

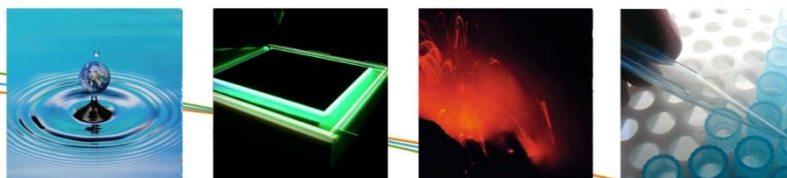
EINDRAPPORT

Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel: topografie

J. Matthijs

Studie uitgevoerd in opdracht van Albon
2010/SCT/R/14

Januari 2010



VITO NV

Boeretang 200 – 2400 MOL – BELGIE
Tel. + 32 14 33 55 11 – Fax + 32 14 33 55 99
vito@vito.be – www.vito.be

BTW BE-0244.195.916 RPR (Turnhout)
Bank 435-4508191-02 KBC (Brussel)
BE32 4354 5081 9102 (IBAN) KREDBEBB (BIC)



VERSPREIDINGSLIJST

Albon : 5 exemplaren
BGD : 2 exemplaren
VITO : 3 exemplaren

SAMENVATTING

Binnen de referentieopdracht VLAKO maakt VITO voor de Vlaamse Overheid een geologisch 3D lagenmodel aan van de Vlaamse ondergrond. Als afsluitende laag van dit 3D model vormt het reliëf een belangrijk oppervlak. Enerzijds is het een referentieoppervlak ten opzichte waarvan alle mogelijke waarnemingen van de ondergrond plaatsvinden en anderzijds speelt het een cruciale rol in het reconstrueren van het basisvlak van de Quartaire afzettingen.

Na een analyse van alle mogelijke beschikbare data, al dan niet digitaal, wat betreft de topografie van Vlaanderen, werd er geopteerd om zelf een Digitaal Terrein Model van het reliëf aan te maken. Dit model zal verder als het DEM VLAKO omschreven worden. Hierbij was het opzet een zo natuurlijk mogelijk reliëf op te bouwen, vrij van alle mogelijke menselijke artefacten. Er werd vertrokken van basisdata aangeleverd door het NGI. De belangrijkste gegevens werden gevormd door de hoogtelijnen van de vierkleurendruk topografische kaarten op schaal 1/10.000. Deze hoogtelijnen waren voor 2/3 van de oppervlakte van Vlaanderen beschikbaar onder vectorvorm, het resterende 1/3 was deels beschikbaar in rastervorm, deels op papier en werd gevectoriseerd. Na controle op volledigheid en nauwkeurigheid werd de zo verkregen databank stelselmatig aangevuld met andere data, daar waar er zich leemten voordeden zoals in sterk verstedelijkte gebieden. Uiteindelijk werd het hoogtelijnenbestand aangevuld enerzijds met 3D polylijnen in de valleien en op de heuvelruggen in het S van Vlaanderen en anderzijds met hoogtepunten voor de oppervlakte onmiddellijk buiten de grenzen van Vlaanderen. Dit geheel aan 2D en 3D lijnen en punten werd vervolgens omgezet naar een rasterbestand met een celgrootte van 100 m bij 100 m, waarbij elke cel gekarakteriseerd wordt door de x-, y- en z-coördinaat van het centrale punt.

Als proef werd aan de hand van een verschilkaart het DEM van VLAKO vergeleken met het bestaande DHM Vlaanderen van AGIV. Uit deze kaart volgt dat de standaarddeviatie 1,39 m bedraagt. De oppervlakken met een grote verschilwaarde tussen beide modellen worden gevormd door menselijke artefacten. Worden deze menselijke artefacten uit het DHM Vlaanderen gefilterd dan zal de standaarddeviatie nog gevoelig dalen. Het DEM VLAKO kan bijgevolg in de toekomst als een betrouwbaar referentiedocument aanzien worden voor alle studies waarbij een zo natuurlijk mogelijk reliëf een belangrijke rol speelt.

INHOUD

Verspreidingslijst	I
Samenvatting	II
Inhoud	III
Lijst van figuren	IV
Hoofdstuk 1 Inleiding	1
Hoofdstuk 2 Beschikbare data	2
2.1 Digitale terreinmodellen	2
2.2 Kaartmateriaal	6
2.3 Keuze van de te gebruiken data	7
Hoofdstuk 3 Werkwijze	8
3.1 De vectorbestanden met de basisdata van het NGI	8
3.2 De rasterbestanden van het NGI en het AGIV	9
3.3 Papieren topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI	10
3.4 Verstedelijkte oppervlakken	10
3.5 Lokale menselijke artefacten	11
3.6 Randeffecten	11
3.7 Vervlakkingen	11
3.8 Omzetting van de basis dataset naar een 3D model	12
3.9 Controle van het resultaat	12
Hoofdstuk 4 Betrouwbaarheid	13
Hoofdstuk 5 Besluit	16
Literatuurlijst	17

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Uittreksel uit het DHM Vlaanderen ter hoogte van de mijnen van Waterschei en Zwartberg met enkele menselijke artefacten. _____	3
Figuur 2: De verdeling van de verschillende waarnemingstypen gebruikt bij het aanmaken van het DTM-1:10 000. _____	4
Figuur 3: De verdeling van de verschillende typen van hoogtelijnen beschikbaar in rasterformaat bij AGIV. _____	6
Figuur 4: De verdeling van de verschillende gebruikte basisdata. _____	10
Figuur 5: Het wegwerken van vervlakkingen aan de hand van 3D polylijnen in dalen en op heuvelruggen. _____	12
Figuur 6: De verdeling van de oppervlakken met een waarde hoger dan 2 maal de standaarddeviatie. _____	14
Figuur 7: De visualisatie van het verschil tussen het DEM VITO en het DHM Vlaanderen aan de hand van de standaarddeviatie. _____	14

HOOFDSTUK 1 INLEIDING

Bij het opstellen van het geologisch 3D lagenmodel voor de ondergrond van Vlaanderen speelt de topografie in menig opzicht een belangrijke rol. Enerzijds is de topografische ligging van alle waarnemingen bepalend voor het juist positioneren in hoogte (TAW) van de verschillende doorboorde lagen. Anderzijds bestaat er een sterke relatie tussen de Quartaire afzettingen en de topografie. Zo wordt er over het algemeen een dun Quartair pakket aangetroffen op hellingen, is het Quartair pakket dik in valleien en wordt het Quartair op interfluvia met een matige dikte aangetroffen. De basis van het Quartair, die op zich bepalend is voor de vorm van het dagzoomgebied van de verschillende Cenozoïsche, Mesozoïsche en Paleozoïsche lagen, wordt aangemaakt op basis van het rekenkundig verschil tussen de topografie en de dikte van de Quartaire afzettingen. Dit laatste betekent dat de topografie zo natuurlijk mogelijk dient gereconstrueerd te worden, met andere woorden alle menselijke artefacten dienen uit het 3D model van het reliëf geweerd te worden. Daarom werd er na analyse van alle beschikbare digitale data wat betreft de topografie in Vlaanderen verkozen om zelf een 3D model van het reliëf op te bouwen.

