo dat bij de eerste implementeerdere van de OGC Web service standaarden ook een aantal open source initiatieven zijn, zoals Geoserver (2005) en UMN MapServer (2005).

Een van de voordelen van open source producten is dat er zonder veel kosten kan worden geëxperimenteerd met de OGC standaarden. Overigens kunnen er ook met 'gewone' GIS en CAD leveranciers vaak afspraken worden gemaakt over inzet van beta-versies of evaluatie-licenties van bijvoorbeeld OGC Web service software.

We zien ook voorbeelden van samenwerking tussen 'open source' projecten en grote geo-ICT leveranciers. Zo heeft Autodesk onlangs bekend gemaakt met het MapServer project te gaan samen werken door source code beschikbaar te stellen (MapServer Foundation, 2005), en zo zijn er ook andere voorbeelden van samenwerking tussen softwarebedrijven en open source projecten bij het implementeren van de OGC standaarden in geo-software.

3.2 De stand van zaken

Op het vlak van standaardisatie vindt op dit moment een aantal ontwikkelingen plaats binnen de OGC werkgroepen:

- het naar ISO standaarden omzetten van een aantal OGC specificaties (ISO certificatie);
- voortbouwen op de algemene, generieke standaarden door het opstellen van profielen;
- de verschillende OGC specificaties (en straks ISO standaarden) en OGC 'best practices' op elkaar afstemmen.

3.2.1 Consolidatie en ISO certificatie

Een aantal van de eerste OGC specificaties worden op het moment omgezet naar ISO TC211 standaarden (de 19... serie). Dit geldt niet alleen voor GML, maar ook voor bijvoorbeeld de WMS en WFS specificaties voor Web services. Hier doet zich soms een dilemma voor binnen de OGC werkgroepen die aan standaarden werken: is men te vroeg met de ISO certificatie dan kan het zijn dat later nog weer aanpassingen op de ISO standaard moeten worden bedongen. Maar wacht men te lang, dan wachten ook softwareleveranciers weer langer op implementatie in hun producten.

3.2.2 Werken aan 'profielen'

Een belangrijke tendens is ook dat er binnen OGC gewerkt wordt aan het opstellen van profielen, die een nadere verbijzondering zijn van de meer generiek bedoelde OGC resp. ISO standaarden. Soms zijn die profielen een kleinere subset van de algemene standaard, zoals in het geval van het GML Simple Features (SF) profiel: in plaats van te werken met het complete en omvangrijker GML3 gegevensmodel, kunnen organisaties dan volstaan met de kleinere set van mogelijkheden die het SF profiel biedt. In andere gevallen is een profiel juist een meer uitgewerkte afspraak, zoals in het geval van de twee profielen die op het moment worden ontwikkeld als uitwerking van de CSW Catalog Service (voor metadata registers) specificatie: een profiel om de ISO 19115/19119 metadata standaarden te implementeren, en een profiel voor eBRIM, een meer algemeen, niet-geo metadata initiatief.

3.2.3 Op elkaar afstemmen van specificaties

Onderdeel van de consolidatieactiviteiten is ook om de verschillende OGC specificaties (want straks ISO standaarden) en OGC 'best practices' op elkaar afstemmen. Het is namelijk zo dat veel OGC specificaties voortbouwen op weer andere OGC specificaties en teksten, delen ervan gebruiken etc ('dependency'). Het is dus zaak om tegenstrijdigheden op te sporen en weg te nemen.

Vaak zijn dit tekstuele aanpassingen, maar het kan ook zijn dat er echte tegenstrijdigheden in zitten die moeten worden recht gezet. Hier speelt ook de vraag: wat te doen met de 'profielen': moet daar alleen verwezen worden naar de specificatie waar ze profiel van zijn, of moet de tekst en toelichting van een profiel herhalingen bevatten zodat men niet steeds naar de hoofdspecificatie hoeft te grijpen.

Voorbeelden van die pogingen om eenheid te brengen zijn o.a. de OWS Common specificatie die alle OGC Web Service schema's en teksten op elkaar af moet stemmen, en de Web Processing Service specificatie die een overall architectuur (ook voor chaining van Web services) neerzet.

3.3 Nieuwe onderwerpen en/of vernieuwde belangstelling

3.3.1 Complexere geometrie en nieuwe toepassingsgebieden

Meer aandacht voor complexere datastructuren, waaronder 3D geo-informatie. Dit heeft ook te maken met de verbreding van het werkveld van OGC: van vooral GIS en image (raster) data, naar CAD systemen en toepassingen (zie verder Hoofdstuk 4 en 5 van dit rapport).

Een andere interessante uitbreiding is te kijken hoe met sensorgegevens moet worden omgegaan. Dit zijn vaak tijdreeksen van enorme hoeveelheden metingen die inclusief de 4^e dimensie (het precieze tijdstip) moeten worden opgeslagen (Sensor Web; zie ook Hoofdstuk 2).

3.3.2 Visualisatie en styling

Meer aandacht voor de cartografische aspecten. Hier is de OGC Styled Layer Descriptor specificatie van belang (SLD). De SLD specificatie is oorspronkelijk bedacht om de cartografische stijl te regelen bij Web Map services: kleur, lijndikte, arcering, symbolen, tekstlabels etc. Er kunnen ook classificatie-regels (welke groepen features krijgen welke stijl) mee worden vastgelegd.

Men denkt er over om de SLD specificatie zo uit te breiden dat het ook mogelijk is functies (algoritmen) te definiëren die moeten worden uitgevoerd door de visualisatie-software om bijvoorbeeld tekstlabels op de kaart goed te formatteren, of om de juiste 'offset' te berekenen van een tekst ten opzichte van een object op de (digitale) kaart.

Verder wordt gewerkt aan een manier om bibliotheken met symbolen via Web catalog services op Internet beschikbaar te stellen. Op die manier kan consistente visualisatie worden bereikt als vanuit een Web applicatie de output van meerdere Web Map services wordt samengevoegd en gecombineerd tot één digitale kaart.

3.3.3 Metadata en catalog services

Hernieuwde aandacht voor metadata en catalog services: voor geo-informatie bestanden die dan te downloaden of bestellen zijn, maar ook voor Web services die on-line toegang tot vector- of rasterdata geven ('doorklikken'). Op die manier worden behalve geo-datasets in toenemende mate ook data services en andere Web services via catalog services ontsloten (vindbaar en in tweede instantie ook aanroepbaar gemaakt). De catalog services (of 'registries') kunnen ook gebruikt worden voor andere resources: dus bijvoorbeeld ook voor toegang tot symboolbibliotheken of coördinaattransformatie algoritmen en/of services.

Wat betreft de achterliggende techniek zien we overigens geleidelijk aan een overstap van het CORBA protocol naar het HTTP protocol.

Wat betreft de metadata zelf (de inhoud ervan) is men bezig met een uitbreiding op ISO 19115 speciaal voor imagery en gridded data. En er wordt gewerkt aan een speciale standaard over geo-data kwaliteit (ISO 19138).

3.3.4 Chaining van Web services

In de interoperabiliteits-testbeds wordt nu wat vaker ook gekeken naar de mogelijkheid om Web services in een keten achter elkaar te zetten om bepaalde functionaliteit te realiseren (service chaining). Service chaining is niet echt een nieuw concept, maar er zijn nu meer praktische tests met chaining van Web services.

In dit kader past ook het idee om een aantal belangrijke coördinaatsysteem-transformatie algoritmes op het Web te zetten, in ieder geval die van en naar de globale GPS standaard WGS84. Zo kan – in de nabije toekomst – een visualisatie Web service de algoritmes ophalen uit de ‘bibliotheek’ Web service en on-the-fly opnemen in de keten van processtappen bij het omzetten van het ene referentiesysteem naar het andere.

Als trend binnen de OGC discussies is te zien dat er steeds meer aandacht is voor andere Web services dan ‘data’ of visualisatie Web services. Het gaat dan bijvoorbeeld om ‘processing’ services, zoals een coördinaattransformatie service of om gespecialiseerde ‘zoek’services, zoals een Gazetteer service waarmee het mogelijk is allerlei informatie (ook niet direct coördinaat-gebaseerde geo-informatie) te zoeken via plaatsnamen.

3.3.5 GeoAPI

De GeoAPI werkgroep houdt zich eigenlijk ook met ‘interfaces’ bezig, ook al is dat niet in een Web omgeving: in het geval van Web services gaat het om de requests die gedaan kunnen worden aan de service, en de responses die de service terugstuurt. In het GeoAPI initiatief gaat het om software componenten in het algemeen (tot nu toe beperkt tot Java overigens), en de manier waarop die componenten kunnen worden aangeroepen (operaties, parameters).

3.3.6 Archiveren en 'conserveren' van digitale (Web) kaarten

Vrij recent is er aandacht gevraagd voor het onderwerp archivering en conservering van digitale kaarten. De vraag is hoe ervoor te zorgen dat je digitale (Web) kaarten precies zo kunt reproduceren als ze oorspronkelijk eruit zagen. Mogelijkheden die onderzocht gaan worden zijn o.a.: hoe historie van geo-informatie bij te houden (eerdere versies overschrijven of bewaren; zie Hoofdstuk 2) en hoe te garanderen dat object-id’s uniek zijn en blijven, zodat de verwijzingen tussen kaart/geo-objecten ook over 5 jaar nog kloppen. Dit onderwerp wordt opgepakt op initiatief van digitale bibliotheken die via het Web kaarten en bestanden beschikbaar stellen, al dan niet met cartografische opmaak en legenda’s (Robertson and Morris, 2005).

3.4 Informatie integratie en semantische interoperabiliteit

Ook al is het in technische zin mogelijk om software van verschillende fabrikanten aan elkaar te koppelen en geo-data tussen deze systemen uit te wisselen zonder aparte conversie-software in te zetten, dan wil dat nog niet zeggen dat aan alle voorwaarden voor het combineren en integreren van geo-informatie van verschillende organisaties of organisatieonderdelen is voldaan. De OGC standaarden regelen vooral de syntactische interoperabiliteit tussen systemen plus een deel van de semantische interoperabiliteit (namelijk het werken met dezelfde definities van de geometrische en topologische basistypen).

Gelukkig is er ook binnen OGC testbeds meer aandacht voor de gegevensinhoud zelf, de gegevensmodellen en het geïntegreerd bevragen van meerdere databronnen via Web services (distributed query). Voorbeelden zijn een aantal ‘cross-border’ projecten waar geo-informatie van verschillende counties (in de VS) of van verschillende landen (in Europa) wordt gecombineerd in één Web client.

Een voorbeeld van een ‘distributed query’ zou zijn dat er vanuit een Web client de volgende ruimtelijke analyse kan worden losgelaten op (in dit geval 13) Web services:

“selecteer alle gebouwen uit de GBKN (web service 1) die binnen een Ecologische Verbindings Zone liggen zoals die op de Streekplannen en Omgevingsplannen van alle 12 provincies staan aangegeven (web service 2 tot/met 13)”

Deze selectie query moet vertaald worden naar de juiste query voor de te bevragen Web services zonder dat de gebruiker kennis heeft van de opslagstructuur en het gegevensmodel ‘achter’ die Web services. Dit is niet van de ene op de andere dag te realiseren. Binnen OGC is vorig jaar de Information Communities and Semantics werkgroep opgericht die als doel heeft o.a. dit soort distributed queries uit te testen. Dit moet leiden tot nieuwe ‘best practices’ en eventueel tot een nieuwe specificatie. Het oplossen van structurele en semantische heterogeniteit in geo-datasets van verschillende organisaties zal in het kader van grensoverschrijdende projecten steeds meer aandacht krijgen. Omdat productiesystemen van geo-data producenten niet een, twee, drie te wijzigen zijn, kan dit betekenen dat bij het selecteren, combineren en visualiseren van geo-informatie van verschillende Web services in een applicatie zo nodig een vertaalslag gemaakt moet worden van het ene gegevensmodel naar het andere door zogenaamde ‘semantic mediator’ software.

3.5 De toekomst

3.5.1 Meer implementaties van de standaarden

Naast de ondersteuning van OGC standaarden in de al bestaande producten van kleinere bedrijven en in ‘open source’ projecten, groeit de laatste paar jaar ook de ondersteuning door de ‘grote’ GIS/CAD/geo-database-leveranciers. Dit zal zich in de toekomst zeker voortzetten, omdat vooral steeds meer overheidsinstellingen vragen om op standaarden gebaseerde geo-software.

Vanwege het grote aantal initiatieven van het Open Geospatial Consortium (inclusief de harmonisatie met ISO standaarden) is het soms lastig om het overzicht te houden, ook over de implementaties die inmiddels beschikbaar zijn van de verschillende Web Service standaarden. Op de OGC website is een overzicht te vinden van de ‘compliance’ van software aan de OGC standaarden. Om te testen of software, of bijvoorbeeld ook een GML applicatieschema, compliant is met de standaarden is al een aantal tools te gebruiken. Het werken aan tools voor ‘compliance testing’ is overigens ook onderwerp van een van de OGC werkgroepen.

3.5.2 Aansluiting bij ‘gewone’ ICT

Een duidelijke tendens is ook dat vanuit de OGC wereld aansluiting wordt gezocht op standaarden en tools en methoden uit de ‘gewone’ ICT.

Wat betreft softwarestandaarden worden waar mogelijk al bestaande W3C en OMG standaarden gebruikt die niet uit de geo-hoek komen, zoals UML en OCL (voor het modelleren), WSDL (voor het aanroepen van services) en RSS (voor het verzorgen van ‘news feeds’).

Aan de gegevenskant zien we dat geo-informatie en gewone informatie meer geïntegreerd raakt. In GML bijv. kunnen ook objecten zonder geometrie worden uitgewisseld, bijvoorbeeld het zakelijk recht op een perceel (kadaster), persoonsgegevens, etc.

