

Kartografische hoogtevoorstelling binnen TOP10NL

Inventarisatie mogelijkheden op basis van TOP10NL
uitgebreid met een Digitaal Hoogtemodel

ir. Friso Penninga

ISBN:

ISSN: 1569-0245

© 2004

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: gist@TU Delft.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.

De sectie GIS technologie aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van adviezen.

Deze publicatie is het resultaat van het onderzoeksprogramma van het Delft Centre for Sustainable Urban Areas, onderdeel van de Technische Universiteit Delft.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
2 Probleembeschrijving en oplossingsrichting	3
2.1 Problemen bij het afleiden van hoogtevoorstellingen	3
2.2 Oplossingsrichting voor het afleiden van hoogtevoorstellingen	5
3 Hoogtemodellen in het Basismodel Geo-Informatie	7
3.1 Mogelijkheden voor vastleggen hoogte in de nieuwe NEN 3610	7
3.2 Voor Topografische Dienst Kadaster geschikte mogelijkheden	11
3.2.1 Geschikte geometrietypen op basis van punten	11
3.2.2 Geschikte geometrietypen op basis van oppervlakken	11
3.2.3 Keuze van geometrietype voor het hoogtemodel in de TOP10NL	12
4 Afleiden hoogtevoorstelling uit TOP10NL en DHM	15
4.1 Kartografische presentatie van het terrein	15
4.2 Kartografische presentatie van terreinelementen	17
4.3 Mogelijkheden van ESPA voor het afleiden van hoogtevoorstelling	23
5 Conclusies en aanbevelingen	25
5.1 Conclusies	25
5.2 Aanbevelingen	26
Literatuur	29

1 Inleiding

Dit rapport is het tweede in een serie van vier en volgt op het rapport "Kartografische hoogtevoorstelling TOP10vector" [12]. In dat rapport is een inventarisatie gemaakt van topografische elementen in de TOP10vector met een hoogtecomponent. Momenteel is de datastructuur voor de objectgerichte TOP10NL [2] vrijwel klaar en komt de conversie van TOP10vector naar TOP10NL aan de orde. Voorlopig zal voor kaartproductie nog gebruik gemaakt worden van de Microstation Designfiles. Het is echter de bedoeling om later ook de kaartproductie op basis van de objecten in de TOP10NL te laten plaatsvinden. Dit betekent dat er een duidelijker onderscheid tussen het digitaal terrein model en het digitaal kartografisch model gemaakt zal gaan worden. Om deze scheiding tot stand te kunnen brengen, zal ook een geschikte hoogtevoorstelling afgeleid moeten kunnen worden uit de objecten. Dit rapport gaat in op de vraag van de Topografische Dienst Kadaster hoe dat mogelijk is. Dat het afleiden van de cartografische representatie uit objecten niet eenvoudig is en dat dit niet alleen een Nederlands probleem is, blijkt uit het volgende citaat uit de specificaties van het Britse Digital National Framework (DNF) [7]: 'DNF also currently includes cartographic text and symbol features, which remain in the data because of our inability to currently assign all textual and symbolic information to the topographic features they describe'.

Dit rapport begint in hoofdstuk 2 met een verdere beschrijving van knelpunten bij het afleiden van een hoogtevoorstelling uit de huidige TOP10NL en geeft een oplossingsrichting aan, die draait om het toevoegen van een niet-geïntegreerd digitaal hoogtemodel. Tegelijk met dit onderzoek wordt de NEN 3610, het Terreinmodel Vastgoed, vernieuwd tot het objectgerichte Basismodel Geo-Informatie [1] (ook wel aangeduid met NEN 3610 versie 2). Hoewel een groot deel van de TOP10NL structuur deel uitmaakt van deze nieuwe standaard is nog niet direct duidelijk hoe een digitaal hoogtemodel ingepast zou moeten worden. Hoofdstuk 3 richt zich op het verkrijgen van duidelijkheid op dit punt. In hoofdstuk 4 zal voor alle topografische elementen met een hoogtecomponent, zoals in het eerdere rapport over kartografische hoogtevoorstelling [12] beschreven, worden aangegeven hoe de hoogtevoorstelling afgeleid kan worden uit de TOP10NL, aangevuld met een digitale hoogtemodel. Het rapport sluit af met conclusies in hoofdstuk 5.

2 Probleembeschrijving en oplossingsrichting

2.1 Problemen bij het afleiden van hoogtevoorstellingen

Het afleiden van een geschikte hoogtevoorstelling vanuit de objecten in de Top10NL is nu nog niet goed geregeld. Vaak is er sprake van pragmatische tijdelijke oplossingen om toch hetzelfde kaartbeeld uit de TOP10NL te kunnen genereren als uit de oude TOP10vector. De objecttypen waarbij dit het meest in het oog springt zijn taluds en ongelijkvloerse kruisingen.

Taluds werden in de TOP10vector weergegeven met een gerichte lijn (vaak gedigitaliseerd uit ouder materiaal) met als codering bijvoorbeeld ‘rechts omlaag’, om zo vast te leggen aan welke zijde de schrabjes geplaatst dienen te worden. Deze schrabjes zijn weer afzonderlijke geometrieën die langs deze lijn met vaste tussenafstand geplaatst werden. In gevallen waarbij dit geen bevredigend resultaat gaf, werden enkele schrabjes verwijderd of handmatig verplaatst.



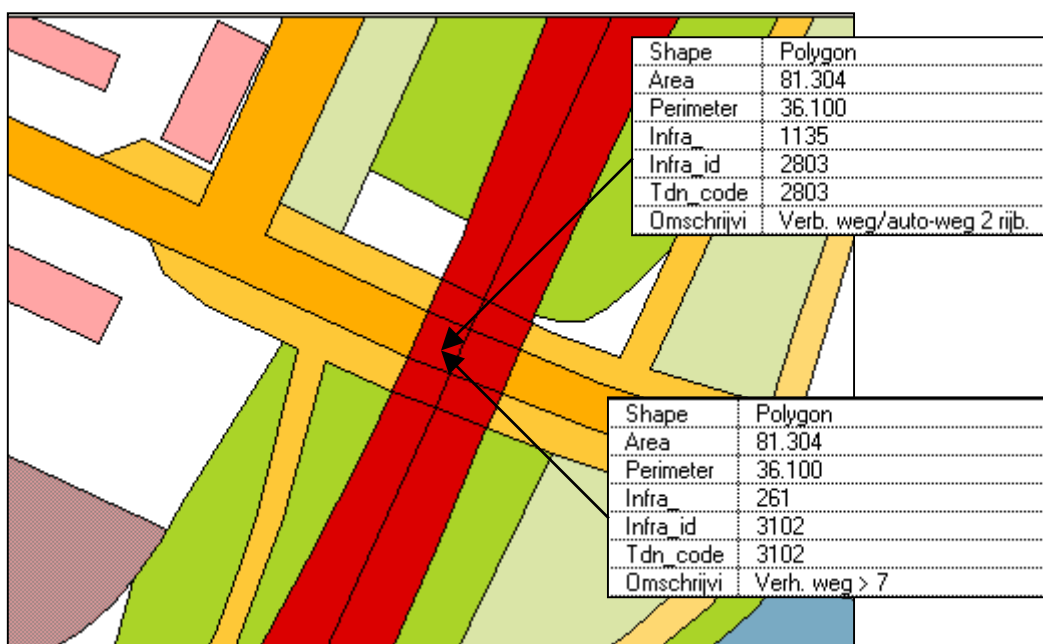
Figuur 2.1 Schuine schrabjes geven een lage dijk weer en rechte een hoge dijk (fragment uit papieren 1:25.000 Topkaart)

In de TOP10NL was het oorspronkelijke idee om taluds als gesloten vlakken weer te geven, waarbij meerdere coderingen mogelijk waren, bijvoorbeeld ‘weiland’ en ‘talud’. Om tot dergelijke vlakken te komen, zou de onderzijde van de schrabjes (zoals beschikbaar in de TOP10vector) als input kunnen dienen, evenals inwinning door de topograaf. Vervolgens kunnen de uiteinden van boven- en onderkant van het talud met elkaar verbonden worden, om zo een gesloten vlak te verkrijgen. Aangezien de TOP10NL structuur voorziet in driedimensionale geometrieën, zouden de grenzen

van het talud-vlak in 3D vastgelegd kunnen worden, waarmee duidelijk wordt welke lijn boven en welke lijn onder ligt. Met behulp van een aanvullend algoritme zouden de schrabjes dan automatisch tussen beide lijnen geplaatst kunnen worden.

De 3D geometrie wordt op dit moment echter nog niet gebruikt en daarom is er voor een alternatieve methode gekozen. Er zijn nu in plaats van een vlakobject meerdere lijnobjecten gecreëerd, vaak op de kant van wegen: de reliëfobjecten. Onderaan het talud is ook een dergelijke lijn gecreëerd en zo zijn momenteel per talud twee afzonderlijke lijnobjecten beschikbaar. Tussen deze twee lijnen kunnen vervolgens de schrabjes geplaatst worden. De exacte ligging van de lijnen wordt primair bepaald door de gewenste ligging van de schrabjes en dus niet noodzakelijkerwijs door de daadwerkelijke begrenzingen van het talud.

Bij viaducten hoopte men met de introductie van de TOP10NL structuur op een oplossing voor de beperkte mogelijkheden van de huidige codering die aangeeft of een wegvlak van boven zichtbaar is of niet (code eindigend op '3' resp. '2'). In figuur 2.2 is hier een voorbeeld van gegeven. De polygoon waar de pijlen naar wijzen komt twee keer voor, een keer als deel van de oranje weg (TDN_code 3100 (overige aanbevolen bewegwijzerde route voor gemengd verkeer, een rijbaan, breder dan 7 meter)) en een keer als deel van de rode weg (TDN_code 2800 (overige aanbevolen bewegwijzerde route voor autoverkeer met gescheiden rijbanen)). De 3 in 2803 geeft aan dit vlak van bovenaf zichtbaar is, de rode weg gaat dus over de oranje weg heen.



Figuur 2.2 Laatste cijfer codering geeft aan of een vlak zichtbaar is van bovenaf of niet (fragment uit digitale TOP10vector in ArcView)

Aangezien deze codering slechts een onderscheid in twee categorieën kent (wel of niet zichtbaar) en het lastig is om te reconstrueren welke weg (de west-oost weg of de noord-zuid weg in figuur 2.2) boven en welke onder ligt (bij ongelijkvloerse kruisingen van wegen uit de zelfde categorie), was het de intentie om in de TOP10NL structuur hier een betere oplossing voor te vinden. De structuur biedt hiervoor twee mogelijkheden. In de 3D geometrie of eventueel zelfs alleen in het optionele hoogte attribuut zou kunnen worden vastgelegd hoe hoog (in absolute

hoogte) de wegvlakken liggen om hieruit te kunnen bepalen welke wegdelen waarop aansluiten en welk wegvlak in de kaart getekend moet worden. Wederom geldt dat de 3D geometrie niet beschikbaar is, net als de hoogte om het hoogte attribuut te vullen, waardoor het niet eenvoudig mogelijk is om te bepalen welke wegdelen op elkaar aansluiten.

