

# VISUALISATIES VAN LIDAR DATA IN EEN EDUCATIEVE SETTING

Aantal woorden: 19.895

Jana Ameye

Stamnummer: 01811772

Promotor: Prof. dr. Philippe De Maeyer (Vakgroep Geografie)

Begeleider: Dhr. Luc Zwartjes (Vakgroep Geografie)

Masterproef ingediend tot het behalen van de graad master in de richting Geomatica en landmeetkunde.

Academiejaar: 2020 - 2021



## VOORWOORD

Normaliter zou ik starten met mijn dankbetuiging aan alle mensen die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze masterproef, die me hebben gesteund gedurende het volledige proces, maar daar dit academiejaar alles behalve 'normaal' was, neemt ook mijn voorwoord een andere wending. Dit academiejaar was op zijn minst gezegd een beproeving en dit voor ieder van ons. We kwamen terecht in een lockdown, een maskercultuur en een anderhalvemetermaatschappij, een tijd waarin corona de overhand nam. De zorg om gezondheid, het sociaal contact dat wegviel, de komst van onlinelessen en een elleboog om gedag te zeggen, dit was niet hoe ik mijn afstudeerjaar voor ogen had. Toch blik ik er met trots op terug, want het was een uitdaging met vele nieuwe wendingen, een periode met vallen en opstaan en desondanks bereikte ik mijn doel, een resultaat waar ik tevreden over ben. Het gevoel dat ik daardoor krijg bij het indienen van deze masterproef, is er een van blijdschap.

Intussen is het moment gekomen om nog heel wat mensen te bedanken. Allereerst spreek ik mijn genoegens uit over Professor Philippe De Maeyer en mijn begeleider Luc Zwartjes die me beiden voortreffend hebben ondersteund. Niet alleen kreeg ik van hen de kans om mijn eigen richting uit te gaan, maar ze gaven me ook de mogelijkheid een aantal van mijn passies te combineren en te gebruiken in dit zeer interessant en innovatief onderzoek. Ondanks de moeilijke situatie kon ik bij hen terecht wanneer nodig, dit voor zowel bruikbare tips als voor enkele bemoedigende woorden.

Daarnaast gaat mijn dank ook uit naar dhr. dr. Mario Hernandez en doctoraatsstudenten Laure De Cock en Leen De Paepe. Zij stonden altijd klaar om mij te helpen waar nodig en dit voornamelijk bij het opstellen van mijn onderzoek. Zo werd ik onder andere geholpen bij de vertaling van de test en andere documenten naar het Spaans, het vinden van Mexicaanse respondenten, de statistische analyses, de interpretatie van de gegevens, etc.

Verder spreek ik nog mijn dank uit naar iedereen in mijn naaste omgeving, want zij gaven mij de moed en het vertrouwen die ik nodig had om dit hoofdstuk in mijn leven te verwezenlijken. Van mijn ouders kreeg ik de kans om verder te studeren in het tweevoud; een bachelor secundair onderwijs en een master geomatica en landmeetkunde. Dankzij hun steun en toeverlaat was ik in het bezit van dit doorzettingsvermogen. Daarnaast was er mijn broer, niet alleen een topper, maar ook mijn wederhelft. Hij wist me op te beuren waar nodig, al was het door zijn irritante zelve te zijn, mij naar buiten te jagen of mij uit te dagen. Vervolgens, Dirk Volckaert, de vriend van mijn mama die dit eindwerk tot in de puntjes heeft nagelezen. Hopelijk heeft het jou een beetje kunnen boeien! Om te eindigen nog een *shout out* naar mijn beste vrienden, want ook zij horen thuis op deze pagina. Mijn oprechte excuses voor het gezaag en geklaag als ik het even niet meer zag zitten. Jullie afleidingsmanoeuvres waren meer dan welgekomen, daar genoot ik gewoon dubbel en dik van.

Tenslotte wil ik nog al de respondenten in de bloemetjes zetten, want ook zonder hun medewerking was dit onderzoek niet mogelijk geweest. Dankjewel!

## SAMENVATTING

Hoewel het gebruik van technologie en GIS toeneemt, heeft dit ook een tegenwicht uitgeoefend op de georuimtelijke geletterdheid van leerlingen en studenten. De opkomst van lidaropnames met een hoge ruimtelijke resolutie en nauwkeurigheid bieden de mogelijkheid om innovatief aan de slag te gaan om het ruimtelijk denken in het onderwijs te stimuleren. Geografische vorming is dan ook onmisbaar bij de opleiding tot actieve burgers met verantwoordelijkheidsbesef in de huidige en toekomstige wereld.

Ondanks het feit dat er een aanzienlijk aantal studies hebben getracht een beter inzicht te verkrijgen in de evaluatie van de bruikbaarheid van visualisatiemethoden, bevindt het gebruik van lidarbeelden in een educatieve context zich in zijn totale beginfase. Daarom vereist dit zeker meer onderzoek naar de mogelijkheden en de toegevoegde waarde voor wetenschappelijke studies. In deze masterscriptie wordt een enquête ontwikkeld in LimeSurvey om te onderzoeken met behulp van welke visualisatiemethode(n) lidardata het best kunnen gevisualiseerd worden in het onderwijs van België en/of Mexico. De drie met elkaar vergeleken visualisaties zijn *hillshading*, *slope gradient* en *sky view factor*. De twee nauw verbonden doelgroepen van jongeren omvatten universiteitsstudenten en middelbare scholieren. Uiteindelijk bleek de test onvoldoende Mexicaanse scholieren te bereiken, waardoor deze groep niet werd meegenomen in de verdere verwerking. Door middel van een statistische analyse wordt verder een gebruiksvriendelijk en eenvoudig te begrijpen visualisatie geselecteerd. De resultaten worden op die manier kwantitatief gemaakt tegenover de subjectieve vergelijking waarbij het gaat om een visuele interpretatie van het studiegebied door de gebruiker. Opmerkelijk is dat er voor de Mexicaanse studenten geen significant verschil is tussen de verschillende methodes, terwijl *hillshading* er voor de Belgen bovenuit steekt. Daarnaast tonen de resultaten ook een significant verschil tussen kaartgebruikersgroepen, zo is er wel degelijk een verscheidenheid in de resultaten tussen de verschillende landen. Finaal is het nog opvallend hoe *hillshading* het meest wordt verkozen door alle doelgroepen. Desondanks is het verschil tussen de populatieverhoudingen waarbij het beste resultaat ook gelijk was aan de voorkeur, telkens gelijk aan nul.

Ten slotte werden er voor de masterproef vier lidarcompetenties opgesteld om de link te leggen naar het onderwijs. Op die manier kunnen leerkrachten hun leerlingen de grondbeginselen omtrent het werken met lidardata bijbrengen om de ontwikkeling van het georuimtelijk denken te bevorderen. De competenties bevatten het kritisch lezen en interpreteren van lidarbeelden, het beschrijven en gebruiken van lidartoepassingen in het dagelijkse leven en de samenleving, het analyseren van verschillende visualisatiemethoden en het reflecteren en handelen met behulp van lidar.

## **ABSTRACT**

While the use of digital technology and geographic information systems is increasing, it has also counteracted the geospatial literacy of pupils and students. The emergence of lidar imagery with high spatial resolution and accuracy provides an opportunity to take an innovative approach for stimulating spatial thinking in education. Therefore, geographical education is indispensable in training active citizens who are responsible for the world of today and tomorrow.

Despite the fact that a considerable number of studies have attempted to evaluate the usefulness of visualisation methods, the use of lidar imagery in an educational context is in its initial stages. Therefore, this certainly requires more research for its potential and added value for scientific studies. In this master dissertation, a survey is developed in the software of LimeSurvey to investigate which visualisation method(s) can best be used to visualise lidar data in educational settings in Belgium and/or Mexico. Three visualisations are compared: hillshading, slope gradient and sky view factor. The two closely related target groups of young people include school pupils and university students. In the end, the test did not reach enough Mexican students, so this group was not included in the further processing. A user-friendly and easy-to-understand visualisation is further selected by means of a statistical analysis. In this way, the results are made quantitative versus the subjective comparison that involves a visual interpretation of the study area by the user. Remarkably, for the Mexican students there is no significant difference between the different methods, while hillshading stands out for the Belgians. In addition, the results also show a significant difference between map user groups, so there is indeed a variation in the results between the different countries. Finally, it is striking how hillshading is most preferred by all target groups. Nevertheless, the difference between the population ratios where the best result was also equal to the preference, is always equal to zero.

Finally, four lidar competences were drawn up for this master dissertation to make the link back to education. This way, teachers can learn their pupils the basics of working with lidar data in order to promote the development of geospatial thinking. These competences include reading and interpreting lidar images critically, describing and using lidar applications in daily life and society, analysing different visualisation methods and to reflecting and acting with lidar.

## **POPULARISERENDE INHOUD**

Daar de generatie van vandaag is opgegroeid met een gemakkelijke toegang tot GNSS gebaseerde tools, wordt steeds minder ruimtelijk inzicht verworven. Het stimuleren van georuimtelijk denken zou daarom moeten worden aangemoedigd in de onderwijsinstellingen en waarom ook niet met een nieuw soort gegevens, namelijk lidardata. Deze steeds breder opkomende technologie bepaalt een afstand tot een object met behulp van laserlicht. In deze studie werd een test ontwikkeld voor data-acquisitie omtrent de bruikbaarheid van met lidar gegenereerde beelden, dit voor het Belgisch en het Mexicaans onderricht. Verschillende statistische analyses werden gebruikt om de meest efficiënte methodiek te selecteren. Daarnaast werd ook de verscheidenheid aan resultaten onderzocht en werd vergeleken of de voorkeuren van de participanten overeenkwamen met de geleverde prestaties. Deze verkennende studie biedt tot slot een eerste benadering voor het gebruik van lidarbeelden in een educatieve setting en daarnaast kunnen de resultaten voor verder onderzoek interessant en bruikbaar zijn.

## INHOUDSTAFEL

VOORWOORD .....	2
SAMENVATTING .....	3
ABSTRACT .....	4
POPULARISERENDE INHOUD .....	5
INHOUDSTAFEL .....	6
LIJST VAN AFKORTINGEN .....	12
1. Inleiding .....	13
2. Integratie van archeologische lidarbeelden in het onderwijs .....	15
2.1 Remote Sensing .....	15
2.1.1 Remote sensing in het onderwijs .....	16
2.2 Geografische informatiesysteem .....	17
2.2.1 Geografische informatiesystemen in het onderwijs .....	18
2.3 Kaarten .....	19
2.3.1 Kaarten in het onderwijs .....	20
2.4 Lidar .....	21
2.4.1 Sleuteleenheden .....	22
2.4.2 Kenmerken .....	23
2.4.3 Digitale hoogtemodellen .....	24
2.4.4 Visualisaties .....	26
2.5 Ruimtelijk denken en curricula in het onderwijs .....	32
2.5.1 Curricula België .....	33
2.5.2 Curricula Mexico .....	34
3. Studiegebieden .....	35
3.1 Archeologisch aspect .....	35
3.2 Heuvelrug Bellewaerde (België) .....	36
3.3 Yucatan South GLAS s399 (Mexico) .....	37
4. Methodologie en verwerking .....	39
4.1 Data .....	39
4.1.1 Bellewaerde Heuvelrug .....	39
4.1.2 Yucatan South GLAS s399 .....	40
4.2 Verwerking tot visualisaties .....	41

4.2.1	Gewenste resolutie DTM.....	42
4.2.2	Unzippen naar LAS-formaat en selectie maaiveldpunten.....	43
4.2.3	Van LAS file naar DTM.....	45
4.2.4	Van DTM naar de verschillende visualisaties.....	46
4.3	Verwerking tot een test.....	47
4.3.1	Doelstellingen.....	48
4.3.2	Efficiëntie van visualisaties.....	49
4.3.3	Aanpak.....	49
4.3.4	Aanmaak.....	50
4.3.5	LimeSurvey.....	51
4.4	Testafname.....	52
4.4.1	Participanten.....	52
4.4.2	Invullen enquête.....	53
4.5	Data processing.....	54
4.5.1	Voorbewerking.....	54
4.5.2	Descriptieve statistiek.....	54
4.5.3	Statistische analyse.....	55
5.	Resultaten.....	58
5.1	Descriptieve statistieken.....	58
5.2	Statistische analyse.....	60
5.2.1	Doelstelling 1: Meest geschikte visualisatie.....	60
5.2.2	Doelstelling 2: Invloeden op de prestaties.....	62
5.2.3	Doelstelling 3: Verscheidenheid bij kaartgebruikersgroepen.....	63
5.2.4	Doelstelling 4: Voorkeursvisualisatiemethode.....	65
5.2.5	Doelstelling 5: Verschillen bij de studiegebieden.....	66
6.	Discussie.....	67
6.1	Best fit visualisatie.....	67
6.2	Verscheidenheid aan resultaten.....	68
6.3	Voorkeuren van visualisaties.....	69
6.4	De verschillende studiegebieden.....	70
6.5	Opmerkingen bij het onderzoek.....	70
6.6	Beperkingen van het onderzoek.....	71
6.7	Toekomstig onderzoek.....	72
7.	Aanbevelingen tot competenties.....	73

8.	Besluit .....	75
9.	Referentielijst .....	77
9.1	Artikels .....	77
9.2	(Hoofdstukken uit) boeken.....	81
9.3	Internetbronnen .....	81
9.4	Andere .....	84
10.	Bijlagen .....	85



## LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Het proces van de analyse van RS beelden .....	17
Figuur 2: Taxonomie van het ruimtelijk denken.....	21
Figuur 3: A) Figuurlijke voorstelling airborne lidarlaserscanning. B) Een typisch airborn laser systeem .....	22
Figuur 4: Lidarreturns .....	24
Figuur 5: Digitale hoogtemodellen.....	25
Figuur 6: Dimensie van ruimtelijk denken: ruimtelijke voorstelling .....	26
Figuur 7: Resultaten enquête over de voorkeursvisualisatiemethoden .....	27
Figuur 8: Hillshade, slope gradient en sky view factor .....	28
Figuur 9: Illustratie positief en negatief convex .....	30
Figuur 10: Voorstelling berekening geodetische helling.....	30
Figuur 11: De zichtbare hemel ( $\Omega$ ) boven een bepaald waarnemerspunt: A) gezien vanuit een tweedimensionale voorstelling. B) in functie van acht weergegeven zoekrichtingen.....	32
Figuur 12: Overzichtskaart lokalisatie Heuvelrug Bellewaerde .....	36
Figuur 13: Luchtfoto en lidarhoogtemodel van de heuvelrug van Bellewaerde, aangevuld met een doorsnede van een lidarpuntenwolk.....	37
Figuur 14: Overzichtskaart lokalisatie Yucatan South GLAS s399 .....	37
Figuur 15: Satellietfoto en lidarvisualisatie van Yucatan South GLAS s399 .....	38
Figuur 16: Geselecteerde lidartiles.....	40
Figuur 17: Visualisatie Yucatan South GLAS s399 .....	41
Figuur 18: Data processing workflow. ....	42
Figuur 19: Parameters: A) Geoprocessing LAS Dataset To Raster. B) Export Raster.....	46
Figuur 20: Ruimtelijk denkkader .....	52
Figuur 21: De vier doelgroepen van dit onderzoek .....	53
Figuur 22: Algemene kenmerken van de 88 participanten.....	58
Figuur 23: Boxplots enquêteresultaten van de 88 participanten .....	59
Figuur 24: Vergelijking van de wekelijkse verbindingsuren tussen studenten met computer en internet (blauw) en zonder computer en internet (bordeaux) .....	68
Figuur 25: Resultaat Belgen, Mexicanen en weggelaten respondenten op de vraag: 'Vond u de enquête moeilijk?' .....	69

## LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Onderzoeksvragen met bijhorende doelstelling .....	14
Tabel 2: RS karakteristieken beïnvloeden vaardigheden die uitmonden in een pedagogisch resultaat .....	16
Tabel 3: Relevante themaoverschrijdende doelstellingen en eindtermen derde graad ASO met component wetenschappen.....	33
Tabel 4: Competenties studiefiche GIS – C003531 .....	34
Tabel 5: Beginselen van de module ruimtelijke analyse instrumenten .....	34
Tabel 6: Technische achtergrond lidardata .....	40
Tabel 7: Technische achtergrond lidardata .....	41
Tabel 8: Vergelijking beelden Bellewaerde Heuvelrug in verschillende resoluties .....	43
Tabel 9: ASPRS Standard lidar Point Classes .....	44
Tabel 10: Uiteenzetting parameters: A) Hillshade. B) Sky view factor.....	47
Tabel 11: Test assumptie steekproefomvang voor data over de voorkeuren. ....	57
Tabel 12: Enquête-specifieke kenmerken van de 88 participanten. ....	59
Tabel 13: Binomiale test per visualisatiemethode per doelgroep.....	61
Tabel 14: Chi-kwadraattest voor de verschillende visualisaties. ....	62
Tabel 15: Correlatiecoëfficiënten van de onafhankelijke variabelen. ....	62
Tabel 16: Resultaten van de meervoudige lineaire regressieanalyse. ....	63
Tabel 17: Chi-kwadraattest voor de verschillende kenmerken in de basisvragen. ....	64
Tabel 18: Correspondentie tussen prestaties en voorkeuren voor lidarvisualisaties. ....	65
Tabel 19: Verwerking z-toets met twee proporties .....	66
Tabel 20: Chi-kwadraat tabel eindresultaten verschillende studiegebieden. ....	66
Tabel 21: Oplijsting van enkele relevante opmerkingen .....	71
Tabel 22: Lidarcompetenties .....	74

## LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage 1: Overzicht en datering van de kraters bij Bellewaerde en Railway Wood .....	85
Bijlage 2: Hillshade van Yucatan South GLAS s399 met aangeduide terrassen .....	86
Bijlage 3: Beslissingsboom DHMV productenaanbod .....	86
Bijlage 4: Verwerking in de LASzip.exe interface met bijhorende parameters .....	87
Bijlage 5: Verwerking in de LASground.exe interface met bijhorende parameters .....	87
Bijlage 6: Visualisatie FugroViewer Bellewaerde Heuvelrug volledige puntenwolk (RGB image values) versus maaiveldpunten (color points by elevation) .....	88
Bijlage 7: Visualisatie FugroViewer Yucatan South GLAS s399 volledige puntenwolk versus maaiveldpunten (color points by elevation) .....	89
Bijlage 8: Verwerking in ArcGIS Pro interface .....	90
Bijlage 9: Visualisatie DTM (0,50 m) Heuvelrug Bellewaerde in QGIS .....	90
Bijlage 10: Visualisatie DTM (0,50 m) Yucatan South GLAS s399 in QGIS .....	91
Bijlage 11: RVT gebruikersinterface .....	91
Bijlage 12: Processing LOG file: Bellewaerde Heuvelrug .....	92
Bijlage 13: Processing LOG file: Yucatan South GLAS s399 .....	93
Bijlage 14: PowerPoint presentatie introductiefilmpje – Nederlandse versie .....	95
Bijlage 15: Oplossingsbundel lidar visualisatiemethoden – Nederlandse versie .....	102

## LIJST VAN AFKORTINGEN

AGIV	Agentschap Geografische Informatie Vlaanderen
AIV	Agentschap Informatie Vlaanderen
ALS	Airborne Laser Scanning
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
DEM	Digital Elevation Model
DHMV	Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
GDPR	General Data Protection Regulation
GIS	Geografisch informatiesysteem
GNSS	Global Navigation Satellite System
HS	Hillshading
ICA	International Cartographic Association
IGU	International Geographical Union
IMU	Inertial Measurement Unit
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INS	Inertial Navigation System
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
ITECHAM	Instituto Tecnológico Superior de Champotón
LIDAR	Light Detection And Ranging
MVP	Maaiveldpunten
RS	Remote Sensing
RVT	Relief Visualization Toolbox
SG	Slope Gradient
SVF	Sky View Factor
TAR	Tape Archive File
TIFF	Tagged Image File Format
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
VIF	Variance inflation factor
ZRC SAZU	Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts

## 1. INLEIDING

Lidar is een toonaangevende laserscantechnologie met voortdurende vooruitgang die reeds in verschillende sectoren geïntegreerd wordt, zoals de bouw en het milieubeheer. Heden ten dage wordt deze technologie ook steeds meer gebruikt om bovengrondse, archeologische kenmerken op te sporen die door hedendaagse elementen in het landschap of door de vegetatie aan het zicht worden onttrokken. Kennis over lidar en de verschillende visualisatiemethoden kan in die zin gebruikt worden voor het oplossen van gemeenschapsvraagstukken, daar deze gegevens ook heel wat ruimtelijke inzichten met zich kunnen meebrengen. Bovendien worden geografische informatiesystemen (GIS) steeds belangrijker in onze samenleving, wat kan worden verondersteld door de steeds grotere implementatie van deze technologie in onderwijscurricula. Het is een hulpmiddel voor leerkrachten om op onderzoek gebaseerde leeromgevingen te vergemakkelijken, maar toch wordt het vaak in lessen aan de kant geschoven wegens te tijdrovend. Door deze zaken met elkaar te combineren, kunnen vraagstukken gaande over landschapsbescherming en/of planning worden bestudeerd. Hierdoor wordt het ruimtelijk bewustzijn van de leerlingen gecreëerd of gestimuleerd dat in deze masterscriptie wordt gezien als de hoofdreden om lidar te implementeren in een onderwijscontext.

Omwille van het stijgende belang aan ruimtelijk bewustzijn in de huidige samenleving en de steeds ruimere implementatie van lidar in verschillende bedrijfstakken richt dit onderzoek zich op de volgende probleemstelling: “Met behulp van welke visualisatiemethode(n) kunnen lidardata het best geïmplementeerd worden in een educatieve setting”. Een focus wordt gelegd op het onderwijs in de landen België en Mexico, daar er reeds een samenwerkingsverband is tussen de vakgroep geografie (UGent), de Mexicaanse erfgoedautoriteit ‘*Instituto Nacional de Antropología e Historia*’ (INAH) en inheemse Maya-gemeenschappen. In het reeds bestaande projectvoorstel wil men de lokale Maya-gemeenschappen mondiger maken door hen gebruiksvriendelijke GIS-instrumenten (paragraaf 2.2) aan te reiken om de identificatie, de visualisatie en de verspreiding van ecotoerismeaanbiedingen te vergemakkelijken (Hernandez, 2020). In dit kader kan deze masterscriptie gezien worden als zowel een uitbreiding als een aanvulling op dit project. Hoe gaan jongeren om met lidar, een voor hen meestal nieuwe vorm van ruimtelijke data, welke visualisatiemethode is het meest geschikt om archeologische data in een educatieve context voor te stellen en hoe kunnen we met behulp van deze gegevens de geografische kennis en het ruimtelijk bewustzijn van de jongeren vergroten? Om hierop een antwoord te formuleren wordt in het vervolg van deze paper een onderzoek opgesteld in de vorm van een enquête, steunend op verschillende andere onderzoeken om zo tot een *best fit* visualisatiemethode te komen.

In het onderzoek wordt in grote lijnen als volgt te werk gegaan: in een eerste fase wordt gezocht naar geschikte studiegebieden in België en Mexico. Deze gebieden dienen logischerwijze te beschikken over lidardata. Met behulp van de ruwe data wordt een digitaal hoogtemodel vervaardigd om van hieruit tot de verschillende visualisaties te komen. Ingezet werd hierbij op visualisatiemethoden die niet te complex zijn om te begrijpen en die best zo intuïtief mogelijk verstaanbaar zijn. De gegenereerde visualisaties van lidardata, wat in het vervolg van deze thesis vernoemd wordt met de term lidarbeelden, werden in

een volgende fase verwerkt in een onlinetest waarbij dezelfde vragen terugkeerden voor de beide gebieden. Gestart werd telkens met het min of meer gekende gebied van de betreffende doelgroep, waardoor er twee versies van de enquête bestonden: enerzijds voor de Mexicaanse studenten een Spaanse versie, voor de Belgen een Nederlandstalige versie. Eens er voldoende resultaten waren, kon worden overgegaan naar de verwerking ervan. Het bepalen van de *best fit* visualisatiemethode zal daarbij steunen op de resultaten van de verschillende statistische analyses die werden doorgevoerd op de data. Finaal worden er aanbevelingen gedaan omtrent lidarcompetenties die een meerwaarde zouden kunnen zijn om het georuimtelijk denken te bevorderen.

Om gericht te werk te gaan en een einddoel voor ogen te hebben, werden er reeds onderzoeksvragen opgesteld in de masterproefvraagstellingen, weliswaar aangepast en aangevuld naar de uiteindelijke richting van deze scriptie. Deze zijn terug te vinden in tabel 1. De onderzoeksvragen werden vervolledigd met doelstellingen om de uiteindelijke verwachtingen concreet te maken. Ze geven daardoor een globaal overzicht van waarop deze thesis zijn focus legde.

**Tabel 1: Onderzoeksvragen met bijhorende doelstelling.**

Onderzoeksvraag	Doelstelling
Wat zijn de voor- en nadelen van lidartechnologie?	Inzicht verkrijgen in de eigenschappen van de data waarmee gewerkt wordt.
Welke factoren kunnen invloed hebben op de keuze van een bepaalde visualisatiemethode?	Inzien dat de resultaten kunnen verschillen afhankelijk van de geselecteerde doelgroep.
Hoe wordt een test opgezet om de <i>best fit</i> visualisatiemethode te selecteren om nadien te implementeren in een educatieve setting?	Het opstellen van relevante vragen voor data acquisitie waarop naderhand statistieken kunnen worden doorgevoerd die uitmonden in al dan niet significante resultaten.
Met behulp van welke visualisatiemethode(n) kunnen lidardata het best gevisualiseerd worden in een educatieve setting van België en/of Mexico?	Het verkrijgen van een gebruiksvriendelijke en een eenvoudig te begrijpen visualisatie voor leerlingen en/of studenten.
Wat zijn de mogelijkheden omtrent het implementeren van lidar(beelden) in een educatieve setting?	Het opstellen van lidarcompetenties die een positieve invloed hebben op het ontwikkelen van het ruimtelijk denken.

De structuur van het verdere verloop van deze masterproef ziet er finaal uit als volgt: eerst en vooral wordt onderzocht op welke manier archeologische lidarbeelden in het onderwijs zouden kunnen worden geïmplementeerd en wat dit precies inhoudt. Vervolgens worden de studiegebieden besproken om over te gaan naar de methodologie en verwerking. Daarna worden de statistische resultaten aangehaald en worden er aanbevelingen gedaan waarin lidardata een meerwaarde zouden kunnen zijn voor de te geven lessen. Geëindigd wordt er met een discussie en besluit.

## 2. INTEGRATIE VAN ARCHEOLOGISCHE LIDARBEELDEN IN HET ONDERWIJS

Leerkrachten en professoren hebben heden ten dage de verantwoordelijkheid om ruimtelijk bewustzijn te creëren bij hun leerlingen en studenten. Samen met kaartvaardigheden en kennis over geografische informatiesystemen zijn dit de geografische vaardigheden die het vaakst als noodzakelijk worden geacht op de werkvloer (Hanus & Havelková, 2019a). Van hieruit vertrekkend kan het interessant zijn archeologische lidarbeelden te integreren in het onderwijs. Een literatuurstudie over de belangrijkste concepten voor deze masterscriptie volgt in de onderstaande paragrafen.

### 2.1 Remote Sensing

Het veld van de *remote sensing* (RS), in het Nederlands ook wel teledetectie genoemd, is doorheen de jaren vele malen gedefinieerd geweest. Enkele decennia terug in de jaren '70 omschreven Daels en De Breuck (1973) dit begrip als afstandswaarnemingen. In een recentere studie van Campbell en Wynne (2006) werd onderzoek uitgevoerd naar de gemeenschappelijke elementen in de gevarieerde definities. Zij identificeerden een centraal concept voor RS: het verzamelen van informatie op afstand. In een tekstuele interpretatie van het begrip kunnen echter ook andere disciplines zoals geofysische prospectiemethodes onder RS worden begrepen. Hoe dan ook wordt hier in deze scriptie de te brede definitie van Campbell en Wynne verfijnd en wordt het verkrijgen van informatie over objecten of gebieden aan het aardoppervlak zonder er direct mee in aanraking te komen bedoeld (Aggarwal, 2004; Patra, 2010). Informatie wordt dan verkregen door het detecteren en meten van veranderingen die het object het omliggende veld oplegt. Daarbij maakt teledetectie meestal gebruik van technieken gebaseerd op elektromagnetische signalen door terreinobjecten gereflecteerd of geëmitteerd voor informatie-acquisitie (Campbell & Wynne, 2006).

RS heeft volgens Patra (2010), samen met geografische informatiesystemen (paragraaf 2.2), groeiende mogelijkheden. De reeds gemaakte evolutie in deze velden was mogelijk door het feit dat talrijke organisaties hier veel geld in hebben geïnvesteerd en nog steeds besteden. Zo zijn er twee redenen die verklaren waarom deze disciplines de laatste jaren zo belangrijk zijn geworden. Eerst en vooral tonen niet alleen wetenschappers, onderzoekers en studenten, maar ook het brede publiek, een grote belangstelling voor een beter begrip van onze omgeving. Met omgeving wordt dan de geografische ruimte bedoeld en de gebeurtenissen die daar plaatsvinden. Anders gezegd zijn we gaan beseffen dat de geografische ruimte, samen met de gegevens die deze beschrijven, deel uitmaakt van onze dagelijkse realiteit. Ten tweede heeft ook de vooruitgang in de ruimtetechnologie samen met de dalende kosten van de computerhardware en -software de betaalbaarheid mogelijk gemaakt voor een steeds breder publiek (Patra, 2010).

### 2.1.1 Remote sensing in het onderwijs

RS-gegevens vormen volgens Kholoshyn *et al.* (2019) een unieke, onuitputtelijke bron van informatie over processen die zich afspelen op aarde. Vanwege het belang en de aanwezigheid ervan in de wetenschap, de industrie en het publieke leven wordt het steeds meer opgenomen in schoolcurricula en in de onderwijsnormen voor aardrijkskunde (Naumann *et al.*, 2009). Het biedt een groot educatief potentieel voor leerlingen en opent de deur naar de wereld van het onbekende. De openheid en toegankelijkheid van deze informatie droegen bij aan de vorming van deze pedagogische insteek. Enkele belangrijke educatieve voordelen ten opzichte van het traditionele lesmateriaal zijn volgens Karimova en Veselov (2008): een reflectie van de objectieve realiteit, wat voor een hoog realisme zorgt; het kan de contextwaarde van het leren verhogen, wat ook bijdraagt tot de vorming van de cognitieve interesse van leerlingen. Het biedt daarbij een zintuiglijke ondersteuning voor de perceptie, kennis en verklaringen van objecten en fenomenen; een hogere mate aan zichtbaarheid is mogelijk die over het algemeen onbereikbaar is voor de traditionele geografische kaarten; het vergroot de mogelijkheden om de complexiteit en de samenhang van aardse processen aan te tonen, etc. (Karimova & Veselov, 2008).

Het pedagogisch resultaat dat wordt verkregen bij het bestuderen van teledetectiegegevens is terug te vinden in tabel 2. RS vergroot de zichtbaarheid van het leren aanzienlijk door de betreffende leerstof gedenkwaardiger te maken, de motivatie te verhogen, de cognitieve activiteit verder te ontwikkelen en de praktische vaardigheden te versterken voor een actieve levenshouding (Kholoshyn *et al.*, 2019). De conclusie van Naumann *et al.* (2009) luidt dat de implementatie van deze gegevens in een klascontext regelmatig zou moeten gebeuren.

**Tabel 2: RS karakteristieken beïnvloeden vaardigheden die uitmonden in een pedagogisch resultaat.  
Bron: Kholoshyn *et al.*, 2019.**

<b>Earth remote sensing data characteristics</b>	<b>Skills formation</b>	<b>Pedagogical result</b>
Real image of the objects being studied	Formation of the investigated object (phenomenon) image on the basis of decoding aerospace images	It makes learning more figurative, bright and memorable
Complex character of information read from aerospace images	Mastering the methods of analysis and synthesis, the ability to build logical inferences and draw conclusions.	It activates the student's creative activity, increases motivation to acquire new knowledge
Monitoring the territory in time and space	Analysis of spatial and temporal information, modeling and predicting situations	It develops the potential of students' cognitive activity, involves them in research work
Great practical value of the information obtained when decoding aerospace images	Assessment of the studied areas state (accounting for the dynamics of changes in natural and anthropogenic factors)	It strengthens the influence that brings up training, forms practical skills and an active life position



Tegelijkertijd vervullen deze beelden een dubbele rol: enerzijds zijn ze een onderzoeksmiddel en anderzijds vormen ze een onderzoeksobject. Een gedetailleerde studie helpt hierbij om een objectief, holistisch beeld te vormen van het studiegebied met de bijhorende ruimtelijk-temporele kenmerken. Het realiseren van “de realiteit” door het analyseren van RS-beelden verloopt in verschillende fasen (Kholoshyn *et al.*, 2019):

1. **Fase 1:** dit stadium omvat het begrijpen van de beelden waarbij de leerlingen in feite een basis leggen voor het praktisch gebruik. Zo is het onder andere belangrijk om de kenmerken omtrent reflectie van geografische objecten te begrijpen.
2. **Fase 2:** hier komt het decoderen van de beelden aan bod. Dit is het vermogen om geografische objecten (fenomenen) te onderscheiden en te herkennen.
3. **Fase 3:** deze fase bestaat uit het lezen van de beelden, wat het beheersen omvat van de middelen om beschrijvingen op te stellen op basis van de verkregen informatie uit de tweede fase. De creatie van een beeld over “de realiteit” leidt tot de uitbreiding en een verrijking van de kennis over de onderzochte werkelijkheid, wat de vorming van praktische vaardigheden en een actieve levenspositie bevordert. De leerkracht dient hier echter wel aandacht te hebben voor het feit dat het gecreëerde beeld aanzienlijk kan verschillen van de werkelijkheid, daar het beeld slechts een deel ervan overbrengt.



Figuur 1: Het proces van de analyse van RS beelden.