HOOFDSTUK 2 BESCHIKBARE DATA

Er zijn verschillende datasets beschikbaar wat topografie betreft. Eerst en vooral bestaan er op dit moment 4 verschillende digitale terreinmodellen:

- Digitaal Hoogte Model Vlaanderen van Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (**DHM AGIV**)
- Digitaal Terrein Model-1:10 000 van het Nationaal Geografisch Instituut (**DTM NGI**)
- Digital Terrain Elevation Data-Lambert van het Nationaal Geografisch Instituut (**DTED NGI**)
- Digitaal Terrein Model horende bij het Vlaams Grondwater Model van Afdeling Water (**DTM VGM**)

Verder bestaan er een reeks kaartproducten (al dan niet digitaal), die het reliëf weergeven:

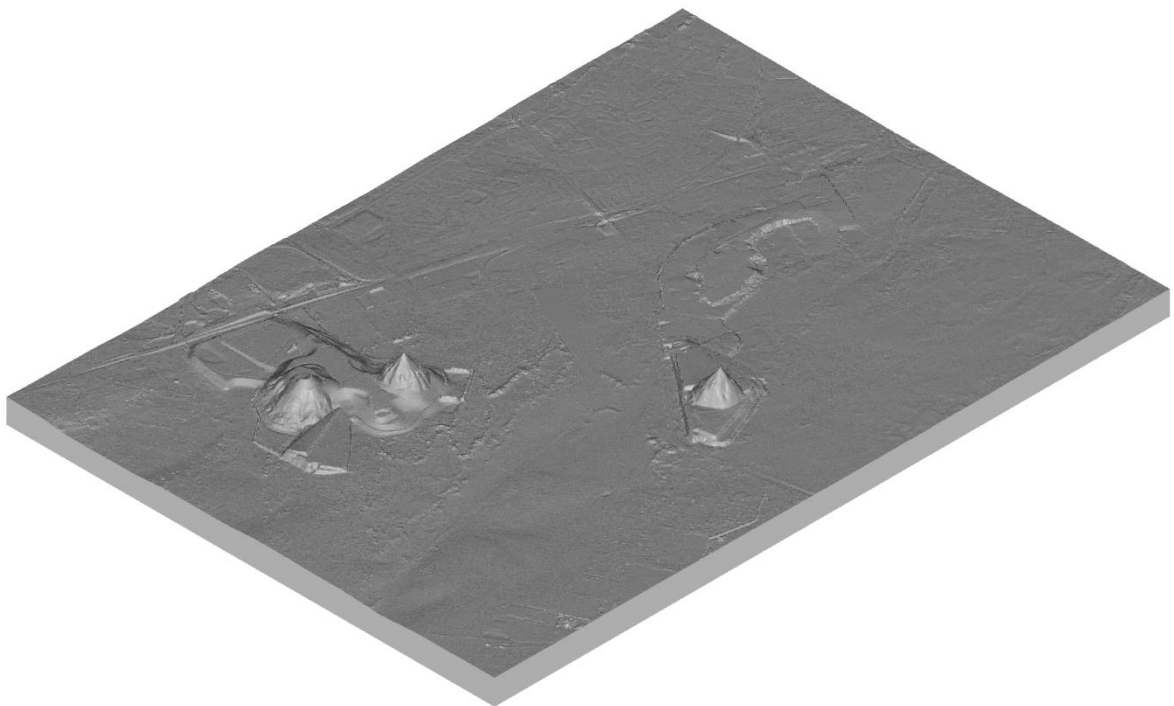
- topografische kaarten op schaal 1/50.000 van het Nationaal Geografisch Instituut
- topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het Nationaal Geografisch Instituut
- orografische kaarten op schaal 1/50.000 van het Nationaal Geografisch Instituut
- orografische kaarten op schaal 1/10.000 van het Nationaal Geografisch Instituut en Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen
- topografische kaarten op schaal 1/5.000 van Ministerie van Openbare Werken

Bovenstaande data worden kort toegelicht. Voor een uitgebreide analyse van de documenten wordt verwezen naar Matthijs 2008.

2.1 Digitale terreinmodellen

Het **DHM Vlaanderen** van AGIV bestaat uit een reeks digitale puntenbestanden. Deze bestanden beschrijven een raster van eenheidscellen. De grootte van de eenheidscellen bepaalt het detail waarmee het reliëf wordt weergegeven. Er worden 3 formaten ter beschikking gesteld, 100 m op 100 m, 25 m op 25 m en 5 m op 5 m. De cellen worden gekarakteriseerd aan de hand van de x-, y- en z-coördinaten van het centrale punt. Deze puntenbestanden vormen het resultaat van een automatische interpolatie tussen onregelmatig verdeelde waarnemingspunten. Deze waarnemingspunten werden verkregen via een airborne survey met de LIDAR-techniek, waarbij aan de hand van golven binnen (of net buiten) het spectrum van het zichtbaar licht, de afstand gemeten werd tussen het apparaat in het vliegtuig en het aardoppervlak. Het apparaat zendt lichtgolven uit, deze weerkaatsen op het aardoppervlak en de weerkaatste golven worden terug door het apparaat geregistreerd samen met de tijd die verstreken is sinds het uitzenden van de golven. De tijd geeft een indicatie van de afstand tot het aardoppervlak, waaruit de relatieve hoogte ten opzichte van een 0-vlak berekent kan worden. Het DHM geeft dus het oppervlak weer waarop de laserstralen of lichtgolven weerkaatsen. Afhankelijk van plaats tot plaats is dit het werkelijk aardoppervlak, het dak van een gebouw, het bladerdek van een bos of van andere vegetatie, de bodem van een put of een groeve of een uitgraving, enz... Alle elementen die boven op het

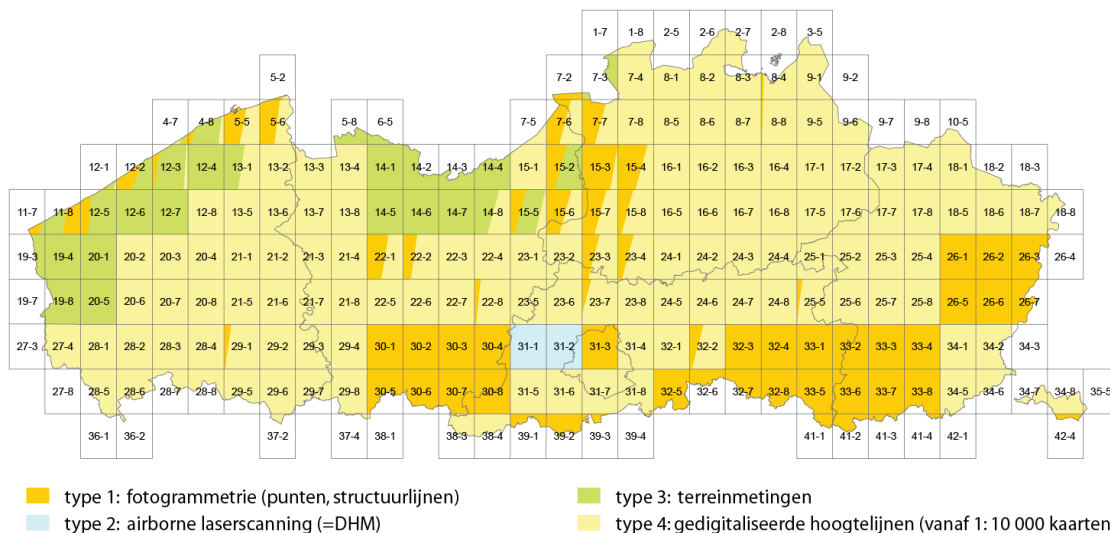
aardoppervlak staan of liggen of erin uitgegraven zijn, dienen bijgevolg op één of andere manier uit de dataset gefilterd te worden. Voor het DHM Vlaanderen is deze filtering automatisch gebeurd. Er bestaat evenwel geen algemeen herkenningsalgoritme om alle mogelijk bebouwing in en op het aardoppervlak uit het DHM te filteren. Met andere woorden het DHM zit vol artefacten al dan niet van menselijke origine. Klassieke artefacten die in het DHM teruggevonden worden, zijn: kanalen, spoorwegen, autowegen, torens, stratenpatronen in steden, bruggen, bruggenhoofden, storthopen, zand- en kleigroeven, enz... De verticale resolutie van het verkregen DHM is 1cm. De verticale nauwkeurigheid is evenwel veel minder, namelijk van 7 tot 20 cm. Dit is het gevolg enerzijds van fouten tijdens het meetproces met de laser en anderzijds van fouten als gevolg van onnauwkeurigheden in het vluchtplan (locatie, hoogte, vlieghoek, ...) en als gevolg van de complexiteit van de vegetatie en bebouwing die eruit gefilterd werden. Verder is het Brussels Gewest uit het DHM uitgesneden en vertoont het DHM op verschillende plaatsen doorheen Vlaanderen leemtes, daar waar de lichtgolven bij de survey door wateroppervlakken geabsorbeerd en bijgevolg niet naar het toestel teruggekaatst werden. De artefacten stellen een probleem voor de verdere opbouw van het geologisch 3D lagenmodel. Enerzijds zijn veel waarnemingen gelegen in assen van infrastructuurwerken, waar nu juist het DHM een andere waarde aangeeft dan die van het oorspronkelijke aardoppervlak. Zo dus bestaat er geen relatie tussen het DHM en de hoogte van het maaiveld waarop de waarnemingen hebben plaatsgevonden. Anderzijds zullen de artefacten bij het aanmaken van een 3D model voor de basis van het Quartair in dit oppervlak 'doorgedrukt' worden. Het model van de basis van het Quartair wordt immers verkregen door het rekenkundig verschil te maken tussen het 3D model van de topografie en het 3D model van de dikte van het Quartair. Dit is natuurlijk ontoelaatbaar.