Ook de combinatie van JPEG 2000 en GML is in dit verband interessant, omdat dit het mogelijk maakt om rastergegevens (satellietbeelden, luchtfoto’s) van geo-referentie en andere annotaties te voorzien, gebruik makend van GML.

3.5.3 Europese samenwerking

Uiteindelijke doel van OGC is: door standaarden en 'best practices' te zorgen voor grotere interoperabiliteit tussen geo-informatiesystemen. Dit vergemakkelijkt het uitwisselen en ontsluiten van geo-informatie voor andere organisaties (of organisatie onderdelen) en andere toepassingen.

Het is niet verwonderlijk dat ook binnen Europese initiatieven als INSPIRE en EuroGeographics gebruik gemaakt wordt van OGC/ISO standaarden en 'best practices'. Naast het werken aan gemeenschappelijke gegevensmodellen (harmonisatie) is ook een gemeenschappelijke aanpak nodig bij het opzetten van bijvoorbeeld catalogue services met metadata en sowieso het technisch inrichten van de Europese Geo-Informatie Infrastructuur. Binnen OGC is daarom nu ook een Europe Special Interest Group actief.

3.5.4 Gedistribueerde architectuur gebaseerd op Web services

De op OGC en ISO standaarden gebaseerde interoperabiliteit tussen softwaresystemen van verschillende leveranciers past ook in de algemene trend binnen ICT dat de verschillende softwarecomponenten als services worden aangeboden; dit kunnen 'lokale' services zijn binnen een bedrijfsnetwerk, maar ook Web services. Applicatie-software wordt als het ware uit elkaar getrokken en over verschillende (server en client) computers verdeeld. Zo ontstaat er op het Web een vergelijkbare architectuur met wat men in een bedrijfsnetwerk een 'client-server' architectuur zou noemen. Op het Web is die architectuur nog gedistribueerder: ook de server- en clientsoftware kan weer opgesplitst zijn in componenten (services) die op verschillende Web servers zijn geïnstalleerd.

Ook in zo'n Web service-oriented architecture zien we dat functionaliteit over meerdere lagen verdeeld zal zijn: o.a. een data laag voor de opslag van gegevens, een 'business logic' laag waar geselecteerd, gerekend, getransformeerd en geanalyseerd wordt, en een presentatielaag voor de interactie met de gebruiker. De presentatielaag kan bij OGC Web services zowel een Web applicatie zijn die met een gewone Internet browser te bekijken is (eventueel met speciale plug-ins voor de visualisatie als digitale kaart). Maar het uiteindelijke doel is dat ook de gewone GIS en CAD desktop software als client kan fungeren voor deze Web services. Op het moment gaat dit nog niet altijd feilloos, maar zoals al gezegd, neemt de lijst van OGC 'compliant' producten gestaag toe (OGC, 2005b).

In de toekomst zal het steeds vaker zo zijn dat niet meer merkbaar is voor de gebruiker of raster of vector geo-data nu lokaal is opgeslagen, of via Internet van een Web server komt. Het principe van 'data bij de bron' kan dan worden gerealiseerd. Dit is een belangrijke voorwaarde voor consistent en efficiënt gegevensbeheer in een Geo-Informatie Infrastructuur.

4 Ontwikkelingen op 3D gebied

Dit hoofdstuk gaat dieper in op verschillende ontwikkelingen rond 3D GIS. Voordat er echter over 3D GIS gesproken kan worden, is het goed om de verschillende tussenvormen en bijbehorende termen te duiden. Na deze achtergrond in Paragraaf 4.1 gaat Paragraaf 4.2 in op nut en noodzaak van de uitbreiding van 2D naar 3D. De gesignaleerde trends op het gebied van 3D visualisatie, opslag, bewerking en uitwisseling komen vervolgens aan bod. Het hoofdstuk sluit af met een 3D-achtige toepassing (Google Earth), een momenteel zeer populaire interface voor het ontsluiten van geo-informatie.

4.1 Begrippen: over 2D, 2,5D en 3D

Dimensieaanduidingen van ruimtelijke 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 men modelleert, de externe dimensie is de dimensie van de ruimte waarin men dat doet. Pilouk (1996) 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 in 2D modellen er gebruik kan worden gemaakt van punten, lijnen en vlakken en dat deze in een 2D ruimte (x,y) worden vastgelegd. 2.5D maakt dan gebruik van dezelfde set primitieven, maar dan vastgelegd in een 3D ruimte (x,y,z). Met deze definitie geeft hij voor 2.5D echter een ruimere definitie dan veel anderen. 3D wordt gekenmerkt doordat naast punten, lijnen en vlakken ook volumes gebruikt worden om mee te modelleren.

Vaak wordt 2.5D ook gekenmerkt (ook door de auteurs) door de eis dat op elke x,y-locatie slechts één z-waarde kan voorkomen. Soms wordt dit ook wel *strikt* 2.5D genoemd (notatie 2.5D). Een eerste variatie hierop is meerdere van dergelijke 2.5D oppervlakken te combineren, waartussen dan impliciet 3D volume lagen gedefinieerd worden (notatie multi 2.5D). Een andere nuttige aanpassing aan 2.5D representaties is de mogelijkheid om ook verticale vlakken toe te staan, waardoor gebouwen beter gerepresenteerd kunnen worden. Een algemeen gehanteerde term hiervoor is er niet en we stellen voor hier de term 2.5+D te gebruiken (of ingeval van meerdere lagen multi 2.5+D). Voor een willekeurig gevormde oppervlak in de 3D ruimte (maar wel aaneensluitende oppervlak, dat open of gesloten kan zijn; d.w.z. wel/niet een volume kan afbakenen) wordt de term open/gesloten 2.5*D gebruikt. Het oppervlak kan dus een willekeurig aantal keer ‘terugkronkelen’, waardoor er vele waarden van z kunnen zijn gegeven aan een x,y-locatie (en hetzelfde geldt voor de andere combinaties). Tot slot zouden er nog meerdere van dergelijke 2.5*D oppervlakken kunnen zijn (multi 2.5*D). In het geval van gesloten oppervlakken kunnen deze dan

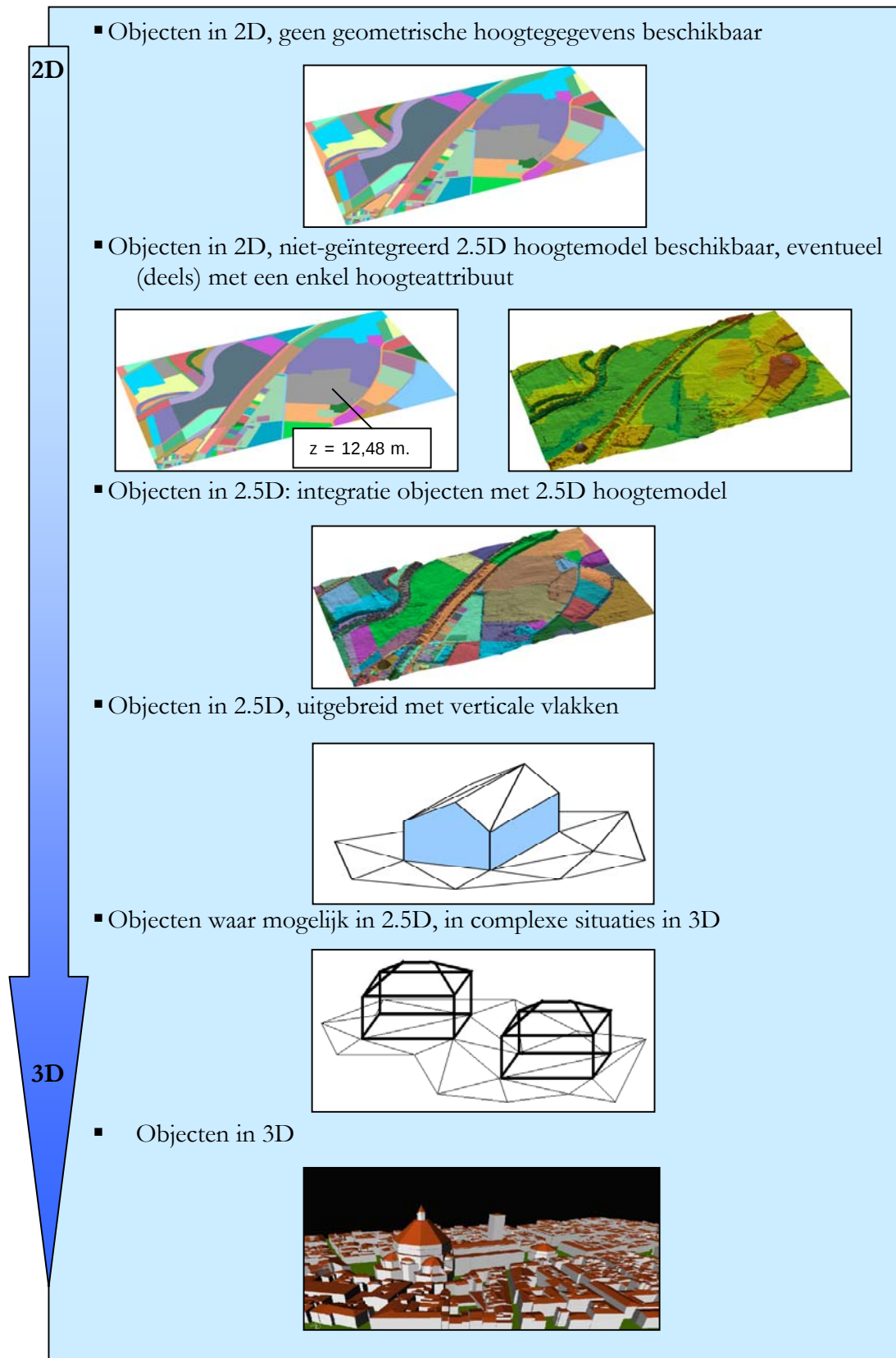
of holtes (indien deze geheel binnen een ander gegeven oppervlak valt) of meerdere losse volumeobjecten beschrijven. Hiermee wordt het totaal overzicht:

2D:	2D oppervlak in een 2D ruimte
2.5D:	2D oppervlak in een 3D ruimte, op elke x,y-locatie 1 z-waarde
2.5+D:	als 2.5D maar met uitbreiding van verticale vlakken
2.5*D:	willekeurig 2D oppervlak in 3D (open/gesloten variant)
multi 2.5D	als 2.5D maar dan meerdere lagen (ook 2.5+D/2.5*D variant en in geval gesloten multi 2.5*D de optie wel/niet holte)
3D:	modelleren met 3D primitieven in een 3D ruimte

In dit overzicht beperken we ons nog tot het geometrische aspect van de objecten. Een volgende uitbreiding van de classificatie is het wel/niet integreren van de features (geografische objecten). Deze integratie kan dan logische beperkingen impliceren voor de geometrie. B.v. in geval dat een vlak een meer voorstelt dan zal het een horizontaal vlak moeten zijn (overal dezelfde z-waarde) of in geval dat het vlak een snelweg voorstelt, dan is er een minimale en maximale breedte en hellingshoek (in langs en dwarsrichting), etc.

Alhoewel het misschien zo leek dat er slechts één tussenstap zit tussen het beschikbaar hebben van data in 2D en in 3D, is dit in werkelijkheid dus complexer. Ter illustratie is in Figuur 4.1 een aantal tussenstappen gegeven om van een 2D geografisch bestand naar een volledige 3D variant te komen. De lijst in figuur 4.1 geeft een mogelijk pad aan, maar is niet het enige pad van 2D naar 3D. Het uitgangspunt bovenin het lijstje is de huidige situatie, waarin alle objecten beschreven zijn met een 2D geometrie en een aantal thematische attributen. Een eerste stap richting 3D is het toevoegen van een niet-geïntegreerd hoogtemodel. Van het beschikbaar hebben van een apart hoogtemodel naar het vullen van het hoogteattribuut voor bepaalde typen objecten (bijvoorbeeld gebouwen) is een kleine stap. Vanaf het moment dat objecten geïntegreerd worden met hoogtegegevens uit het hoogtemodel verandert de wijze waarop objecten worden beschreven ingrijpend. Tot nu toe worden objecten alleen beschreven met hun grens, waardoor elk object plat is, ook al zijn de grenzen in de 3D ruimte beschreven. Werken in 2.5D betekent dat naast de grenzen nu ook de vorm van de objecten wordt vastgelegd, waardoor bijvoorbeeld ook reliëf binnen de grenzen van een weiland beschreven wordt.

De stap richting 3D kent ook een pragmatische vorm en dat is de vorm waarbij alleen in gevallen waarvoor 2.5D niet volstaat, gebruik gemaakt wordt van 3D beschrijvingen. Een laatste stap is het volledig beschrijven van alle objecten in 3D, wat met name in bepaalde datastructuren veel complexiteit met zich mee brengt. Hierbij is het mogelijk dat ook de ruimte tussen alle 3D objecten beschreven wordt, wat effectief neerkomt op het modelleren van lucht (boven het aardoppervlak) en de bodem (onder het aardoppervlak).