## 2.2 Geografische informatiesysteem

Er zijn zoveel pogingen geweest om een geografisch informatiesysteem (GIS) te definiëren waardoor het niet evident is één definitie te selecteren. Deze variëteit kan worden verklaard door wie de omschrijving geeft in combinatie met zijn/haar achtergrond en standpunt. Bovendien zullen de definities waarschijnlijk snel blijven veranderen naarmate technologie en applicaties zich verder ontwikkelen (Carver *et al.*, 2011). Volgens Tomlinson (2007) laat een GIS toe tijdruimtelijke gegevens te beheren en te analyseren om nuttige informatie te kunnen extraheren en visualiseren. Ruimtelijke gegevens worden daarbij gekoppeld aan hun attribut informatie, opgeslagen in een database. Analytische functies kunnen vervolgens op deze geografische database worden toegepast om de benodigde informatieproducten te verkrijgen (Tomlinson, 2007). Daartegenover bestaat GIS volgens Patra (2010) uit drie woorden: geografisch, informatie en systeem. Hierbij wordt respectievelijk verband gelegd met de ruimtelijke objecten of kenmerken waarnaar kan worden verwezen, de grote hoeveelheid gegevens over een bepaald object en een systeembenadering waarbij de complexe omgeving wordt opgesplitst

in zijn samenstellende gerelateerde delen. Kaarten zijn de typische output voor een GIS en kunnen dienst doen voor beheer en/of besluitvorming (Patra, 2010). Thans geldt het begrip in Vlaanderen zoals voor de eerste maal vastgelegd in het decreet houdende het Geografisch Informatie Systeem Vlaanderen van 17 juli 2000 (*B.St.* 2 september 2000; Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2000):

*Art. 2. Voor de toepassing van dit decreet wordt verstaan onder:*

*1° Geografische informatie: alle ruimtelijk gerefereerde informatie;*

*2° Geografisch informatie Systeem, hierna GIS te noemen: informatiesysteem voor het opbouwen, beheren, verwerken, presenteren, integreren en communiceren van geografische informatie.*

Daarnaast bestaat er echter al bijna evenveel discussie over de componenten van een GIS als over de definitie ervan. Op grond van het boek van Carver *et al.* (2011) wordt aangenomen dat de componenten van een GIS bestaan uit een computersysteem met software, ruimtelijke data, datamanagement en analyseprocedures. Enkele essentiële elementen van de hardware voor effectieve GIS-operaties zijn de processor (snelheid), het geheugen (voldoende) en een beeldscherm met goede resolutie (hoog resolutie kleurenscherm). De geografische ruimte wordt vaak gerepresenteerd aan de hand van een laaggebaseerde benadering (vector of raster), bestaande uit punten, lijnen en polygonen. De data zijn overigens gekarakteriseerd door informatie over de positie, connecties met andere objecten en details van niet-ruimtelijke kenmerken. De functies die het moet vervullen zijn onder meer data-invoer, opslag, beheer, transformatie, analyse en uitvoer (Carver *et al.*, 2011).

### *2.2.1 Geografische informatiesystemen in het onderwijs*

Verschillende studies (Johansson, 2003; Demicri *et al.*, 2010; Zwartjes *et al.*, 2016) tonen aan dat een GIS-toepassing leerkrachten kan helpen om de implementatie van constructivistische (een actief proces van kennisverwerving) en op onderzoek gebaseerde leeromgevingen te vergemakkelijken. Het wordt onder andere gebruikt als een instrument om projecten te ontwikkelen om hedendaagse, maatschappelijke problemen mee op te lossen, eventueel in samenwerking met overheidsinstanties. Regionale gegevens kunnen worden verzameld in een GIS om daar te verwerken, te manipuleren en te analyseren. De relevante resultaten van het project kunnen ten slotte worden verspreid onder het geïnteresseerde publiek. Volgens het onderzoek van Cheung *et al.* (2011) kan een GIS dusdanig worden geïmplementeerd dat het lesgeven daadwerkelijk wordt ondersteund en verbeterd in plaats van een extra last te worden voor de reeds overbelaste docenten in de frontlinie.

Theorie en praktijk zijn helaas in dit opzicht vaak moeilijk te verzoenen. Hoewel het gebruik van GIS zeer sterk wordt aanbevolen in het aardrijkskundecurriculum van de middelbare school, bestaan er veel barrières voor leerkrachten om het effectief in de lessen te implementeren (Johansson, 2003; Demicri *et al.*, 2010; Cheung *et al.*, 2011):

- Sommige aardrijkskundeleraren zijn niet vertrouwd met een GIS of hoorden er pas voor het eerst over door een nieuw curriculum. Indien de leerkracht dan toch een GIS wou implementeren in de les, was het soms enkel en alleen al niet mogelijk vanwege de ontoereikende kennis en/of vaardigheden.
- Leerkrachten moeten bij de planning en uitvoering van hun lessen voortdurend rekening houden met de beperkte middelen en de beschikbaarheid van tijd. De beperkte middelen kunnen het gebrek aan hardware, software of ruimtelijke data impliceren in de scholen, wat voor belemmeringen zorgt buiten de wil van de leerkracht om.
- De *userinterface* van een GIS-software was vroeger nogal vaak heel gecompliceerd. Het vereenvoudigen van de gebruikersomgeving en het verkleinen van de kloof tussen professionele GIS-software en de werkelijke behoeften van leerkrachten in het secundair onderwijs waren daarom noodzakelijk. Tegenwoordig bestaan er reeds tal van GIS-applicaties die relatief eenvoudig aan te wenden zijn. Voorbeelden zijn ArcGIS Online, Google Earth Pro, Maptitude, OpenStreetMap, etc.

Ten slotte kan een GIS ook een positief effect hebben op het georuimtelijk redeneren van leerlingen (Johansson, 2003; Cheung *et al.*, 2011). Ruimtelijke denkvaardigheden introduceren volgens Cheung *et al.* (2011) het leren werken met kaarten en ruimtelijke data, laat studenten toe om ruimtelijke patronen en relaties te leggen en moedigt hen aan om interdisciplinaire kennis te verbinden met de geïdentificeerde patronen/relaties. Het bestuderen van hedendaagse zaken in de echte wereld aan de hand van GIS vergroot dan ook de geografische geletterdheid. Daarom moet het voornamelijk fungeren als een platform dat kennis en feiten van verschillende onderwerpen integreert, eenvoudige hulpmiddelen biedt om vaardigheden in het ruimtelijk denken in te oefenen en om waarnemingen/resultaten te ondersteunen (Cheung *et al.*, 2011).

## 2.3 Kaarten

Het essentiële instrument voor geografische communicatie is de kaart, wat zoals eerder werd aangehaald de typische output is voor een GIS (Patra, 2010; Hanus & Havelková, 2019a, Kholoshyn *et al.*, 2019). Een kaart werd reeds in 1995 door de *International Cartographic Association* (ICA) gedefinieerd als: “A **map** is a symbolised image of geographical reality, representing selected features or characteristics, resulting from creative effort of its author’s execution of choices, and designed for use when spatial relationships are of primary relevance.” (Schmidt, 2014).

Deze definitie belicht een cruciaal element dat verband houdt met dit onderzoek. Een kaart is een visuele weergave van de omgeving en daarom inherent onderhevig aan meningen en interpretaties van zij die ze maken en van zij die ze gebruiken, wat kaarten tot een bron van informatie maakt die best voorzichtig wordt benaderd (Lapon, 2020). Verder in deze paper (paragraaf 2.4.4) komen verschillende reliëfvoorstellingen aan bod die een cartografische voorstelling inhouden van de vormen van het

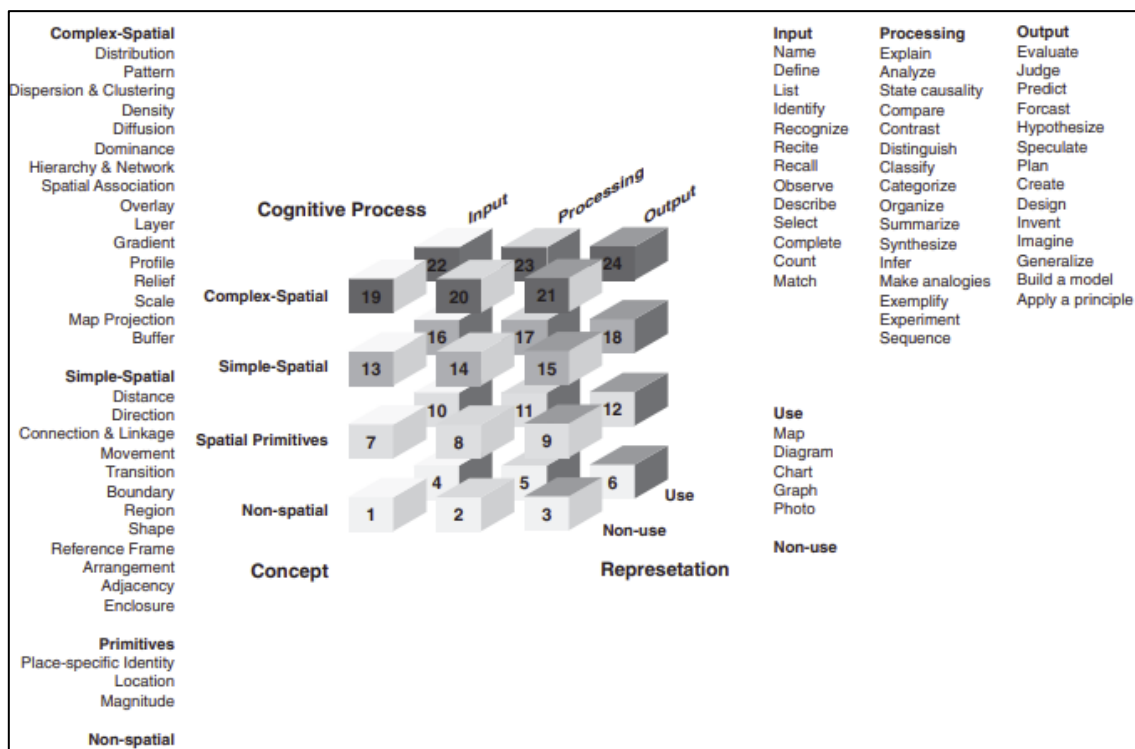
aardoppervlak (De Maeyer *et al.*, 2019). Dit zal gebruikt worden als instrument voor het ontwikkelen van het ruimtelijk, geografisch denken.

### 2.3.1 Kaarten in het onderwijs

De periode waarin nu geleefd wordt kan worden gekarakteriseerd als een ruimtelijk informatietijdperk (Hanus & Havelková, 2019a). Als gevolg van de frequentie van het gebruik van kaarten, nam de betekenis van kaartwerk toe. Hoe beter een leerling in staat is om met een kaart om te gaan, hoe beter de ruimtelijke informatie zal geïnterpreteerd worden. Verschillende studies concluderen daarbij dat een bepaald niveau van kaartvaardigheid is aangeboren bij kinderen (Hanus & Havelková, 2019b). Volgens geografiealumni zijn die kaartvaardigheden, het gerelateerd ruimtelijk denken en het gebruik van GIS dan ook drie van de geografische vaardigheden die het meest nodig zijn in het werkveld van een geograaf (Hanus & Havelková, 2019a).

Kaartwerk wordt net zoals in het onderzoek van Hanus en Havelková (2019a) gezien als het begrijpen van kaartconcepten en het inoefenen van kaartvaardigheden. Onenigheid bestaat echter over de specificatie van kaartvaardigheden, die verband houden met het kaartgebruik en het kaarttekenen (Hanus & Havelková, 2019a). Volgens de handleiding van Daenenkint *et al.* (2016) kan onder het decoderen van een kaartbeeld worden verstaan: het lezen, analyseren en interpreteren van kaarten. Lezen wordt simpelweg gezien als het extraheren van informatie uit een kaart zoals de legende en de schaal. Het start met het zogenaamde oriënteren op de kaart en het onderwerp. Bij kaartanalyse wordt die informatie verwerkt om bijvoorbeeld patronen en relaties te beschrijven. Interpretatie van de kaart gaat ten slotte verder dan wat er op de kaart wordt getoond, daar men de kaartanalyse combineert met andere theoretische kennis. Het 'waarom' komt hier naar boven (Daenenkint *et al.*, 2016). De kaartvaardigheden kunnen vervolgens nog opgesplitst worden in hogere, 'complexere' vaardigheden en kaartvaardigheden op een lager niveau, wat bij implementatie ervan in de lessen best gebeurt volgens het principe van eenvoudig tot complex (Hanus & Havelková, 2019a, 2019b; Kholoshyn *et al.*, 2019). Dit refereert naar de taxonomie van Bloom, een classificatie van onderwijsdoelstellingen ontwikkeld in 1956 door Benjamin S. Bloom (Krathwohl, 2002; Marzano & Kendall, 2006). Het uitdrukkelijke doel van deze taxonomie was een systeem te ontwikkelen waarmee leerkrachten leerdoelen konden ontwerpen die elkaar hiërarchisch opeenvolgden (Marzano & Kendall, 2006). Bloom werkte daarvoor zes hoofdcategorieën uit die samen het cognitieve domein representeren met bijhorende en zorgvuldig uitgewerkte definities (Krathwohl, 2002). De hoofdcategorieën, gerangschikt van concreet naar abstract en vaak nog onderverdeeld in subcategorieën, zijn de volgende: kennis, begrip, toepassing, analyse, synthese en evaluatie. Door deze cumulatieve hiërarchie is de beheersing van een eenvoudigere categorie een voorwaarde voor de beheersing van een meer complexe categorie (Krathwohl, 2002; Marzano & Kendall, 2006). Vermits de taxonomie van Bloom niet ingaat op de belangrijke componenten van het ruimtelijk denken, ontwikkelden Jo en Bednarz (2009) een eigen taxonomie om de verschillende componenten van georuimtelijk denken in de leerplannen, tekstboeken en lesplannen te evalueren. De taxonomie (figuur 2) maakt gebruik van drie componenten. Ten eerste

zijn er de concepten van ruimte, waarbij begrippen zoals plaats, regio, patroon, etc. als essentieel kunnen worden beschouwd en het mogelijk is om ruimtelijke van niet-ruimtelijke concepten te onderscheiden. De tweede component is het gebruik van representatiemiddelen zoals kaarten, diagrammen en grafieken. Dit zijn krachtige instrumenten om informatie te ordenen en te begrijpen. De laatste component is ten slotte het proces van redeneren, dat verder gaat dan het louter ophalen van feitelijke informatie. Met andere woorden het in staat zijn om cognitieve processen op hoog niveau te onderscheiden van die op een laag niveau (Jo & Bednarz, 2009). Het is daardoor een nuttig hulpmiddel bij het ontwerpen en selecteren van vragen die de drie componenten van ruimtelijk denken integreren en bij de bepaling van de mate van de complexiteit van de vraag (Zwartjes *et al.*, 2016).



Figuur 2: Taxonomie van het ruimtelijk denken. Bron: Jo & Bednarz, 2009.

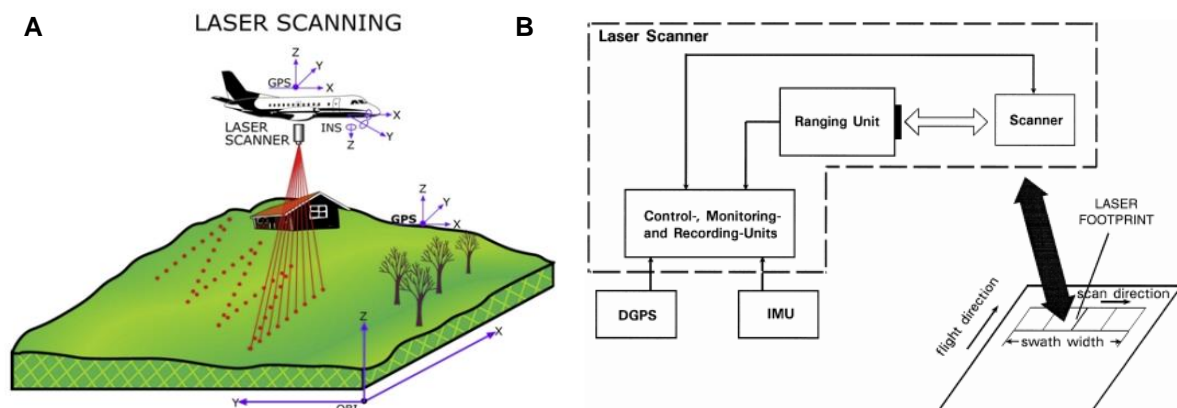
## 2.4 Lidar

Lidar is een acroniem voor 'Light Detection and Ranging' en is een overkoepelende term voor het detecteren en bepalen van een afstand tot een object met behulp van laserlicht (Kerle *et al.*, 2004; Mongus *et al.*, 2009; Janssen, 2017; Stichelbaut, 2018). Sinds de jaren tachtig worden *airborne* lidargegevens gebruikt voor het verzamelen van topografische gegevens (Drosos & Farmakis, 2006; Werbrouck *et al.*, 2011). Deze toonaangevende laserscantechnologie, met voortdurende vooruitgang, is de afgelopen decennia een zeer efficiënte methode geworden voor het verzamelen van ruimtelijke afstandsgegevens (Balenović *et al.*, 2013). Het wordt veelvuldig gebruikt in een breed scala van toepassingen, zoals monitoring van overstromingsgebieden, milieuprojecten, archeologisch onderzoek en beheer, geomorfologie, constructies/infrastructuur, etc. (Werbrouck *et al.*, 2011).