Om de situatie toch enigszins te verbeteren ten opzichte van de TOP10vector structuur is de wel/niet zichtbaar classificatie vervangen door een niveau codering. Met de niveaus wordt de volgorde van boven naar beneden vastgelegd, dus niveau 0 is het bovenste niveau, niveau -1 ligt daaronder, -2 weer daaronder enzovoort. Hiermee kan in complexe situaties (denk aan verkeerspleinen) waarbij meer dan twee wegen elkaar kruisen, in ieder geval de onderlinge ligging bepaald worden. Het blijft echter lastig om te bepalen welke wegdelen samen een weg vormen, omdat opeenvolgende wegdelen nog steeds als bijvoorbeeld 0, 0, -3, -2, 0, -1, 0 gecodeerd kunnen worden, waarmee de vraag overeind blijft aan welk kruisingsvlak een naastgelegen wegdeel gekoppeld moet worden. De relatie weg-wegdeel kan echter wel vastgelegd worden in de naamgeving.

Naast de bovengenoemde objecttypen, waarbij voor de hoogtevoorstelling een aantal pragmatische 'work-arounds' zijn gevonden, zijn er ook problemen die nog helemaal niet opgelost zijn in de nieuwe structuur. De schaduwing is hier een goed voorbeeld van. De schaduwing is verouderd, aangezien deze ooit handmatig vervaardigd is op basis van de toenmalige situatie. Deze schaduwing wordt apart bewaard en bij kaartproductie over de kaart heen gelegd, waardoor nu vaak schaduw en hoogtelijnen (die wel steeds opnieuw afgeleid worden uit het up-to-date hoogtepuntenbestand) niet overeen komen. Deze schaduwing zou beter kunnen worden afgeleid uit de AHN [8], zoals al aangegeven in het eerdere rapport in deze serie [12]. Voor de vervaardiging van hoogtelijnen is het de vraag of het nodig is om hiervoor gebruik te maken van het AHN of dat de punt dichtheid van TOP10MD (één hoogtepunt per hectare) volstaat voor deze toepassing.

2.2 Oplossingsrichting voor het afleiden van hoogtevoorstellingen

Het spreekt voor zich dat voor het afleiden van een hoogtevoorstelling de beschikking over enige vorm van hoogtegegevens vereist is. Deze hoogtegegevens kunnen echter op vier verschillende manieren beschikbaar zijn:

Objecten volledig in 3D beschreven

In de ideale situatie is de 3D geometrie beschikbaar als eigenschap van een object. Dit betekent dat van een weiland niet alleen de grenzen in 3D bekend zijn, maar ook de vorm van het weiland zelf, dus dat bijvoorbeeld ook glooiingen binnen het weiland zijn vastgelegd. Een dergelijke representatie kan worden verkregen door in een datastructuur een terreinmodel te combineren met de topografische objecten. Deze aanpak wordt voorgesteld in onder andere [6] en [11].

Objecten met 3D grenzen

Een tweede manier om hoogtegegevens te combineren is het vastleggen van de grenzen van topografische objecten in drie dimensies. Hierbij mist de informatie over de vorm van het object zelf, maar voor een aantal

toepassingen is die vorminformatie ook niet nodig. Bij een vlakobject 'talud' is het van belang om te weten in welke richting de schrabjes geplaatst moeten worden en dat kan bepaald worden op basis van 3D grenzen. Voor het afleiden van schaduwingen of hoogtelijnen volstaat de 3D grenzen aanpak echter niet.

2D Objecten met een hoogteattribuut

Een derde vorm om hoogtegegevens toe te voegen aan objectgegevens is het gebruik van een hoogteattribuut, waarmee één representatieve hoogte voor een object wordt vastgelegd. Een dergelijke hoogte legt direct de relatie tussen ongelijkvloers kruisende weggedelen vast, maar is weer niet bruikbaar bij taluds, omdat het daarbij juist draait om *hoogteverschil*.

Hoogtemodel los van objecten

Voor voorgaande drie aanpakken geldt dat ze vergaande gevolgen hebben voor het data inwinnings- en beheersproces. Voor de vierde methode geldt dit echter niet. Het is een zeer pragmatische aanpak waarbij de hoogtegegevens niet met de objectgegevens worden geïntegreerd, maar alleen tijdens bewerkingsstappen de relevante hoogtegegevens worden opgevraagd. Dit zou betekenen dat in de objectstructuur ook een apart digitaal hoogtemodel opgeslagen moet worden.

Op dit moment heeft de Topografische Dienst Kadaster behoefte aan een pragmatische oplossing. Daarom wordt in het volgende hoofdstuk bepaald in welke vormen een los hoogtemodel conform de nieuwe NEN 3610 standaard aan de TOP10NL structuur toegevoegd kan worden.

3 Hoogtemodellen in het Basismodel Geo-Informatie

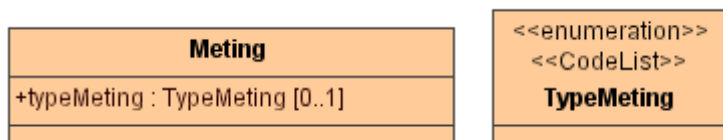
3.1 Mogelijkheden voor vastleggen hoogte in de nieuwe NEN 3610

Hoewel een groot deel van de TOP10NL structuur deel uitmaakt van het voorgestelde nieuwe Basismodel Geo-Informatie (NEN3610), is nog niet direct duidelijk op welke wijze een niet geïntegreerd DHM in het model ingepast zou moeten worden. In de laatste versie van de nieuwe NEN3610 zijn ook de feature types FT_meting en FT_reliëf opgedoken, waarvan de constructie niet bijzonder fraai gevonden wordt, omdat deze typen te veel op sectorniveau zijn gedefinieerd.

In het Basismodel Geo-Informatie is op het hoogste abstractieniveau één objectklasse gedefinieerd, namelijk de abstracte klasse GeoObject. In het Basismodel Geo-Informatie is een GeoObject gedefinieerd als "een abstractie van een fenomeen uit de werkelijkheid dat impliciet of expliciet geassocieerd is met een locatie relatief ten opzichte van het aardoppervlak" ([1], p.21). Hiermee voegt deze definitie van een GeoObject iets toe aan de definitie van een Object "een abstractie van een fenomeen uit de werkelijkheid" ([1], p.5). Deze definitie is letterlijk overgenomen uit de ISO 19101 Geographic information – Reference model [3], waarin voor object de term feature wordt gehanteerd. De abstracte klasse GeoObject is onderverdeeld in vijftien sub- of basisklassen (zie ook figuur 3.2 op de volgende pagina):

- Negen klassen van concrete objecten: Weg, Spoorbaan, Water, Terrein, Gebouw, Kunstwerk, Waterkering, Leiding en Inrichtingselement
- Registratieve gebieden
- Functionele gebieden
- Planologische gebieden
- Geografische gebieden
- Meting en Reliëf

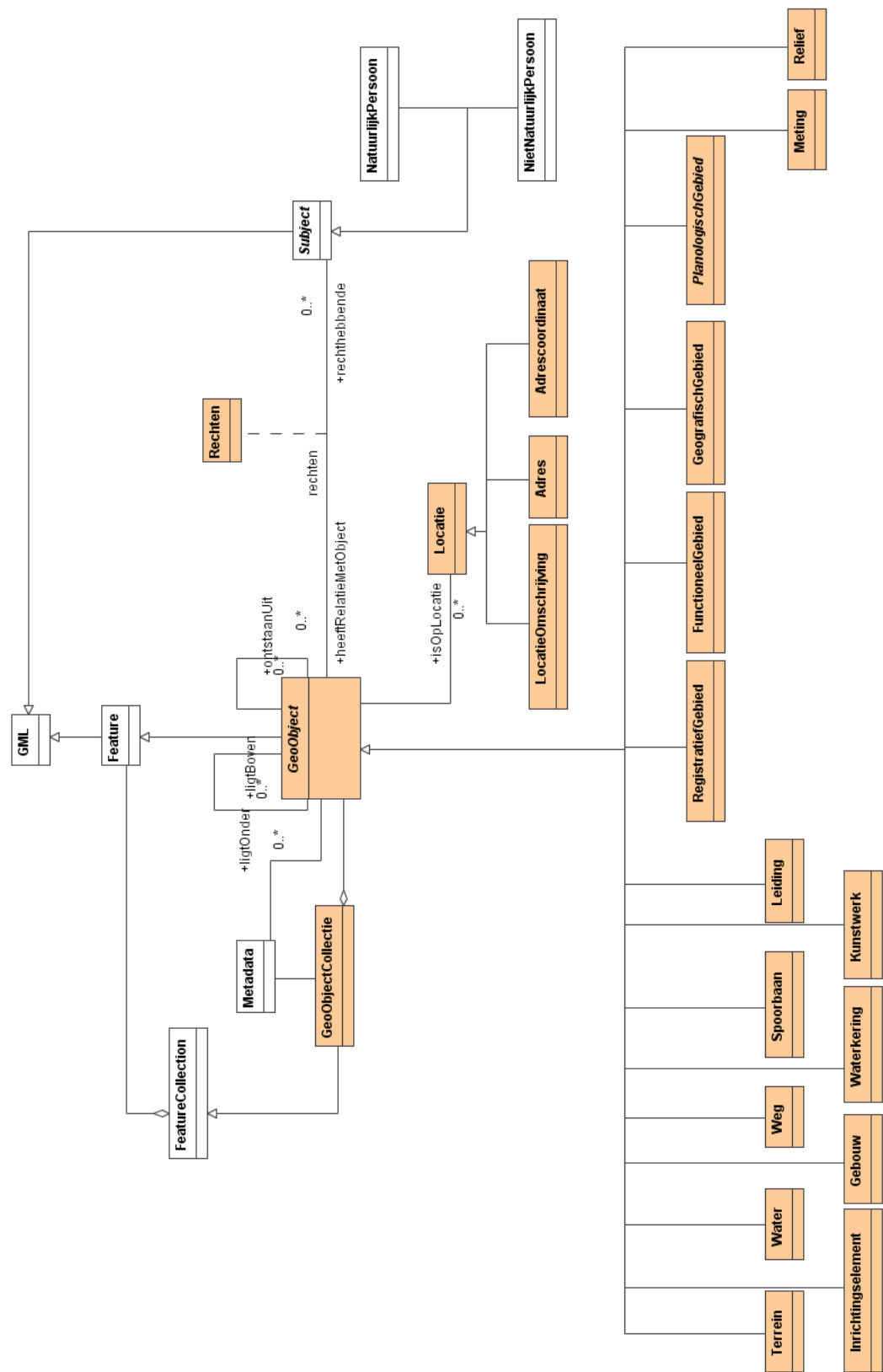
De laatste twee klassen zijn opvallend. De klasse meting wordt gedefinieerd als een "aanduiding van een plaats of gebied waar een meting is/wordt verricht" ([1], p.43). Deze klasse is bedoeld om metingen die op een bepaalde locatie zijn verricht, vast te leggen. Als voorbeelden worden onder andere vervuiling en geluidsniveau genoemd. Deze klasse is deels gebaseerd op een klasse afkomstig uit IMWA.