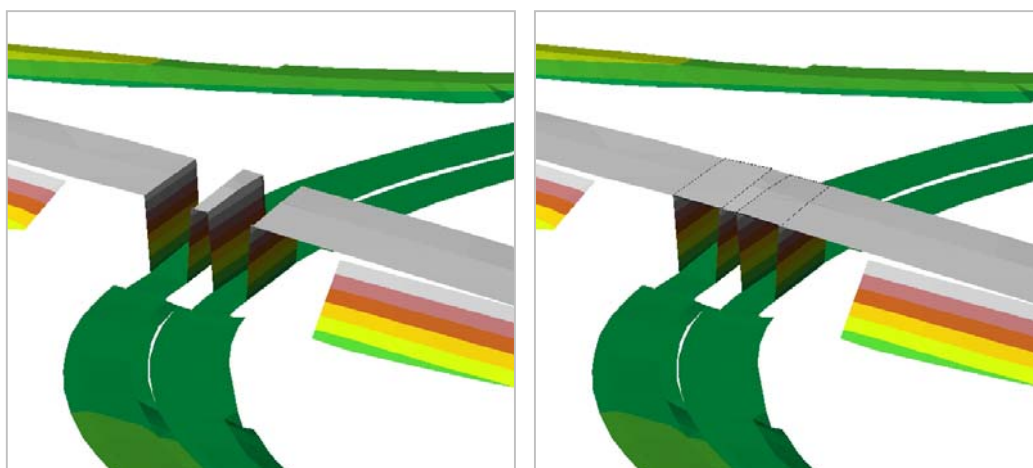


Figuur 4.1 Mogelijke stappen tussen 2D en 3D representaties

In het hiervoor behandelde stappenplan wordt de vraag of objecten los of in een datastructuur worden opgeslagen d.w.z. wel of niet in een topologische structuur zijn opgenomen) buiten beschouwing gelaten, hoewel dit een zeer interessante vraag is. De toegevoegde waarde van het gebruik van een datastructuur ligt erin dat er dan

naast data over de individuele objecten zelf er nu ook informatie over de relaties tussen die afzonderlijke objecten beschikbaar komt. Deze topologische relaties kunnen gebruikt worden voor o.a het bewaken van dataconsistentie en het sneller uitvoeren van bepaalde bevestigingen.

Een oplossing die niet in de opsomming in Figuur 4.1 staat, is de mogelijkheid om in multiple 2.5D te werken. Deze methode komt overeen met de layer-aanpak die vroeger ook veel in 2D bestanden werd gebruikt. In figuur 4.2 wordt een voorbeeld van multi 2.5D gegeven: in één 2.5D laag wordt het terrein opgeslagen, in een andere laag alle viaducten om zo door combinatie van twee 2.5D representaties toch tot een aardige weergave van een 3D situatie te komen.



Figuur 4.2 Multilayer TIN aanpak van een viaduct: links de terreinlaag, rechts de terrein- en viaductlaag gecombineerd (illustratie op basis van data van (Simonse, 2000))

4.2 De vraag naar 3D data

De huidige geografische producten in Nederland beperken zich meestal 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 geografische 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.

4.2.1 Mogelijke toepassingen 3D data

Voor een toekomstig 3D geografisch 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 geografisch 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

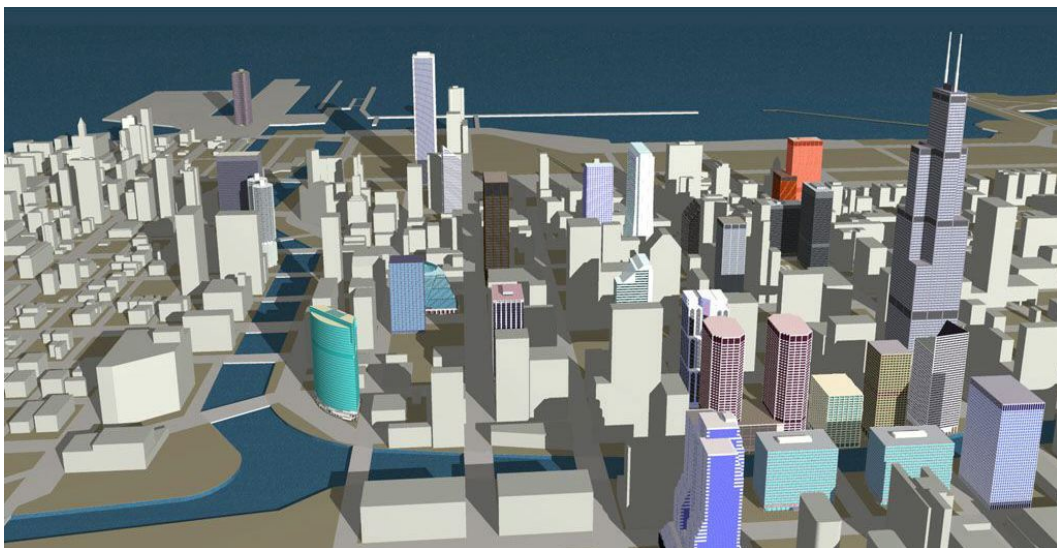
de verspreiding van schadelijke stoffen. Zo zal bij het bepalen van gebieden met teveel geluidsoverlast het resultaat beïnvloed worden door de hoogte en vorm van de gebouwen; een flatgebouw zal bijvoorbeeld de achterliggende huizen vrijwel volledig afschermen van de geluidsbron. Goede 3D analysemogelijkheden kunnen bijdragen aan het bevorderen van een duurzame leefomgeving en juist in het drukke Nederland is dit van toenemend belang. Gezien het dichtbevolkte en -bebouwde karakter van Nederland, wordt meervoudig ruimtegebruik steeds belangrijker, wat ook geschikte tools vereist voor ruimtelijke planning. 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.

4.3 Ontwikkelingen per thema

Op het gebied van 3D geo-informatie en GIS-toepassingen zijn tal van trends waarneembaar. In deze paragraaf worden deze ontwikkelingen naar een viertal thema's gerangschikt: visualisatie, opslag, bewerking en uitwisseling.

4.3.1 3D & visualisatie

Van alle thema's is visualisatie het verst ontwikkeld op 3D gebied. De toepassingen van 3D visualisaties zijn dan ook talrijk. Een 3D visualisatie is een krachtig instrument om met anderen te communiceren over nieuwe plannen. De derde dimensie zorgt niet alleen voor een eenvoudigere interpretatie ten opzichte van een tweedimensionaal kaartbeeld, maar bevat ook nieuwe informatie.



Figuur 4.3 3D visualisatie van een stadscentrum

Zo zal een burger zich niet direct een goede voorstelling kunnen maken van de visuele impact van het plaatsen van een geluidsscherm van 5 meter hoog. In een dergelijk voorbeeld kan in het model bijvoorbeeld getoond worden hoe dit scherm het uitzicht vanuit een woonkamer of vanaf een balkon beïnvloedt. De inzet van dergelijke visualisaties draagt niet alleen bij aan een transparanter overheidsoptreden, maar kan bijvoorbeeld ook een hoop misverstanden uit de weg ruimen tijdens inspraakrondes en zo wellicht zelfs leiden tot een vermindering van het aantal bezwaarschriften.

3D visualisaties zijn er in soorten en maten, variërend van indrukwekkende modellen waarin men volledig kan rondlopen in Virtual Reality caves tot eenvoudigere modellen die met behulp van gratis plug-ins op een thuiscomputer zijn te bekijken. De modellen die speciale hardware vereisen, worden vooral ingezet om experts tijdens grote ontwerpprojecten te ondersteunen, terwijl de kleinere modellen een breder publiek bedienen. Twee belangrijke formaten waarin dergelijke visualisaties kunnen worden verspreid zijn VRML (Virtual Reality Modelling Language) en X3D (opvolger van VRML, is/wordt tevens ISO standaard). Deze formaten zijn specifiek ook gericht op het ontsluiten van visualisaties via Internet. Op Internet is een keur aan VRML/X3D-clients gratis te downloaden, waarmee de gebruiker binnen zijn Internet browser dergelijke 3D modellen kan bekijken en er zelf doorheen kan navigeren.

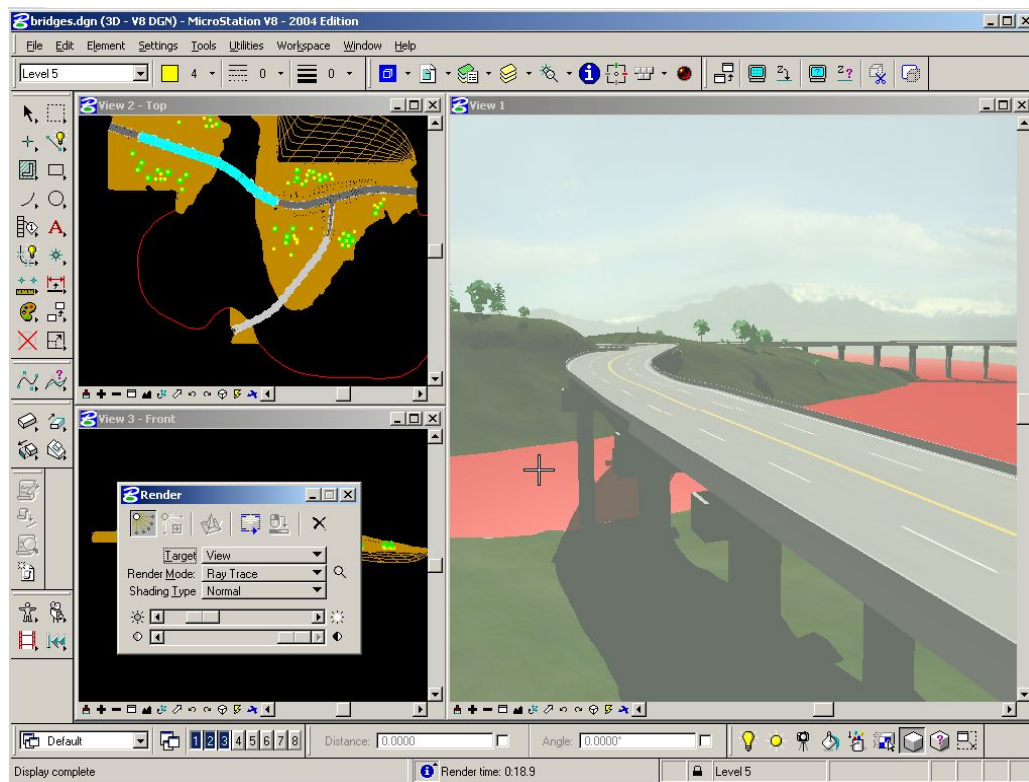
4.3.2 3D & opslag

Voor de sectie GIS technologie is opslag (en daaraan gerelateerd ook analyse) van 3D data een terugkerend onderzoeksthema. Centraal in deze onderzoeken stond en staat de database. Databases zijn zeer geschikt voor het opslaan van grote hoeveelheden data, die door gebruikmaking van efficiënte indexeringsmethoden bovendien snel opvraagbaar blijven. Daarnaast biedt de database de mogelijkheid om redundante opslag te voorkomen en om data te valideren. Ook kunnen er verschillende applicaties bovenop de database gebouwd worden, die bovendien van verschillende leveranciers afkomstig kunnen zijn.

In eerder onderzoek is meestal gebruik gemaakt van Postgres en Oracle Spatial. Echte 3D primitieven om mee te modelleren, ontbreken in de huidige versies. Vandaar dat er o.a. een polyhedron (veelvlakig gesloten volume) is geïmplementeerd binnen Oracle Spatial (Arens et al, 2005) als 3D primitieve en er ook aan gekromde curven en oppervlakken in 3D is gewerkt, d.m.v. de implementatie van een NURBS data type in Oracle Spatial (Pu, 2005). Ook de tetraëder (onregelmatig viervlak) wordt gebruikt als primitieve, o.a. in afstudeerwerk voor het uitvoeren van buffers en overlays op basis van tetraëders (de Vries, 2001; van der Most, 2004). In het lopende Bsik Ruimte voor Geo-informatie project 3D Topografie wordt ook gewerkt aan een op tetraëders gebaseerde datastructuur (Penninga, 2005). Deze datastructuur wordt geïmplementeerd in Oracle Spatial. In het 3D Topografie consortium is Oracle ook partner en binnen dit project is duidelijk geworden dat een 3D primitieve en de bijbehorende functionaliteit op de rol staat voor de volgende Oracle release. Met deze ontwikkeling is het duidelijk dat volledige 3D ondersteuning in databases er in de nabije toekomst aan zit te komen, waarmee men minder afhankelijk wordt van leverancier-afhankelijke dataformaten.

4.3.3 3D & bewerking

De meeste GIS-pakketten hebben een vrij beperkte functionaliteit als het gaat om 3D bewerkingen. Uitzondering hierop is toch Bentley Microstation, dat meer een CAD achtergrond heeft. De CAD wereld werkt al veel langer in 3D, al worden er wel weer vaak datatypen gehanteerd die in de traditionele GIS wereld weer ongebruikelijker zijn. Voor meer hierover wordt verwezen naar Hoofdstuk 5 over de elkaar naderende werelden van GIS en CAD. Voor 3D geldt in ieder geval dat pakketten met een CAD achtergrond een goede 3D interface bieden, en dat dergelijke pakketten zeer nuttig worden zodra ze ook met ruimtelijke databases overweg kunnen.