Figuur 1: Uittreksel uit het DHM Vlaanderen ter hoogte van de mijnen van Waterschei en Zwartberg met enkele menselijke artefacten.

Het **DTM-1:10 000** van het NGI bestaat eveneens uit puntenbestanden die een raster van eenheidscellen beschrijven. Deze bestanden zijn enkel met een celgrootte van 20 m bij 20 m beschikbaar. Ook hier worden de cellen gekarakteriseerd aan de hand van de x-, y- en z-coördinaten van het centrale punt. Deze puntenbestanden vormen het resultaat van een automatische interpolatie tussen onregelmatig verdeelde waarnemingspunten. Deze waarnemingspunten werden op 4 verschillende manieren verkregen:

- type 1: waarnemingspunten verkregen uit structuurlijnen en structuurpunten rechtstreeks opgemeten van luchtfoto's op schaal 1/21.000 en 1/6.000 via fotogrammetrische technieken
- type 2: waarnemingspunten verkregen via airborne laserscanning (LIDAR)
- type 3: waarnemingspunten verkregen aan de hand van terreinmetingen
- type 4: waarnemingspunten verkregen uit de hoogtelijnen afkomstig van de luchtfoto's van 1/21.000 via fotogrammetrische technieken (dit zijn eigenlijk de hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/10.000)



Figuur 2: De verdeling van de verschillende waarnemingstypen gebruikt bij het aanmaken van het DTM-1:10 000.

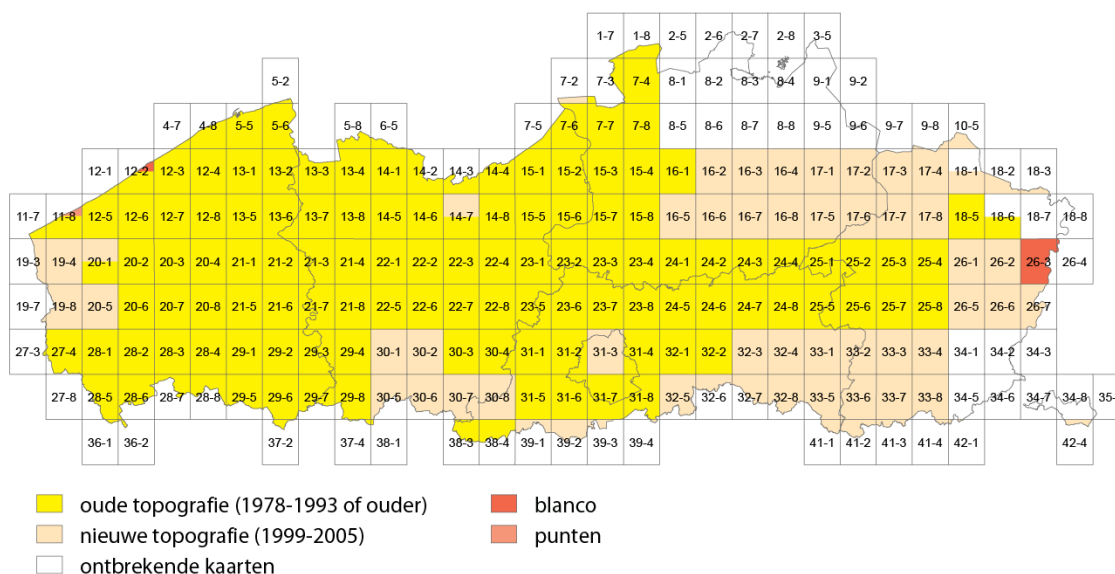
De nauwkeurigheid van het DTM varieert tussen 0,50 m en 2,00 m en is afhankelijk van het gebruikte type van waarnemingspunten. Met andere woorden elk type bepaalt zijn resultaat van het verkregen DTM en heeft bovendien zijn voor- en nadelen voor het, binnen het geologisch 3D lagenmodel, nagestreefde eindresultaat. Type 1 geeft voornamelijk het reliëf weer. Menselijke artefacten komen voor daar waar wegen en dergelijke als structuurlijnen gebruikt werden. Type 2 komt overeen met de techniek van het DHM Vlaanderen en is bijgevolg met dezelfde fouten behept. Type 3 geeft eveneens voornamelijk het reliëf weer, maar levert lokaal vreemde kegelvormige artefacten op, waarschijnlijk als gevolg van de manier van terreinmeting. Type 4 levert het meest natuurlijke reliëf op. Dit type heeft wel de kleinste nauwkeurigheid, een nauwkeurigheid die varieert met het hoogteverschil ten opzichte van de afstand. Dit is het gevolg van de omzetting van de hoogtelijnen naar een puntenbestand. Bij deze omzetting ontstaan er voornamelijk in valleien en op heuvelruggen vervlakkingen, ook wel plateaus of terrassen genoemd. Deze vervlakkingen hebben een maximale fout overeenkomstig de equidistantie tussen de hoogtelijnen. Type 1 komt hoofdzakelijk voor in het SE van Vlaanderen (sterk ingesneden reliëf) en in verstedelijkte gebieden. Type 2 komt enkel voor op een beperkte oppervlakte tussen Brussel en Aalst. Type 3 is voornamelijk terug te vinden in het NW van Vlaanderen langs de kust en in de polders

(vlak reliëf). Type 4 komt zowat over gans Vlaanderen voor. Het DTM zou op dit moment volgens de website van het NGI (www.ngi.be) voor gans België beschikbaar zijn. Voor de opbouw van het geologisch 3D lagenmodel zal de kwaliteit van de data bijgevolg variëren van plaats tot plaats afhankelijk van het type waarneming dat aan de basis van het DTM ligt. Met andere woorden kan er gezegd worden dat in dit geval het DTM ongeveer dezelfde problemen oplevert als in het geval van het DHM Vlaanderen, tenminste toch voor wat types 1, 2 en 3 betreft. Daar waar het DTM gebaseerd is op waarnemingspunten van type 4 doen deze problemen zich niet voor. Dit is op zich een belangrijke verbetering ten opzichte van het DHM, aangezien 65% van het DTM gebaseerd is op waarnemingen van type 4 en slechts 35% op waarnemingen van type 1, 2 en 3. Het **DTED-Lambert** van het NGI behoort volgens de website www.ngi.be niet meer tot de digitale producten die het NGI verdeelt. Het bestond net als de voorgaande modellen uit puntenbestanden die een raster van eenheidscellen beschreven. De cellen hadden een grootte van 60 m in de X-richting en 30 m in de Y-richting. Deze rasters waren aangemaakt op basis van de hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/50.000. De nauwkeurigheid varieerde van 3,8 m tot 10,2 m afhankelijk van de equidistantie tussen de hoogtelijnen. Een typisch probleem voor deze bestanden, net als bij het DTM-1:10 000 uit type 4, is het voorkomen van vervlakkingen. De oppervlakte waarover deze vervlakkingen voorkomen is wel veel groter, aangezien de equidistantie tussen de hoogtelijnen groter is op de kaarten op schaal 1/50.000 dan op schaal 1/10.000.