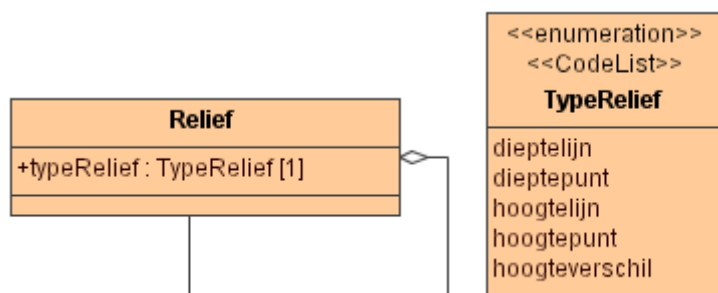
Figuur 3.1 Feature type meting

De klasse reliëf is nieuw en niet gebaseerd op een reeds bestaande klasse. Reliëf is gedefinieerd als een "locatie waarvan een hoogte, hoogteverschil of diepte aangeduid wordt" ([1], p.43). Deze klasse lijkt erg op de klasse meting, alleen gaat het nu

specifiek om een hoogte(meting) op een bepaalde locatie. In eerdere versies waren Meting en Reliëf samen één type.



Figuur 3.2 Hoogste niveaus van het Basismodel Geo-Informatie [1]



Figuur 3.3 Feature type Reliëf

Zoals te zien in figuur 3.3 lijken de toepassingsmogelijkheden van deze objectklasse beperkt tot het opslaan van punten en lijnen. Een vlakgerichte beschrijving van het terreinoppervlak, zoals een Digital Terrain Model, zou hier niet direct inpassen. Echter, bij dit object is de enumeratielijst van het type CodeList, wat inhoudt dat deze lijst uitgebreid mag worden. Bij uitwisseling van gegevens dient het zelf gedefinieerde type voorafgegaan te worden door het woord 'other'. Bijvoorbeeld:

```

<nen3610:typeRelief>hoogtepunt</nen3610:typeRelief>
<nen3610:typeRelief>other:terreinoppervlak</nen3610:typeRelief>
  
```

Hoewel deze uitbreiding volledig voldoet aan de eisen die de nieuwe NEN3610 zal stellen, is deze situatie toch niet ideaal, zeker niet als de definitie van Reliëf nogmaals bekeken wordt. In deze definitie spreekt men duidelijk van een locatie, wat niet direct overeen lijkt te komen met een terreinoppervlak. Aangezien de nieuwe NEN3610 op moment van schrijven nog niet is vastgesteld maar als zogenaamde 'groene versie' nog eenmaal voor commentaar wordt rondgestuurd, bestaat de mogelijkheid voor de Topografische Dienst Kadaster om te proberen om wijzigingen door te laten voeren. Drie typen wijzigingen lijken interessant:

Wijziging van de naam van de klasse

De naam Reliëf roept al vraagtekens op. Volgens de digitale versie van het Van Dale Groot woordenboek der Nederlandse Taal (versie 1.3 Plus) luidt de definitie van reliëf "het uitsteken of uitkomen boven iets anders". Ook de meer specifieke definitie "de natuurlijke oneffenheid van een oppervlak" geeft aan dat reliëf betrekking heeft op hoogteverschil en niet zozeer op hoogte. In de ogen van de auteur ligt het niet voor de hand om dieptelijnen of hoogtepunten onder de noemer reliëf te brengen. Als alternatief wordt voorgesteld om de naam van de klasse te wijzigen in Hoogte.

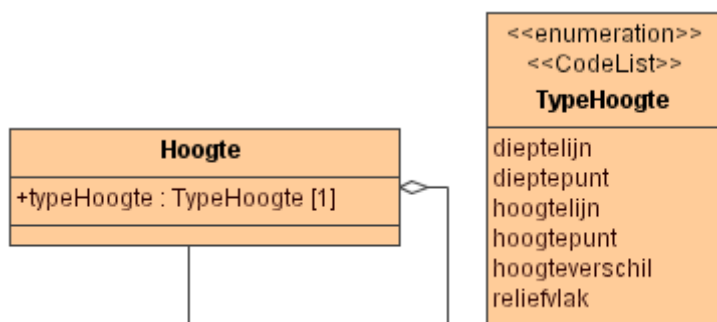
Wijziging van de definitie

De huidige definitie gaat erg uit van een locatie en is daarmee te beperkt om alle vormen van gebruik van het datatype te beschrijven. Voorgesteld wordt om (samen met de wijziging van de naam van de klasse) de definitie te verruimen tot "Object waarmee de (absolute) hoogte van het aardoppervlak of de (relatieve) hoogte ten opzichte van het aardoppervlak wordt gerepresenteerd". In deze definitie wordt onderscheid gemaakt tussen absolute hoogte, waaronder o.a. hoogtepunten, hoogtelijnen en een terreinoppervlak vallen, en relatieve hoogte, waaronder o.a. hoogteverschillen en diepte vallen. Er is in de definitie weloverwogen gekozen voor de term

'aardoppervlak' omdat deze ook gebruikt wordt in de definitie van een GeoObject. Het woord 'terrein' is bewust vermeden in de definitie, aangezien dit ook de naam is van één van de negen klassen concrete objecten binnen de 15 basisklassen. Er is juist gepoogd om met de definitie aan te geven dat de hoogtebeschrijving niet geïntegreerd is met concrete topografische objecten als Weg, Spoorbaan en Terrein.

Wijziging van de enumeratielijst met typen

In de huidige lijst staan nu alleen punt- en lijntypen en geen vlakgebaseerde typen. Voor veel toepassingen zijn vlakgebaseerde typen echter zeer nuttig. Als de wens al bestaat om een aantal typen vooraf te definiëren, dan lijkt het goed om minimaal één vlakgebaseerd type toe te voegen. Voorgesteld wordt om de enumeratielijst uit te breiden met het type "Relieflak" (refererend aan de tweede genoemde definitie van Reliëf in de Van Dale), "Surface" of "Terreinoppervlak", al bestaat in dit laatste geval weer wel het risico op lichte verwarring doordat terrein ook een klassenaam is.



Figuur 3.4 Voorgestelde wijzigingen van feature type Reliëf

De aggregatie-associatie van Hoogte met zichzelf geeft onder andere de mogelijkheid om een hoogtelijn op te bouwen uit meerdere hoogtepunten. Naast de vraag hoe het mogelijk is om een hoogtebeschrijving binnen de nieuwe NEN3610 klassen vast te leggen, is het de vraag hoe de geometrie van deze hoogtebeschrijving vastgelegd wordt. Het Basismodel Geo-Informatie zegt hierover:

"Ieder GeoObject moet direct of indirect een geometrie hebben. (...) In ISO 19107 is een uitgebreide selectie van ObjectTypes aanwezig die gebruikt kan worden als ruimtelijk type." ([1], p.44)

Alhoewel deze formulering de indruk wekt dat het vastleggen van geometrie op basis van een ISO 19107 type optioneel is ("...gebruikt *kan* worden..."), is van één van de auteurs vernomen dat de intentie bestaat om in de definitieve versie van het Basismodel Geo-Informatie hier een nadrukkelijke verplichting van te maken. Nu is het verplicht gebruiken van ISO 19107 typen nauwelijks een beperking te noemen, aangezien een snelle telling in de inhoudsopgave van deze standaard [4] al ruim 50 verschillende typen opleverde, waarbij op basis van die ruim 50 typen ook nog eens tal van samengestelde typen mogelijk zijn.

Concluderend kan gesteld worden dat het mogelijk is om binnen de regels van het nieuwe Basismodel Geo-Informatie een niet-geïntegreerd hoogtemodel toe te voegen aan de TOP10NL structuur. Een dergelijk hoogtemodel past binnen het feature type

FT_Reliëf. Toch valt het aan te bevelen om te proberen de naam en de definitie van deze klasse te laten wijzigen in FT_Hoogte en "object waarmee de (absolute) hoogte van het aardoppervlak of de (relatieve) hoogte ten opzichte van het aardoppervlak wordt gerepresenteerd". Dit is echter geen absoluut vereiste voor het opslaan van een niet-geïntegreerd hoogtemodel. Dit is ook mogelijk door een nieuw type reliëf te definiëren in de CodeList. Hoewel het natuurlijk belangrijk is om goed na te denken over de naamgeving van een dergelijk nieuw type, is het ook zeer van belang om dat nieuwe type voor de buitenwereld helder te definiëren door gebruik te maken van een geometrietype uit de ISO 19107 – Spatial reference standaard. In de volgende paragraaf wordt hierop nader ingegaan.

3.2 Voor Topografische Dienst Kadaster geschikte mogelijkheden

Zoals gesteld in de vorige paragraaf zijn er tal van mogelijke geometrietypen beschikbaar in de ISO 19107 [4]. In de geschikte typen valt een tweedeling aan te brengen, namelijk in de typen die uitgaan van (een set van) punten en in de typen die op basis van punten een oppervlak beschrijven. In beide gevallen zou kunnen worden uitgegaan van bijvoorbeeld het Actueel Hoogtebestand Nederland.

3.2.1 Geschikte geometrietypen op basis van punten

De meest eenvoudige mogelijkheid is het loslaten van het idee dat de set hoogtepunten een geheel vormt (en samen een terrein beschrijft) en elk punt afzonderlijk als hoogtepunt te modelleren. Voor elk punt zou dan voor de geometrie een GM_Point gebruikt kunnen worden. Gevolg hiervan is wel dat een enorme hoeveelheid nieuwe objecten ontstaat. Om dit te voorkomen zou ook gekozen kunnen worden om de set als GM_multipoint op te slaan. Deze multipoint bestaat weer uit allemaal afzonderlijke punten, maar heeft als voordeel dat er slechts één object ontstaat (bijvoorbeeld AHN) met één geometrie (GM_multipoint). Pas op lager niveau ontstaan de relaties naar alle afzonderlijke punten. Bij deze aanpak wordt er echter geen rekening gehouden met het gegeven dat de ligging van de punten onderling (in het x,y-vlak) ook volgens een bepaald patroon verloopt. Als de hoogtepunten in een regelmatig grid bekend zijn, kan er gebruik gemaakt worden van de typen GM_PointArray en GM_PointGrid. In een PointArray kan een reeks (rij) punten worden opgenomen en in een PointGrid kunnen dergelijke rijen (mits van gelijke lengte) worden samengevoegd tot een grid (raster):