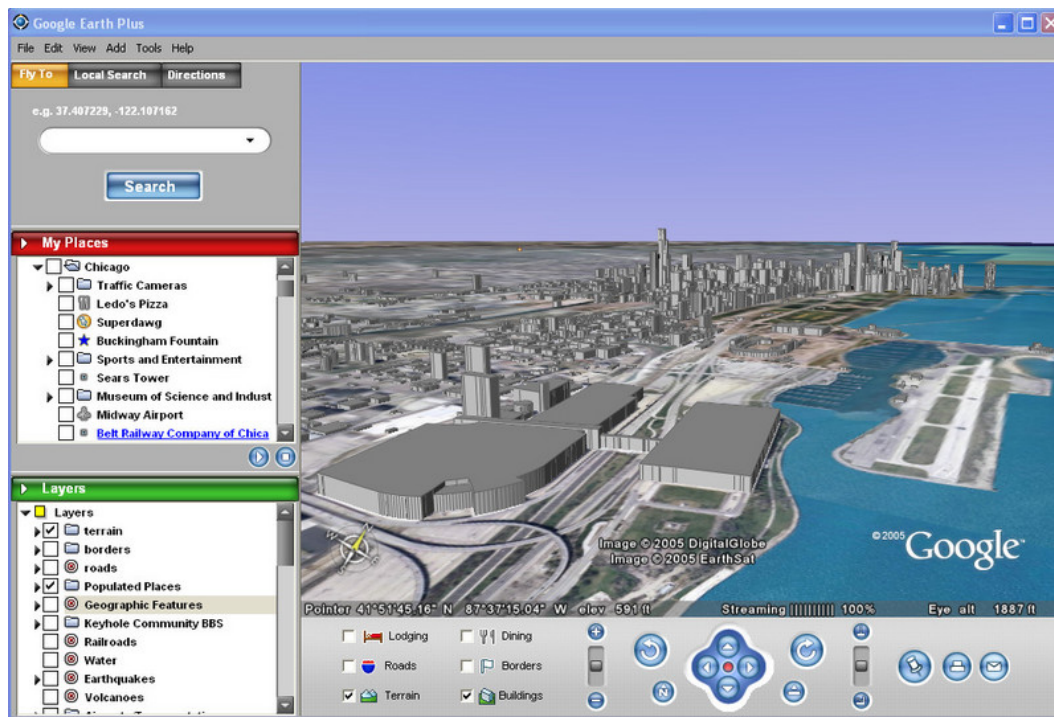
Figuur 4.4 Bentley MicroStation interface

4.3.4 3D & uitwisseling

Het belangrijkste uitwisselingsformaat voor geo-informatie zal in de toekomst GML 3 zijn. Deze Geography Markup Language wisselt de data uit op een wijze die vergelijkbaar is met HTML, namelijk door gebruik te maken van zogenaamde *tags*. GML 3 ondersteunt ook 3D geo-informatie en zal uiteindelijk alle datatypes (ook volume) zoals gedefinieerd in de ISO 19107 standaard, ondersteunen.

4.4 3D-achtige ontwikkelingen

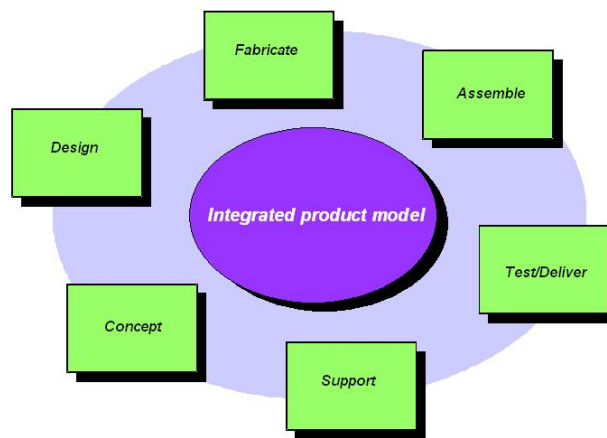
In dit hoofdstuk is het goed om ook nog op de ontwikkeling van Google Earth te wijzen. Dit is strikt genomen geen 3D geo-informatie, maar de interface geeft wel perspectiefbeelden. De exacte rol van Google Earth in de toekomst is moeilijk te voorspellen. Feit is dat het momenteel een zeer populaire interface is voor geografische informatie en dat het mogelijk is eigen data via Google Earth te ontsluiten, waarbij het in Google Earth beschikbare beeldmateriaal als referentie gebruikt kan worden. Of Google Earth in de toekomst blijft bestaan in de huidige, gratis downloadbare vorm is niet duidelijk. Wel kan gesteld worden dat het momenteel een voor niet-experts zeer aansprekende interface biedt voor het publiceren van allerlei geografische gegevens.



Figuur 4.5 Google Earth interface

5 Integratie GIS/CAD systemen

Bij het ontwikkelen van plannen en realiseren van objecten (bruggen, tunnels, spoorwegen, etc.), visualiseren, landmeten en diensten op locatiebasis wordt steeds vaker gebruik gemaakt van zowel CAD als GIS. CAD en GIS worden in toenemende mate in combinatie met elkaar gebruikt en hebben steeds meer met elkaar te maken. Dat levert echter vaak problemen op, mede door niet-compatibele gegevensstructuur en abstractieniveaus, zoals uit een aantal voorbeelden uit de dagelijkse praktijk naar voren komt. De grootste drijfkracht achter de behoefte aan de integratie van CAD- en GIS-functionaliteit wordt gevormd door het feit dat beide systemen worden gebruikt tijdens de 'levenscyclus' (planning, ontwerp, constructie, controle en beheer) van dezelfde objecten; zie Figuur 5.1. Het gebrek aan interoperabiliteit tussen CAD en GIS kan uitsluitend worden verholpen door op het juiste abstractieniveau te kijken naar de verschillende semantiek van beide werelden. In dit hoofdstuk wordt een opzet gepresenteerd voor een geïntegreerd CAD/GIS-raamwerk langs twee invalshoeken: formele (gedeelde) semantiek en geïntegreerd gegevensbeheer. Dit hoofdstuk is voor grote delen gebaseerd op (Van Oosterom, Stoter, Jansen, 2005). In Paragraaf 5.1 wordt er eerst nog wat dieper ingegaan op de behoefte van de integratie van CAD en GIS. Vervolgens wordt in Paragraaf 5.2 de kloof die heden ten dage tussen deze werelden bestaat geanalyseerd. In Paragraaf 5.3 wordt een oplossingsraamwerk voor het CAD-GIS integratie vraagstuk geschetst en Paragraaf 5.4 bevat de belangrijkste conclusies.



Figuur 5.1 Levenscyclusmodel volgens STEP (ISO 10303)

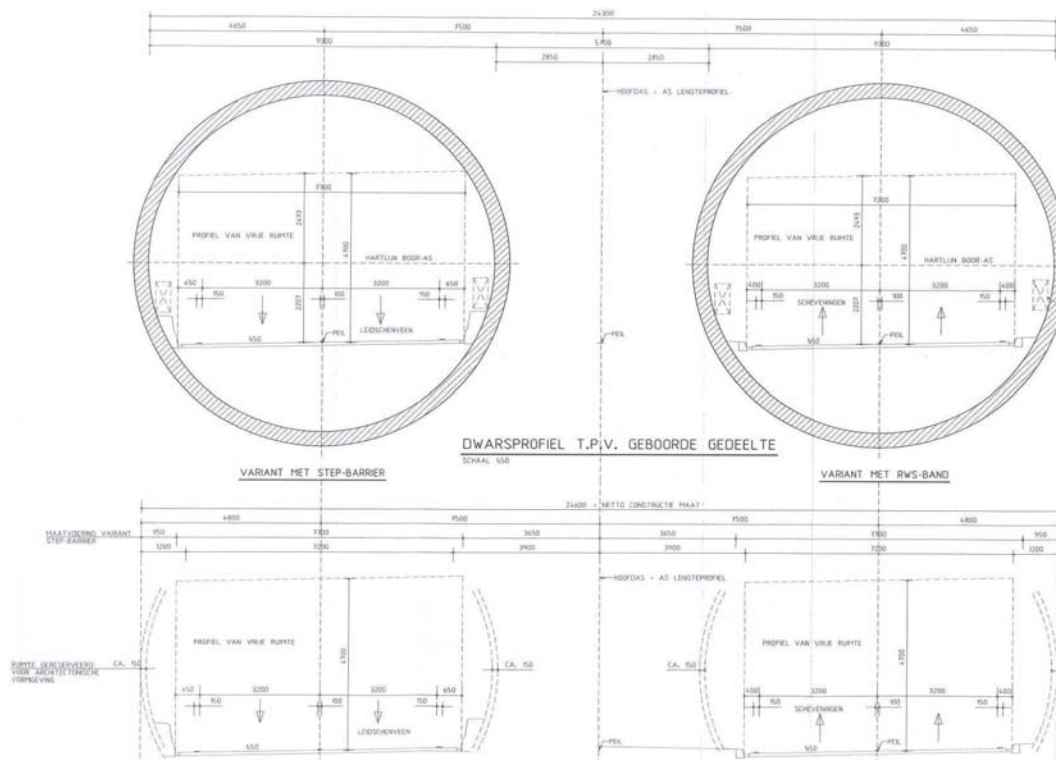
5.1 Waarom integratie?

Informatiesystemen die met geometrie omgaan, worden voor verschillende doeleinden gebruikt. Eén van deze soorten informatiesystemen valt onder de noemer 'Computer Aided Design' (CAD) en wordt vaak gebruikt in combinatie met informatiesystemen voor 'Computer Aided Manufacturing' (CAM). De voorwerpen die hiermee worden ontworpen en/of gefabriceerd lopen uiteen van verschillende roerende goederen (tafels, auto's, vliegtuigen, motoren, koffieautomaten, elektronische schakelingen) tot onroerende goederen (fabrieken, gebouwen, huizen, wegen en spoorwegen, bruggen, tunnels, infrastructuur netwerken). CAD-systemen die worden gebruikt voor onroerende goederen worden toegepast op het gebied van

architectuur, ontwerp, constructie/realisatie (*'Architecture, Engineering and Construction'*, of AEC). In dit document wordt de term CAD in zijn algemene betekenis gebruikt en staat derhalve voor alle door computers ondersteunde activiteiten op het gebied van ontwerp en constructie en niet alleen voor het ontwerp van een bepaalde soort objecten, zoals bijvoorbeeld mechanische objecten.

Onroerende goederen komen ook aan bod bij een ander soort informatiesystemen, namelijk geografische informatiesystemen (GISen). GIS wordt onder andere toegepast op het gebied van stedelijke planning, het monitoren van ruimtegebruik en het verwerken van kadastrale gegevens. Alhoewel deze twee soorten informatiesystemen, CAD en GIS, bepaalde kenmerken gemeen hebben – bij beide draait het om geometrie – verschillen ze in veel opzichten (omvang, opslag, analyse, semantiek, kenmerken, etc.). CAD en GIS zijn binnen sterk verschillende vakgebieden en organisaties ontwikkeld en gebruikt. Waarom zouden we daarom überhaupt de kloof tussen CAD en GIS willen overbruggen? De laatste tijd is er echter sprake van een groeiende tendens om ze bij projecten allebei te gebruiken en de beide benaderingen te integreren, hetgeen zich eenvoudig laat verklaren door het feit dat zowel CAD als GIS worden gebruikt voor het leveren van informatie gedurende de eerder genoemde levenscyclus van (door mensen gemaakte) objecten in de wereld. In de diverse fasen van de levenscyclus worden GIS en CAD gebruikt voor verschillende representaties van dezelfde concrete objecten. Er zijn verschillende toepassingsgebieden die de behoefte illustreren aan een geïntegreerde benadering van GIS en CAD:

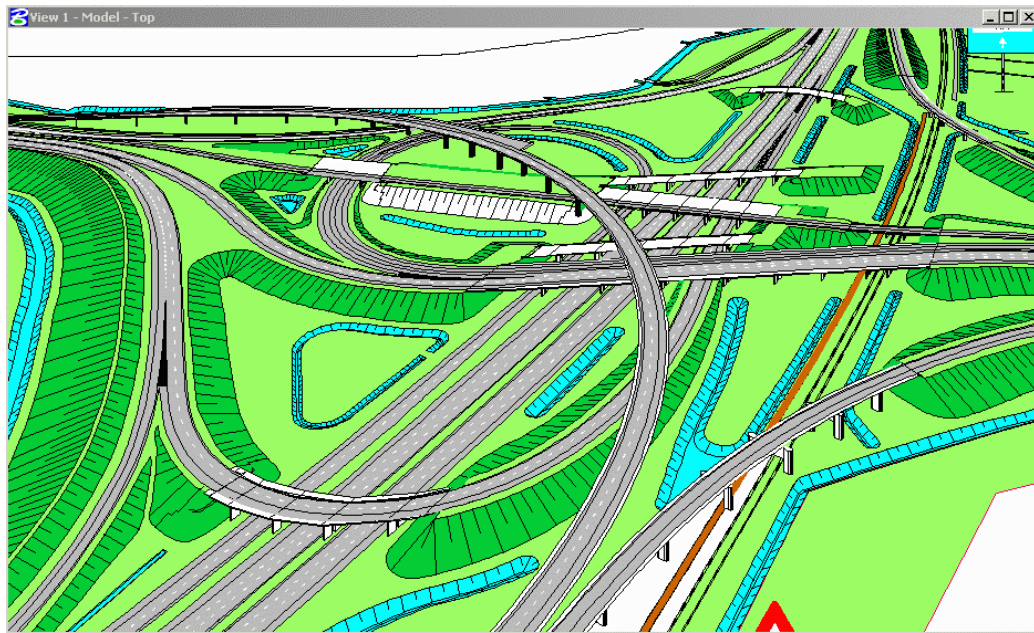
- *Planontwikkeling*: voor het ontwerp van grote infrastructuren (wegen, spoorwegen, bruggen, tunnels, etc.) zijn beide soorten informatie van belang: voor het ontwerp en bouwtechnische deel worden CAD-technieken gebruikt, maar voor de eerste planning en lay-out zijn GIS-gegevens van essentieel belang. Tijdens de ontwerpfasen wordt de bestaande geografische omschrijving van het gebied vaak van een GIS-systeem overgebracht in een CAD-systeem. Nadat het bouwplan is voltooid in CAD, wordt het resultaat ingevoerd in GIS. Het resultaat is een interessante cyclus van de conversie van informatie tussen GIS en CAD. Het komt vaak voor dat deze conversie 'met de hand' wordt uitgevoerd vanwege verschillen in de onderliggende representatie van gegevens in CAD en GIS die niet automatisch kunnen worden opgelost (Figuur 5.2).
- *Visualisatie*: voor de presentatie van plannen en interactie met de gegevens zijn vaak verschillende weergaven van de gegevens nodig: een 2-dimensionale weergave (*'plan view'*) voor de eerste contextanalyse, een 2.5-dimensionale modelweergave om verschillende ontwerpconcepten te maken en te evalueren en de 3-dimensionale *'world view'* om het uiteindelijke ontwerp realistisch te laten zien (Verbree et al, 1999). Alhoewel de 2-dimensionale weergave bijna een traditionele GIS-interface (op basis van geografische gegevens) te noemen is, en de 3-dimensionale weergave bijna een traditionele CAD-interface, vormt de 2.5D-weergave een interessante combinatie van GIS en CAD (Figuur 5.3).
- *Gegevensinwinning*: in de afgelopen decennia hebben de technieken voor gegevensinwinning zich op interessante wijze ontwikkeld, van handmatige metingen (gebaseerd op coördinaten van ingewonnen punten) tot remote sensing en fotogrammetrie (beeldgegevens). Bij sommige geavanceerde technieken voor fotogrammetrie wordt uitgegaan van kennis van objecten zoals gebouwen, bruggen en andere herkenningspunten in een CAD-achtige vorm (zie Figuur 5.4).