Het **DTM van het VGM** bestaat voor een groot deel uit het DTED-Lambert van het NGI en is verder aangevuld met hoogtebestanden uit de aangrenzende landen en regio's (Nederland, Frankrijk, Wallonië). Het bestaat bijgevolg ook uit puntenbestanden die een raster van eenheidscellen beschrijven. Deze eenheidscellen hebben een grootte van 100 m bij 100 m. Aangezien de celgrootte hier groter is dan die van het DTED-Lambert is de nauwkeurigheid van dit DTM kleiner en komt eveneens over grote oppervlakken het probleem van de vervlakkingen voor. Met verloop van tijd is dit DTM in het VGM vervangen door het DHM Vlaanderen, over de grenzen aangevuld met het oorspronkelijke DTM.

2.2 Kaartmateriaal

Het NGI verdeelt een reeks kaarten op verschillende schalen. In het kader van deze opdracht kunnen we een onderscheid maken tussen de orografische en de topografische documenten.



Figuur 3: De verdeling van de verschillende typen van hoogtelijnen beschikbaar in rasterformaat bij AGIV.

De orografische kaarten beschrijven het reliëf aan de hand van hoogtelijnen. Deze zijn op schaal 1/50.000 en 1/10.000 als rasterbestanden beschikbaar en worden verdeeld door NGI en AGIV. Hierbij zijn de hoogtelijnen op schaal 1/50.000 een gegeneraliseerde vorm van die van 1/10.000. De hoogtelijnen op schaal 1/10.000 zijn ook onder de vorm van een vectorbestand bij het NGI te verkrijgen. Hier dient er op gewezen dat er 'oude' en 'nieuwe' hoogtelijnen bestaan. De 'oude' hoogtelijnen zijn afkomstig van de oude topografische kaarten (vierkleurendruk jaren 70 en 80) en de 'nieuwe' zijn afkomstig van de nieuwe topografische kaarten (meerkleurendruk). Voor 65% komen de nieuwe en de oude hoogtelijnen overeen. De resterende 35% verschilt enigszins van elkaar, waarbij de nieuwe hoogtelijnen gebaseerd zijn op het DTM-1:10 000 afkomstig uit de waarnemingen van type 1, 2 en 3, zoals hierboven opgegeven. Voor deze 35% zijn de 'oude' hoogtelijnen niet apart in raster- of vectorvorm beschikbaar.

Voorgaande hoogtelijnen zijn, naast een heleboel andere data, ook terug te vinden op de topografische kaarten van het NGI. In vectorvorm worden hier dezelfde hoogtelijnen aangetroffen als deze van de orografische kaarten. In rastervorm kan er weer een onderscheid gemaakt worden tussen de oude en de nieuwe topografische kaarten, waarbij 65% van de kaarten dezelfde hoogtelijnen vertoont en 35% van de kaarten verschillende hoogtelijnen hebben. De oude kaarten zijn in zwart-wit rastervorm te verkrijgen, de nieuwe kaarten in kleur rastervorm. Bijgevolg zijn de hoogtelijnen op de oude kaarten moeilijk te onderscheiden van de andere topografische data, terwijl ze op de nieuwe kaarten duidelijk herkenbaar zijn.

Voor een aantal stedelijke gebieden, waaronder Brussel, Gent en Luik, zijn door het Ministerie van Openbare Werken (MOW) een aantal topografische kaarten op schaal 1/5.000 opgesteld. Deze bevatten hoogtelijnen met een equidistantie van 2 m. Ze zijn enkel als papieren document te verkrijgen.

2.3 Keuze van de te gebruiken data

Op basis van een analyse van de voorgaande data in functie van het vooropgestelde doel om een zo natuurlijk mogelijke topografie te reconstrueren, werd er gekozen om hoofdzakelijk te werken met de vectorbestanden van de hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI. Waar nodig werd er gebruik gemaakt van de hoogtelijnen uit de rasterbestanden van 'oude' topografische kaarten van het NGI en van de hoogtelijnen uit de kaarten van het MOW.

Bondig samengevat:

- Het DHM Vlaanderen bevat zeer veel artefacten die moeilijk op een automatische manier uit het bestand te filteren zijn. Een visuele filtering zal een eindeloos werk worden.
- Het DTM-1:10 000 bevat voor een deel van Vlaanderen ook een reeks artefacten en voor een ander deel belangrijke vervlakkingen.
- Het DTED-Lambert is een verouderd product en wordt niet meer door het NGI verdeeld.
- Het oude DTM van het VGM bestond voor een groot deel uit het DTED-Lambert, het nieuwe DTM is het DHM Vlaanderen.

HOOFDSTUK 3 WERKWIJZE

Bij de aanvang van het project werd er contact genomen met het NGI in verband met het gebruik van hun topografische dataset. De vraag van VITO uit bestond er toen in om het DTM-1:10 000 te kunnen gebruiken binnen het geologisch 3D lagenmodel. Tijdens de bespreking bleek al snel dat dit product toen nog niet voor gans Vlaanderen ter beschikking was. Verder bleek het een zeer heterogeen product gebaseerd op verschillende typen van waarnemingen. VITO kreeg van elk type een DTM en de bijhorende basisdata als voorbeeld toegestuurd. Na controle van deze data, was het duidelijk dat er zich verschillende problemen aanboden voor wat de reconstructie van een zo natuurlijk mogelijk reliëf betrof (zie §2.1).

Omwille van verschillende redenen is er toen besloten om te werken met de vectorbestanden van de hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/10.000. De idee was om vanuit deze hoogtelijnen via 'kriging' als interpolatiemethode een 3D model van het reliëf op te bouwen. Dit leek toen de meest rechttoe rechtaan wijze van werken, omwille van:

- de data waren voor een groot deel van Vlaanderen digitaal beschikbaar, zelfs onder de vorm van vectorbestanden.
- het verwerken van deze data tot een 3D model was relatief eenvoudig en kon op een éénvormige manier voor gans Vlaanderen gebeuren wat zou resulteren in een homogeen eindproduct.
- er waren weinig of geen artefacten aanwezig in deze hoogtelijnen.
- de rechtstreekse link tussen DOV en het reliëf, aangezien voor het overgrote deel van de waarnemingen in DOV de maaiveldhoogte op basis van de hoogtelijnen van deze 'oude' topografische kaarten is vastgelegd.

Hierbij stelde zich natuurlijk ook een aantal problemen:

- de data was slechts voor 65% in vectorvorm beschikbaar, de overige 35% was deels als raster beschikbaar of diende deels nog gescand te worden en moest vervolgens nog gevectoriseerd.
- het optreden van vervlakkingen bij de omzetting van hoogtelijnen naar een 3D model onder de vorm van een puntenbestand

3.1 De vectorbestanden met de basisdata van het NGI

VITO verkreeg van het NGI, onder contractvoorwaarden tot eind 2009, het gebruiksrecht van de basisdata voor wat het reliëf betreft voor gans Vlaanderen. Zoals in §2.1 vermeld zijn deze data op te splitsen in 4 typen, waarvan hoofdzakelijk type 4 voor VITO van belang was. Deze data werden gecontroleerd op volledigheid en nauwkeurigheid. Als controledocument werden hiervoor de rasterbestanden van de 'oude' topografische kaarten op schaal 1/10.000 gebruikt. Deze rasterbestanden zijn samen met de nodige georeferentiebestanden eveneens afkomstig van het NGI.