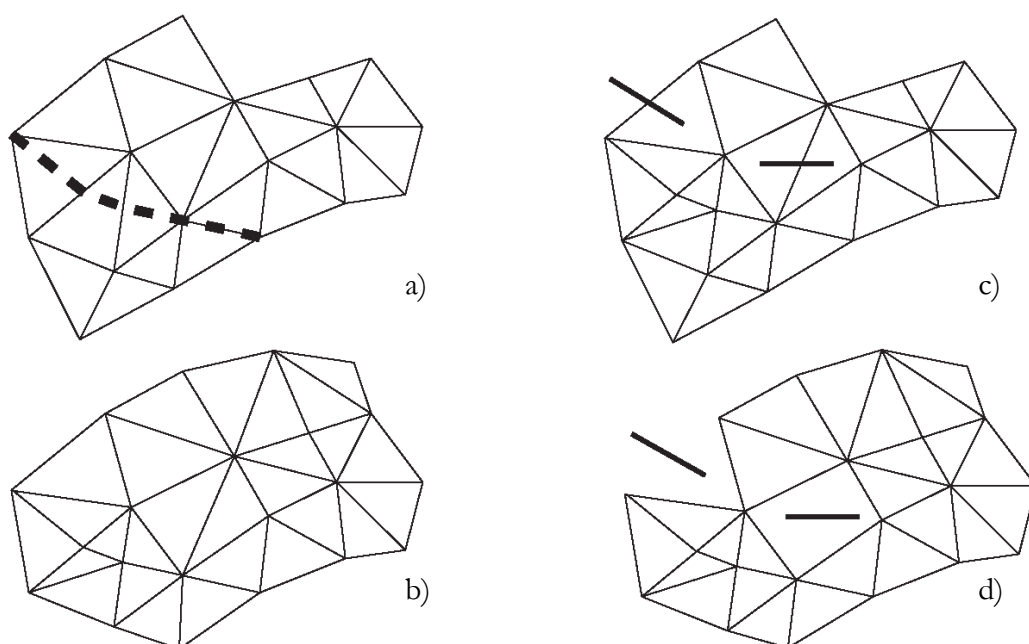
```
GM_PointArray::column[1..n] : GM_Position
GM_PointGrid::row[1..n] : GM_PointArray
```

3.2.2 Geschikte geometrietypen op basis van oppervlakken

Het meest algemene surface geometrietype in ISO 19107 is GM_Surface. Dit is een oppervlak dat is opgebouwd door het op de grenzen aansluiten van GM_SurfacePatches, waarbij voor een GM_Surface niet is vastgelegd welke vorm de SurfacePatches hebben. Deze patches kunnen ook vastgelegd worden met tal van interpolatiemethoden, zoals CubicSplines en Bsplines. Dergelijke surface representaties worden veel gebruikt in bijvoorbeeld de fysische geodesie en de CAD wereld, maar zijn minder gangbaar in GIS representaties. Daarin zijn surfaces meestal

opgebouwd uit een bepaald geometrietype. Een voorbeeld van een dergelijke representatie is de GM_PolyhedralSurface, dat een GM_Surface is opgebouwd uit platte polygonen (GM_Polygons). Een ander voorbeeld is GM_TriangulatedSurface, een oppervlak opgebouwd uit platte driehoeken.

Het meest interessante geometrietype in de ISO 19107 voor het vastleggen van een hoogtemodel is GM_Tin. GM_Tin is een verbijzondering van een GM_TriangulatedSurface, waarbij een GM_Tin "een GM_TriangulatedSurface is dat wordt geconstrueerd met een Delaunay of vergelijkbaar algoritme en dat om kan gaan met breaklines en stoplines" ([4], p.81). Dit surface kan 2.5D zijn, oftewel per x,y-locatie kan één hoogtewaarde toegekend worden. Breaklines worden gedefinieerd als "lines of a critical nature to the shape of the surface, representing local ridges, or depressions (such as drainage lines) in the surface" ([4], p.81). Dergelijke breaklines kunnen worden ingewonnen door de topograaf om er zo zeker van te zijn dat kenmerkende terreineigenschappen terugkomen in het hoogtemodel, om zo de herkenbaarheid te vergroten. Stoplines zijn gedefinieerd als "lines where the local continuity or regularity of the surface is questionable" ([4], p.81). Door het invoegen van stoplines verdwijnt een klein deel van de surface uit de representatie, om zo om te kunnen gaan met plotselinge hoogteverschillen (bijvoorbeeld de randen van een afgraving, denk aan de mergelaafgraving op de Pietersberg). Van beide gevallen is in figuur 3.5 een voorbeeld gegeven. Aan het TIN in figuur 3.5a wordt een kenmerkende breakline toegevoegd (de stippellijn) met het TIN in figuur 3.5b als resultaat. Hieraan worden (3.5c) twee stoplines toegevoegd, resulterend in twee onderbrekingen in het TIN (3.5d).

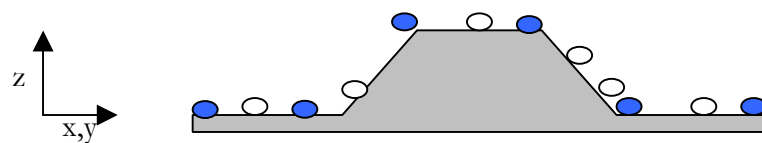


Figuur 3.5 GM_Tin constructie met invoegen van breaklines en stoplines (bron: [4], p.81)

3.2.3 Keuze van geometrietype voor het hoogtemodel in de TOP10NL

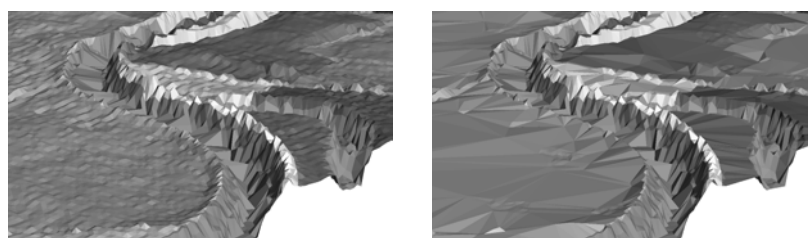
Hiervoor is gebleken dat er meerdere geometrietypen gebruikt kunnen worden voor het uitbreiden van de TOP10NL structuur met een hoogtemodel. De verschillende puntdata typen hebben als voordeel dat ze goed aansluiten op het karakter van

beschikbare hoogtedatasets zoals het AHN. Het AHN wordt immers meestal geleverd als puntgrid en kan daarmee eenvoudig als verzameling van puntgeometrieën in de uitgebreide TOP10NL structuur worden ingevoegd. Als nadeel geldt dat het om zeer grote hoeveelheden punten gaat. Bij het AHN geleverd in 5x5 meter grid gaat het om ruim 1,6 miljard punten (Nederland ruim 40.000 km², 1 km² = 40.000 AHN punten). Een dergelijke ruimtelijke resolutie is nodig als je bijvoorbeeld bij een talud wilt kunnen bepalen welke zijde de bovenkant is en welke zijde de onderkant. Tegelijkertijd zijn er echter heel veel punten die niets toevoegen aan de terreinbeschrijving, omdat ze met meerdere punten in vlak vallen. In figuur 3.6 is dit in een dwarsdoorsnede geïllustreerd.

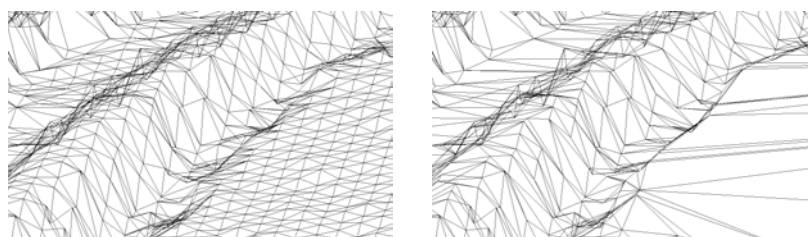


Figuur 3.6 Dwarsdoorsnede van het terrein met relevante (blauw) en irrelevante hoogtepunten (wit)

Het grote voordeel van een surface representatie en dan met name van een TIN is niet zozeer dat er al een terreinoppervlak beschikbaar is in plaats van alleen een aantal punten, maar dat de resolutie van de terreinbeschrijving afhankelijk kan zijn van de benodigde puntdichtheid. In gebieden met veel reliëf kunnen veel punten (en dus driehoeken) gebruikt worden om de vorm van het terrein te beschrijven en in relatief vlakke gebieden kan worden volstaan met weinig punten en driehoeken, waardoor aanzienlijke besparingen mogelijk zijn. In [5] en [10] zijn filteringen beschreven die op basis van hellingsverandering kenmerkende hoogtepunten selecteren uit bijvoorbeeld het AHN en zo een TIN opbouwen met zo min mogelijk punten dat toch een goede beschrijving vormt van het terreinoppervlak. Datareducties van 50 [5] tot ruim 70 [10] procent bleken haalbaar op AHN data. In figuren 3.7 en 3.8 zijn enkele resultaten van een dergelijke filtering te zien. Goed zichtbaar is dat er veel driehoeken gebruikt worden op plaatsen met veel reliëf en weinig in de vlakkere delen.



Figuur 3.7 Detail van filtering resultaat: voor (links) en na (rechts) filtering [10]



Figuur 3.8 Detail van filtering resultaat: voor (links) en na (rechts) filtering [10]

De flexibiliteit in resolutie van een TIN, waarmee de dataomvang drastisch is terug te brengen, aangevuld met de mogelijkheden die veel softwarepakketten bieden om op basis van TINs hoogtelijnen en schaduwingen af te leiden, leidt tot de conclusie dat een TIN het meest geschikte datatype is voor het hoogtemodel. Voorgesteld wordt om het hoogtemodel als FT_Relief (FT_Hoogte) op te slaan, met een zelf gedefinieerde naam voor TypeRelief (type Relieflak voor TypeHoogte) en GM_Tin als bijbehorende geometrie.

4 Afleiden hoogtevoorstelling uit TOP10NL en DHM

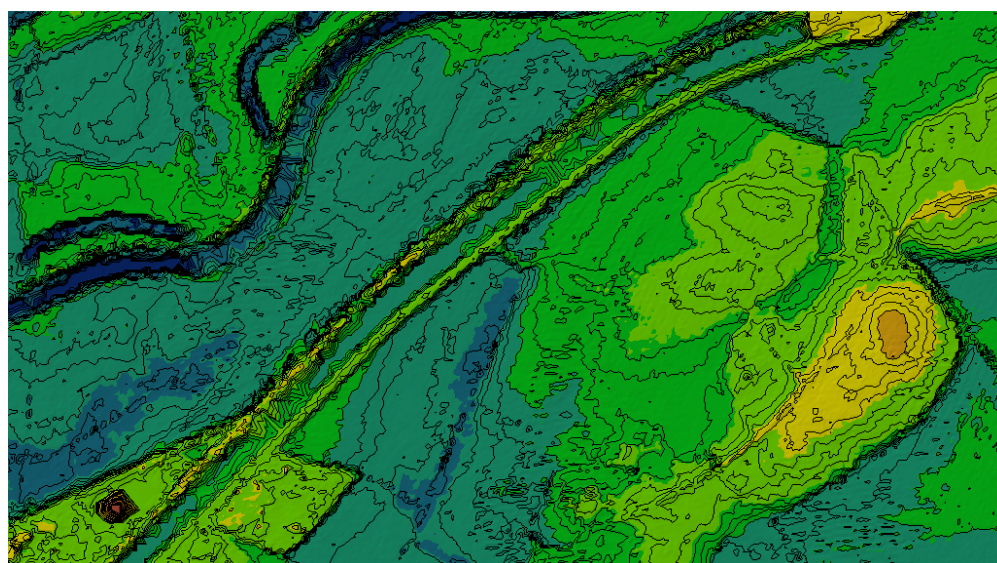
In het eerste rapport uit deze serie van vier [12] is een onderscheid gemaakt tussen de kartografische presentatie van het terrein en de kartografische presentatie van terreinelementen. Dit onderscheid zal ook in dit hoofdstuk worden aangebracht. In dit hoofdstuk worden alle in [12] geïdentificeerde topografische elementen met een hoogtevoorstelling behandeld en zal per element bekeken worden of en hoe de gewenste hoogtevoorstelling kan worden afgeleid uit de TOP10NL, aangevuld met een Digitaal Hoogtemodel.