Lidar is een actieve RS-techniek die driedimensionale terreinpuntgegevens levert die samen een puntenwolk voorstellen die de vorm van het landschap weergeeft (Mongus *et al.*, 2009; Werbrouck *et al.*, 2011; Stichelbaut, 2018). Het maakt gebruik van een smalle laserstraal voor het bepalen van een afstand. Een *pulse-based* scanner bepaalt deze afstand door het uitsturen van pulsen, waarbij de verstreken tijd tussen de emissie en de detectie van de reflectie van de pulsen nauwkeurig wordt gemeten. Een *phase-based* scanner is daarentegen gebaseerd op het uitsturen van een continue laserstraal waarbij een elektronisch circuit het faseverschil meet tussen de uitgezonden en ontvangen golfvorm. Daar *phase-based* scanners een kleiner meetbereik hebben, worden deze praktisch nooit gebruikt voor *airborne laser scanning* (ALS) (Kerle *et al.*, 2004; Pfeifer & Briese, 2007; Leonardo da Vinci, 2008; Pečnik *et al.*, 2013; Janssen, 2017). Met behulp van laseraltimetrie worden x-, y- en z-coördinaten geregistreerd, waarbij de x- en y-coördinaat de planimetrische positie weergeeft, de z-coördinaat staat voor de altimetrische positie (Drosos & Farmakis, 2006; Werbrouck *et al.*, 2011). Aangezien geen objectinformatie wordt meegegeven aan deze coördinaten, is de interpreteerbaarheid van de ruwe gegevens niet eenvoudig (Werbrouck *et al.*, 2011). Er wordt dus geen rechtstreekse classificatie aan deze punten meegegeven, met name of dit een punt is van bijvoorbeeld een gebouw, van de grondoppervlakte of van de vegetatie.

#### 2.4.1 Sleuteleenheden

Uit verschillende wetenschappelijke onderzoeken (Wehr & Lohr, 1999; Kerle *et al.*, 2004; Drosos & Farmakis, 2006; Janssen, 2017) kan concluderend gesteld worden dat een ALS typisch wordt opgedeeld in een aantal sleuteleenheden, wat visueel is voorgesteld in figuur 3:



Figuur 3: A) Figuurlijke voorstelling *airborne* lidarlaserscanning. B) Een typisch *airborn* laser systeem. Bron: Wehr & Lohr, 1999; Informatie Vlaanderen, 2020.

1. **Laserscanner:** de laserscanner is cruciaal om aan de benodigde topografische data te komen. Het scant de omgeving waarbij afstanden worden gemeten tot de objecten.
2. **Inertial Measurement Unit (IMU):** de oriëntatie van het *airborne* toestel is onderhevig aan de positie van het vliegtuig waardoor drie verschillende rotatiehoeken ontstaan ten opzichte van

het referentiepad. De IMU is de eenheid om de oriëntatieparameters (*roll, pitch* en *yaw angle*) van de scanner vast te leggen.

3. **Inertial Navigation System (INS):** een INS wordt geïnstalleerd op het *airborne* toestel om de drie rotatiehoeken ten allen tijde te kunnen meten. Dit is van belang om de reflectie correct te lokaliseren in de 3D-ruimte en kan tegenwoordig worden bepaald tot binnen 0,01 van een graad (Drosos & Farmakis, 2006). Het elektronisch toestel bevat accelerometers en gyroscopen om dit te verwezenlijken.
4. **Scanspiegel:** deze spiegel wordt gebruikt om de laserpulsen heen en weer te sturen over de *swath width* onder de baan van het vliegtuig. De scanbreedte is afhankelijk van de hoogte van het *airborne* toestel en de scanhoek.
5. **Global Navigation Satellite System (GNSS):** het bepalen van de positie van een bewegend *airborne* platform zou niet mogelijk zijn zonder een satellietpositioneringssysteem. Met een GNSS is het mogelijk om de positie tot op enkele centimeter nauwkeurig te bepalen, waarbij de gegevens meestal opgenomen worden aan een snelheid van 0,5 of 1Hz. Naast de GNSS-ontvanger aan boord zijn er één of meerdere grondreferentiestations. Deze stations identificeren en corrigeren de fouten in de positie van het *airborne* toestel.
6. **Controle-, monitorings- en registratie-eenheden:** toezicht op alle binnenkomende gegevens.

#### 2.4.2 Kenmerken

Één van de typische kenmerken van *airborne* lidar is dat het in korte tijd een groot aantal terreingegevens genereert in termen van resolutie en schaal (Drosos & Farmakis, 2006; Werbrouck *et al.*, 2011; Janssen, 2017; Stichelbaut, 2018). Aangezien het aantal datapunten gemakkelijk tot in de miljoenen kan oplopen voor een beperkte oppervlakte (Drosos & Farmakis, 2006), moet het GIS waarin men lidar wenst te processen voor verdere verwerking in staat zijn om deze grote datasets te verwerken. Een hoge nauwkeurigheid wordt bereikt door gebruik te maken van een signaal met een korte golflengte (Drosos & Farmakis, 2006; Mongus *et al.*, 2009). Goede reflecties van het signaal worden hierdoor verkregen, wat voor een planimetrische nauwkeurigheid zorgt op centimeterniveau en altimetrisch gaat tot onder de vijf centimeter (Werbrouck *et al.*, 2011; Janssen, 2017; Informatie Vlaanderen, 2020). Bij het gebruik van infraroodstralen kunnen lidarinstrumenten dag en nacht worden ingezet (Kerle *et al.*, 2004).

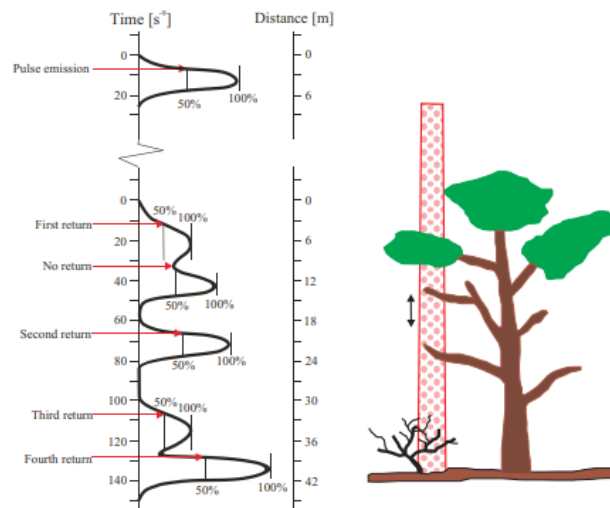
Verder kan de dichtheid van de datapunten op verschillende manieren worden aangepast. Afhankelijk van het gewenste resultaat worden de juiste parameters bepaald (Kerle *et al.*, 2004; Drosos & Farmakis, 2006; Janssen, 2017) waarvan hieronder enkele worden besproken;

- **De vlieghoogte:** lidar wordt meestal op een lage hoogte gevlogen (tussen 700 – 1500 m bij vliegtuigen). Bij gebruik van een grotere vlieghoogte gebeuren er twee zaken. Ten eerste verkleint de nauwkeurigheid aanzienlijk doordat de hoekfout (bepaald door het INS) de foutcirkel op de grond vergroot. Ten tweede neemt de *footprint* van de laserstraal toe, waardoor de kans

groot is dat de straal meer dan één object raakt op weg naar de grond. Het gevolg is dat de straal hierdoor meerdere keren kan worden gereflecteerd (Drosos & Farmakis, 2006).

- **De snelheid:** hoe groter de snelheid, hoe minder het aantal punten per oppervlak. De snelheid van een vliegtuig kan bijvoorbeeld variëren tussen 150 en 750 km/u en moet zorgvuldig worden gekozen in relatie tot het gemonteerde sensorsysteem.
- **De scanhoek en -frequentie:** kan al dan niet worden aangepast afhankelijk van het instrument.

Een bijkomend voordeel van lidar ten opzichte van fotogrammetrie is dat er in beboste gebieden meerdere *returns* kunnen zijn voor elke puls. De pulsen vinden hun weg tussen de kleine open ruimtes van een dichtbegroeid bladerdek waardoor als het ware 'door de takken van een boom' wordt gekeken (Werbrouck *et al.*, 2011; Informatie Vlaanderen, 2020). Volgens Drosos en Farmakis (2006) zijn lidarsystemen ontwikkeld om maar liefst vijf *returns* van een enkele puls te registreren. De eerste terugkeer kan daarbij komen van bladeren aan de bovenkant van het bladerdek, terwijl de laatste terugkeer de eigenlijke hoogte van de grond kan zijn. De *returns* daartussen kunnen daarentegen komen van ergens halverwege (figuur 4). Onderzoeken die tijdens de herfst- of wintermaanden worden uitgevoerd, kunnen daarbij meer *hits* op de grond opleveren door de mindere begroeiing van het bladerdek (Drosos & Farmakis, 2006). Zo kan in Europese naald- en loofbossen een penetratiegraad van 20 tot 40 procent worden verwacht en in de winter tot wel bijna 70 procent voor de loofbossen (Werbrouck *et al.*, 2011). Voor het Mexicaanse tropisch regenwoud, gekenmerkt door dichte plantengroei, zal dit percentage kleiner zijn.



Figuur 4: Lidarreturns. Bron: Informatie Vlaanderen, 2020.

### 2.4.3 Digitale hoogtemodellen

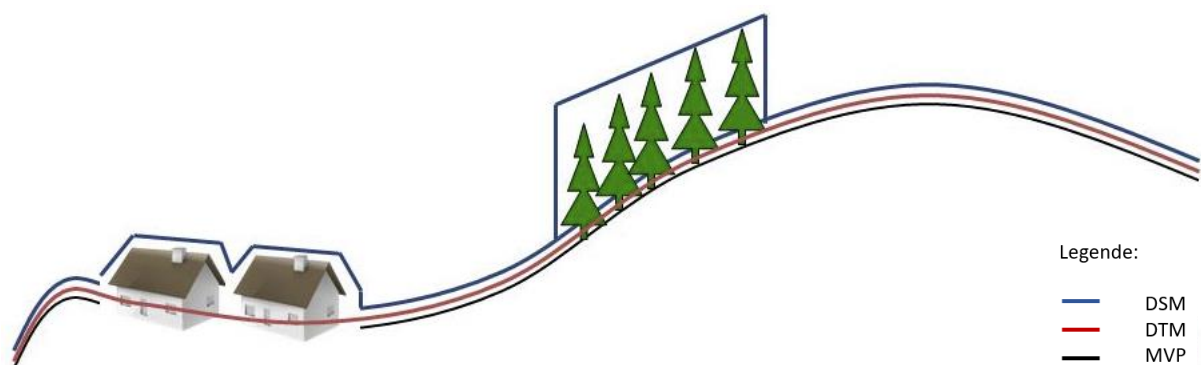
Het regelmatige scanpatroon met hoge densiteit van *airborne* lidar maakt het mogelijk om een hoogwaardig digitaal hoogtemodel of *digital elevation model* (DEM) te produceren dat het oorspronkelijke datavolume aanzienlijk vermindert. Dit maakt een DEM gebruiksvriendelijker dan de



ruwe datasetgegevens die hiervoor gebruikt worden (Kerle *et al.*, 2004; Werbrouck *et al.*, 2011). Volgens het Agentschap Informatie Vlaanderen (2020), zijn de betekenissen van de verschillende soorten hoogtemodellen echter niet altijd eenduidig bepaald. Zij hanteren de definities die in de INSPIRE-dataspecificaties gebruikt worden (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*). In dit onderzoek wordt er voor gekozen deze courante definities van het Informatie Vlaanderen aan te nemen<sup>1</sup>. Een DEM wordt in deze zin gebruikt als een verzamelnaam voor alle datasets die een hoogtewaarde voorstellen (Informatie Vlaanderen, 2020). Die hoogte-informatie van het terreinoppervlak wordt in rastervorm weergegeven (Drosos & Farmakis, 2006). Aangezien men spreekt van een verzamelnaam, bestaan er meerdere subgroepen (figuur 5). Deze luiden als volgt (Informatie Vlaanderen, 2020);

- **Een digitaal oppervlaktemodel of *digital surface model (DSM)***: dit hoogtemodel geeft een regelmatige en ononderbroken voorstelling van de hoogte van het grondoppervlak en alle objecten (bv. gebouwen, bomen, etc.) die zich op dat grondoppervlak bevinden. Dit wordt voorgesteld met de blauwe lijn in de figuur. Tijdelijke voorwerpen (bv. voertuigen) behoren in principe niet tot het model, maar wegens de technische beperkingen zijn deze zeer moeilijk te vermijden en daardoor toch vaak in het model aanwezig.
- **Een digitaal terreinmodel of *digital terrain model (DTM)***: dit hoogtemodel heeft een regelmatige en ononderbroken voorstelling van het maaiveld, wat wordt voorgesteld door de rode lijn op de figuur. Huizen en vegetatie worden in deze voorstelling niet meegenomen en dus verwijderd. Aangezien men bij het aanmaken van een DTM niet in het bezit is van maaiveldpunten (MVP) op de locatie van de huizen (onderbreking zwarte lijn), is de rode lijn of het DTM een interpolatie van de zwarte lijn.

Vergeleken met de traditionele methoden is laseraltimetrie ontwikkeld tot een kosten- en tijdsefficiënt alternatief voor de verwerving van DEMs, ruimtelijke analyses en planningen (Mongus *et al.*, 2009).



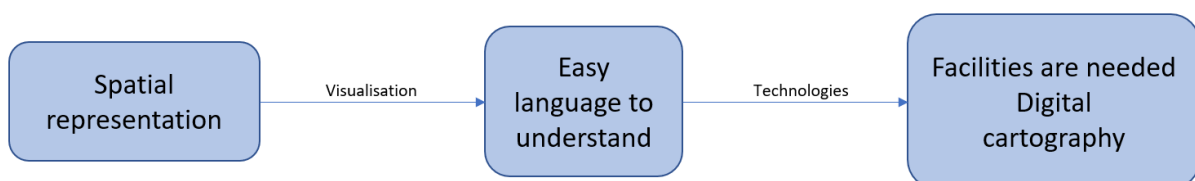
**Figuur 5: Digitale hoogtemodellen. Bron: Informatie Vlaanderen, 2020.**

<sup>1</sup> In deze huidige studie worden de betekenissen van het Agentschap Informatie Vlaanderen aangehouden, maar andere studies kunnen andere definities hanteren. Anderen verstaan bijvoorbeeld onder een DTM een model van het terrein met als functiebeschrijving  $z = f(x, y)$ . Voor de terreinpunten met coördinaten  $x$  en  $y$  is dan een parameter  $z$  gekend (de  $z$  waarde kan uiteenlopende fysische parameters omvatten, bijvoorbeeld de pH-waarde, maar uiteraard ook de hoogte). In de context dat een DEM als  $z$ -parameter een hoogtewaarde aangeeft, vormen DEMs een deelverzameling van de verzameling van de DTMs ( $DEM \subset DTM$ ). Beiden bieden ze 2.5D informatie aan (Philippe De Maeyer: persoonlijke communicatie, 2020).

In dit onderzoek zal echter gewerkt worden met archeologisch belangrijke studiegebieden. Archeologie houdt zich volgens Stichelbaut (2018) niet alleen bezig met ondergrondse sporen, maar ook met bovengrondse aanwijzingen van menselijke activiteit die veel subtieler aanwezig kunnen zijn. Ze vallen niet zwaar op tussen de hedendaagse elementen van het landschap of zijn door de vegetatie aan het zicht onttrokken (Stichelbaut, 2018). Om die archeologische elementen in kaart te kunnen brengen, wordt vaak een DTM ingezet, waarbij voldoende informatie noodzakelijk is van de oppervlaktehoogte (de *z* parameter) voor de generalisatie ervan (Drosos & Farmakis, 2006). Gespecialiseerde filters kunnen worden ingezet om de ongewenste elementen (vb. bomen, struiken, huizen, etc.) uit de puntenwolk te verwijderen om op die manier ‘*bare-earth*’ modellen te verkrijgen (Drosos & Farmakis, 2006; Stichelbaut, 2018). In principe zou voor de ontwikkeling van het DTM de laatste *return* kunnen gebruikt worden, echter moet rekening gehouden worden met het feit dat deze laatste *return* misschien toch geen maaiveldpunt is. Het zou bijvoorbeeld een punt op één van de onderliggende takken van het bladerdek kunnen zijn of op de stam van een boom. Dit gegevenspunt kan dan tijdens de nabewerking als anomalie worden geïdentificeerd en worden verwijderd uit de puntenwolk (Drosos & Farmakis, 2006). Met behulp van zo’n DTM kunnen archeologen een onbekend terrein onderzoeken dat moeilijk toegankelijk is en waarbij luchtfoto’s geen soelaas bieden (Stichelbaut, 2018).

#### 2.4.4 Visualisaties

Het is mogelijk om een DTM op verschillende kwalitatieve manieren te visualiseren, waarbij afhankelijk van het studiegebied en het doel van het onderzoek de beste visualisatiemethode wordt gekozen. De intentie is een visualisatie te selecteren die eenvoudig te begrijpen is door leerlingen en studenten (Zwartjes *et al.*, 2016) om hen op die manier in staat te stellen lidarbeelden te kunnen lezen en gebruiken. Het gebruik van deze representatievormen waarmee de ruimtelijke data worden gevisualiseerd, vereist echter inzicht in de impact van de visuele hulpmiddelen die worden gebruikt voor dataverkenning en kennisopbouw (Koua *et al.*, 2006). Enige bekwaamheid in de visualisaties is hierdoor vereist alvorens deze in een les te implementeren waarbij gebruik wordt gemaakt van GIS-software.