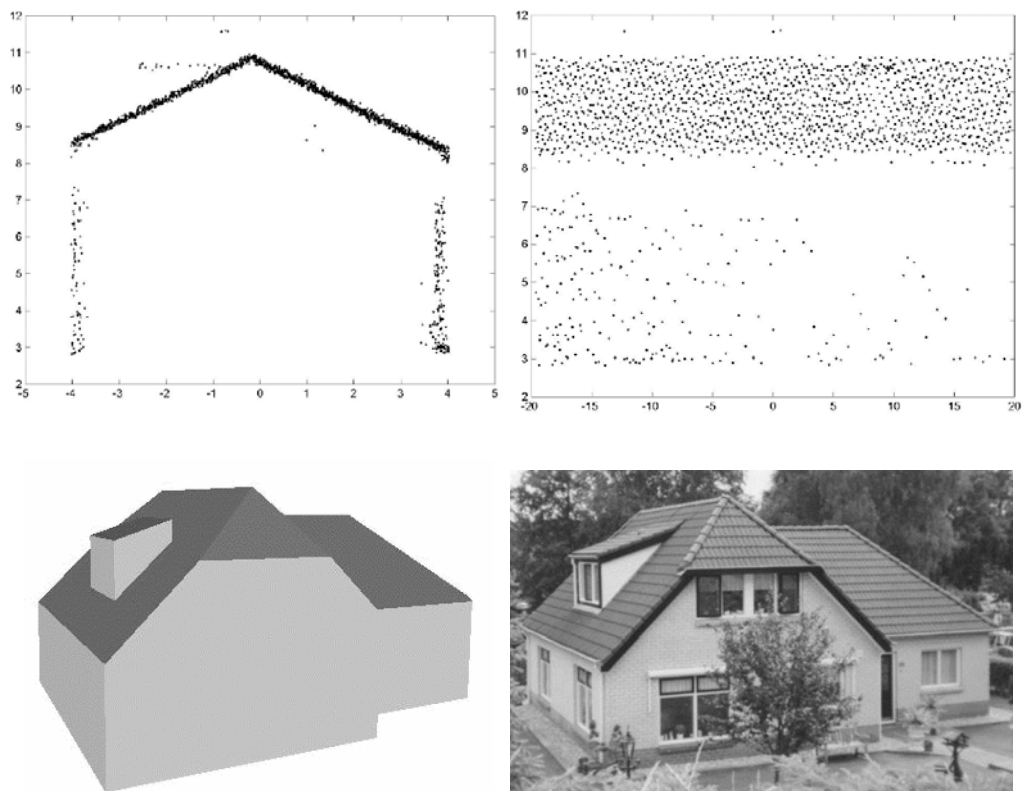
Figuur 5.2 CAD-model ontworpen Hubertustunnel in Den Haag, Bron RWS Bouwdienst

Daarnaast zijn bepaalde soorten objecten niet gemakkelijk in kaart te brengen met traditionele middelen (remote sensing, fotogrammetrie), zoals het groeiende aantal ondergrondse constructies, waardoor CAD-modellen steeds belangrijker worden bij 3D-modellering met behulp van GIS.

- Bij *diensten op locatiebasis* ('location based services', LBS) en toegevoegde werkelijkheid ('augmented reality') wordt ook een combinatie van CAD- en GIS-technieken gebruikt voor positionering, beweegrichting en de levering van (aanvullende) informatie aan de gebruiker. GIS en CAD zullen sterk moeten worden geïntegreerd voordat een zin als 'Aan uw rechterhand ziet u nu een gebouw van twaalf verdiepingen' automatisch door een computer wordt gegenereerd. Via augmented reality kunnen ontwerpobjecten (CAD) in het werkelijk buitenbeeld gemixed worden (Figuur 5.5).



Figuur 5.3 Voorbeeld van visualisatie(bron RWS, directie Zuid Holland)



Figuur 5.4 Huis-object gereconstrueerd uit met laser gescande, driedimensionale puntenwolken (voorbeeld uit Vosselman and Dijkman, 2001)



Figuur 5.5 Voorbeeld van ‘augmented reality’ buitenomgeving (bron Ubicom).

5.2 Kloof aanwezig

Er zijn diverse toepassingen waarvoor input en analyse uit beide vakgebieden nodig is (zoals hiervoor al aangegeven). De behoefte lijkt aanwezig, maar geïntegreerde CAD/GIS systemen ontbreken nog steeds. Waarom is deze kloof dan toch zo moeilijk te overbruggen? De hoofdoorzaak is dat CAD en GIS zich traditioneel gezien bezighouden met zeer verschillende gebieden en doeleinden:

- CAD vertegenwoordigt de door mensen gemaakte wereld, terwijl GIS ook de natuurlijke omgeving vastlegt. Daardoor is de onderliggende wiskundige modelbeschrijving heel anders. Terwijl CAD is gericht op het zeer accuraat in 3D weergeven van enkele complexe objecten (inclusief beschrijvingen met vrij gevormde oppervlakken, etc.), heeft GIS als doel om grote aantallen objecten vast te leggen in een afgesproken referentiesysteem op basis van een vector- of rasterrepresentatie.
- De tijdschaal verschilt ook sterk. CAD wordt meestal op projectbasis ingezet, en het onderhoud van de levenscyclus is daarbij nog maar een relatief nieuw gegeven, terwijl GIS is gericht op een zeer lange periode waarin gegevens worden verzameld en onderhouden (de levenscyclus is bijna eindeloos). Waar CAD gegevens opslaat in bestandsformaat (‘file’) en complexe operaties toepast binnen de CAD-applicatie zelf, analyseert GIS gegevens die continu en permanent in grote DBMSsen worden bijgehouden.
- Bij CAD-systemen wordt meestal uitgegaan van een (twee- of driedimensionale) orthogonale wereld, terwijl men bij GIS te maken heeft met gegevensbronnen op basis van allerlei verschillende coördinatensystemen die worden gebruikt om een model van de bolvormige (of ellipsoïde of geoïde) wereld te maken.

In appendix A staat een uitgebreidere lijst van zaken die als verschillen worden gezien en de manieren waarop deze zich in de loop van de tijd volgens de literatuur hebben ontwikkeld, inclusief de observaties hierboven. In het algemeen kunnen we zeggen dat bij CAD en GIS, alhoewel beide te maken hebben met informatie over dezelfde concrete objecten in de wereld, verschillende gegevens worden gebruikt en gekeken wordt naar heel andere aspecten. Bovendien worden al deze verschillende stukken informatie door verschillende organisaties geproduceerd en onderhouden

(bijvoorbeeld industriële planning versus stadsplanning), met verschillende hulpmiddelen, die zijn geoptimaliseerd voor een specifieke taak. Het is daarom absoluut niet eenvoudig om beide methoden te combineren tot één gedeeld model dat voor de gehele levenscyclus kan worden gebruikt.

In de late jaren 80 en vroege jaren 90 zijn er veel publicaties verschenen over GIS versus CAD en de manieren waarop GIS en CAD effectief kunnen worden gecombineerd (Cowen, 1998; Hobbs and Chan, 1999; Logan and Bryant, 1987; Newell and Sancha, 1990; Shepher, 1990). Deze artikelen hebben als uitgangspunt meestal de vraag hoe CAD-systemen kunnen worden gebruikt voor bepaalde GIS-taken. De genoemde taken variëren van het invoeren van geografische gegevens tot de automatische productie van kaarten (inclusief bepaalde cartografische aspecten). Dit was ingegeven door het feit dat twintig jaar geleden CAD-systemen algemener beschikbaar waren dan GIS. Het streven om de verschillende gegevensmodellen en functionaliteit van CAD en GIS daadwerkelijk te integreren is echter nauwelijks aanwezig. Ongeveer tien jaar geleden verschoof de aandacht inderdaad naar de integratie van CAD- en GIS-functionaliteit, naar aanleiding van toepassingsgebieden zoals stads- en landschapsarchitectuur en -planning (Hoinkes and Lange, 1995; Movafagh, 1995; Schutzberg, 1995; Smith, Dodge and Doyle, 1998; Sun, Chen and Ma, 2001). De aangedragen oplossingen zijn vaak ad-hoc oplossingen (het vastleggen en overdragen van eenvoudige 3D-modellen tussen de verschillende systemen) of vereisen speciale software. De papers besluiten vaak met de opmerking dat de functionaliteit van kant-en-klare systemen voor CAD of GIS voor de besproken toepassingen nog steeds beter moet worden geïntegreerd. Meestal wordt echter geen uitspraak gedaan over hoe dit is te bewerkstelligen en wat de fundamentele problemen zijn die integratie in de weg staan.

Recentere bronnen zijn vaak kennisgevingen over ontwikkelingen, zoals Maguire (2003), waarbij de nadruk ligt op het creëren van mechanismen voor gegevensuitwisseling door middel van gedeelde bestanden, vertaalprogramma's (gebruik makend van gedeelde 'applicatie programma interfaces', API's) voor 'punt' oplossingen tussen specifieke systemen (formaten). Maar er wordt nog steeds weinig aandacht besteed aan de meer fundamentele kwesties die moeten worden opgelost, zoals geïntegreerde geometrische gegevensstructuren (ondersteuning voor 3D en topologie, zie bijvoorbeeld (Lee and Lee, 2001) voor een zeer bruikbaar overzicht), harmonisering van de semantiek van de gebruikte concepten en geïntegreerd gegevensbeheer (in tegenstelling tot onafhankelijke, inconsistente eilandjes van informatie die met elkaar worden verbonden door middel van gegevensconversie en -overdracht waarbij gegevens verloren gaan).

In de hedendaagse praktijk blijkt het echter nog steeds niet gemakkelijk om gegevens tussen CAD en GIS uit te wisselen. Het komt regelmatig voor dat twee afdelingen binnen één organisatie (zoals een gemeente, een provincie of de rijksoverheid), waarvan de een CAD-software gebruikt en de ander GIS-software, niet met elkaar communiceren omdat ze geen gegevens kunnen uitwisselen. Iedereen die wel eens heeft geprobeerd om CAD-gegevens in GIS-software te importeren is op de een of andere manier bekend met de problemen die zich daarbij voordoen, bijvoorbeeld het gebrek aan objectdefinities in de CAD-modellen, het gebruik van verschillende schalen, de omzetting van de lokale coördinaten (CAD) in een referentiesysteem voor zowel horizontale als verticale coördinaten, parametrische vormen die niet kunnen worden geconverteerd tot GIS-objecten en verschillende detailleringniveaus die moeten worden gegeneraliseerd. Vaak is er ook een conceptueel of semantisch

verschil tussen de concepten die in een ontwerpomgeving (CAD) worden gebruikt en de concepten die worden gebruikt voor op waarnemingen en metingen gebaseerde geo-informatie (zoals gebruikt binnen GIS). Voordat de situatie beter kan worden, moeten deze raamwerken van concepten (ontologieën) expliciet worden gemaakt, met elkaar worden vergeleken en aan elkaar worden gerelateerd.

5.3 Ontwikkelingen richting de oplossing

Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk al is aangegeven speelt de levenscyclus van de objecten die in de verschillende (CAD- en GIS-)modellen voorkomen een belangrijke rol. De inhoud van een specifiek model wordt vaak gevormd door de gegevens te organiseren op basis van de verschillende fasen in de levenscyclus. Er zijn diverse manieren om de levenscyclus in te delen. Dit is er een:

- plan/ontwerp
- constructie/bouw/realisatie
- controle/meting/registratie
- onderhoud/analyse/gebruik

Hier moet worden opgemerkt dat het gaat om een oneindige levenscyclus, aangezien tijdens nieuwe cycli objecten worden toegevoegd, verwijderd en aangepast (in de ruimtelijke context), waarbij dezelfde fasen steeds weer worden doorlopen. Verschillende organisaties zijn betrokken bij de feitelijke objecten. Ze zijn geïnteresseerd in verschillende aspecten van dezelfde feitelijke objecten. Ze gebruiken verschillende hulpmiddelen om informatie (modellen) over de feitelijke objecten te creëren en daarmee te werken. Elke organisatie kiest voor de hulpmiddelen die het meest geschikt zijn voor de taak in kwestie. Ook kunnen het (gegevens)model en de gegevensopslag (DBMS, bestanden, indelingen) totaal verschillen.