4.1 Kartografische presentatie van het terrein

De volgende kartografische hoogtevoorstellingen werden tot nu toe afgeleid uit de TOP10MD (gemiddeld één punt per hectare):

Hoogtelijnen

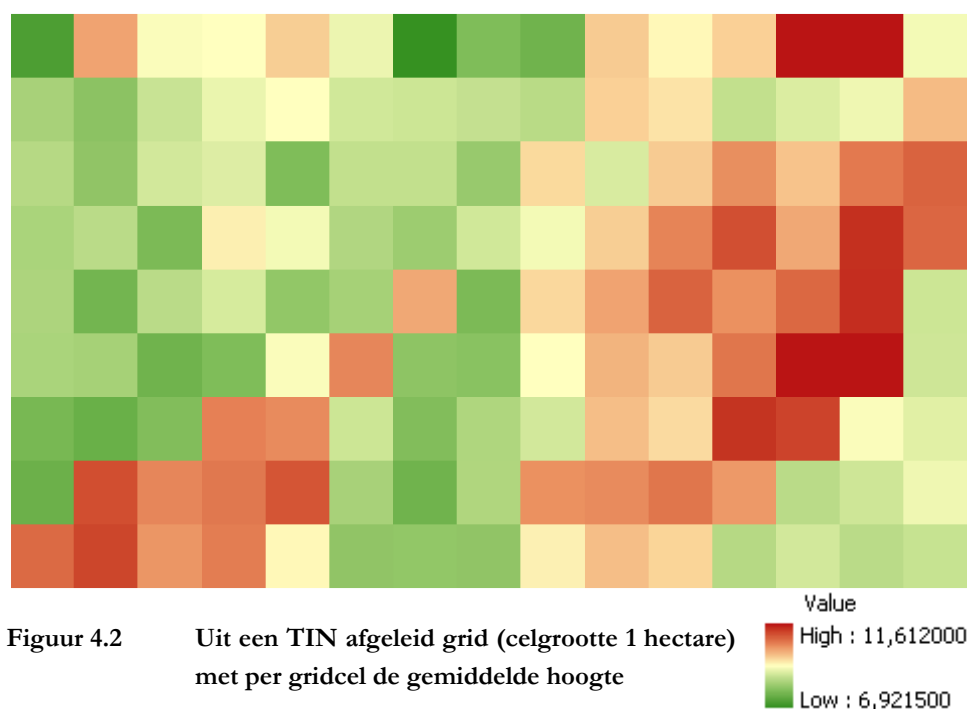
Hoogtelijnen kunnen berekend worden op basis van een TIN, waarbij punten met gelijke hoogte met elkaar verbonden worden. Afhankelijk van de softwareomgeving is het soms ook mogelijk om te zorgen dat deze hoogtelijnen voldoende 'smooth' verlopen. Om enigszins een indruk te geven van de mogelijkheden in figuur 4.1 een klein stukje AHN waarbij met behulp van de 3D Analyst extensie van ArcGIS 9 hoogtelijnen zijn gegenereerd. Omdat er geen AHN datasample van echt heuvelachtig terrein beschikbaar was, is hier gekozen voor kleine intervallen tussen de hoogtelijnen om zo toch een indruk te kunnen geven van de mogelijkheden. De hoogtelijnen zoals weergegeven hebben nog geen nabewerking ondergaan. Zichtbaar is dat zowel generalisatie als smoothing nog toegepast moeten worden om een rustig hoogtelijnen beeld te verkrijgen.



Figuur 4.1 Uit een TIN op basis van het AHN (5x5 meter) afgeleide hoogtelijnen

Hoogtecijfers / hoogtepunten

Bij kaartproductie worden nu 2 à 3 kenmerkende hoogtepunten per vierkante kilometer opgenomen. Op deze punten worden de bijbehorende hoogtecijfers afgedrukt. Dergelijke hoogtepunten zouden ook, al dan niet automatisch, uit het hoogtemodel kunnen worden geselecteerd. Het is zowel mogelijk om algoritmes te gebruiken om kenmerkende hoogtepunten te selecteren (bijvoorbeeld lokale minima of maxima) als om juist representatieve hoogtes voor een bepaald gebied af te leiden. De eerste optie is niet standaard beschikbaar in ArcGIS, de tweede wel. Het in figuur 4.2 afgebeelde grid is afgeleid uit het TIN uit figuur 4.1, waarbij voor elke gridcel (van een hectare) de gemiddelde hoogte is bepaald. Uit een dergelijk raster kan snel een representatieve hoogte op een bepaalde locatie worden opgevraagd.



Figuur 4.2 Uit een TIN afgeleid grid (celgrootte 1 hectare)
met per gridcel de gemiddelde hoogte

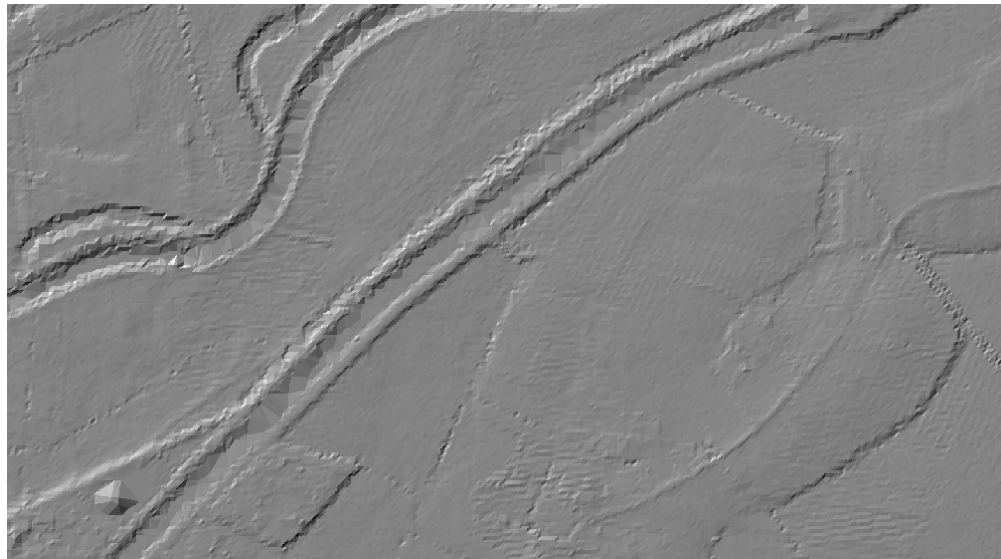
Naast de twee kartografische hoogtevoorstellungen die worden afgeleid uit de TOP10MD (en waarvoor ook een ander hoogtemodel gebruikt kan worden) zijn er in [12] ook twee hoogtevoorstellungen van het terrein geïdentificeerd die nu niet worden afgeleid uit de TOP10MD:

Dieptelijnen

De reden dat dieptelijnen niet uit de TOP10MD worden afgeleid is eenvoudig dat het alleen hoogtes beschrijft op land. Ook in laserscandatasets zoals het AHN is dit het geval; in deze methode ontbreekt ook de hoogte van het wateroppervlak omdat water als eigenschap heeft dat het de laserpulsen absorbeert en daarmee hoogtemeting onmogelijk maakt. Als gevolg hiervan zitten er 'gaten' in het AHN, oftewel punten waarop geen hoogte bekend is. Indien dieptemetingen beschikbaar komen, zijn deze heel goed te integreren in een hoogte TIN, omdat deze punten in de gaten in het AHN zullen vallen.

Duinschaduwing

De duinschaduwing zoals die nog steeds aan het kaartbeeld wordt toegevoegd is ooit (omstreeks 1975) handmatig vervaardigd door een kartograaf van de Topografische Dienst. Door de tijd heen is deze nooit meer bijgewerkt, waardoor de duinschaduwing niet meer overeenkomt met de (wel geactualiseerde) hoogtelijnen. Het berekenen van een schaduwering is zeer goed mogelijk op een TIN en standaard functionaliteit in vrijwel elke softwareomgeving die met TINs om kan gaan. In figuur 4.3 is een voorbeeld te zien van een schaduwering die is berekend met behulp van de 3D Analyst in ArcGIS 9. De gebruikte dataset bevat niet echt veel heuvels, maar de werking is langs de dijken goed zichtbaar.



Figuur 4.3 Schaduwering afgeleid uit het TIN met behulp van ArcGIS 9

Schaduwering wordt in GIS-pakketten vrijwel zonder uitzondering berekend op basis van TINs. In eenvoudigere pakketten wordt ook vaak gewerkt met hoogtegrijs als uitgangspunt. Vaak bestaan dergelijke aanpakken uit twee fases, waarbij eerst een schaduwering wordt berekend die vervolgens in een tekenpakket als Photoshop wordt nabewerkt. Uitvoerige beschrijvingen van de mogelijkheden van tal van eenvoudige softwarepakketten zijn te vinden op de websites Reliefshading [14] en Shadedrelief [15].

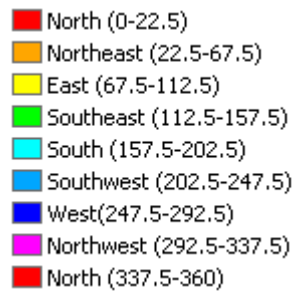
4.2 Kartografische presentatie van terreinelementen

In [12] zijn verschillende terreinelementen geïdentificeerd die een bepaalde hoogtevoorstelling krijgen. Deze worden hieronder (soms gegroepeerd) behandeld:

Hoogteverschillen en Dijken

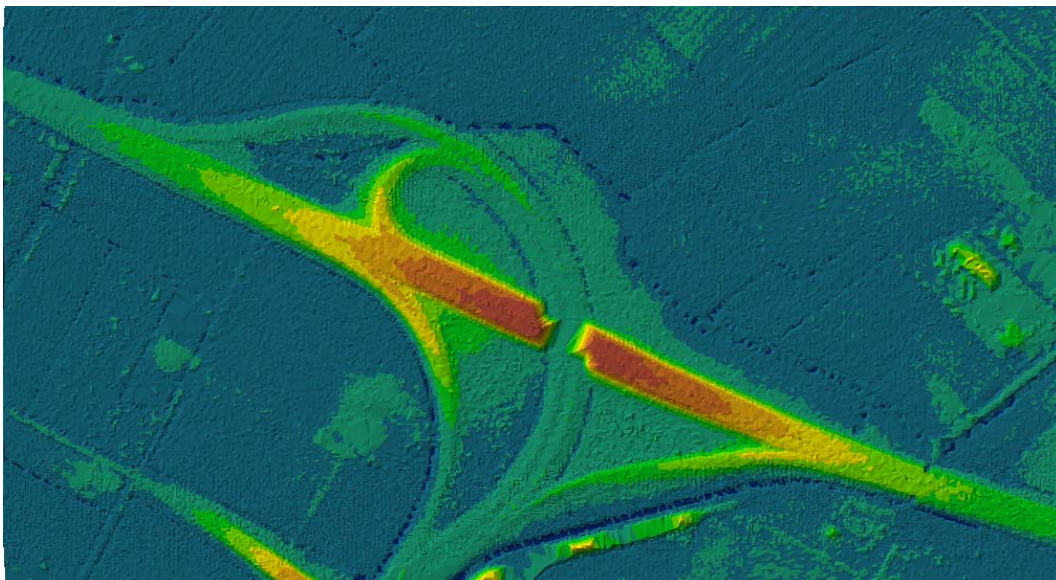
Deze twee categorieën zijn samengenomen omdat ze beide gevisualiseerd worden met behulp van schrabjes. Aan schrabjes is zowel te zien wat boven en wat onder is in het hoogteverschil als in welke richting het hoogteverschil verloopt. In figuur 4.5 is vier keer een TIN weergegeven met daarin o.a. een snelwegviaduct. In figuur 4.5a is het TIN ingekleurd op basis van hoogte, in b

en c op basis van *aspect*, oftewel de richting waarin de driehoek naar beneden loopt, uitgedrukt in graden. 0 graden is noord, 90 oost, etc. (zie figuur 4.4)