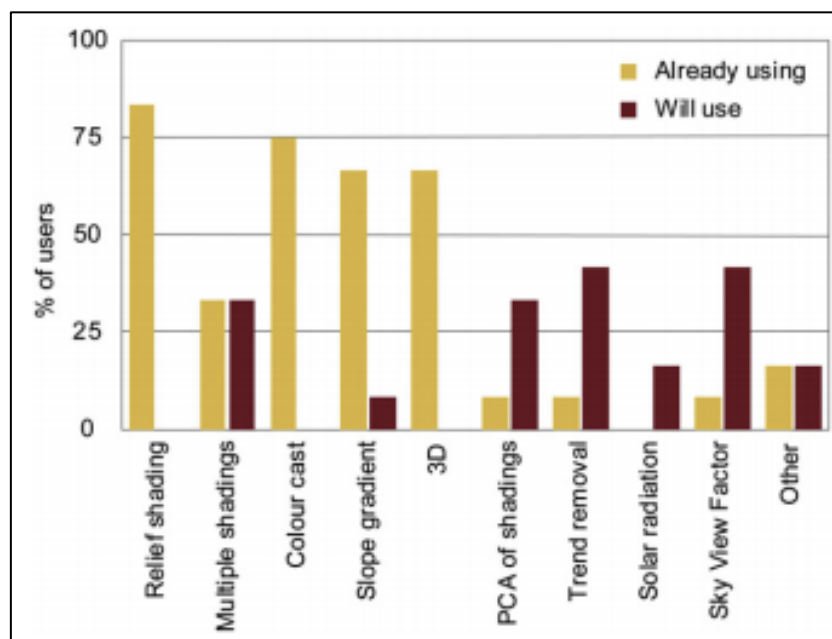


**Figuur 6: Dimensie van ruimtelijk denken: ruimtelijke voorstelling.  
Bron: Zwartjes *et al.*, 2016 (Eigen verwerking).**

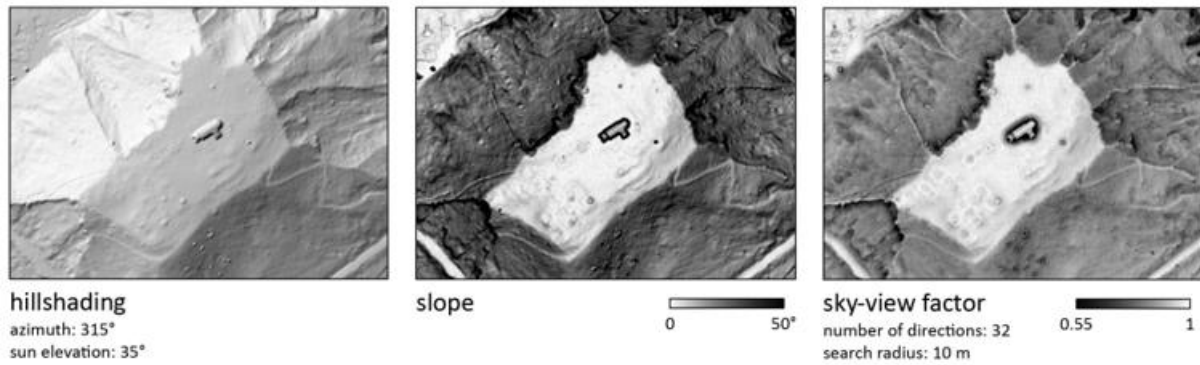
Verschillende ruimtelijke voorstellingen zijn echter voorhanden, maar om leerlingen/studenten deze allemaal met elkaar te laten vergelijken in één test is een utopie. Daarom werd een selectie gemaakt van enkele van deze methoden, waarvoor te rade werd gegaan bij onderzoeker Quentin Bourgeois (persoonlijke communicatie, 2021) die betrokken is in een studie omtrent grootschalige archeologische prospectie van lidargegevens uit Nederland. In zijn project worden twee DEM-visualisaties gebruikt,

namelijk een *hillshading* en een *local relief modelling*. Beide werden naast elkaar getoond en aan de gebruikers werd gevraagd aan te geven of ze prehistorische grafheuvels of *Celtic Fields* zagen in data. Dit mocht op de visualisatie naar keuze worden aangeduid, waarbij uit een eerste data-analyse bleek dat de *hillshading* zeer intuïtief is voor de meeste beginnende gebruikers. Naar de vraag of hij voor zijn project op één of andere manier had geëvalueerd hoe mensen al dan niet zaken leesbaar vinden op de verschillende visualisatiemethoden en wat de eventuele uitkomsten daarbij zijn, was het antwoord dat ze daar op dit moment nog onderzoek naar aan het verrichten waren en hoopten om daar dit jaar nog een paper over te kunnen publiceren.

Voor de keuze van de hieronder besproken voorstellingen wordt daarom gesteund op de studie van Štular *et al.* (2012) waarin onderzoek wordt gedaan naar visualisatiemethoden voor lidarafgeleide reliëfmodellen om archeologische kenmerken op te sporen. Figuur 7 illustreert de resultaten van de enquête die werd afgenomen bij gebruikers met een gemiddeld tot hoog expertiseniveau omtrent lidargerelateerde projecten om te polsen naar hun voorkeur in visualisatiemethode. De grafiek is zo georganiseerd dat de meest gebruikte methoden aan de linkerkant staan, de meest gewenste voor de toekomst staan daartegenover aan de rechterkant (Štular *et al.*, 2012). Hieruit blijkt dat enerzijds zowel *hillshading* als *slope gradient* vaak gebruikte methoden zijn, anderzijds is een goede 40% van de participanten bereid om de *sky view factor* in de toekomst nog uit te proberen. Omwille van de cijfers omtrent het gebruik van deze visualisaties uit het onderzoek van Štular *et al.* (2012) en de talloze onderzoeken waarin deze visualisaties terug te vinden zijn (zie o.a. Kokalj, 2011; Brady *et al.*, 2013; Khosravipour *et al.*, 2015; Inomata *et al.*, 2017; Kokalj & Somrak, 2019), werd in deze studie verder gewerkt met *hillshading*, *slope gradient* en *sky view factor* als de verschillende visualisatiemethoden (figuur 8). In de volgende paragrafen worden deze van dichterbij bekeken.



Figuur 7: Resultaten enquête over de voorkeursvisualisatiemethoden.  
Bron: Štular *et al.*, 2012.



**Figuur 8: Hillshade, slope gradient en sky view factor. Bron: ZRC SAZU, 2019.**

#### 2.4.4.1 Hillshading

Analytische *hillshading* (HS) of reliëfschaduwen is de meest gebruikte visualisatiemethode om reliëf weer te geven (Zakšek *et al.*, 2011). Het geeft volgens Kokalj en Hesse (2017) de meest natuurlijke, wat wil zeggen de best intuïtief leesbare, visuele indruk van alle technieken aangezien het de perceptie van de morfologie verbetert. Het is een beschrijving van hoe het reliëfoppervlak de binnenkomende verlichting reflecteert op basis van de natuurkundige wetten (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017; ZRC SAZU, 2019). Hoewel deze methode algemeen geaccepteerd is, heeft het toch twee grote nadelen (Challis *et al.*, 2011; Zakšek *et al.*, 2011):

- het identificeren van details in donkere schaduwen;
- het onvermogen om lineaire kenmerken die parallel zijn aan de lichtbundel goed weer te geven.

Er zijn echter tal van verschillende vormen van analytische *hillshading* uiteengezet, maar deze ontwikkeld door Yoüli in 1995 is de standaardfunctie geworden in de meeste software (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017). Door zijn eenvoudige opstelling is het gemakkelijk te berekenen en te interpreteren, dit zelf door niet-technische gebruikers of gebruikers zonder opleiding (Challis *et al.*, 2011; Zakšek *et al.*, 2011). Het uitgangspunt vertrekt van een Lambertiaans oppervlak (volledig reflecterend materiaal) met als kenmerk een omnidirectionele reflectie die wordt verlicht door een fictieve puntlichtbron op een oneindige afstand (Kokalj & Hesse, 2017). Doordat de lichtbron schaduwen implementeert heeft deze visualisatie veel weg van het natuurlijke landschap (Challis *et al.*, 2011).

De parameters van deze reliëfschaduwen hangen af van de positie van de lichtbron. De positie wordt uitgedrukt door de azimuth en de hoogte vanwaar het licht afkomstig is. Deze termen houden respectievelijk de hoekrichting van de verlichtingsbron gemeten vanuit het noorden met de klok mee en de hoek van de verlichtingsbron boven de horizon in. Aan de hand van deze waarden is de formule van de *hillshade* te berekenen, die hieronder wordt weergegeven (ArcGIS Pro, 2021a):

$$\begin{aligned} \text{hillshade} = & 255 * ((\cos(\text{Zenith}_{rad}) * \cos(\text{Slope}_{rad})) \\ & + (\sin(\text{Zenith}_{rad}) * \sin(\text{Slope}_{rad}) * \cos(\text{Azimuth}_{rad} - \text{Aspect}_{rad}))) \end{aligned}$$

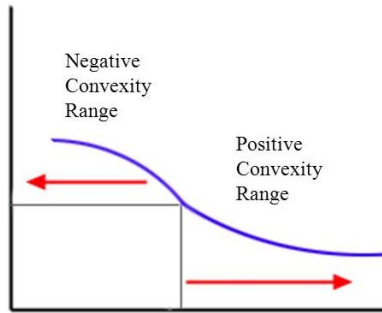
met

- $\text{Zenith}_{rad}$ : de zenitale hoek in radialen;
- $\text{Slope}_{rad}$ : de helling in radialen;
- $\text{Azimuth}_{rad}$ : de azimut in radialen;
- $\text{Aspect}_{rad}$ : de richting van de steilste helling in radialen.

Door de azimut en de hoogte van de lichtbron te variëren, kunnen verschillende verlichtingseffecten worden bereikt (Challis *et al.*, 2011). Typisch bij een *hillshade* zijn de meest verlichte gebieden die loodrecht op de lichtbundel staan, terwijl gebieden met een invalshoek groter dan of gelijk aan 90° in de schaduw liggen (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017). Ondanks het feit dat volgens Kennelly (2009) dergelijke schaduwen veel textuur weergeven, doen ze over het algemeen weinig moeite om gebieden van bijzonder belang te markeren. Daarnaast zijn ze voornamelijk bruikbaar voor het weergeven van bergachtige gebieden (Kennelly, 2009).

#### 2.4.4.2 Slope gradient

*Slope gradient* (SG) is een visualisatiemethode, die zoals de naam reeds aangeeft, de gemiddelde hellingsgraad of steilheid berekent tussen een cel en die van zijn burens om deze vervolgens te visualiseren. Dit wordt voor iedere individuele rastercel uitgevoerd in graden of met behulp van een percentage (Kokalj & Hesse, 2017; Meylemans & Petermans, 2017; ZRC SAZU, 2019). De uitkomsten van de berekeningen worden opgeslagen in een nieuwe rastermatrix en voorgesteld gebruikmakend van grijswaarden die de hellingen vertegenwoordigen (Challis *et al.*, 2011). Hoe lager de hellingswaarde, hoe vlakker het terrein. Omgekeerd heeft een steiler terrein een hogere hellingswaarde (ArcGIS Pro, 2021b). Indien het beeld wordt gerepresenteerd met een omgekeerde grijschaal, wat wil zeggen dat de donkerder cellen op de reliëfweergave steilere hellingen voorstellen, dan is de visualisatie een zeer plastische weergave van de morfologie. Er is echter aanvullende informatie nodig om een onderscheid te kunnen maken tussen positieve convexe (bv. oever) en negatieve convexe (bv. sloten) kenmerken (figuur 9), aangezien dezelfde hellingswaarden met dezelfde kleur worden gerepresenteerd, dit ongeacht ze omhoog of omlaag gaan (Kokalj & Hesse, 2017; ZRC SAZU, 2019). Desondanks is deze methode zeer geschikt om lokale niveaoverschillen op te sporen. Alsook biedt het een noodzakelijke basis voor een aantal andere analyses, zoals bijvoorbeeld erosiemodellering. Verschillende GIS-programma's bieden reeds de mogelijkheid om deze *slope gradient* te genereren (Meylemans & Petermans, 2017). Naar de mening van Štular *et al.* (2012) is deze visualisatie heel eenvoudig te interpreteren en werkt het vooral goed in combinatie met *hillshading*.



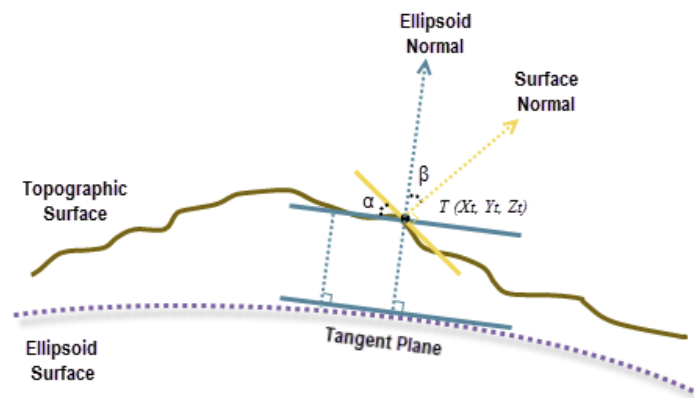
Figuur 9: Illustratie positief en negatief convex. Bron: Fisher, 2017.

De berekening van de *slope gradient* wordt volgens ArcGIS Pro (2021b) altijd uitgevoerd met behulp van een bewegend venster bestaande uit een celomgeving van drie bij drie. De berekening vereist aangrenzende cellen voor de verwerkingscel om geldige waarden te verkrijgen, waardoor het niet mogelijk is om betrouwbare randpixelwaarden te verkrijgen. De methode van de *slope gradient* meet de helling in een geocentrisch coördinaatsysteem door de vorm van de aarde als een ellipsoïde te beschouwen. Het resultaat wordt niet beïnvloed door de manier waarop het raster wordt geprojecteerd en de berekende helling is de hoek die gevormd wordt tussen het topografisch oppervlak en de ellipsoïde. Indien het oppervlak evenwijdig loopt aan de ellipsoïde, dan heeft het oppervlak een helling van nul, wat een vlak terrein voorstelt. Om de procentuele helling te berekenen, wordt volgende formule gehanteerd (ArcGIS, 2021b):

$$slope = \text{atan}(\beta) * 100\%$$

met

- $\beta$  : de hoek tussen de ellipsoïdenormaal en de oppervlaktenormaal.



Figuur 10: Voorstelling berekening geodetische helling. Bron: ArcGIS, 2021b.

#### 2.4.4.3 Sky view factor

Een laatste benadering die gebruikt wordt om het reliëf te visualiseren is de *sky view factor* (SVF). Dit is een techniek die gebruik maakt van een gelijkmatige, diffuse verlichting (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017; ZRC SAZU, 2019). Volgens Zakšek *et al.* (2011) is deze methode een zeer nuttig instrument in de archeologie omdat het de herkenning van kleinschalige kenmerken op hoge resolutie DEMs verbetert. Daarnaast kunnen de richtingsgebonden problemen die een nadeel vormen bij de *hillshading* met behulp van de SVF worden overwonnen (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017).

De methodiek van de SVF meet het deel van de hemel dat zichtbaar is vanaf een bepaald punt (figuur 11) indien de hoogtegegevens niet met een verticale overdrijving worden gemanipuleerd (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017; ZRC SAZU, 2019). Blijkens Zakšek *et al.* (2011) worden daarnaast nog enkele bijkomende zaken aangenomen:

- de hemelsfeer is over het volledige studiegebied even helder;
- er is geen extra gerichte verlichtingsbron aanwezig;
- de kromming van de aarde over korte afstanden (niet meer dan 10 km) wordt verwaarloosd.

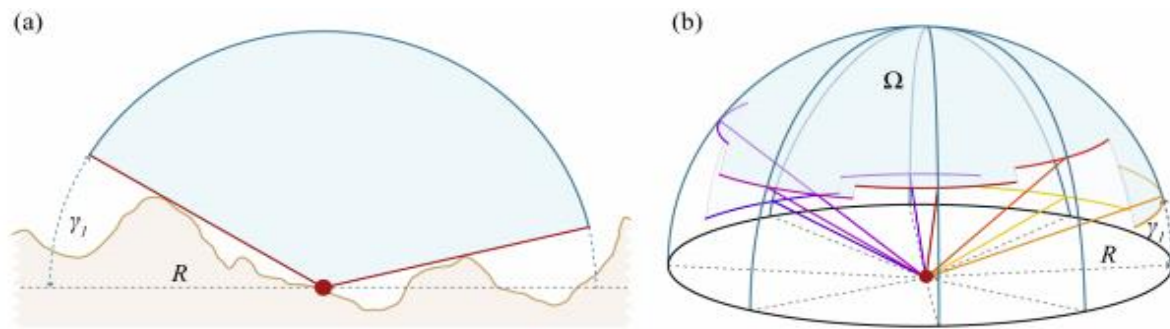
De reliëfverlichting is gecorreleerd met het deel van de zichtbare hemel dat beperkt wordt door de reliëfhorizon. Een punt op een heuvelrug is hierdoor helderder dan een punt op de bodem van een steil dal, omdat beide vanaf diezelfde heldere hemel worden verlicht. Dit is vanzelfsprekend aangezien een groter deel van de hemel te zien is vanaf de heuvelrug dan ten opzichte van het dal (Zakšek *et al.*, 2011; ZRC SAZU, 2019). De waarden van de SVF worden berekend met behulp van de volgende formule die gebruik maakt van verschillende zoekrichtingen (Zakšek *et al.*, 2011):

$$SVF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sin\gamma_i}{n}$$

met

- $\gamma_i$  : de verticale hoogtehoek;
- $n$  : het aantal zoekrichtingen.

Deze functie heeft ten slotte een bereik tussen nul en één. Waarden van één geven aan dat praktisch het volledige halffrond boven de pixel zichtbaar is, terwijl waarden die aanleunen tegen nul in lagere delen van dalen zijn gelegen waar bijna geen hemel te zien is (Zakšek *et al.*, 2011; Kokalj & Hesse, 2017).