De levenscyclus moet een centrale plaats innemen bij de integratie van GIS en CAD. Het levenscyclusconcept omvat de verschillende aspecten, zoals functionele analyse, procesplanning, constructie, realisatie, onderhoud en financieel-economische aspecten. Om op fundamenteel niveau binnen GIS en CAD met het levenscyclusconcept om te kunnen gaan, moeten de gegevens expliciet maar één keer op basisniveau worden opgeslagen. Hieruit worden dan representaties die specifiek zijn voor een bepaalde perspectief (een ‘view’) geboden t.b.v. analyse, manipulatie en bijhouding van deze gegevens vanuit verschillende soorten toepassingen (CAD- dan wel GIS-achtig), zonder dat de onderliggende consistentie van de gegevens wordt verstoord.

In het algemeen is de conversie tussen verschillende representaties niet eenvoudig (gezien de verschillende gegevens die bij de verschillende fasen horen). Met de huidige technologie kunnen deze conversies niet volledig worden geautomatiseerd en is menselijke tussenkomst nog altijd onmisbaar voor acceptabele resultaten. Daarom worden vaak beide versies van een model (het origineel en het geconverteerde model) expliciet behouden en opgeslagen. Dat zouden we een oplossing met meerdere weergaven (‘multiple representations’) kunnen noemen. Bij het bijhouden van de gegevens is het dan wel van het grootste belang dat de consistentie wordt behouden. Naarmate de technologie voortschrijdt (en de semantiek steeds formeler wordt) moet het mogelijk zijn om conversies volledig automatisch uit te voeren (eventueel ook door de vereisten voor de verschillende weergaven op elkaar af te

stemmen). In de toekomst zou het mogelijk moeten worden om slechts één (geïntegreerde) bron van het model te hanteren en (dynamische) weergaven te berekenen. Om de kloof tussen GIS en CAD te overbruggen is een raamwerk nodig dat zowel de geometrie als de bijbehorende (thematische) semantiek dekt. In deze paragraaf kijken we naar de twee voorwaarden voor een dergelijk raamwerk: *formele semantiek en geïntegreerd gegevensbeheer*.

5.3.1 Formele semantiek

Uit de bespreking hierboven kan worden afgeleid dat het vastleggen van de semantiek van de verschillende modellen een sleutelrol speelt bij het overbruggen van de kloof tussen CAD en GIS. Impliciete kennis of natuurlijke tekst en tabellen zijn echter niet afdoende voor dit doel. Er is behoefte aan meer formele benaderingen, zoals die ontworpen zijn binnen vakgebieden als kennistechnologie (ontologie) en object-georiënteerde modellering. Op basis van deze formele semantische benadering wordt het nu mogelijk om te beslissen of modellen uit verschillende domeinen (of zelfs modellen binnen één domein) zijn – of kunnen worden – geharmoniseerd. Ook een meer betekenisvol gebruik (door machines) van ruimtelijke informatie wordt alleen maar belangrijker, waardoor tevens de formele benadering nog meer van belang wordt. In de laatste tien jaar is er belangrijke vooruitgang geboekt binnen het vakgebied kennistechnologie (UML, ontologie, het semantische web), waardoor kennis nog beter op praktische wijze kan worden geformaliseerd.

Er worden pogingen ondernomen binnen bepaalde gebieden (bijvoorbeeld scheepsbouw of geneeskunde) en er zijn zelfs complete verzamelingen van algemene concepten (woordenboeken) om kennis te formaliseren. Vaak is de reden precies hetzelfde ('een machine bepaalde taken op betekenisvolle wijze te laten uitvoeren'). Zo wordt binnen de context van het 'semantische web' bijvoorbeeld geprobeerd om meer betekenisvolle zoekacties mogelijk te maken door formele raamwerken of concepten ('ontologieën') te gebruiken. Heel vaak worden hiervoor de klassendiagrammen van UML gebruikt (OMG, 2002, Hoofdstuk 3). Er worden nog andere methoden/hulpmiddelen gebruikt, bijvoorbeeld het aan elkaar relateren van equivalente concepten in (verschillende) raamwerken of het 'herschrijven' van informatie vanuit één set goed gedefinieerde concepten in de terminologie van een andere set goed gedefinieerde concepten (een voorbeeld uit de geo-informatie is de vertaling van de GBKN in de Top10NL). Alhoewel het gebruik van UML-klassendiagrammen min of meer de standaardbenadering is bij het creëren van formele kennisraamwerken, heeft het grafisch diagram slechts beperkte semantische accuratesse. Binnen UML is een niet-grafische taal beschikbaar voor aanvullende semantiek door middel van de Object Constraint Language (OCL, zie OMG, 2002, Hoofdstuk 6, OMG, 2003). Het voordeel van het gebruik van UML is dat er, net als voor UML-klassendiagrammen, generieke hulpmiddelen beschikbaar zijn die OCL ondersteunen (en dus niet specifiek ontwikkeld zijn voor CAD of GIS).

Binnen één vakgebied is het al moeilijk genoeg om het eens te worden over concepten en hun (formele) definitie, dus het ligt in de lijn der verwachting dat dit alleen maar moeilijker wordt bij nogal verschillende vakgebieden (zoals in het geval van de integratie van CAD en GIS). Binnen de Nederlandse geo-informatiegemeenschap zijn diverse standaards in ontwikkeling (IMRO/ruimtelijke planning, IMWA/water, IMKICH/cultuur historie, GRIM/natuur & landbouw, topografie, kadaster/eigendom onroerend goed, bodem/ondergrond, etc.). Bij formele concepten, die moeten worden gedeeld door meerdere (vak)gebieden, is het nog moeilijker om een consensus te bereiken. Het moge duidelijk zijn dat dit probleem een steeds grotere rol gaat spelen binnen onze netwerk-/

informatiemaatschappij. Het zal niet makkelijk worden, maar er moet worden geprobeerd om de verschillende domeinen te harmoniseren. Misschien is de meest succesvolle benadering om te beginnen met een aantal formele modellen binnen verschillende domeinen (met een zekere mate van overlapping) en te proberen om die met elkaar in overeenstemming te brengen (of in ieder geval te proberen om regels op te stellen waarmee de concepten uit het ene domein in de concepten van het andere domein kunnen worden vertaald).

Naast UML (en OCL), voor de formele omschrijving van de semantiek (kennis) van de verschillende objectklassen in een informatiemodel, zijn er ook specifieke hulpmiddelen voor het omgaan ('redeneren') met formele concepten (semantiek, ontologie). Daarbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan OWL, de Web Ontology Language (W3C, 2004) of de ontwikkeling van het nieuwe ODM (Ontology Definition Metamodel) door het OMG, waarvan de huidige voorgestelde (derde) versie dateert van augustus 2005. Het nut en gebruik hiervan binnen de context van het overbruggen van de kloof tussen CAD en GIS verdient nader onderzoek.

5.3.2 Geïntegreerd gegevensmanagement

Na het oplossen van de semantische verschillen wordt de volgende stap gevormd door het creëren van een geïntegreerd model dat geschikt is voor meerdere doeleinden (zowel bij CAD als bij GIS). Er is sprake van verschillende perspectieven (views) op dezelfde basisrepresentatie. Het geïntegreerde model wordt zodanig beheerd dat de consistentie wordt behouden (tijdens bijhouding van de informatie binnen het DBMS). Op die manier wordt hetzelfde model gebruikt als basis voor planning, ontwerp, bouw, beheer, analyse, presentatie, etc. Dit houdt in dat verschillende toepassingen kunnen worden gebruikt om deze gespecialiseerde taken uit te voeren. Dit impliceert tevens dat verschillende gebruikers tegelijkertijd in verschillende omgevingen (of op verschillende locaties) met hetzelfde model kunnen werken. In de GIS-wereld is sprake van een geleidelijke verschuiving van een benadering van gegevensopslag in een bestand (file) naar een benadering op basis van een DBMS, met name in die gevallen dat het gebruik van de (geo-)informatie meer structureel van aard is en door meer dan één persoon kan worden gebruikt. Ook in de CAD-wereld is een langzame tendens in de richting van een DBMS-benadering merkbaar. Zo hadden bijvoorbeeld ongeveer twintig jaar geleden – toen een van de auteurs bezig was met een project voor zijn doctoraal scriptie (Van Oosterom, 1985) – bij vliegtuigbouwer Fokker verschillende afdelingen (voorontwerp, aerodynamica, bouw) toegang nodig tot dezelfde informatie (CAD) over de nieuwe vliegtuigontwerpen. In plaats van een benadering op basis van bestanden (files) werd gekozen voor een DBMS, die dienst deed als gezamenlijke informatiebasis voor alle toepassingen. Destijds moesten er voor de verschillende toepassingen speciale (Oracle) interfaces worden ontworpen, maar tegenwoordig zijn diverse van deze interfaces ook beschikbaar in standaardproducten. Tot op de dag van vandaag worden CAD-systemen echter nog steeds gedomineerd door de benadering op bestandsbasis. Dit is wellicht te wijten aan de context waarbinnen een CAD-systeem wordt gebruikt (zie Appendix A). Als echter de ondersteuning van de volledige levenscyclus volwassen wordt, en informatie (opnieuw) moet worden gebruikt in zowel dezelfde als verschillende organisaties, dan zal de behoefte aan goed gegevensbeheer (in een DBMS) verder toenemen.

Door gezamenlijk gegevensmanagement verdwijnt de behoefte aan conversie, en daarmee alle problemen die daarmee samenhangen (zoals weergegeven in Paragraaf 5.2). Goed gegevensmanagement biedt ook de andere bekende voordelen van een DBMS: ondersteuning van meerdere gebruikers, ondersteuning van transacties, beveiliging en autorisatie, clustering en indexering van (ruimtelijke) gegevens, query-

optimalisatie, gedistribueerde architecturen, ondersteuning van het concept van meerdere perspectieven (views), behoud van (integriteits)beperkingen (met name verwijzingsintegriteit, maar ook andere soorten), integratie met andere relevante informatiesystemen binnen een organisatie. Kort gezegd zal 'eiland'-automatisering tot het verleden behoren en organisatiebreed informatiemanagement realiteit worden. Alhoewel de meeste DBMSen inmiddels ruimtelijke gegevenstypen ondersteunen (onder andere Oracle, DB2, Informix, Ingres, PostgreSQL en MySQL), volstaan deze gegevenstypen (nog) niet om de hogere geometrische eisen van CAD-systemen te ondersteunen. Het zou echter geen fundamentele problemen moeten opleveren om het DBMS met meer ruimtelijke gegevenstypes uit te breiden. De auteurs zijn betrokken geweest bij het uitbreiden van Oracle met nieuwe ruimtelijke gegevenstypen, zoals polyhedron (Arens et al, 2005) en NURBS (Pu, 2005), en andere benodigde typen zouden te implementeren moeten zijn. Hier moet echter worden benadrukt dat het gebruik van een DBMS op zich geen afdoende oplossing is voor het overbruggen van de kloof tussen CAD en GIS. De basisvoorwaarde is een geïntegreerd model, dat rijk genoeg is om de semantiek die de verschillende domeinen nodig hebben en impliceren, te ondersteunen.

Het DBMS kan worden beschouwd als een implementatieplatform voor een geïntegreerd CAD/GIS-model met ondersteuning van verschillende perspectieven (views). Als er echter informatie wordt uitgewisseld (of diensten van andere bronnen worden gebruikt), wordt de gestructureerde uitwisseling van informatie van groot belang. De UML/OCL-modellen vormen de basis voor de gegevensopslagmodellen, verder beschreven in de Data Definition Languages (DDL's) van het DBMS, en de gegevensuitwisselmodellen. Die laatste zijn hier nog niet aan bod gekomen, maar spelen een steeds belangrijkere rol in onze netwerkmaatschappij. De Extensible Markup Language (XML) kan worden gebruikt voor het beschrijven van de modellen op klassenniveau (XML-schemadocument, '.xsd') en tevens voor de gegevens zelf op objectinstantieniveau ('normaal XML-document met gegevens, '.xml'). XML-documenten bevatten zowel de geometrische als thematische aspecten van objecten (voorbeelden daarvan zijn LandXML, GML, X3D, etc.); zie Paragrafen 3.1.3 en 4.3.1.

5.4 Conclusies

In dit hoofdstuk is het belang van de integratie van CAD en GIS aangegeven aan de hand van een aantal casestudy's. Hoewel de integratie van GIS en CAD heel wat zou kunnen bieden voor wat betreft het beheer van de verschillende gerelateerde representaties van dezelfde feitelijke objecten uit de werkelijkheid, blijkt dat het tot nu toe heel moeilijk is geweest om representaties uit de GIS-wereld en de CAD-wereld in één omgeving te gebruiken. Bij de integratie neemt het levenscyclus-concept een centrale positie in: gedurende de levenscyclus van een object (planning, bouw, controle, onderhoud) zijn verschillende representaties of overzichten van hetzelfde feitelijke object nodig.

Er moeten ten minste twee belangrijke ontwikkelingen plaatsvinden, voordat de kloof tussen GIS en CAD kan worden overbrugd (waar veel gebruikers op zitten te wachten). De eerste is een semantische analyse van de concepten van deze 'verschillende werelden' en indien mogelijk de ontwikkeling van een vertaling in twee richtingen tussen deze concepten (of een geïntegreerd model met meerdere perspectieven/views). Ten tweede moet zowel bij GIS als bij CAD het gegevensbeheer worden gebaseerd op dezelfde technologie, d.w.z. een ruimtelijk DBMS dat voldoet aan ISO standaarden. De trend is dat GIS en CAD meer naar elkaar toe groeien en uiteindelijk naadloos zullen aansluiten/integreren.