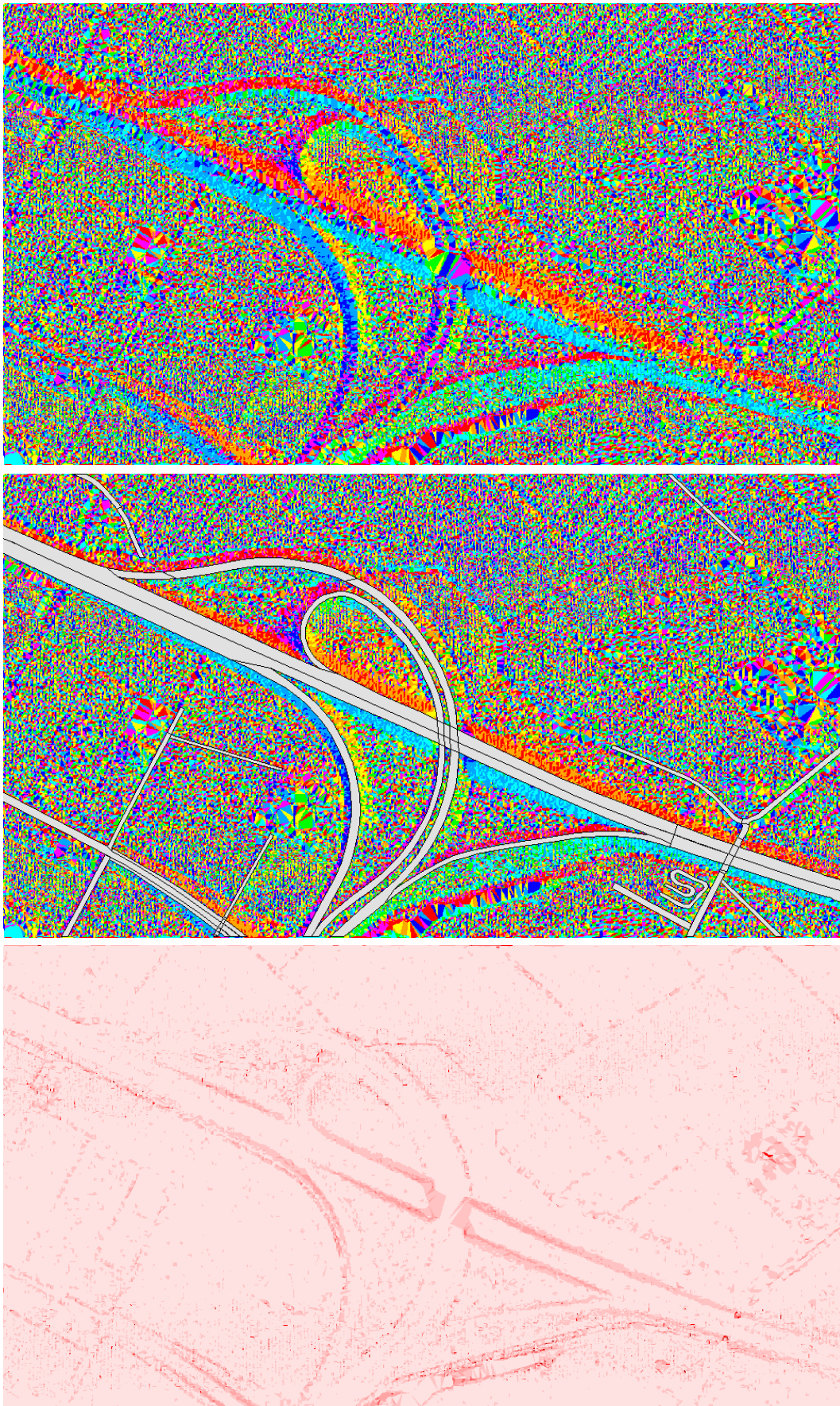


Figuur 4.4 Legenda *aspect* kaart

In de figuren 4.5b en c is goed te zien dat bij duidelijke hoogteverschillen, zoals bij taluds, vrijwel alle driehoeken in dezelfde richting aflopen. Op vrijwel vlakke gebieden verschillen de *aspects* van driehoeken enorm. Zeker als ter verduidelijking ook de wegen op het TIN worden afgebeeld (figuur 4.5c), is duidelijk zichtbaar dat de taluds af te leiden zijn uit de data uit het hoogtemodel. Als nu de driehoeken met vergelijkbare *aspect* geclusterd worden, ontstaan vlakobjecten van taluds. De gemiddelde *aspect* is ook direct de richting waarin de schrabjes getekend moeten worden. Binnen een dergelijk taludvlak kan de taludbreedte bepaald worden, om daarmee de lengte van de schrabjes vast te leggen. Ook de grootte van het hoogteverschil kan zo bepaald worden om in het geval van een dijk de goede classificatie toe te kunnen kennen (wal, lage dijk of hoge dijk). Om de kwaliteit van het resultaat nog verder te vergroten kan naast de *aspect* ook gebruik worden gemaakt van de helling van elke driehoek (figuur 4.5d)



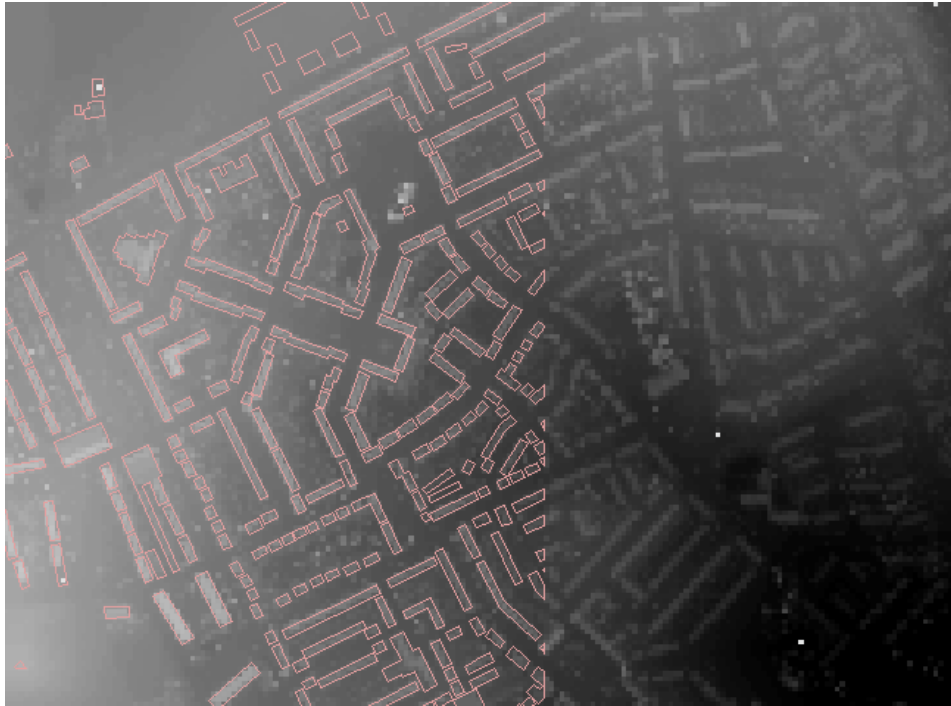
Figuur 4.5a TIN met o.a. een snelwegviaduct, ingekleurd op basis van hoogte



Figuur 4.5b-d TIN ingekleurd op *aspect*, TIN ingekleurd op *aspect* aangevuld met de snelweg en TIN ingekleurd op *helling*

Hoogbouw

Hoogbouw bestaat uit bebouwing van meer dan 10 verdiepingen of hoger dan 35 meter. Deze classificatie is automatisch af te leiden als de gebouwgrenzen gecombineerd worden met een ongefilterd hoogtemodel. In de standaard AHN zijn gebouwen en andere man-made objecten uit de data weggefilterd, maar in de *originele meetgegevens* zijn de gebouwhoogten wel beschikbaar. Als een dergelijk ongefilterd hoogtemodel beschikbaar is, kan voor elk gebouw een hoogte worden opgevraagd, zie figuur 4.6.



Figuur 4.6 Ongefilterde AHN laserdata (licht = hoog, donker = laag), gedeeltelijk gecombineerd met de huizenlaag uit de TOP10

Symbolen

In [12] worden o.a. toren, kerken met toren, watertorens, vuurtorens, windmolens, windturbines, oliepompiinstallaties, seinmasten en zendmasten genoemd als voorbeelden van hoge objecten die met een apart symbool in de kaart verschijnen. Aangezien bij deze objecten de daadwerkelijke hoogte geen rol speelt maar vooral de betekenis (type object) van belang is, kan een hoogtemodel hier weinig toevoegen. Het type object zal nog steeds door de topograaf vastgesteld moeten worden.

Topstakels

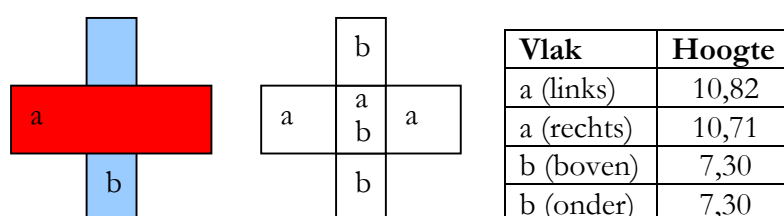
In dit bestand bevinden zich objecten die minimaal 15 meter boven de omgeving uitsteken en binnen een straal van 250 meter vrij liggen. Op het eerste oog lijken dit beslisregels die uitermate geschikt zijn om toe te passen binnen een automatische classificatie, maar helaas is het maar zeer de vraag of er een hoogtebestand is waarin dergelijke obstakels zich nog bevinden. In het geval van het AHN zal een enkele laserpuls die terecht komt op bijvoorbeeld een hoogspanningsmast als uitschieter verworpen worden in de toetsing. De huidige methode van inwinnen, waarbij de situatie in het veld beoordeeld en ingeschat wordt en indien mogelijk later de hoogte stereoscopisch wordt

vastgesteld, zal blijven bestaan. Wel kan overwogen worden om de geschatte of ingemeten hoogten als hoogteattribuut van het object op te nemen in de TOP10NL om zo deze hoogte ook aan afnemers ter beschikking te stellen.