**Figuur 11: De zichtbare hemel ( $\Omega$ ) boven een bepaald waarnemerspunt: A) gezien vanuit een tweedimensionale voorstelling. B) in functie van acht weergegeven zoekrichtingen.  
Bron: Zakšek *et al.*, 2011.**

## 2.5 Ruimtelijk denken en curricula in het onderwijs

Hoewel reeds verschillende studies aantoonde dat het relevant is om ruimtelijk leren te integreren in een vak zoals aardrijkskunde en andere wetenschapsvakken, wordt het vaak verwaarloosd in onderwijscurricula (Lapon, 2020). Het gebruik van RS en lidar verhoogt namelijk niet alleen de contextwaarde van het leren, maar kan ook bijdragen aan de cognitieve interesse van leerlingen in disciplines als geografie, biologie, geschiedenis, etc. De gegevens kunnen enerzijds worden gebruikt als een bron van kennis en anderzijds om vaardigheden en/of bekwaamheden mee te ontwikkelen. De implementatie van ruimtelijke informatie in een GIS kan dusdanig ook het interdisciplinair leren in de klas bevorderen (Johansson, 2003; Cheung *et al.*, 2011; Kholoshyn *et al.*, 2019).

Ondanks het feit dat leerlingen volgens Johansson (2003) de basisprincipes van een GIS en cartografie moeten kennen, moeten ze ook in staat zijn om geografische gegevens te verwerken, te interpreteren en te visualiseren. De implementatie van een GIS en ruimtelijke data moet in die zin nog regelmatig en in een bredere context aangewend worden (Naumann *et al.*, 2009). Dit wordt onder meer bevestigd door Zwartjes (2020) die betrokken was bij de ontwikkeling en de feedback op de nieuwe eindtermen voor het Katholiek Onderwijs Vlaanderen omtrent GIS en ruimtelijk bewustzijn. De opbouw van de GIS-leerlijn wordt opgedeeld in drie fasen die overeenkomen met de verschillende graden van het Belgisch secundair onderwijs. Eerst en vooral wordt er verwacht van de leerlingen van de eerste graad dat zij conclusies kunnen trekken door gebruik te maken van GIS-viewers. In de tweede graad gaat men een stapje verder waarbij GIS-viewers worden gebruikt om ruimtelijke patronen, processen en de gevolgen ervan te onderzoeken. Ten slotte gebruiken scholieren van de derde graad een GIS-software om eenvoudige ruimtelijke analyses mee te maken (Zwartjes, 2020). De komst van deze leerlijn is daarbij ook interessant, verschillende onderzoeken bevestigden reeds de correlatie tussen een GIS en de verbetering van het ruimtelijk denken (Lapon, 2020). De integratie van lidardata in een GIS, die het mogelijk maakt om gebieden te onderzoeken die niet gebaseerd zijn op de bekende aanwezigheid van archeologische vindplaatsen en die ook in het dagdagelijkse leven van leerlingen/studenten terecht komt (ref. iPhone 12 Pro), kan hierdoor een waardevolle aanvulling zijn voor de lessen aardrijkskunde (Naumann *et al.*, 2009; Bundzel *et al.*, 2020).



Aangezien er kan worden besloten dat zowel het ruimtelijk denken als het gebruik van een GIS van groot belang is in het geografische onderwijsproces, worden vervolgens de curricula van België en Mexico doorgenomen. De betreffende leerplannen werden geselecteerd op basis van de participanten die deelnamen aan het onderzoek (paragraaf 4.4.1). Hierdoor is het mogelijk enig inzicht te verkrijgen in de eventuele voorkennis van de leerlingen en studenten.

### 2.5.1 Curricula België

In de Belgische leerplannen voor het secundair onderwijs is heel wat terug te vinden omtrent satellietbeelden, het leggen van ruimtelijke verbanden, GIS-toepassingen, etc. en dit voor zowel het Katholiek- als het Gemeenschapsonderwijs (KathOndVla, 2012; GO!, 2017). Voor dit onderzoek wordt echter dieper ingegaan op het huidige leerplan voor de derde graad ASO met een component wetenschappen. Daar zijn zowel vakoverschrijdende doelstellingen als eindtermen terug te vinden betreffende het onderzoeksthema van deze masterscriptie (tabel 3). Opmerkelijk is dat het gebruik van een GIS vaak wordt gezien als een uitbreiding, wat vermoedelijk komt door het overvolle leerplan waar de leerkracht reeds mee geconfronteerd wordt. De komst van een GIS-leerlijn en voornamelijk het leren met een GIS kan daardoor gezien worden als een goede zaak. Het kan worden ingezet als een hulpmiddel om onderzoekend leren te introduceren waarbij ruimtelijke verbanden worden onderzocht. Op die manier worden leerlingen zich bewust van het nut en de betekenis die deze systemen hebben en krijgen ze een idee van wat deze toepassingen voor de maatschappij kunnen betekenen (KathOndVla, 2012).

**Tabel 3: Relevante themaoverschrijdende doelstellingen en eindtermen derde graad ASO met component wetenschappen. Bron: KathOndVla, 2012.**

Themaoverschrijdende doelstellingen		
A2		Met één of enkele voorbeelden aangeven dat een afbeelding of een kaartvoorstelling een gecodeerde voorstelling is van de werkelijkheid.
A3		Met een toepassing van GIS de betekenis ervan voor de samenleving illustreren.
A16		Aardrijkskundige gegevens opzoeken, ordenen en op eenvoudige manier verwerken, gebruikmakend van beschikbare hedendaagse informatiebronnen en -technieken.
A17		Een kaartvoorstelling kiezen in functie van het gebruik.
Eindtermen		
Verstedelijking en ruimtelijke ordening	5	Vertrekkend vanuit een probleem van spanning tussen verschillende ruimtegebruikers in de eigen omgeving, zoeken naar een duurzame oplossing.
Kosmografie	3	Met voorbeelden aantonen dat een satellietbeeld een gecodeerd beeld van de werkelijkheid is.
Cartografie	1	Aan de hand van enkele voorbeelden aantonen dat een afbeelding of een kaart een gecodeerde voorstelling van de werkelijkheid is. (U)
	2	Een kaartvoorstelling kiezen in functie van het gebruik. (U)
GIS-toepassingen	1	Kennismaken met de werking van GIS. (U)
	2	Aan de hand van concrete voorbeelden het nut van GIS aantonen. (U)

(U) = uitbreiding

Vervolgens wordt een blik geworpen op het onderwijsprogramma van de bachelor geografie en geomatica aan de Universiteit Gent. Op grond van het onlinerooster krijgen eerstejaarsstudenten tijdens het eerste semester het vak GIS aangeboden. In de studiefiche van dit vak zijn zowel de begin- als eindcompetenties terug te vinden (UGent, 2020), die worden weergegeven in tabel 4. Een algemene basiskennis wordt verwacht met betrekking tot oriëntatie in de geografische ruimte, die in normale omstandigheden in het middelbaar verkregen zou moeten zijn. Het succesvol afronden van dit opleidingsonderdeel door de student resulteert vervolgens in enige deskundigheid omtrent de aspecten van geografische informatie en de toepassing ervan in een GIS (UGent, 2020).

**Tabel 4: Competenties studiefiche GIS – C003531. Bron: UGent, 2020.**

	Inhoud
Begincompetentie	Algemene kennis met betrekking tot oriëntatie in de geografische ruimte.
Eindcompetenties	De fundamentele concepten in verband met geografische informatie en de verwerking ervan beheersen.
	Ruimtelijke informatie kritisch gebruiken.
	Verantwoorde ruimtelijke visualisaties maken.
	Een eenvoudig GIS-project opzetten en realiseren, met implementatie van verschillende functionaliteiten.

### 2.5.2 Curricula Mexico

Naast de Belgische leerplannen, zijn onderwerpen zoals cartografie en GIS ook terug te vinden in de Mexicaanse curricula. Aangezien de groep van de scholieren wegviel wegens te weinig responsen (paragraaf 4.4.1), wordt hier enkel verder ingegaan op het onderwijsprogramma van de opleiding aardrijkskunde, geïntegreerd op geïntegreerd landschapsbeheer. Deze opleiding wordt gegeven in de *Universidad Nacional Autónoma de México* (UNAM) in de vorm van modules. Zowel onderzoeksmethodologie als ruimtelijke analyse-instrumenten zijn thema's waarop wordt gefocust en die bij deze thesis aansluiten. Dit eerste komt overeen met wetenschappelijk onderzoek, gegevensverzameling en kwalitatieve analyse (CIGA UNAM, 2021). Onder de instrumenten wordt daartegenover de beginselen van GIS en cartografie gezien, wat wordt weergegeven in tabel 5.

**Tabel 5: Beginselen van de module ruimtelijke analyse instrumenten.  
BRON: CIGA UNAM, 2021 (Eigen verwerking).**

Beginselen van de cartografie:	Beginselen van GIS:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• de aard van de ruimtelijke informatie;</li> <li>• soorten ruimtelijke informatie;</li> <li>• kwaliteit van de gegevens;</li> <li>• ruimtelijke referentie;</li> <li>• cartografische projecties;</li> <li>• etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geschiedenis en definities;</li> <li>• componenten van een GIS;</li> <li>• toepassingen van een GIS;</li> <li>• ruimtelijke gegevensstructuren;</li> <li>• vector en rastergegevens;</li> <li>• etc.</li> </ul>

### 3. STUDIEGEBIEDEN

Vooraleer het mogelijk was om de test effectief op te stellen, was het noodzakelijk op zoek te gaan naar geschikte studiegebieden om visualisaties voor te maken. Een gebied in België en één in Mexico werden geselecteerd, resulterend in een min of meer gekend gebied voor de ene doelgroep, die minder gekend zou moeten zijn door de andere doelgroep en omgekeerd. De keuze in België, namelijk de heuvelrug van Bellewaerde, verliep vrij vlot. Het grondgebied van Vlaanderen is volledig bedekt door lidar waardoor geen rekening moest gehouden worden met het al dan niet beschikbaar zijn van data. De heuvelrug werd geselecteerd naar aanleiding van zijn verleden met de Eerste Wereldoorlog en de uitvoerige geo-archeologische studies aldaar. Daarentegen was de keuze voor Mexico iets complexer wegens de beperkt beschikbare vliegstroken met lidargegevens. Het vinden van documentatie over Yucatan South GLAS s399 die op een realistische afstand ligt van Champoton-Campeche en de vrije beschikbaarheid van deze data gaven uiteindelijk de aanleiding om met dit terrein verder te werken. Beide studiegebieden worden in de onderstaande paragrafen besproken, samen met het doel van het archeologisch aspect.

#### 3.1 Archeologisch aspect

Archeologen gebruiken al geruime tijd luchtfoto's om archeologische sporen in het landschap op te sporen en in kaart te brengen (Lambers *et al.*, 2019). Het afgelopen decennium is lidar echter uitgegroeid tot een primair instrument voor archeologische prospectie in regio's over de hele wereld (Schroder *et al.*, 2020). Volgens Bundzel *et al.* (2020) levert het een consistente dataset met grote hoeveelheden gegevens op die archeologische studies mogelijk maakt van gebieden die bedekt zijn met tropisch woud, wat het onderzoek ter plaatse beperkt. Het voordeel ten opzichte van andere *remote sensing* methoden zoals bijvoorbeeld luchtfotografie is dat pulsen hun weg vinden door de open ruimten van het bladerdek van de vegetatie (paragraaf 2.4.3). Aan de hand van deze gegevens kunnen de kenmerken van het maaiveld onthuld worden (Bundzel *et al.*, 2020).

Lidar heeft dus met andere woorden de potentie om bovengrondse archeologische kenmerken volledig in kaart te brengen van gebieden waarvan niet bekend is dat het deze karakteristieken vertoont. Voornamelijk zijn dit gebieden waar traditioneel grondonderzoek onpraktisch is in termen van arbeidskosten en tijd (Golden *et al.*, 2016; Schroder *et al.*, 2020). Hierdoor kan het bijdragen tot de instandhouding van de archeologie (Schroder *et al.*, 2020), wat het uitermate interessant maakt, al kan het ook natuurlijk ook in de negatieve zin uitdraaien door bijvoorbeeld plunderingen. Plaatsen waar het archeologisch potentieel door huidige activiteiten wordt bedreigd (vb. bouw van de Maya-trein) kunnen op die manier in kaart gebracht worden. In Europa werd hieromtrent reeds het verdrag van Valletta opgesteld door de Raad van Europa, gaande over de betere bescherming van het cultureel erfgoed dat zich in de bodem bevindt (Werbrouck *et al.*, 2011).

### 3.2 Heuvelrug Bellewaerde (België)

Een van de studiegebieden voor de test van deze masterproef bevindt zich in de Westhoek van België (figuur 12). Het bos van Bellewaerde heuvelrug beslaat ongeveer 3,5 hectare, bevindt zich ten oosten van Ieper op ongeveer 3,5 km van het stadscentrum en is gelegen vlak bij een belangrijke doorgangsweg, namelijk de Menenstraat. Al vroeg in de Eerste Wereldoorlog ontwikkelde het zich tot een belangrijke oorlogssite, daar het was gesitueerd op een hoger gelegen positie. Dit gebied op de westelijke flank van het Geluveldplateau was een moeilijk in te nemen gebied, waarbij de frontlijn tussen de Britten en de Duitsers zich wisselend verlegde naar beide kanten. Het front hield er in totaal meer dan twee jaar stand. Als gevolg van de ontploffingen van ondergrondse, metersdiepe ingegraven springladingen onder de loopgraven van de tegenstander en het niemandsland, werd een kraterlandschap gecreëerd (Dewilde *et al.*, 2014). Zo ontploften er tussen september 1915 en juli 1917 niet minder dan 34 van deze ondergrondse mijnen (Stichelbaut, 2018), wat te zien is in bijlage 1.

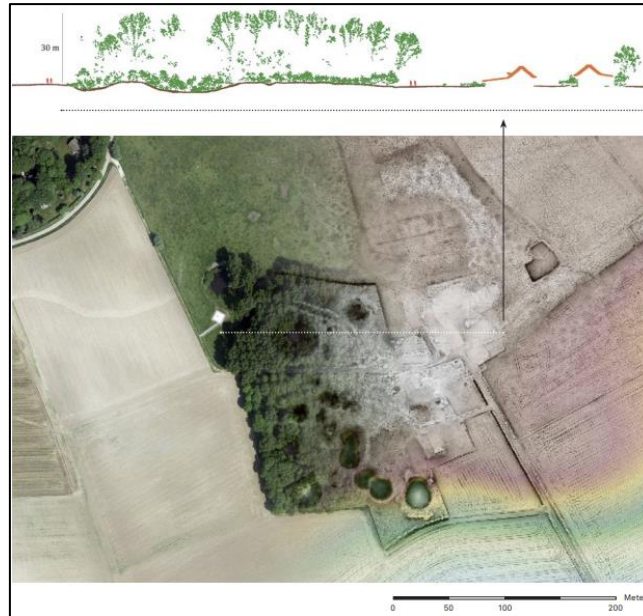
Volgens Dewilde *et al.* (2014) is Bellewaerde een zeer interessante erfgoedsite. Op weinig plaatsen zijn de sporen van het vroegere oorlogslandschap nog zo goed af te lezen als hier. De site kent een rijke geschiedenis als één van de meest explosieve frontsectoren. Het huidige landschap biedt echter nog herkenningpunten aan dit verleden, ondanks de wederopbouw waarbij *Railway Wood* het allure kreeg van een echt bos. Daarnaast opende in 1954 het attractie- en dierenpark van Bellewaerde op maar 100 m afstand van al de kraters. Dit domein werd weliswaar gebufferd van het relictlandschap door een dichte strook bos (Dewilde *et al.*, 2014).



**Figuur 12: Overzichtkaart lokalisatie Heuvelrug Bellewaerde. Bron: Google Maps, 2020.**

Tenslotte werd de heuvelrug van Bellewaerde gekozen daar er nergens anders ooit zoveel kraters op zo'n beperkte oppervlakte bewaard zijn gebleven. Niet alleen zijn de archeologische resten en sporen belangrijk voor het erfgoed in en rondom Bellewaerde, het is bijzonder hoe authentiek en bijna onaangeroerd het relictlandschap is gebleven (Dewilde *et al.*, 2014). Op hedendaagse luchtfoto's is hier echter weinig van te merken. Het bladerdek van de bomen belemmert het uitzicht op de hotspot van de ondergrondse mijnenoorlog. Volgens Stichelbaut (2018) kunnen we dankzij een visualisatie van het lidarhoogtemodel een blik werpen onder het bladerdak. Hierdoor springt meer dan een dozijn kraters in

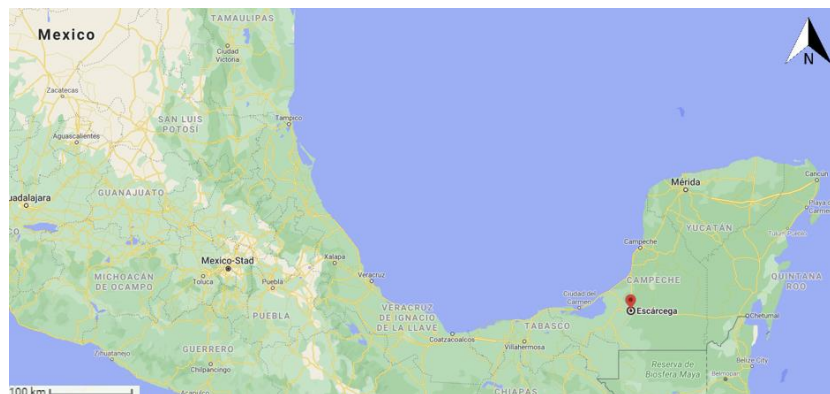
het oog, terwijl vaak algemeen wordt aangenomen dat de wederopbouw van het land de sporen van de oorlog heeft weggevaagd. Een blik op lidar toont ons echter een heel ander beeld (Stichelbaut, 2018). In figuur 13 is onder meer een doorsnede van een lidarpuntenwolk terug te vinden. De groene punten stellen de bomen en de ondergroei voor, de bruine de ondergrond en de oranje punten zijn de daken van gebouwen en constructies.