6 Conclusies

In dit rapport zijn de belangrijkste ontwikkelingen op het vakgebied van de GIS technologie weergegeven gegroepeerd rondom een aantal thema's: tijd en schaalloze bestanden, Open GIS, 3D GIS en de integratie van GIS en CAD. Zonder in een vergelijk van individuele producten te willen uitmonden is getracht de belangrijkste ontwikkelingen aan te geven. Geregeld is wel een aantal ontwikkelingen geïllustreerd met concrete producten en/of onderzoeken (prototypen). Duidelijk is dat het een vakgebied sterk in beweging betreft. Zo zagen we in Hoofdstuk 2 het toenemende belang van het temporele aspect van geo-informatie, zowel in de meer traditionele systemen voor de registratie van geo-informatie (historie bijhouden i.p.v. snapshot benadering), alsook het omgaan met bewegende objecten. Daarnaast werd ook duidelijk dat de aloude 'worsteling' hoe om te gaan met de verschillende kaartschalen (en idealiter schaalloos) wel vorderingen te zien geeft, die de goede kant op gaan, maar dat we er zeker nog niet zijn.

Hetzelfde kan eigenlijk gezegd worden van de ontwikkelingen op Open GIS gebied. Enerzijds is er sinds de oprichting van het OGC in 1994 al heel wat bereikt. Zowel voor raster als voor vector gegevens zijn een aantal open standaarden opgesteld die het uitwisselen van geo-informatie tussen verschillende software omgevingen beter mogelijk maken. Op dit moment zien we een soort consolidatie: een aantal OGC standaarden wordt omgezet in ISO standaarden, o.a. GML en de Web service interface specificaties. Tegelijk verschuift de aandacht naar nieuwe onderwerpen, o.a. visualisatie, metadata en catalog services, Sensor Web, e.d. Nieuw is ook de aandacht voor het archiveren en 'conserveren' van geo-informatie en kaartmateriaal. Anderzijds is er nog een groot aantal nieuwe uitdagingen: echte informatie-integratie door semantische interoperabiliteit en gemeenschappelijke gegevensmodellen, meer geavanceerde Web services voor ruimtelijke analyse, 3D visualisatie en navigatie, en de mogelijkheid Web services aan elkaar te koppelen (service chaining). Op die manier kan het oorspronkelijke doel (verbeteren van de toegang tot al die geo-informatie die in de wereld geproduceerd wordt) worden bereikt.

Op 3D gebied begint GIS langzaam volwassen te worden. 3D GIS is niet meer alleen een (fraaie) visualisatiemogelijkheid, maar gaat ook steeds meer tools krijgen voor analyse en opslag. Met de introductie van 3D datatypen en bijbehorende bewerkingen zal ook voor 3D GIS de ruimtelijke database steeds belangrijker worden, zeker ook omdat 3D informatie meer opslagruimte vergt dan 2D data. Belangrijke dataformaten in de toekomst zijn zeker GML3 voor uitwisseling. Op visualisatiegebied (op het Web) zal X3D de nieuwe standaard worden en zo VRML gaan vervangen. Een ontwikkeling, die niet onopgemerkt mag blijven, maar waarvan de toekomst moeilijker te voorspellen is, is de huidige populariteit van Google Earth. Google Earth biedt een prettige interface voor het ontsluiten van geo-informatie, maar de toekomst van dit (nu gratis te downloaden) pakket is onduidelijk.

De twee belangrijke stromingen van informatiesystemen, die met ruimtelijke informatie omgaan, te weten CAD en GIS, blijken in de praktijk vaak op een of andere manier met elkaar te maken hebben (b.v. in de levenscyclus van objecten: plan, ontwerp, realisatie, beheer). Dit wil echter nog niet zeggen dat de systemen

goed op elkaar aansluiten. Daarom is een raamwerk (voor de toekomst) geschetst dat de brug moet gaan slaan tussen de GIS en CAD wereld: ten eerste het formeel semantisch beschrijven van objecten, die zo rijk zijn dat de gehele levenscyclus ondersteund kan worden, en ten tweede het op een eenduidige manier beheren (in een DBMS) van de feitelijke beschrijvingen (gegevens).

Literatuur

Abraham, T. and J.F. Roddick, 1999. Survey of spatio-temporal databases. In *GeoInformatica*, 3, 61–99.

Al-Taha, K.K., R.T. Snodgrass and M.D. Soo, 1994. Bibliography on spatiotemporal databases. In *International Journal of Geographical Information Systems*, 8, pp. 95–103.

Arens, Calin, Jantien Stoter and Peter van Oosterom, 2005. Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive In: *Computers & Geosciences*, Volume 31, 2, pp. 165-177.

Basiskaart On Line, 2005, <http://www.gbkn.nl/bkol/basiskaartonline.htm>.

Bentley. Bentley MicroStation GeoGraphics (<http://www.bentley.com/>), 2004.

CHOROCHRONOS, 1996–2000: A Research Network for Spatiotemporal Database Systems, URL: <http://www.dbnet.ece.ntua.gr/~choros>

Cowen, D.J., 1988. GIS versus CAD versus DBMS: What are the Differences?, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, November 1988, Vol. 54 (11), pp. 1551-1555.

Egenhofer, M.J. and R.G. Golledge (eds), 1998. *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford, 1998, 276 pp.

GeoServer, 2005, <http://docs.codehaus.org/display/GEOS/Home>.

Hobbs, F. and C. Chan, 1990. AutoCAD as a cartographic training tool: A case study, *Computer-Aided Design*, April 1990, Vol. 22 (3), pp. 151-159.

Hoinkes, R. and E. Lange, 1995. 3D for Free – Toolkit Expands Visual Dimensions in GIS. *GIS World*, July 1995.

http://www.ncg.knaw.nl/Subcommissies/Geo_informatie/onderzoek.html

Lagrange, J.P., Ruas, A. and Bender, L., 1993. Survey on generalization. Technical report, IGN.

Langran, G., 1992. *Time in Geographic Information Systems* (London: Taylor & Francis).

Lee, S.H. and K. Lee, 2001. Partial Entity Structure: A compact non-manifold boundary representation based on partial topological entities. In: *Solid Modeling 2001*, Ann Arbor, Michigan, USA, pp. 159-170.

Logan, T. and Nevin, A. Bryant, 1987. Spatial Data Software Integration: Merging CAD/CAM/Mapping with GIS and Image Processing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, October 1987, Vol. 53 (10), pp. 1391-1395.

Maguire, D.J., 2003. Improving CAD-GIS Interoperability, ArcNews On-line, (<http://www.esri.com/news/arcnews/winter0203articles/improving-cad.html>), 23 January 2003.

MapServer Foundation, 2005, <http://www.mapserverfoundation.org/about.html>.

Molenaar, M. and P. van Oosterom, 2006. Conceptual tools for specifying spatial object representations, chapter to be published in 'ASPRS Manual of Geographic Information Systems', Marguerite Madden, Editor-in-Chief.

Movafagh, S.M., 1995. GIS/CAD Convergence Enhances Mapping Applications, *GIS World*, Vol. 8, No. 5, May 1995, pp. 44-47.

Müller, J.C., R. Weibel, J.P. Lagrange and F. Salgé, 1993. Generalization: state of the art and issues. Technical report, European Science Foundation, GISDATA Task Force on Generalization.

NCG-GIM, 2005. Subcommissie Geo-Informatie Modellen. Thema's voor onderzoek 2005 – 2010

Newell, R.G. and T. L. Sancha. The difference between CAD and GIS, *Computer-Aided Design*, April 1990, Vol. 22, 3, pp. 131-135.

OGC, 2001. OpenGIS Consortium, The OpenGIS Abstract Specification, Topic 1: Feature Geometry (ISO 19107 Spatial Schema), version 5, ed. J.H. Herring, OpenGIS Project Document Number 01-101, Wayland, Mass., VS.

OGC, 2005a. Open Geospatial Consortium, <http://www.opengeospatial.org/>

OGC, 2005b. Products Compliant to or Implementing OGC Specs or Interfaces, <http://www.opengeospatial.org/resources/?page=products>.

OMG, 2002. Object Management Group, Unified Modeling Language Specification (Action Semantics), UML 1.4 met 'action semantics', January 2002.

OMG, 2003. Object Management Group, Response to the UML 2.0 OCL RfP (Object Constraint Language), January 2003.

Oosterom, P.J.M. van en J.D. van Putten, 2000. Generaliseren van vlakkenpartities (1); GAP-trees, theorie en implementatie. In: *Geodesia*, Volume 42, 10, pp. 443-448

Oosterom, P.J.M. van, 1989. A reactive data structure for geographic information systems. In: *Auto-Carto 9*, Baltimore, Maryland. pp. 665-74.

Oosterom, P.J.M. van, 1991. The Reactive-Tree: A storage structure for a seamless, scaleless geographic database. In *Auto-Carto 10*, pages 393-407, March 1991.

Oosterom, P.J.M. van, 1993. The GAP-tree, an approach to "on-the-fly" map generalization of an area partitioning. In: J.C. Müller, J.P. Lagrange, and R. Weibel (eds), *GIS and Generalization, Methodology and Practice*. London, U.K.: Taylor & Francis. ch. 9, pp. 120-32. Presented at the GISDATA Specialist Meeting on Generalization, Compiègne, France, 15-19 December 1993.

Oosterom, P.J.M. van, 1994. Reactive data structures for geographic information systems. Oxford, U.K.: Oxford University Press.

Oosterom, P.J.M. van, 2006. Variable-scale topological data structures suitable for progressive transfer: the GAP face-tree and GAP edge-forest, to be published in Cartography and Geographic Information Science, 2006.

Oosterom, P.J.M., van, 1985. Visualiseren van aërodynamische gegevens, MSc-scriptie TU Delft, Computer Science, oktober 1985.

Oosterom, Peter van, Jantien Stoter and Erik Jansen, 2005. Bridging the worlds of CAD and GIS, chapter in book 'Large-scale 3D Data Integration: Challenges and Opportunities', ISBN 0849398983, Taylor & Francis (CRC Press), September 2005, pp. 9-36.

Penninga, Friso, 2005. 3D Topographic Data Modelling: Why Rigidity Is Preferable to Pragmatism In: Anthony G. Cohn and David M. Mark (Eds); Spatial Information Theory, COSIT 2005, Ellicotville, September 14-18, pp. 409-425.

Peucker, Th.K. and N. Chrisman, 1975. Cartographic data structures. American Cartographer, 2(1):55-69.

Peuquet, D.J., 2002. Representations of Space and Time. The Guilford Press, New York, 2002, 380 pp.

Pilouk, M., 1996. Integrated Modelling for 3D GIS, PhD thesis, ITC Enschede, Netherlands.

Pu, Shi, 2005. Managing Freeform Curves and Surfaces in a Spatial DBMS, MSc Thesis TU Delft, 77 p.

Robertson, Anne and Steve Morris, Long-term preservation of digital geospatial data: challenges for ensuring access and encouraging reuse, Bonn, November 9, 2005.

RWS-AGI, 2005, Voorbeeldproject Geoservices Rijkswaterstaat Adviesdienst Geoinformatie en ICT (AGI), <http://www.ososs.nl/article.jsp?article=16015>.

Schutzberg, A, 1995. Bringing GIS to CAD A Developer's Challenge, GIS World, Vol. 8, No. 5, May 1995, pp. 48-54.

Simonse, M., 2000. 3DTOP10, Integratie van TOP10vector en het AHN, Afstudeerscriptie TU Delft, 70 p.

Smaalen, J.W.M. van, 2003. Automated aggregation of geographic objects—A new approach to the conceptual generalisation of geographic databases. PhD thesis, Wageningen University, the Netherlands.

Smith, A., M. Dodge and S. Doyle, 1998. Visual Communication in Urban Planning and Urban design. Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, CASA-paper 2, June 1998.

STEP-on-a-page, 2004. www.mel.nist.gov/sc5/soap/soapgrf030407.pdf.

Sun, M., J. Chen and A. Ma, 2002. Construction of Complex City Landscape with the support of CAD Model, ISPRS Comm. V, WG V/6, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science (ISSN: 1682-1777, Volume: XXX IV Part No.: 5/W3), International Workshop on Visualization and Animation Of Landscape, Kunming, China, 26 February - 1 March 2002.

Tryfona, N., and C.S. Jensen, 1999. Conceptual data modelling for spatiotemporal applications. In: GeoInformatica, 3, pp. 245–268.

UMN MapServer, 2005. <http://mapserver.gis.umn.edu/>

Van der Most, A., 2004. An algorithm for overlaying 3D features using a tetrahedral network, MSc Thesis TU Delft, 96 p.

Verbree, E., G. van Maren, F. Jansen and M.-J. Kraak, 1999. Interaction in virtual world views, linking 3D GIS with VR, International Journal of Geographical Information Science, 13, 4, pp. 385-396.

Vosselman, George and Sander Dijkman, 2001. 3D Building model reconstruction from point clouds and ground plans. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIV-3/W4:37-43.

Vries, J. de, 2001. Driedimensionale buffering op basis van tetraeder netwerken, Opslag en analyse in een 3D GIS, afstudeerscriptie, Delft.

W3C, 2004. World Wide Web Consortium, OWL Web Ontology Language (Overview), W3c Recommendation, 10 February 2004.

Worboys, M.F., 1994. Unifying the spatial and temporal components of geographical information. In Advances in GIS: Proceedings of the 6th Symposium on Spatial Data Handling, edited by T. Waugh and R. Healey (London: Taylor & Francis), pp. 505–517.