Bruggen en viaducten

Het probleem bij bruggen en viaducten is dat er (planimetrisch gezien) op een plek meerdere objecten zich boven elkaar bevinden. Zowel in de TOP10vector als in de TOP10NL wordt de volgorde van de verschillende objecten middels een codering vastgelegd, waarbij de TOP10NL modellering meer niveaus kan onderscheiden dan de TOP10vector. In een 2.5D hoogtemodel is dit probleem niet direct oplosbaar, aangezien in 2.5D aan elk x,y-coördinaat slechts één hoogte gekoppeld kan zijn. In het hoogtemodel kunnen dus niet de verschillende objecten geometrisch terugkomen.

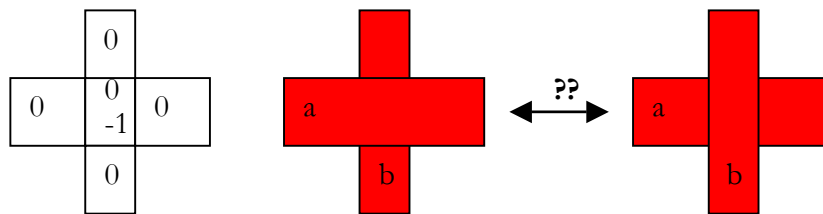
De vraag is dan of het hoogtemodel dan op zijn minst kan helpen bij het vastleggen van de volgorde-codering. In veel gevallen is dit mogelijk, voorwaarde hierbij is echter wel dat de twee boven elkaar liggende objecten van verschillend objecttype zijn. In figuur 4.7 wordt dit schematisch weergegeven. Links in de figuur zijn twee kruisende objecten te zien, a en b, bijvoorbeeld een snelweg die via een brug water kruist. Rechts in de figuur zijn de zes afzonderlijke vlakobjecten te zien die nodig zijn om dit te beschrijven (drie vlakobjecten type a, drie vlakobjecten type b). Als er nu een hoogtemodel beschikbaar is, kan voor de twee objecten type a aan weerszijden van het kruisingsvlak een hoogte worden opgevraagd, net als voor de twee vlakobjecten b. Zoals in de tabel te zien, liggen in dit geval de objecten type a duidelijk hoger dan de objecten type b. Aangezien sprongen in objecten als wegen en waterlopen erg onwaarschijnlijk zijn, kun je nu aannemen dat op het kruisingsvlak object a ook boven object b ligt. Het is mogelijk om de twee hoogten op te nemen in het optionele hoogte attribuut.



Figuur 4.7 Niveaucodering afleiden met behulp van een hoogtemodel

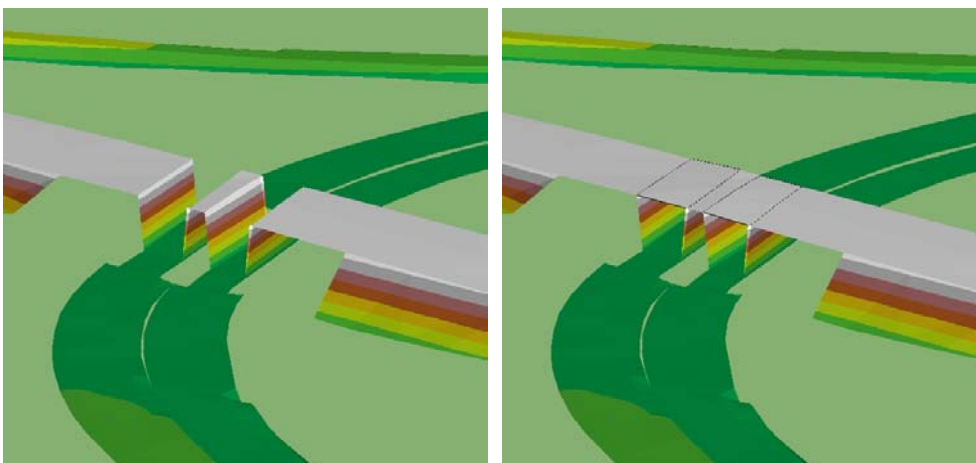
Bij twee kruisende objecten van hetzelfde type gaat dit niet op. In die gevallen zal toch op de huidige manier handmatig de niveaucodering toegekend moeten worden. Het hoogtemodel kan dan echter wel de gebruiker helpen bij de interpretatie van de situatie. In figuur 4.8 is dit weergegeven. Links in deze figuur zijn wederom de zes vlakobjecten te zien. Dit maal zijn ze allen van hetzelfde type en is in de afbeelding per vlakobject het bijbehorende hoogteniveau weergegeven. Zichtbaar is dat er sprake is van een ongelijkvloerse kruising, maar welke weg loopt nu onder en welke boven? Oftewel, is de situatie in werkelijkheid zoals die in het midden van de figuur is weergegeven of zoals die rechts in de figuur is weergegeven? Hierbij kan het bevragen van de hoogtes van de vier omliggende vlakobjecten wederom antwoord bieden. Als we voor het gemak uitgaan van dezelfde hoogten als in het vorige voorbeeld (het tabelletje in figuur 4.7), dan wordt al snel duidelijk

dat weg a over weg b heen loopt. Dit zou echter in de TOP10NL veel beter kunnen worden opgelost door voortaan voor elk wegdeel een verwijzing op te nemen naar het id van de weg waar het wegdeel deel van uitmaakt.



Figuur 4.8 Hoogtemodel helpt bij reconstrueren werkelijke situatie

Een andere mogelijkheid, die echter niet helemaal past in de voorgestelde pragmatische aanpak waarbij hoogte en objecten gescheiden blijven, is de aanpak van Simonse [9]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd multi-layer TIN. In een gewoon TIN kan per x,y-locatie slechts één hoogte voorkomen. Het idee is nu om op plaatsen waar dit niet voldoet (zoals bij viaducten) meerdere TINs op een bepaalde locatie te hebben, om zo toch meerdere hoogten te kunnen representeren. In figuur 4.9 is hier een voorbeeld van gegeven. Links in de figuur is het TIN te zien waar het terrein in zit. Direct valt op dat de weg op het viaduct niet doorloopt. Om dit op te lossen is een tweede TIN-laag gemaakt met daarin de twee overspanningen en gecombineerd geeft dit het resultaat zoals rechts in de figuur te zien. Duidelijk zichtbaar is dat niet de volledige taluds gemodelleerd zijn, maar dat die plotsklaps ophouden. Dit is ongewenst en zou in een eventuele verdere doorontwikkeling voorkomen dienen te worden.



Figuur 4.9 Multilayer TIN aanpak van een viaduct: links de terreinlaag, rechts de terrein- en viaductlaag gecombineerd

Het voordeel van een dergelijke aanpak is dat de modellering de werkelijke situatie veel beter benaderd. Een nadeel hiervan is wel dat de methode vrij bewerkelijk is. Objecten worden geïntegreerd met de hoogtegegevens en de geometrie van een aantal objecten wordt zelfs gewijzigd. Dit laatste gebeurt om te voorkomen dat de taluds die de wegen boven en onder verbinden volledig verticaal worden (dit zou niet in een enkele TIN-laag kunnen). Daarom wordt het kruisende wegvlak dat boven ligt iets vergroot om zo

schuin aflopende taluds te bewerkstelligen. Al met al is deze methode interessant, maar past die niet binnen de pragmatische oplossing van een niet-geïntegreerd hoogtemodel.

Muren en heggen

Muren en heggen hoger dan twee meter worden gekarteerd. Voor deze objecten geldt eigenlijk hetzelfde als voor Topstakels: een geometrische eis voor wat betreft de hoogte lijkt ideaal voor automatische detectie / classificatie, maar is niet mogelijk doordat dergelijke objecten niet voorkomen in de meeste hoogtemodellen

Overige

In [12] worden nog drie typen terreinelementen genoemd met een hoogtecomponent: ingravingen / holle weg, bomenrijen en losse bomen. Indien men het hoogteverschil aan weerszijden van een holle weg wil karteren, kan hiervoor dezelfde techniek gebruikt worden als voor het vastleggen van hoogteverschillen en dijken. Ook bij holle wegen zullen de driehoeken aan weerszijden van de weg een (vrijwel) gelijke *aspect* hebben. Die driehoeken kunnen weer geclusterd worden om vervolgens dat vlak op de gewenste manier in de kaart te verwerken.

Bomenrijen en (grote) losse bomen zijn eventueel te vinden in ongefilterde laserscandata en daarmee qua benadering enigszins te vergelijken met hoogbouw. In vergelijking met hoogbouw hebben bomenrijen en losse bomen echter het nadeel dat deze objecten veel minder duidelijk begrensd zijn, zowel in x,y-richting als in z-richting. Voor wat grotere bomenrijen zou het mogelijk moeten zijn om in ongefilterde data een hoogte te bepalen, al is hierbij de nauwkeurigheid van de hoogte niet vergelijkbaar met de hoogte die op deze manier voor gebouwen kan worden bepaald.

4.3 Mogelijkheden van ESPA voor het afleiden van hoogtevoorstelling

In de vorige twee paragrafen is aangegeven welke hoogtevoorstellingen afgeleid zouden kunnen worden als de TOP10NL uitgebreid wordt met een hoogtemodel. Hierbij is een aantal keer aangegeven of een bepaalde functionaliteit standaard in GIS-pakketten aanwezig is of niet. De vraag is nu welke van deze functies ook in het stereoverwerkingspakket van de Topografische Dienst Kadaster, ESPA, aanwezig zijn. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat binnen de scope van dit onderzoek slechts ruimte was voor het verkennen van de mogelijkheden van ESPA aan de hand van de op internet [13] beschikbare informatie en die was vrij summier. De opdrachtgever zal daarom moeten nagaan of de hier gepresenteerde bevindingen correct en volledig zijn.

Er moet duidelijk gesteld worden dat ESPA in de eerste plaats een softwarepakket is voor het stereoscopisch inwinnen van data uit luchtfoto's en daarmee niet als GIS-pakket geclassificeerd kan worden. Kijkend naar de functionaliteit is dat ook duidelijk te merken, slechts enkele functies zijn aantrekkelijk. EspaCity biedt de mogelijkheid om met hoogtemodellen te werken, maar alleen in grid-vorm. Een interessant klinkende optie is het automatisch berekenen van hoogtemodellen uit de stereobeelden; het verdient aanbeveling de mogelijkheden van deze optie verder te verkennen. In tabel 4.1 is per element

aangegeven of ESPA functionaliteit biedt zoals in de voorgaande paragrafen beschreven.

Objectklasse	Hoogtevoorstelling in ESPA af te leiden ?
Hoogtelijnen	Ja, o.b.v. grid. Hoogtelijnen zijn 'smooth'
Hoogtecijfers / hoogtepunten	Nee, niet automatisch te selecteren
Dieptelijnen	Nee, geen data beschikbaar
Duinschaduwering	Nee, geen functie beschikbaar
Hoogteverschillen en Dijken	Nee, algoritme implementeren lijkt niet mogelijk
Hoogbouw	Nee, niet automatisch te doen
Symbolen	n.v.t.
Topstakels	Ja, wordt nu al gedaan indien mogelijk
Bruggen en viaducten	Nee
Muren en heggen	Nee, niet automatisch, wel handmatig in te meten

Tabel 4.1 Mogelijkheden ESPA voor het afleiden van hoogtevoorstellingen

Uit de tabel blijkt dat EspaCity weinig van de eerder beschreven functionaliteit kan bieden. GIS-pakketten zoals ArcGIS lenen zich beter voor de genoemde mogelijkheden. Ook de beperking van EspaCity om alleen hoogtemodellen in grid-formaat aan te kunnen is een duidelijk nadeel. Zoals eerder beschreven zal de dataomvang van een landsdekkend hoogtemodel met behoorlijke resolutie zeer groot zijn. Juist de mogelijkheden van onregelmatige representaties als een TIN voor het uitvoeren van datareductie is van groot belang voor het handelbaar houden van de dataset.