**Figuur 13: Luchtfoto en lidarhoogtemodel van de heuvelrug van Bellewaerde, aangevuld met een doorsnede van een lidarpuntenwolk. Bron: Stichelbaut, 2018.**

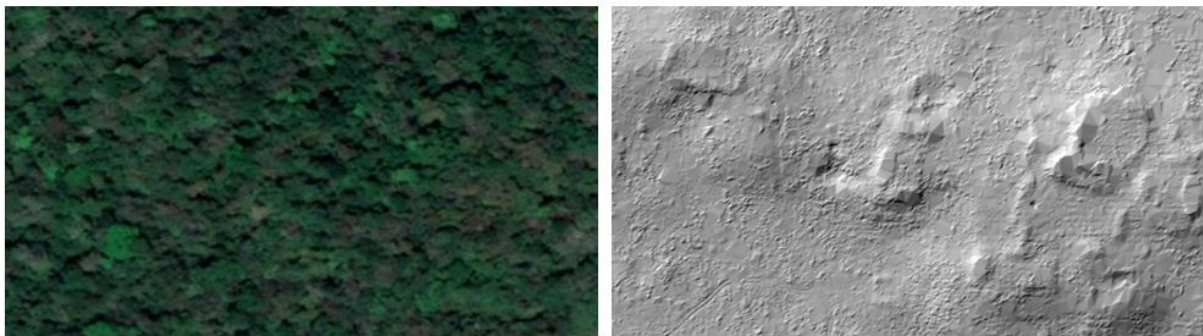
### 3.3 Yucatan South GLAS s399 (Mexico)

Het tweede studiegebied betreft Yucatan South GLAS s399 dat is gelegen op het schiereiland van Yucatan in Mexico (figuur 14). Het domein werd afgebakend tot ongeveer 5,5 hectare en situeert zich op ongeveer 13 km van het stadscentrum van Escárcega, een stadje gelegen in de staat Campeche. Het bevindt zich in een tropisch vochtig loofbos en behoort volgens het onderzoek van Schroder *et al.* (2020) tot een groter gebied met bezit van een zeer hoge dichtheid aan archeologische structuren.



**Figuur 14: Overzichtskaart lokalisatie Yucatan South GLAS s399. Bron: Google Maps, 2021.**

Het gebied in Yucatan South GLAS s399 werd gekozen vanwege zijn rijkdom aan *borrow pits*, *plazas* en *structures* (bijlage 2). Naar het artikel van Schroder *et al.* (2020) zijn *borrow pits* of leenputten gegraveerde ruimtes, gebruikt voor het verzamelen van water en/of bouw materiaal, zijn *plazas* of pleinen verzonken of verhoogde bestratingen die ingesloten worden door structuren aan één/meerdere zijden of een volledig ingesloten, vlakke ruimte. Onder *structures* of structuren wordt tot slot de architectuur verstaan (Schroder *et al.*, 2020). Wederom is hier weinig van op te merken bij het bestuderen van hedendaagse satellietbeelden of luchtfoto's. De archeologische objecten worden aan het zicht onttrokken als gevolg van het bladerdek, net zoals het geval was bij de Heuvelrug van Bellewaerde. Door de maaiveldpunten van de lidargegevens van dit gebied te visualiseren kunnen echter opnieuw heel veel kenmerken van het gebied tevoorschijn komen (figuur 15).



**Figuur 15: Satellietfoto en lidarvisualisatie van Yucatan South GLAS s399. Bron: QGIS, 2021.**

## 4. METHODOLOGIE EN VERWERKING

Om een antwoord te verkrijgen op de onderzoeksvraag van deze masterscriptie, wordt een test uitgewerkt. De methodologie en de verwerking van dit proces worden chronologisch en meer in detail toegelicht in dit hoofdstuk.

### 4.1 Data

Als eerste stap in de methodologie was het noodzakelijk te beschikken over data van de beide studiegebieden om vervolgens te verwerken. Oorspronkelijk was het hierbij de bedoeling zelf de data in te winnen met behulp van de door de vakgroep nieuw aangekochte drone en laserscanner, dit in samenwerking met MSc. Bart De Wit, geomatica-expert binnen de vakgroep geografie. Daar dit uiteindelijk wegens de COVID-19 context niet mogelijk was, werden bestaande datasets via het net bemachtigd. De aangewende data worden vrij ter beschikking gesteld op de onderstaande sites en worden in de volgende paragrafen beschreven.

- Informatie Vlaanderen (studiegebied België):  
<https://remotesensing.vlaanderen.be/apps/openlidar/#collapseDataDownload>
- NASA (studiegebied Mexico):  
<https://glihtdata.gsfc.nasa.gov/>

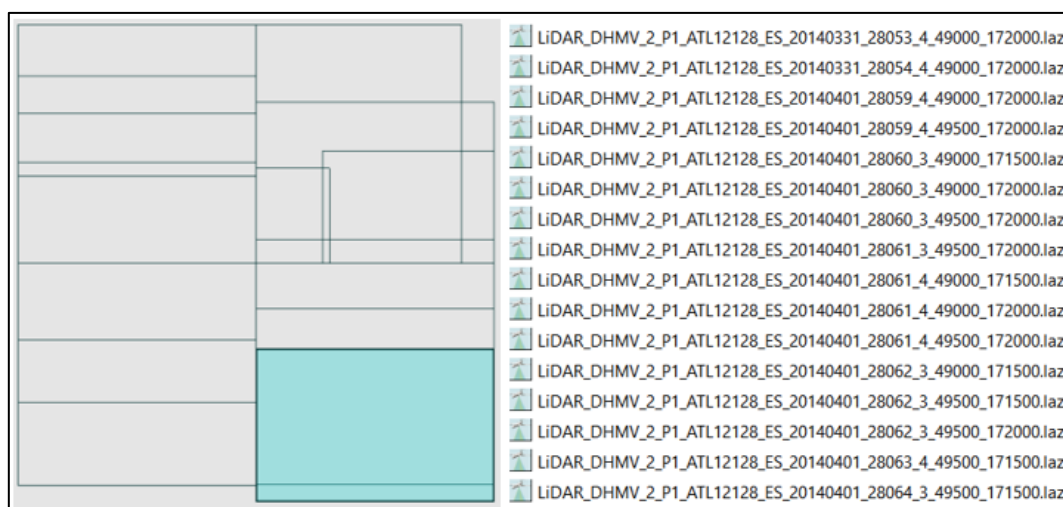
#### 4.1.1 Bellewaerde Heuvelrug

Lidargegevens worden voor het volledige grondgebied van Vlaanderen verspreid door het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (AGIV), waardoor de betreffende data voor Bellewaerde Heuvelrug eenvoudigweg van het web konden worden gehaald. De inwinningscampagne was in totaal gespreid over een periode van drie jaar. Het Vlaamse Gewest werd gekarteerd met een buffer van 5 km met inbegrip van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (Janssen, 2017; Informatie Vlaanderen, 2020, 2021a). De periode van inwinning vond voornamelijk plaats tijdens het wintervliegseizoen (15/11 - 15/04), dit om minimale hinder van het bladerdek te ondervinden in gebieden met dichte vegetatiegroei. Er werd naar een gelijkmatige puntendichtheid van 8 punten/m<sup>2</sup> gestreefd voor elke vliegstrook, berekend op de *first returns* en onafhankelijk van de bodembedekking. Wegens de 50% overlap resulteerde dit uiteindelijk in 16 punten/m<sup>2</sup> (Informatie Vlaanderen, 2021a, 2021b). Hoge eisen werden gesteld aan de geometrie van de puntenwolk, die staan samengevat in tabel 6 met inbegrip van de technische achtergrondinformatie.

**Tabel 6: Technische achtergrond lidardata. Bron: Janssen, 2017; Informatie Vlaanderen, 2020, 2021a.**

Opnameperiode	2013-2015
Coördinaatsysteem	Lambert 72 / TAW
Puntendichtheid	Gemiddeld 16 punten/m <sup>2</sup>
Planimetrische nauwkeurigheid	0,10 m
Altimetrische nauwkeurigheid	0,05 m
Formaat	LAZ

Naar aanleiding van de beslissingsboom (bijlage 3) van het AGIV werd gewerkt met de brondata van het studiegebied. Het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (DHMV) bezit echter nog tal van andere afgeleide producten die geschikt zijn voor een veelvoud aan toepassingen. Zo zijn de gegevens ook beschikbaar in een meer standaard en praktisch rasterformaat, dat bestaat in verschillende resoluties gaande van 1 tot 100 m (Informatie Vlaanderen, 2020, 2021a). De brondata zelf waren te downloaden is het EODaS Open LiDAR portaal, waarbij de verschillende *tiles* werden geselecteerd op basis van hun locatie (figuur 16). Het oorspronkelijk formaat van de *lidartiles* zijn LAZ-bestanden. Dit is de gezippte versie van het binaire LAS-formaat dat specifiek gemaakt is om 3D-puntenwolken uit te wisselen. Deze compressie is in totaal ca. zeven keer kleiner (Janssen, 2017; Informatie Vlaanderen, 2020).



**Figuur 16: Geselecteerde lidartiles. Bron: Open Data Portaal, 2020.**

#### 4.1.2 Yucatan South GLAS s399

De gebruikte gegevens van Zuid-Mexico zijn verzameld door milieuwetenschappers met behulp van het G-LiHT-systeem van NASA's *Goddard Space Flight Center* (G-LiHT, 2013). De lidar-, hyperspectrale- en thermale beelden werden verzameld in de maanden april en mei in het jaar 2013 onder leiding van Dr. Bruce Cook. Het primaire doel van deze missie was het verfijnen van de metingen van de bovengrondse koolstofvoorraden in het Mexicaanse bos (Schroder *et al.*, 2020). De driedimensionale lidarretours en de andere gebruiksvriendelijke dataproducten (DTM, *canopy height* model, etc.) die het

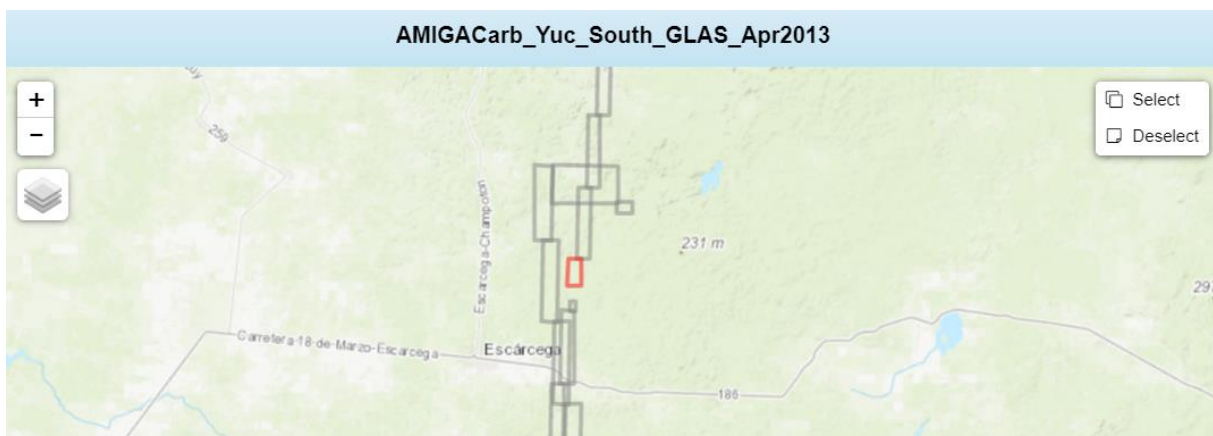


G-LiHT aanbieden, zitten omvat in het NASA's *Earth Science Program* die het volledig en open delen van gegevens wil bevorderen. Er werd voor gezorgd dat nauwkeurige, goed gekalibreerde gegevens tijdig werden vrijgegeven en dat deze werden gedistribueerd in een gemeenschappelijk, gemakkelijk te gebruiken bestandsformaat zoals LAS, het typische formaat voor lidarpuntenwolken (Cook *et al.*, 2013).

Uit de meer dan 400 tegels die beschikbaar zijn via het G-LiHT *Data Center Webmap*, werd de data van AMIGACarb\_Yuc\_South\_GLAS\_Apr2013 (figuur 17) gedownload als *lidar point cloud*. Deze gegevens hebben volgens het onderzoek van Cook *et al.* (2013) een diameter voetafdruk van 50 cm op een vlieghoogte van 335 m. Over alle tegels heen bedroeg de nominale puntendichtheid 3,7 punten/m<sup>2</sup>, met de kleinste waarden gesitueerd op de tegels uit de staat Chiapas (Cook *et al.*, 2013). Nog enkele andere interessante waarden uit de metadata worden weergegeven in tabel 7 als technische achtergrond. De data zelf worden verkregen als een GZ-bestand, een gecomprimeerde verzameling van één of meer bestanden. Deze bestandsextensie wordt meestal gebruikt op Unix-besturingssystemen voor bestandcompressie (FileTypes, 2017).

**Tabel 7: Technische achtergrond lidardata. Bron: G-LiHT, 2013; Schroder *et al.*, 2020.**

Opnameperiode	April – mei 2013
Coördinaatsysteem	EPSG:32615 - WGS 84 / UTM zone 15N
Puntendichtheid	Gemiddeld 3,7 punten/m <sup>2</sup>
Afstand tussen punten in scanlijn	0,24 m
Afstand tussen de scanlijnen	0,56 m
Formaat	GZ

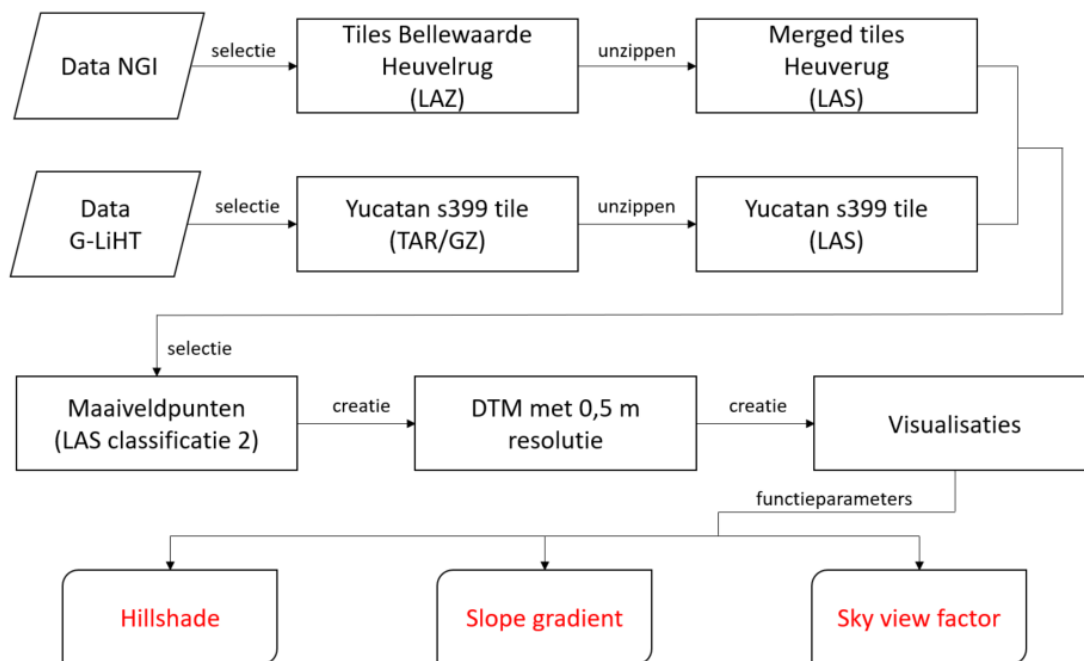


**Figuur 17: Visualisatie Yucatan South GLAS s399. Bron: G-LiHT, 2021.**

## 4.2 Verwerking tot visualisaties

Zoals reeds eerder wordt aangegeven in paragraaf 2.4.4, zijn er verschillende technieken om lidardata te visualiseren, waarvan er drie worden geïmplementeerd in deze test. Naast het gebruik van deze visualisatiemethoden is het tegenwoordig zelfs al mogelijk om meerdere visualisaties te combineren

met elkaar, wat volgens Kokalj en Somrak (2019) de bestaande visualisaties nog zou verbeteren. Wegens de complexiteit qua interpretatie in combinatie met deze eerste vorm van integratie in de klas, kwamen combinaties van visualisatiemethoden niet aan de orde voor implementatie in dit onderzoek. De verschillende stappen die leiden tot het genereren van het eindproduct (figuur 18), in dit geval de drie verschillende visualisaties voor beide studiegebieden, worden hieronder besproken. Begonnen wordt er met het op zoek gaan naar een betrouwbare resolutie voor de verwerking van beide datasets.