Deze controle bleek geen nutteloze maar eerder een noodzakelijke stap. De meest voorkomende problemen worden opgesomd:

- hoogtelijnen met een foute hoogte of zonder hoogte

- niet alle hoogtelijnen zijn gevectoriseerd
- losstaand van de hoogtelijnen de aanwezigheid van kleine lijnstukjes al dan niet met een hoogte
- hoogtelijnen die lokaal een andere vorm hebben dan de oorspronkelijke hoogtelijnen
- slechte georeferentie van de hoogtelijnen in vergelijking met de rasterbestanden
 - o constante fout over het ganse kaartblad
 - o variabele fout over het ganse kaartblad

De hoogtelijnen met een foute hoogte of zonder hoogte en korte lijnstukjes die niets met het reliëf te maken hebben zijn snel op te sporen aan de hand van een 'provisoir' 3D model en de daaruit gedistilleerde contouren. Deze hoogtelijnen werden dan ook aangepast en tegelijkertijd werden ook de korte lijnstukjes uit de bestanden verwijderd. Hoogtelijnen die niet gevectoriseerd waren en hoogtelijnen met lokaal een andere vorm waren enkel op te sporen door de vectorbestanden over de rasterbestanden te leggen en dan een visuele controle uit te voeren. Tegelijk was het duidelijk dat voor een belangrijke hoeveelheid kaartbladen er een georeferentieprobleem bestond. In het geval van een constante fout, dienden de hoogtelijnen met een bepaald bedrag verschoven of geroteerd te worden tot ze quasi samenvielen met de hoogtelijnen op de rasterbestanden. In het geval van een variabele fout was er eigenlijk eerder sprake van een vervorming van de hoogtelijnen, waarschijnlijk als gevolg van het scanproces, mogelijk ook als gevolg van een manueel (?) vectorisatieproces, zoals het lokaal andere verloop van sommige hoogtelijnen laat vermoeden. In geval van deze vervorming was het zeer moeilijk om de hoogtelijnen op de juiste plaats te krijgen. Dikwijls diende het kaartblad in verschillende zones met verschillende vervorming opgedeeld te worden en dan per zone via 'rubbersheeting' met het oorspronkelijke rasterbestand quasi in overeenstemming gebracht te worden. Deze operatie was nodig, aangezien op plaatsen waar de hoogtelijnen dicht bij elkaar gelegen waren, het verschil in hoogte ten opzichte van de oorspronkelijke ligging van de hoogtelijnen al snel meer dan 1 maal de equidistantie kon bedragen. Waar hoogtelijnen lokaal sterk afweken van het normale traject dienden deze manueel opnieuw gevectoriseerd te worden.

3.2 De rasterbestanden van het NGI en het AGIV

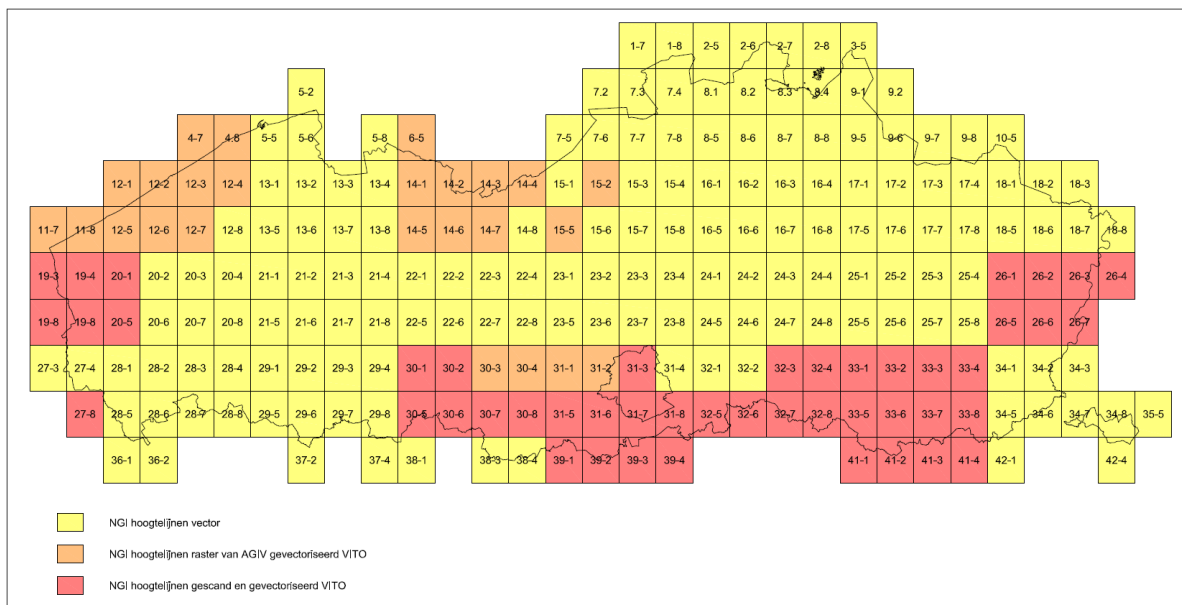
Voor de overige 35% van Vlaanderen waarvoor de hoogtelijnen niet onder vectorvorm beschikbaar waren of waarvoor enkel de hoogtelijnen van de nieuwe topografische kaarten voor handen waren, werd er gebruik gemaakt van de rasterbestanden van de hoogtelijnen van de nieuwe topografische kaarten op 1/10.000 van het NGI. Deze werden ons door het AGIV ter beschikking gesteld tezamen met de georeferentiebestanden.

Voor een deel van de resterende oppervlakte (40%) komen deze hoogtelijnen overeen met de hoogtelijnen op de 'oude' topografische kaarten. Deze kaarten werden gecontroleerd op volledigheid en nauwkeurigheid. Lokaal werden er kleine afwijkingen aangetroffen ten opzichte van de oorspronkelijke hoogtelijnen en éénmaal werd er zelfs een volledig foute georeferentie vastgesteld. De hoogtelijnen van deze rasterbestanden werden dan semi-automatisch gevectoriseerd en van een hoogte voorzien.

3.3 Papieren topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI

In een volgende stap tot het verkrijgen van een homogene dataset voor het aanmaken van een 3D reliëfbestand werd de nu nog resterende oppervlakte aangevuld met papieren versies van de 'oude' topografische kaarten. Deze kaarten waren deels afkomstig uit de cartotheek van VITO, deels uit die van ALBON.

Deze kaarten werden in kleur gescand. Vervolgens werden de hoogtelijnen via een kleurselectie uit de scans gefilterd. De zo verkregen rasterbestanden werden gegeorefereerd en nadien semi-automatisch gevectoriseerd. Zowel in §4.2 als hier werden de hoogtelijnen in welbepaalde layers gevectoriseerd overeenkomstig de hoogte. Per layer werd er een kleur voorzien zodat er een visuele herkenning mogelijk was tijdens de controle van de data. De hoogte die aan de hoogtelijnen toegekend werd, werd automatisch uit de layer-naam gehaald. Layer-naam en hoogte waren dus steeds in overeenstemming, wat de controle van de data enigszins vergemakkelijkte. Voor een aantal kaartbladen uit §4.1 was de vervorming van de gevectoriseerde hoogtelijnen ten opzichte van de oorspronkelijke hoogtelijnen zo sterk dat 'rubbersheeting' hier geen oplossing bood. Voor deze kaartbladen werd dan ook het hierboven beschreven traject gevolgd.



Figuur 4: De verdeling van de verschillende gebruikte basisdata.