Appendix A. Verschillen tussen CAD and GIS

In hoeverre de volgende uitspraken over de verschillen tussen CAD en GIS ‘waar’ zijn (de meeste zijn afkomstig uit de literatuur) is afhankelijk van het perspectief van de betrokken personen/partijen. Deze uitspraken zijn bedoeld als illustratie van de diverse verschillen tussen CAD en GIS in algemene zin en kunnen daarom nauwelijks worden beschouwd als ‘absolute waarheid’. Daarnaast zijn wij van mening dat deze algemene opinie over deze zaak in de loop van de tijd onderhevig is aan verandering, aangezien ook de systemen die voor CAD en GIS worden gebruikt (en impliciet hiermee de definitie daarvan) veranderen. Hieronder worden waarden van 1 tot en met 5 toegekend om aan te geven in hoeverre volgens de auteurs van dit rapport een uitspraak waar is of op verschillende momenten in de tijd in het algemeen als zodanig zal worden (of werd) ervaren (1=onwaar, 2=soms waar, 3=meestal waar, 4=vrijwel altijd waar, 5=bijzonder waar).

	Uitspraak over CAD en GIS	10 jaar geleden	Van-daag	Over 10 jaar
1	CAD biedt (vrijwel) geen thematische kenmerken; GIS biedt vrijwel onbeperkte kenmerken (vaak door middel van een DBMS-oplossing).	5	3	1
2	CAD heeft een 3D-geometrie met weinig of geen topologie (bijvoorbeeld gesloten ruimtes, in de 3D-ruimte gedefinieerd door oppervlakken); GIS heeft 2D/2.5D-geometrie met een tweedimensionale topologische structuur.	5	4	3
3	CAD heeft geen voorzieningen voor het modelleren van gedrag; Object georiënteerd GIS is begonnen met het modelleren van gedrag.	4	4	3
4	CAD kent omvangbeperkingen van gegevenssets (voor het beheren van objecten die relevant zijn voor het ontwerpproject); GIS kent gegevenssets zo groot als de wereld.	5	3	2
5	Bij CAD gaat het meestal om door mensen gemaakte objecten; bij GIS zowel om natuurlijke als door mensen gemaakte objecten.	4	4	4
6	Bij CAD gaat het meestal om één (complex) object/product (eventueel bestaande uit vele onderdelen); bij GIS gaat het om veel (eenvoudige) objecten die zijn opgenomen in dezelfde ruimte (en sommige van die objecten hebben expliciete relaties met elkaar).	4	4	4
7	Bij CAD wordt uitgegaan van een orthogonale wereld in 2D of 3D; bij GIS is het mogelijk om allerlei verschillende coördinatensystemen te gebruiken voor het modelleren van een bolvormige (ellipsoïde of zelfs geoïde) wereld.	5	5	5
8	CAD kan al dan niet zijn verbonden met de fysieke wereld; GIS is altijd verbonden met de fysieke wereld.	5	5	5
9	CAD ondersteunt meer complexe geometrische types (krommen, ‘splines’, ‘surface patches’, etc.); GIS heeft te maken met eenvoudigere geometrische types (op basis van rechte lijnen en platte vlakken).	5	4	3
10	GIS en CAD maken gebruik van verschillende concepten en betekenissen (verschillende semantiek op basis van verschillende, maar verwante, begrippenkaders/ontologieën).	5	4	2
11	CAD is gebaseerd op ontwerpen (gevolgd door analyse en berekening); GIS is gebaseerd op het verzamelen van gegevens (landmeten, remote sensing, fotogrammetrie), gevolgd door analyse.	5	4	4
12	CAD houdt verband met projecten (het ontwerp van een specifieke omgeving gevolgd	5	4	3

	door aanpassing van de omgeving); GIS houdt verband met voortdurend veranderende fenomenen (bijvoorbeeld veranderingen in de topografie). Een proces op projectbasis leidt tot een oplossing op basis van een bestand, voor één gebruiker, terwijl een continu (registratie)proces leidt tot een oplossing op basis van een DBMS, voor meerdere gebruikers.			
13	Bij CAD wordt naar de bewegingen van de onderdelen van een product gekeken in relatie tot het functioneren van het complete object; bij GIS wordt naar beweging (verandering van locatie en vorm in de tijd) gekeken in de context van transformaties van de feitelijke wereld (zowel in het verleden als in de toekomst) in ruimte-tijd modellen.	4	4	4
14	CAD-systemen zijn 'standaard' voorzien van ondersteuning voor goede 3D-visualisatie (op 2D-schermen); GIS is meestal beperkt tot 2D-visualisaties (soms met beperkte 3D-uitbreidingen).	5	4	3
15	CAD-systemen maken het mogelijk om driedimensionale coördinaten in te voeren of te digitaliseren; GIS is (meestal) beperkt tot de invoer van tweedimensionale gegevens.	5	5	4
16	CAD-systemen worden niet alleen voor buitensituaties gebruikt, maar ook voor binnensituaties (van aan het aardoppervlak gerelateerde objecten); GIS heeft alleen te maken met de (van buiten zichtbare) representatie van buitenobjecten.	5	5	4
17	Texturen zijn in CAD-systemen belangrijker (voor realistisch 'renderen') dan in GISen.	4	3	2

Eerder verschenen rapporten:

1. GISSt Report No. 1, Oosterom, P.J. van, Research issues in integrated querying of geometric and thematic cadastral information (1), Delft University of Technology, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2000, 29 p.p.
2. GISSt Report No. 2, Stoter, J.E., Considerations for a 3D Cadastre, Delft University of Technology, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2000, 30 p.
3. GISSt Report No. 3, Fendel, E.M. en A.B. Smits (eds.), Java GIS Seminar, Opening GDMC, Delft 15 November 2000, Delft University of Technology, GISSt. No. 3, 25 p.p.
4. GISSt Report No. 4, Oosterom, P.J.M. van, Research issues in integrated querying of geometric and thematic cadastral information (2), Delft University of Technology, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2000, 29 p.p.
5. GISSt Report No. 5, Oosterom, P.J.M. van, C.W. Quak, J.E. Stoter, T.P.M. Tijssen en M.E. de Vries, Objectgerichtheid TOP10vector: Achtergrond en commentaar op de gebruikersspecificaties en het conceptuele gegevensmodel, Rapport aan Topografische Dienst Nederland, E.M. Fendel (eds.), Delft University of Technology, Delft 2000, 18 p.p.
6. GISSt Report No. 6, Quak, C.W., An implementation of a classification algorithm for houses, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2001, 13 p.
7. GISSt Report No. 7, Tijssen, T.P.M., C.W. Quak and P.J.M. van Oosterom, Spatial DBMS testing with data from the Cadastre and TNO NITG, Delft 2001, 119 p.
8. GISSt Report No. 8, Vries, M.E. de en E. Verbree, Internet GIS met ArcIMS, Delft 2001, 38 p.
9. GISSt Report No. 9, Vries, M.E. de, T.P.M. Tijssen, J.E. Stoter, C.W. Quak and P.J.M. van Oosterom, The GML prototype of the new TOP10vector object model, Report for the Topographic Service, Delft 2001, 132 p.
10. GISSt Report No. 10, Stoter, J.E., Nauwkeurig bepalen van grondverzet op basis van CAD ontgravingsprofielen en GIS, een haalbaarheidsstudie, Rapport aan de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, Delft 2001, 23 p.
11. GISSt Report No. 11, Geo DBMS, De basis van GIS-toepassingen, KvAG/AGGN Themamiddag, 14 november 2001, J. Flim (eds.), Delft 2001, 37 p.
12. GISSt Report No. 12, Vries, M.E. de, T.P.M. Tijssen, J.E. Stoter, C.W. Quak and P.J.M. van Oosterom, The second GML prototype of the new TOP10vector object model, Report for the Topographic Service, Delft 2002, Part 1, Main text, 63 p. and Part 2, Appendices B and C, 85 p.
13. GISSt Report No. 13, Vries, M.E. de, T.P.M. Tijssen en P.J.M. van Oosterom, Comparing the storage of Shell data in Oracle spatial and in Oracle/ArcSDE compressed binary format, Delft 2002, .72 p. (Confidential)
14. GISSt Report No. 14, Stoter, J.E., 3D Cadastre, Progress Report, Report to Concernstaf Kadaster, Delft 2002, 16 p.
15. GISSt Report No. 15, Zlatanova, S., Research Project on the Usability of Oracle Spatial within the RWS Organisation, Detailed Project Plan (MD-NR. 3215), Report to Meetkundige Dienst – Rijkswaterstaat, Delft 2002, 13 p.
16. GISSt Report No. 16, Verbree, E., Driedimensionale Topografische Terreinmodellering op basis van Tetraëder Netwerken: Top10-3D, Report aan Topografische Dienst Nederland, Delft 2002, 15 p.
17. GISSt Report No. 17, Zlatanova, S. Augmented Reality Technology, Report to SURFnet bv, Delft 2002, 72 p
18. GISSt Report No. 18, Vries, M.E. de, Ontsluiting van Geo-informatie via netwerken, Plan van aanpak, Delft 2002, 17 p.
19. GISSt Report No. 19, Tijssen, T.P.M., Testing Informix DBMS with spatial data from the cadastre, Delft 2002, 62 p.
20. GISSt Report No. 20, Oosterom, P.J.M. van, Vision for the next decade of GIS technology, A research agenda for the TU Delft the Netherlands, Delft 2003, 55 p.
21. GISSt Report No. 21, Zlatanova, S., T.P.M. Tijssen, P.J.M. van Oosterom and C.W. Quak, Research on usability of Oracle Spatial within the RWS organisation, (AGI-GAG-2003-21), Report to Meetkundige Dienst – Rijkswaterstaat, Delft 2003, 74 p.
22. GISSt Report No. 22, Verbree, E., Kartografische hoogtevoorstelling TOP10vector, Report aan Topografische Dienst Nederland, Delft 2003, 28 p.
23. GISSt Report No. 23, Tijssen, T.P.M., M.E. de Vries and P.J.M. van Oosterom, Comparing the storage of Shell data in Oracle SDO_Geometry version 9i and version 10g Beta 2 (in the context of ArcGIS 8.3), Delft 2003, 20 p. (Confidential)
24. GISSt Report No. 24, Stoter, J.E., 3D aspects of property transactions: Comparison of registration of 3D properties in the Netherlands and Denmark, Report on the short-term scientific mission in the CIST – G9 framework at the Department of Development and Planning, Center of 3D geo-information, Aalborg, Denmark, Delft 2003, 22 p.
25. GISSt Report No. 25, Verbree, E., Comparison Gridding with ArcGIS 8.2 versus CPS/3, Report to Shell International Exploration and Production B.V., Delft 2004, 14 p. (confidential).
26. GISSt Report No. 26, Penninga, F., Oracle 10g Topology, Testing Oracle 10g Topology with cadastral data, Delft 2004, 48 p.
27. GISSt Report No. 27, Penninga, F., 3D Topography, Realization of a three dimensional topographic terrain representation in a feature-based integrated TIN/TEN model, Delft 2004, 27 p.
28. GISSt Report No. 28, Penninga, F., Kartografische hoogtevoorstelling binnen TOP10NL, Inventarisatie mogelijkheden op basis van TOP10NL uitgebreid met een Digitaal Hoogtemodel, Delft 2004, 29 p.

29. GIST Report No. 29, Verbree, E. and S. Zlatanova, 3D-Modeling with respect to boundary representations within geo-DBMS, Delft 2004, 30 p.
30. GIST Report No. 30, Penninga, F., Introductie van de 3e dimensie in de TOP10NL; Voorstel voor een onderzoekstraject naar het stapsgewijs introduceren van 3D data in de TOP10NL, Delft 2005, 25 p.
31. GIST Report No. 31, Asperen, P. van, M. Grothe, S. Zlatanova, M. de Vries, T. Tijssen, P. van Oosterom and A. Kabamba, Specificatie datamodel Beheerkaart Nat, RWS-AGI report/GIST Report, Delft, 2005, 130 p.
32. GIST Report No. 32, Fendel, E.M., Looking back at Gi4DM, Delft 2005, 22 p.
33. GIST Report No. 33, Oosterom, P. van, T. Tijssen and F. Penninga, Topology storage and the use in the context of consistent data management, Delft 2005, 54 p.
34. GIST Report No. 34/3D Topo Report RGI-011-01, Verbree, E., F. Penninga en N. Bakker, RGI 3D Topo - DP 1-1, Inventarisatie huidige toegankelijkheid, gebruik en mogelijke toepassingen 3D topografische informatie en systemen,, Delft 2005, 35 p.
35. GIST Report No. 35, 3D Topo Report No. RGI-011-02, Verbree, E. F. Penninga en S. Zlatanova, Datamodellering en datastructurering voor 3D topografie, Delft 2005, 44 p.
36. GIST Rapport No. 36/RGI LBS-026-01, Looijen, W., M. Uitentuis en P. Bange, RGI-026: LBS-24-7, Tussenrapportage DP-1: Gebruikerswensen LBS onder redactie van E. Verbree en E. Fendel, Delft 2005, 21 p.
37. GIST Rapport No. 37/RGI LBS-026-02, Strien, C. van, W. Looijen, P. Bange, A. Wilcsinszky, J. Steenbruggen en E. Verbree, RGI-026: LBS-24-7, Tussenrapportage DP-2: Inventarisatie geo-informatie en -services onder redactie van E. Verbree en E. Fendel, Delft 2005, 21 p.
38. GIST Rapport No. 38/ RGI LBS-026-03, Verbree, E., S. Zlatanova en E. Wisse, RGI-026: LBS-24-7, Tussenrapportage DP-3: Specifieke wensen en eisen op het gebied van plaatsbepaling, privacy en beeldvorming, onder redactie van E. Verbree en E. Fendel, Delft 2005, 15 p.
39. GIST Rapport No. 39/ RGI LBS-026-04, Verbree, E., E. Fendel, M. Uitentuis, P. Bange, W. Looijen, C. van Strien, E. Wisse, A. Wilcsinszky en E. Verbree, RGI-026: LBS-24-7, Eindrapportage DP-4: Workshop 28-07-2005 Geo-informatie voor politie, brandweer en hulpverlening ter plaatse, Delft 2005, 18 p.