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit onderzoek is bekeken welke mogelijkheden er zijn voor het afleiden van een kartografische hoogtevoorstelling op basis van de TOP10NL, uitgebreid met een Digitaal Hoogtemodel. Hierbij gaat het om een niet met de objecten geïntegreerd hoogtemodel, dat alleen tijdens het afleiden van hoogtevoorstellingen gebruikt wordt.

5.1 Conclusies

Ten aanzien van de mogelijkheden voor het vastleggen van een hoogtemodel binnen de regels van het Basismodel Geo-Informatie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Een niet met topografische objecten geïntegreerd hoogtemodel past binnen het feature type FT_Relief. FT_Relief kent één verplicht attribuut: TypeRelief. Voor TypeRelief is een enumeratielijst beschikbaar, maar deze is uit te breiden met eigen typen, mits deze bij uitwisseling op de goede wijze worden beschreven, bijvoorbeeld:

```
<nen3610:typeRelief>other:reliefvlak</nen3610:typeRelief>
```

Toch zou het fraaier zijn als er nog enige wijzigingen in de uiteindelijke versie van het Basismodel Geo-Informatie verwerkt kunnen worden, zie de aanbevelingen.

- Het nieuwe relieftype dient wel beschreven te worden met een geometrietype uit de ISO 19107 – Spatial Reference.
- Alhoewel meerdere geometrietypen uit de ISO 19107 in aanmerking komen om een hoogtemodel mee vast te leggen, is GM_Tin de meest geschikte. Deze keuze is gemaakt op basis van de volgende argumenten:
 - Door de flexibiliteit in resolutie van een TIN kan de dataomvang van het hoogtemodel drastisch worden teruggebracht.
 - GM_Tin ondersteunt breaklines en stoplines, beide zeer bruikbaar voor topografische toepassingen.
 - Nuttige bewerkingen als het afleiden van hoogtelijnen en het berekenen van schaduweringen worden in veel gangbare softwarepakketten uitgevoerd op TINs.

Ten aanzien van de mogelijkheden voor het afleiden van kartografische hoogtevoorstelling uit de TOP10NL, aangevuld met een Digitaal Hoogtemodel, kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Het berekenen van hoogtelijnen en schaduwingen op basis van een TIN is standaard functionaliteit in veel softwarepakketten die met TINs kunnen omgaan, zoals ArcGIS in combinatie met de 3D Analyst.
- Voor het bepalen van representatieve terreinhoogten kan goed gebruik worden gemaakt van de functionaliteit om een TIN te converteren naar een grid.
- Voor het afleiden van hoogtevoorstellingen van hoogteverschillen en dijken lijkt de voorgestelde techniek, die uitgaat van het clusteren van driehoeken met vergelijkbare *aspect*, veelbelovend. Een dergelijk algoritme zal vermoedelijk niet echt complex worden, maar moet nog wel ontwikkeld worden. De huidige moeilijkheden rond het afleiden van de schrabjes bij taluds lijken goed oplosbaar op basis van deze nieuwe techniek.
- Het andere bekende probleempunt, de overlappende objecten bij bruggen en viaducten, is niet direct oplosbaar in de 2.5D oplossing die een TIN hoogtemodel is. Wel kan in gevallen van kruisende objecten van verschillende typen het hoogteniveau automatisch worden afgeleid als gebruik wordt gemaakt van het hoogtemodel. Ook kan een benaderde hoogte opgeslagen worden in het optionele hoogteattribuut van de wegvlakken om zo de onderlinge volgorde vast te leggen.
- Indien ongefilterde laserscandata beschikbaar is, kan hoogbouw automatisch geclassificeerd worden en zou aan bomenrijen een hoogte toegekend kunnen worden.

5.2 Aanbevelingen

Op basis van het verrichte onderzoek kunnen een aantal aanbevelingen gedaan worden:

Basismodel Geo-Informatie

Het nieuwe Basismodel Geo-Informatie is bijna gereed, maar de Topografische Dienst Kadaster heeft nog de mogelijkheid om commentaar te leveren op de zogenaamde 'groene versie'. Het is aan te bevelen om, zoals in paragraaf 3.1 uiteengezet is, een aantal wijzigingen voor te stellen om zo de klasse Relief algemener te definiëren. Op basis van dit rapport wordt voorgesteld om de naam te wijzigen van FT_Relief in FT_Hoogte, waarbij een object uit deze klasse gedefinieerd wordt als "object waarmee de (absolute) hoogte van het aardoppervlak of de (relatieve) hoogte ten opzichte van het aardoppervlak wordt gerepresenteerd". Daarnaast dient de enumeratielijst van het attribuut TypeHoogte (voorheen TypeRelief) uitgebreid te worden met een vlakgebaseerd type, waarbij gedacht kan worden aan Reliefvlak, Surface of Terreinoppervlak. Voor de argumenten voor deze voorgestelde wijzigingen wordt verwezen naar paragraaf 3.1

Hoogtemodel binnen TOP10NL

Of binnen de TOP10NL structuur een hoogtemodel beschikbaar komt, is een keuze die aan de Topografische Dienst Kadaster is. Dit rapport toont een aantal interessante mogelijkheden van een dergelijk hoogtemodel. Een belangrijke vraag die binnen dit beperkte onderzoek niet afdoende beantwoord kan worden, is welke resolutie een dergelijk hoogtemodel zou moeten hebben. De aanbeveling is dan ook om nader onderzoek hiernaar te verrichten. Voor de verschillende toepassingen die in dit rapport aan de orde zijn gekomen, zijn ook verschillende resoluties benodigd. Aangezien de benodigde resolutie van het hoogtemodel in belangrijke mate ook de hoogte van de kosten van het invoeren van een hoogtemodel bepaald, is dit een belangrijk punt om te onderzoeken voordat een keuze gemaakt wordt voor het wel of niet uitbreiden van de TOP10NL met een hoogtemodel. In tabel 5.1 is per toepassing een indicatie gegeven van de benodigde resolutie en de noodzaak voor het landsdekkend beschikbaar hebben van de data. Voor het gemak is uitgegaan van de formaten waarin het AHN leverbaar is (resolutie in 1 punt per gebied van ..x.. meter). Een sterretje (*) achter de resolutie geeft aan dat nader onderzoek nodig is. Er is niet gekeken naar mogelijkheden van laserscanning datasets met nog hogere resolutie, zoals o.a. mogelijk met het FliMap systeem.

Objectklasse	Benodigde resolutie (m)	Landsdekkend?
Hoogtelijnen	100x100	nee
Hoogtecijfers / hoogtepunten	25x25 *	ja
Dieptelijnen	n.v.t.	n.v.t.
Duinschaduwering	5x5 of 25x25 *	nee
Hoogteverschillen en Dijken	5x5	ja
Hoogbouw	5x5 (ongefilterd)	ja
Symbolen	n.v.t.	n.v.t.
Topstakels	n.v.t.	n.v.t.
Bruggen en viaducten	5x5	ja
Muren en heggen	n.v.t.	n.v.t.

Tabel 5.1 **Indicatie van benodigde resolutie voor het afleiden van hoogtevoorstelling (* = aanvullend onderzoek vereist)**

Literatuur

- [1] *Basismodel Geo-Informatie, versie 0.9*. 15 september 2004
- [2] Bakker, N. et al., *Gegevensmodel TOP10NL, versie 2.2*. Emmen, 2004
- [3] *ISO 19101 Geographic Information – Reference model*. ISO/TC211, reference N1197, 2001
- [4] *ISO 19107 Geographic Information – Spatial Schema*. ISO 19107:2003(E), 2003
- [5] Penninga, F., *Detectie van kenmerkende hoogtepunten in TINs voor iteratieve datareductie*. In: Proceedings Geo-Informatiedag Nederland 2002, Ede, 2002
- [6] Penninga, F., *3D Topography, Realization of a three dimensional topographic terrain representation in a feature-based integrated TIN/TEN model*. GIST Report No. 27, Delft, 2004
- [7] *Overview specification – DNF detailed topographic data held by the user*. Ordnance Survey DNF detailed data overview v1.0b, 2000
- [8] *Productspecificatie AHN 2000*, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-Informatie en ICT, Delft, 2000
- [9] Simonse, M., *3DTOP10, Integratie van TOP10vector en het AHN*. Delft, 2000
- [10] Stoter, J.E., F.Penninga en P.J.M. van Oosterom, *Generalization of integrated terrain elevation and 2D object models*. In: Proceedings of 11th International Symposium on Spatial data Handling, Leicester, 2004
- [11] Verbree, E., *Driedimensionale topografische terreinmodellering op basis van teraedernetwerken: TOP10-3D*. GIST Report No.16, Delft, 2002
- [12] Verbree, E., *Kartografische hoogtevoorstelling TOP10vector*. GIST Report No. 22, Delft, 2003
- [13] <http://www.espasystems.fi>
- [14] <http://www.reliefshading.com>
- [15] <http://www.shadedrelief.com>

Reports published before in this series:

- 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.
- GISSt Report No. 2, Stoter, J.E., Considerations for a 3D Cadastre, Delft University of Technology, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2000, 30 p.
- 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.
- 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.
- 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.
- GISSt Report No. 6, Quak, C.W., An implementation of a classification algorithm for houses, Rapport aan Concernstaf Kadaster, Delft 2001, 13 p.
- 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.
- GISSt Report No. 8, Vries, M.E. de en E. Verbree, Internet GIS met ArcIMS, Delft 2001, 38 p.
- 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.
- 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.
- GISSt Report No. 11, Geo DBMS, De basis van GIS-toepassingen, KvAG/AGGN Themamiddag, 14 november 2001, J. Flim (eds.), Delft 2001, 37 p.
- 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.
- 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)
- GISSt Report No. 14, Stoter, J.E., 3D Cadastre, Progress Report, Report to Concernstaf Kadaster, Delft 2002, 16 p.
- 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.
- 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.
- GISSt Report No. 17, Zlatanova, S. Augmented Reality Technology, Report to SURFnet bv, Delft 2002, 72 p.
- GISSt Report No. 18, Vries, M.E. de, Ontsluiting van Geo-informatie via netwerken, Plan van aanpak, Delft 2002, 17 p.
- GISSt Report No. 19, Tijssen, T.P.M., Testing Informix DBMS with spatial data from the cadastre, Delft 2002, 62 p.
- 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.
- 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.
- GISSt Report No. 22, Verbree, E., Kartografische hoogtevoorstelling TOP10vector, Report aan Topografische Dienst Nederland, Delft 2003, 28 p.
- 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)
- 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.
- 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).
- GISSt Report No. 26, Penninga, F., Oracle 10g Topology, Testing Oracle 10g Topology with cadastral data, Delft 2004, 48 p.
- 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.