3.4 Verstedelijkte oppervlakken

In de tot nu verkregen dataset bevinden zich nog een aantal blinde vlekken of zones zonder hoogtelijnen. Dit geldt hoofdzakelijk voor sterk verstedelijkte gebieden zoals Brussel, Antwerpen en Gent. Op deze plaatsen werd er in eerste instantie gebruik gemaakt van de fotogrammetrische waarnemingen en de terreinmetingen van het NGI. Hieruit werden contouren gedistilleerd, die vervolgens met de bestaande hoogtelijnen verbonden werden. Hierbij werd ervoor gezorgd zoveel mogelijk menselijke artefacten uit de contouren te weren. In het geval er geen waarnemingen van type 1 of 3 ter beschikking waren, werd er gebruik gemaakt van de hoogtelijnen op de kaarten van het MOW. Deze kaarten werden gescand en gegeorefereerd en de hoogtelijnen werden gevectoriseerd. Op basis van deze hoogtelijnen werd een 'provisoir' 3D model gemaakt waaruit contouren gedistilleerd werden met een equidistantie gelijk aan de kaarten van

het NGI. Deze contouren werden op hun beurt met de omliggende hoogtelijnen verbonden.

3.5 Lokale menselijke artefacten

Over gans Vlaanderen zijn er heel wat menselijk artefacten verspreid, die gevolgen hebben gehad voor de hoogtelijnen op de topografische kaarten op schaal van 1/10.000 van het NGI. De meest voorkomende ingrepen zijn infrastructuurwerken zoals spoorwegen, autosnelwegen, kanalen en havenwerken. De hoogtelijnen zijn ter hoogte van deze infrastructures dikwijls onderbroken. In het merendeel van de gevallen werden ze terug met elkaar verbonden. Andere menselijke ingrepen zijn groeven ter ontginning van oppervlaktedelfstoffen. De meest opvallende putten zijn deze van de kleien van de Kempen, de kleien van de Rupelstreek, de kleien van Ieper, de zanden van Mol, de zanden van Bolderberg en lokaal die van het krijt rond de Maas. Het oorspronkelijk reliëf werd hier gereconstrueerd aan de hand van de hoogtelijnen op de oude geologische kaarten op schaal 1/40.000.

3.6 Randeffecten

Om randeffecten te voorkomen werden:

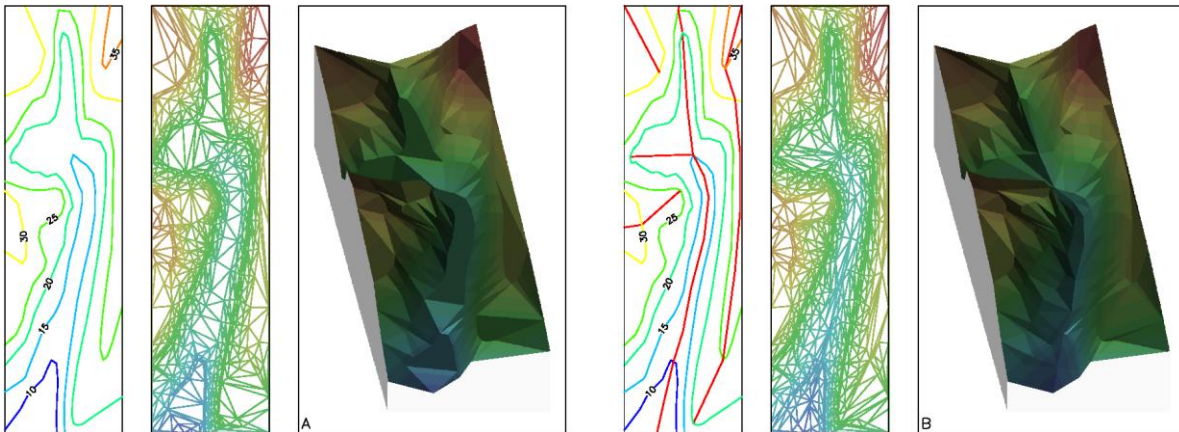
- isobathen ingetekend in de Noordzee en de Schelde, in beide gevallen afkomstig van de topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI
- hoogtelijnen tot enkele km ten S van de taalgrens gevectoriseerd
- hoogtepunten toegevoegd voor Nederland en Frankrijk
 - o uit het DTM van het VGM
 - o uit de basisbestanden van het NGI

Door het toevoegen van deze data rond de verschillende grenzen wordt er voorkomen dat er ten gevolge van een gebrek aan data tijdens de omzetting van de basisgegevens naar een rasterbestand interpolatie-artefacten gecreëerd worden. De hoogtepunten uit Nederland en Frankrijk hebben geen exacte waarde, maar wel een benaderende afgeronde waarde, wat op zich voldoende is om een zinnige interpolatie toe te laten in de grensgebieden.

3.7 Vervlakkingen

Bij het omzetten van hoogtelijnen naar een 3D model onder de vorm van een rasterbestand kunnen er tijdens de interpolatie vervlakking optreden. Deze plateaus of terrassen komen voornamelijk voor in valleien en op heuvelruggen. Algemeen gezien doen ze zich voor daar waar over grote oppervlakken slechts één hoogtelijn voorkomt. Op die plaatsen zijn er enkel data met één welbepaalde hoogte voor interpolatie ter beschikking, met als gevolg dat daar een plat vlak gecreëerd wordt. De maximale fout die hierbij kan optreden is evenredig met de equidistantie tussen de hoogtelijnen. Deze varieert in Vlaanderen en neemt over het algemeen toe van N naar S en van W naar E. In het N en het W van Vlaanderen wordt er een equidistantie van 1 m tot 1,25m aangetroffen. In het S van Vlaanderen bedraagt de equidistantie 2,5m. In het uiterste SE van Vlaanderen kan de equidistantie oplopen tot 5 m. Dit betekent dat voor het N en het W de maximale fout als gevolg van de vervlakkingen 1,25 m kan bedragen, wat geologisch gezien verwaarloosbaar lijkt. Naar het S en het E toe daarentegen kan de fout als gevolg van de vervlakkingen oplopen tot 5 m. Dit kan geologisch gezien niet meer als verwaarloosbaar aanzien worden, aangezien sommige lithologische eenheden op niveau van 'lid' een dikte van die grootte-orde hebben. Om deze vervlakkingen te minimaliseren werden op de zuidelijke kaartbladen enerzijds 3D polylijnen ingetekend op de heuvelruggen en anderzijds de waterlopen uit de Vlaamse Hydrografische Atlas

tot 3D polylijnen omgezet. Hierbij grijpen de 3D polylijnen bij elke kruising met een hoogtelijn op deze hoogtelijn aan, waardoor ze 3D informatie verkrijgen. Deze 3D polylijnen zorgen ervoor dat oppervlakken waarin slechts één hoogtelijn voorkomt, opgedeeld worden en van extra 3D informatie voorzien worden. Bij omzetting naar een rasterbestand worden er nu geen plateaus of terrassen gevormd, aangezien er nu ook punten voorkomen met een andere hoogte dan deze van de éne hoogtelijn. Figuur 5 geeft een schematische voorstelling van de werkwijze, waarbij 5a de situatie voorstelt zonder 3D polylijnen, zowel in plan, in TIN als in 3D zicht en 5b dezelfde situatie, maar dan met het invoegen van 3D polylijnen.



Figuur 5: Het wegwerken van vervlakkingen aan de hand van 3D polylijnen in dalen en op heuvelruggen.

3.8 Omzetting van de basis dataset naar een 3D model

Uit het voorgaande werd een basis dataset aan hoogtelijnen en 3D polylijnen voor heel Vlaanderen en aan hoogtepunten voor het gebied net over de grens verkregen. Op de lijnen werden op regelmatige afstand (25 m) punten gezet. Het geheel aan punten werd vervolgens weggeschreven naar een ascii-bestand. Dit puntenbestand werd dan via de standaard 'kriging' interpolatiemethode omgezet naar een rasterbestand van 25 m bij 25 m, waarbij elke cel beschreven wordt door de x-, y- en z-coördinaten van het centrale punt. Uit dit bestand werd tenslotte ook een 100 m bij 100 m bestand geëxtraheerd. Om dit 3D model van alle voorgaande terreinmodellen te onderscheiden, zal het verder als het DEM VLAKO omschreven worden, en meer specifiek het DEM VLAKO 25 en het DEM VLAKO 100.

3.9 Controle van het resultaat

Op basis van de rasterbestanden van 25 m bij 25 m werd er per kaartblad een 3D model van het reliëf aangemaakt. Daaruit werden dan contouren gedistilleerd met een equidistantie overeenkomstig de basisdata van het NGI. Deze contouren werden dan ter controle over de hoogtelijnen van het NGI gelegd. Waar de contouren niet op de hoogtelijnen liggen, daar zit er bijgevolg een fout in het model. Deze is op zich het gevolg van een fout in de basisdata. Aan de hand hiervan werden de basisdata lokaal nog verder opgekuist.

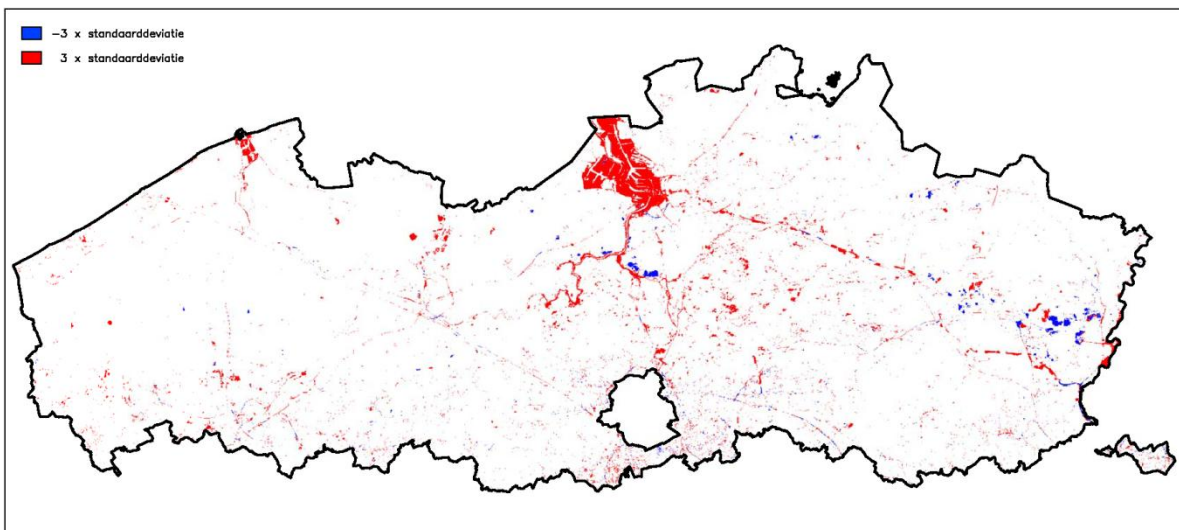
HOOFDSTUK 4 BETROUWBAARHEID

Wat is de betrouwbaarheid nu van dit DEM VLAKO? Hiermee wordt er niet bedoeld op de nauwkeurigheid. Het staat immers vast dat het DHM Vlaanderen het huidige topografisch oppervlak veel nauwkeuriger (7 cm tot 20 cm) beschrijft dan de hoogtelijnen van het NGI waarop het DEM VLAKO is gebaseerd. Een model opleveren met een hogere graad aan nauwkeurigheid dan het DHM Vlaanderen is nooit het streefdoel geweest bij dit project. Het ging er om een zo natuurlijk mogelijk reliëf te reconstrueren, dat zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijke hoogte van de verschillende geologische waarnemingen aanleunt, zoals deze in de Databank Ondergrond Vlaanderen vervat zitten. Een model van het reliëf dat bruikbaar zou zijn om in een volgende stap tot een model voor de basis van het Quartair te leiden. Dus een reliëf ontdaan van alle mogelijke menselijke ingrepen.

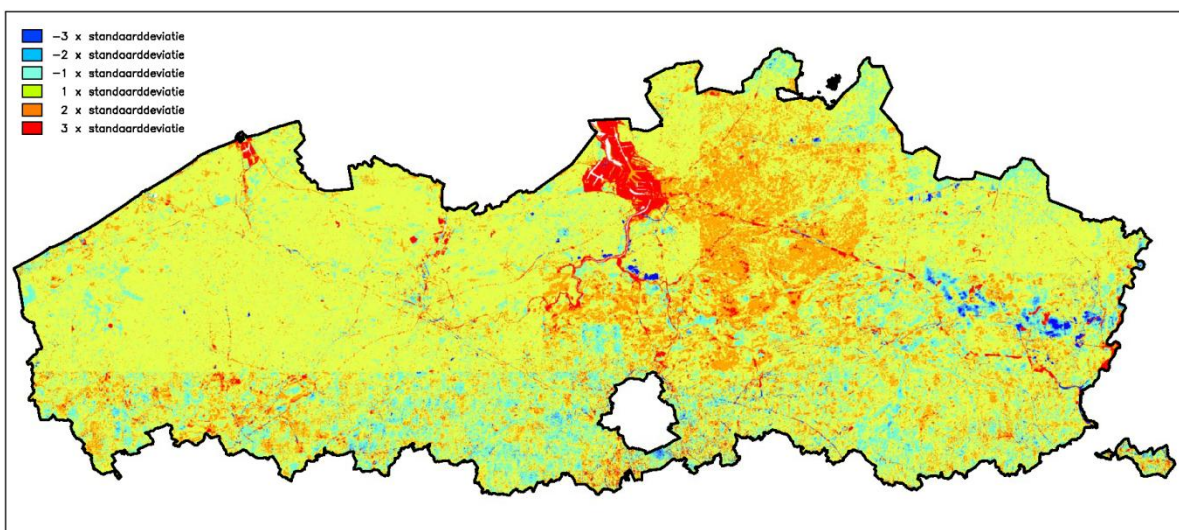
Om een idee te krijgen in verband met de betrouwbaarheid van het DEM VLAKO werd als proef het rekenkundig verschil gemaakt met DHM Vlaanderen, waarbij gebruik gemaakt werd van beide terreinmodellen op een resolutie van 100 m bij 100 m. Het gemiddelde verschil tussen beide producten bedraagt 3 cm. Dit betekent dat de absolute fout quasi gelijk verdeeld is in positieve en negatieve zin over gans Vlaanderen (bij een perfecte verdeling zou het gemiddelde verschil 0 cm bedragen). De standaarddeviatie bedraagt 1,39 m. Deze waarde is bijzonder klein, als er in acht genomen wordt dat voor minstens de helft van de oppervlakte van Vlaanderen de equidistantie tussen de hoogtelijnen 2,5 m of meer bedraagt. Bijgevolg benaderen beide modellen elkaar sterk. Mochten alle menselijke artefacten uit het DHM Vlaanderen gefilterd kunnen worden dan zou de standaarddeviatie nog een heel stuk kleiner zijn. Met andere woorden, de oorspronkelijke hoogtelijnen van de topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI bezitten een hoge graad van nauwkeurigheid.

De verschilkaart werd in ArcGIS gevisualiseerd aan de hand van de standaarddeviatie. Alle vlakken met een waarde groter dan 2 maal de standaarddeviatie werden visueel gecontroleerd naar aard. Hierbij bleek dat op één plaats na (ter hoogte van Boombos op 4 km ten SE van Maldegem, als gevolg van een hoogtelijn met een foute hoogtewaarde) alle grote verschillen tussen beide kaarten overeenkwamen met menselijke artefacten. Als controlemiddel werden de luchtfoto's en de nieuwe topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI gebruikt. De meest voorkomende artefacten zijn, storthopen, terrils, kanalen, spoorwegen, autosnelwegen, bruggen, bruggenhoofden, uitgravingen, opspuitingen, groeven en dergelijke meer. De lineaire elementen komen meestal als een discontinue oplijning van gekleurde cellen voor. Dit is een gevolg van de celgrootte van 100 m bij 100 m. De meeste van de lineaire elementen zijn immers minder dan 100 m breed. Bij gebruik van een kleinere celgrootte zullen deze lineaire elementen zeker als meer continue structuren tot uiting komen. Algemeen gezien komen er meer positieve artefacten voor dan negatieve, met andere woorden het DHM Vlaanderen vertoont meer ophogingen dan uitgravingen. De meest opvallende positieve artefacten worden gevormd door infrastructuurwerken rond de haven van Zeebrugge en de dokken van Antwerpen, ophogingen en storthopen rond de kanaalzone van Gent, dijkwerken rond de Schelde en de Rupel, ophogingen rond het Albertkanaal en de Maas en de terrils van het mijngebied. De meest opvallende negatieve artefacten worden gevormd door de uitgravingen ten behoeve van

oppervlakedelfstoffen. Zo zijn duidelijk de kleigroeven in de Kleien van de Kempen, de Rupelklei en de Ieperklei herkenbaar, evenals de zandgroeven in de Zanden van Mol en de Zanden van Bolderberg. Verder is de insnijding van het Albertkanaal door het Krijt ter hoogte van Maastricht goed te herkennen. In dit opzicht is de voormalige mijnstreek zeer interessant. Daar worden grote zones met gemiddelde negatieve waarden van -5 m aangetroffen. De omtrek van deze zones valt bovendien volledig samen met de gemijnde oppervlakte in de ondergrond uit het Raadplegingsysteem Mijnkaarten (Laenen & Daneels, 2004). Het is bijgevolg gerechtvaardigd te veronderstellen dat het hier om mijnverzakkingen gaat. En wel mijnverzakkingen gedurende de laatste 50 jaar, aangezien de hoogtelijnen op de 'oude' topografische kaarten van na 1947 stammen (TAW) en het DHM Vlaanderen opgenomen is rond het jaar 2003-2004.



Figuur 6: De verdeling van de oppervlakken met een waarde hoger dan 2 maal de standaarddeviatie.



Figuur 7: De visualisatie van het verschil tussen het DEM VITO en het DHM Vlaanderen aan de hand van de standaarddeviatie.

Uit de verschilkaart valt op dat er in het zuidwesten van Vlaanderen een duidelijke grens ligt tussen de zuidelijke en de noordelijke kaartbladen. Onder deze grens is het aandeel in oppervlakte met een waarde 2 maal de standaarddeviatie groter dan

erboven. Dit is een gevolg van het verschil in equidistantie tussen de hoogtelijnen van de zuidelijke ten opzichte van de noordelijke kaartbladen. Het reliëf is in het S sterker ontwikkeld dan in het N met meer uitgesproken valleien en heuvelruggen en bijgevolg meer kans op vervlakkingen met een fout tot 2,5 m overeenkomstig de equidistantie tussen de hoogtelijnen aldaar. De oppervlakte met 2 maal de standaarddeviatie is er vrij gelijkmatig verdeeld in negatieve en in positieve zin. Dit kan niet gezegd worden van de kaartbladen Turnhout, Lier, Aarschot en Mechelen ten N van de voornoemde grens. Op deze kaartbladen is er duidelijk een overwicht aan oppervlakte met 2 maal de standaarddeviatie in positieve zin. Dit betekent mogelijk dat de hoogtelijnen op de topografische kaarten van het NGI hier gemiddeld 1 m à 2 m te laag liggen. Een positieve verticale translatie van de hoogtelijnen op deze kaartbladen met een bedrag van ongeveer 1 maal de standaarddeviatie lijkt in de toekomst dan ook gerechtvaardigd om de nauwkeurigheid van het DEM VLAKO verder op te drijven. Zo zou een analyse waarbij per kaartblad de standaarddeviatie vergeleken wordt met de standaarddeviatie voor het geheel van Vlaanderen er toe kunnen leiden de nauwkeurigheid van het DEM VLAKO nog sterk te verbeteren. Zeker wanneer dit in een iteratief proces zou gebeuren.

HOOFDSTUK 5 BESLUIT

Aan de hand van de hoogtelijnen van de 'oude' topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI (vierkleurendruk), enerzijds aangevuld in sterk verstedelijkte gebieden met hoogtelijnen uit fotogrammetrische waarnemingen, terreinmetingen en uit topografische kaarten van het MOW en anderzijds aangevuld met hoogtelijnen uit de 'oude' geologische kaarten op schaal 1/40.000 op plaatsen waar het reliëf heden ten dage sterk verstoord is als gevolg van menselijke ingrepen, werd een basis dataset van 2D lijnen aangelegd. Deze dataset werd aangevuld met 3D lijnen in de valleien en op de heuvelruggen. De aldus bekomen database van vectoren werd omgezet naar 3D model onder de vorm van een rasterbestand met cellen van 25 m bij 25 m. Uit dit rasterbestand werd vervolgens ook een bestand met een celgrootte van 100 m bij 100 m geëxtraheerd. Deze finale bestanden kregen respectievelijk DEM VLAKO 25 en DEM VLAKO 100 als naam.

Met dit 3D model werd er getracht van een zo natuurlijk mogelijk reliëf te reconstrueren. Het zal als basis dienen voor het verder uitwerken van het 3D model voor het Quartair. Ter controle werd er een kaart gemaakt van het verschil tussen het DEM VLAKO en het DHM Vlaanderen. Op deze kaart zijn duidelijk alle menselijke ingrepen op het landschap waar te nemen. De standaarddeviatie van deze verschilkaart bedraagt 1,39 m, maar zal nog afnemen als alle artefacten uit het DHM Vlaanderen gefilterd zouden worden. Dit kan duidelijk als een indicatie van de hoge nauwkeurigheid van de hoogtelijnen op de 'oude' topografische kaarten op schaal 1/10.000 van het NGI en van het DEM VLAKO gezien worden. Het DEM VLAKO kan bijgevolg in de toekomst als een betrouwbaar referentiedocument aanzien worden voor alle studies waarbij een zo "natuurlijk" of "oorspronkelijk" mogelijk reliëf een belangrijke rol speelt.

LITERATUURLIJST

AGIV: *Digitale versie van Topografische kaart 1/10.000, raster, hoogtelijnen*, NGI, opname 1991-2005.

BGD: *Geologische kaarten op schaal 1/40.000*, digitaal product voor gans België.

GIS-Vlaanderen (2004): *Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen*, MVG-LIN-AMINAL-afdeling Water en MVG-LIN-AWZ-afdeling Waterbouwkundig Laboratorium en Hydrologisch onderzoek.

Laenen, B. & Daneels, A., 2004: *Raadplegingsysteem Mijnkaarten*. Studie uitgevoerd door VITO i.o.v. de Vlaamse overheid, Departement LNE, ALBON, VITO-rapport, 2004/MAT/R/0131.

Matthijs, J., 2008: *Analyse en evaluatie van de bestaande geologische data voor de opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel - Opbouw van een geologisch 3D-lagenmodel voor de sedimenten van het Krijt- en pre-Krijt*. Studie uitgevoerd door VITO i.o.v. de Vlaamse overheid, Departement LNE, ALBON, VITO-rapport, 2008/MAT/R/0084.

NGI, *DTM-1/10 000*, digitaal product voor gans Vlaanderen.

Vancampenhout, P., De Ceukelaire M., Duser, M. & Declercq., P. 2007: *Aanpassen van de Hydrogeologische Kartering van de Ondergrond in Vlaanderen (HCOV)*, studie in uitgevoerd in opdracht van AMINAL, Afdeling Water, BGD-rapport WAT/L 2005 S 0007 X, 132p.