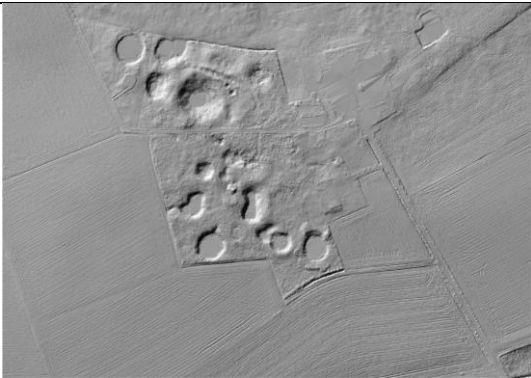
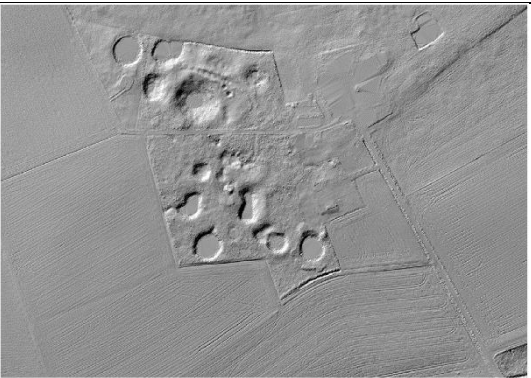

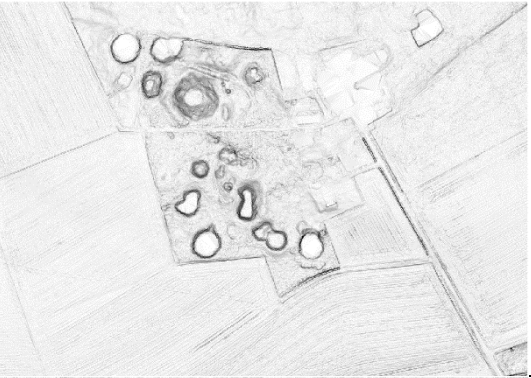
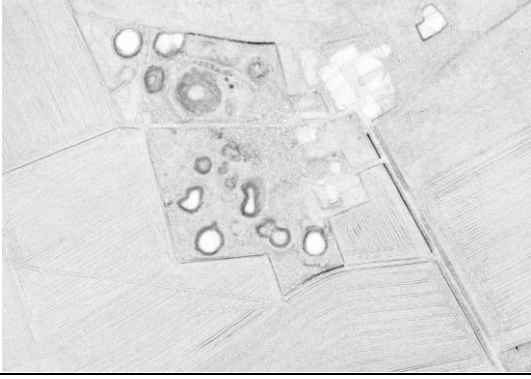
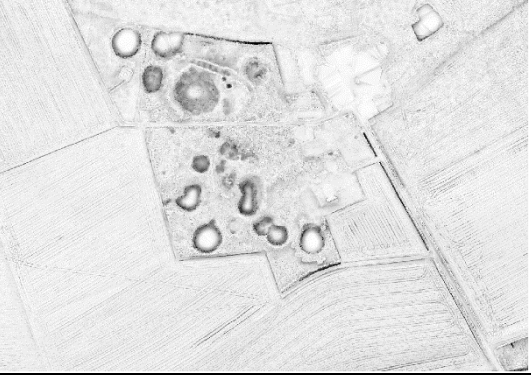
**Figuur 18: Data processing workflow.**

#### 4.2.1 Gewenste resolutie DTM

Aanvankelijk werden visualisaties gemaakt voor België met een resolutie van 25 cm, daar er nog geen studiegebied voor Mexico bekend was. Vanwege de puntendichtheid per vierkante meter die niet identiek is bij de data van de Heuvelrug van Bellewaerde en de data van Yucatan South GLAS s399, die respectievelijk dichtheden hebben van 16 en 3,7 punten/m<sup>2</sup>, werd op zoek gegaan naar een betrouwbare analoge resolutie. Een interpolatie uitvoeren op de data van Mexico met een resolutie van 25 cm zou namelijk in vraag kunnen worden getrokken. Daarom werden de drie verschillende visualisaties voor het Belgische studiegebied gegenereerd met een resolutie van 25 en 50 cm, waarna deze met elkaar konden worden vergeleken om te besluiten of er al dan niet veel detail verloren raakt (tabel 8). Het werken met een gelijke resolutie voor beide domeinen heeft alvast tot gevolg dat dit kan worden uitgesloten als beïnvloedende factor op de resultaten van de af te nemen test, wat de gelijkheid tussen de visualisaties van de gebieden bevordert.

Door de gegenereerde visualisaties aandachtig te bekijken, kunnen meerdere zaken worden opgemerkt, doch zijn deze verschillen niet opvallend in de mate dat de beelden significant van elkaar afwijken. Ten eerste lijken de 50 cm resolutiebeelden wat vager, wat logisch is daar één pixel op deze beelden overeenkomt met vier pixels in een visualisatie met 25 cm resolutie. Ten tweede zijn bepaalde lijnen minder duidelijk weergegeven, wat duidelijk te zien is bij de ploeggeulen op de velden rondom het bos van de Heuvelrug. Aangezien deze toch nog steeds herkenbaar zijn in het beeld en er niet al te veel detail verloren is gegaan, wordt er voor het maken van de DTMs een resolutie van 50 cm gebruikt.

**Tabel 8: Vergelijking beelden Bellewaerde Heuvelrug in verschillende resoluties.**

Resolutie:	25 cm	50 cm
HS		
SG		
SVF		

#### 4.2.2 Unzippen naar LAS-formaat en selectie maaiveldpunten

Om de verschillende eindvisualisaties te verkrijgen, wordt de workflow doorlopen die reeds werd meegegeven in figuur 18. Een eerste stap in het verwerkingsproces van Bellewaerde was het unzippen van het LAZ-dataformaat, het formaat waarin de brondata werden gedownload naar een LAS-file. Het

LAS-formaat is zoals reeds eerder vermeld een opendata formaat voor de uitwisseling van laser gegevens tussen gebruikers en software. Daarnaast is het opgebouwd volgens een eenduidige standaard, waarbij zoveel mogelijk metadata in één bestand worden geplaatst (Janssens, 2017). Door de standaardisatie van de *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS, 2013) worden lidarpuntenwolken opgedeeld in verschillende classificaties daar de datapunten niet alleen de hoogte van het terrein weergeven, maar ook topografische objecten zoals bijvoorbeeld vegetatie en gebouwen (ASPRS, 2013). De voortgebrachte classificaties, ontwikkeld door ASPRS, zijn terug te vinden in tabel 9. Dit maakt de verdere verwerking relatief eenvoudiger aangezien enkel de maaiveldpunten uit de verschillende datasets dienden te worden geselecteerd. Om deze stap te verwezenlijken werd LAsTools ingezet, een software die meerdere tools aanbiedt voor het manipuleren, verwerken en visualiseren van lidardata. Het bevat een verzameling aan zeer efficiënte *executable* (.exe) bestanden die ook als toolbox kunnen worden ingeschakeld in programmatuur zoals arcGIS of QGIS. (Janssens, 2017; Rapidlasso, 2020). In functie van deze eerste stap werd de laszip.exe tool ingeschakeld (bijlage 4). De verschillende *tiles* werden ingeladen in het *browser* venster, een filter werd toegepast waarbij de grondclassificatiepunten of maaiveldpunten werden behouden (*by classification of return > keep classification > number of value > 2*) en de verschillende *tiles* werden *merged* naar één groot bestand. Voor de output werd een *filename* gekozen met een bijhorende opslagplaats op de computer, waarna tot slot het proces van *decompressing* in gang werd gezet.

**Tabel 9: ASPRS Standard lidar Point Classes. Bron: ASPRS, 2013.**

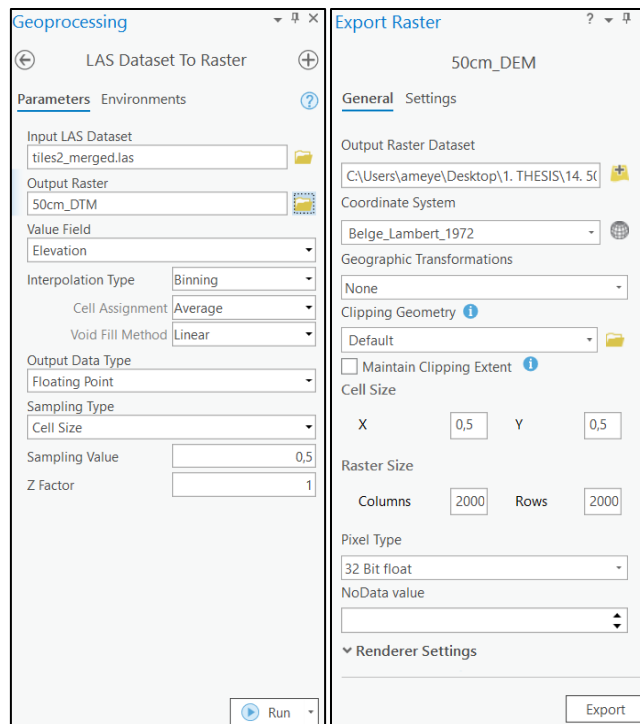
<b>Classification Value</b>	<b>Meaning</b>
<b>0</b>	Created, never classified
<b>1</b>	Unclassified
<b>2</b>	Ground
<b>3</b>	Low Vegetation
<b>4</b>	Medium Vegetation
<b>5</b>	High Vegetation
<b>6</b>	Building
<b>7</b>	Low Point (noise)
<b>8</b>	Model Key-point (mass point)
<b>9</b>	Water
<b>10</b>	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
<b>11</b>	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>
<b>12</b>	Overlap Points
<b>13-14</b>	<i>Reserved for ASPRS Definition</i>

Als tweede stap in het verwerkingsproces werden ook de data van Mexico gedecomprimeerd die werden verkregen in een TAR-formaat. TAR staat voor een *Tape Archive File* en wordt vaak gebruikt voor het verzamelen van een grote selectie aan bestanden in een gemakkelijk te verspreiden bestandsarchief (ReviverSoft, 2021). Dit soort bestand is eenvoudig uit te pakken met 7-Zip, een computerprogramma om bestanden eenvoudig te (de)comprimeren (Pavlov, 2021). Door de TAR-file te decomprimeren wordt een GZ-bestandsformaat verkregen, dat opnieuw kan worden uitgepakt met datzelfde programma. Na het originele bestand tweemaal gedecomprimeerd te hebben, wordt een LAS-file bemachtigd met bijhorende metadata. Vervolgens werden ook voor deze dataset de maaiveldpunten geëxtraheerd, gebruikmakend van de LASground.exe tool (bijlage 5). Dit programma verdeelt de lidarpunten typisch

in grondpunten (klasse = 2) en niet-geclassificeerde punten (klasse = 1) (Rapidlasso, 2020). Het lasbestand werd hiervoor ingeladen in het *browser* venster, de classificatie 2 filter werd toegepast en een *filename* werd gekozen met een bijhorende opslagplaats op de computer. Tot slot werden de resultaten voor en na filtering van de maaiveldpunten voor beide studiegebieden gevisualiseerd met behulp van FugroViewer, weergegeven in bijlage 6 en bijlage 7.

#### 4.2.3 Van LAS file naar DTM

Voor het verkrijgen van een DTM zijn uitsluitend maaiveldpunten nodig, die reeds in de vorige stap (paragraaf 4.2.2) werden verkregen. De LAS-puntenwolk kan echter nog kunstmatige artefacten bevatten, maar in functie van het onderwijs was het niet noodzakelijk de gegevens van de lidargrondpunten verder te filteren en ruis te verwijderen. Daardoor kon direct worden overgegaan naar het vervaardigen van het DTM met behulp van een GIS-programma dat in staat moet zijn om grote datasets te verwerken, aangezien het aantal datapunten gemakkelijk tot enkele miljoenen kan oplopen. In dit geval werd gebruik gemaakt van ArcGIS Pro (bijlage 8). Volgens Esri (2021), producent van deze software, is dit een krachtige GIS-applicatie met veel mogelijkheden. Het ondersteunt onder andere datavisualisatie, geavanceerde analyses en gegevensonderhoud (Esri, 2021). Specifiek werd in deze programmatuur gebruik gemaakt van de 'LAS Dataset To Raster' *conversion* tool die zich bevindt in de *geoprocessing* toolbox. Net zoals de naam zichzelf uitlegt, vervaardigt deze functie een rasterbeeld gebruikmakend van informatie uit de puntenwolk, in dit geval de hoogte. De ingestelde parameters voor de verwerking van Bellewaerde Heuvelrug zijn terug te vinden in figuur 19, die gelijklopend zijn met deze voor het studiegebied in Mexico. Beide DTMs kregen een ingestelde resolutie van 0,5 m per pixel zonder een uittrekking op de z-waarden. Eens het volledige proces is gerund, komt het resultaat tevoorschijn op het beeldscherm, waarvan een visualisatie terug te vinden is in bijlage 9 en bijlage 10. Na aanmaak van de beide hoogtemodellen, werden ze geëxporteerd als GeoTIFF-bestand, een *tagged image file format* waarbij de georeferentie informatie is ingesloten in het afbeeldingsbestand (Dempsey, 2019). Dit werd verwezenlijkt door de data te exporteren als raster, waarbij onder *render settings* het output formaat werd gewijzigd naar TIFF.



**Figuur 19: Parameters: A) Geoprocessing LAS Dataset To Raster. B) Export Raster.**  
Bron: ArcGIS Pro, 2021.

#### 4.2.4 Van DTM naar de verschillende visualisaties

Om uiteindelijk tot de verschillende visualisaties te komen, aangegeven onder paragraaf 2.4.4, wordt gebruik gemaakt van de *Relief Visualization Toolbox* (RVT). Deze software is ontwikkeld door het *Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts* (ZRC SAZU, 2019) om wetenschappers te helpen bij het visualiseren van rasterhoogtemodellen zoals de eerder gemaakte DTMs. RVT biedt een beperkte selectie van technieken aan die bewezen hebben efficiënt te zijn voor de identificatie van kleinschalige, archeologische kenmerken, waarbij de standaardinstellingen uitgaan van het werken met hoge resolutie DEMs die afgeleid zijn van lidarscanmissies. Één van de voordelen van dit programma is dat er geen installatie vereist is, maar dat het RVT-pakket wordt uitgevoerd met behulp van een .exe-bestand (ZRC SAZU, 2019), net zoals reeds eerder bij LAsTools het geval was.

Eens de gebruikersinterface (bijlage 11) is opgestart kunnen één of meerdere DTMs tegelijkertijd worden ingeladen in GeoTIFF-formaat. Van daaruit is het mogelijk de gewenste visualisaties te maken. In dit geval vergemakkelijkten een *hillshade*, een *slope gradiënt* en een *sky view factor*. ZRC SAZU (2019) vergemakkelijkten het gebruik van de toolbox door het aantal invoerparameters tot een minimum te beperken die nodig zijn voor elke visualisatietechniek. De uitvoerbestanden worden in de map van het invoerbestand opgeslagen en bevatten een berekend 32-bits resultaat, een 8-bits resultaat en een verwerkingslogsbestand. Er wordt in deze studie verder gewerkt met het 32-bits resultaat, daar deze beelden geschikt zijn om in een GIS-software te gebruiken. De vereenvoudigde 8-bits GeoTIFF-bestanden maken daarentegen gebruik van een histogramuitrekking om te implementeren en weer te

geven in een niet GIS-gerelateerde software zoals Windows Photo Viewer. Het logbestand genereert tot slot een lijst met de uitgevoerde visualisatiemethoden, de gebruikte parameters, de namen van de uitvoerbestanden, mogelijke waarschuwingen en andere metagegevens (ZRC SAZU, 2019).

Voor zowel de verwerking van Bellewaerde Heuvelrug als voor Yucatan South GLAS s399 werden de DTMs verwerkt tot visualisaties door gebruik te maken van dezelfde default parameters, weergegeven in tabel 10. In diezelfde tabel zijn verder ook de toegelaten waarden en de meest geschikte waarden van twee van de visualisatiemethoden terug te vinden. In tegenstelling tot *hillshading* en *sky view factor*, vereist de *slope gradient* geen extra gedefinieerde parameters. De meeste van de variabelen werden reeds uitgelegd bij de uiteenzetting van de visualisaties, met uitzondering van de zoekradius bij de *sky view factor*. Volgens Kokalj en Hesse (2017) worden de resultaten meer veralgemeend naarmate de waarde van de zoekradius groter is. Zo kan een kleine zoekradius bijvoorbeeld gebruikt worden om lokale morfologische vormen te visualiseren en te classificeren (Kokalj & Hesse, 2017). Ten slotte zijn de aangemaakte logbestanden van de verwerking te raadplegen in bijlage 12 en bijlage 13.

**Tabel 10: Uiteenzetting parameters: A) Hillshade. B) Sky view factor. Bron: ZRC SAZU, 2019.**

<b>A) Hillshade</b>	default value	allowed values min ... max	most useful values	note
sun azimuth [°]	315	0 ... 360	0 ... 90, 270 ... 360	0 is North and 90 is East. Values from southern hemisphere (90 ... 270) display inverted shaded relief.
sun elevation angle [°]	35	0 ... 90	5 ... 45	Use small values (5, 10) for flat terrain and higher values (45) for steep terrain.
<b>B) Sky view factor</b>	default value	allowed values min ... max	most useful values	note
number of search directions	8	4 ... 360	8 ... 36	Computational time increases as a linear function of number of search directions. 16 is optimal for most applications. The drop down menu is editable, so any number in the allowed range can be inserted.
search radius [px]	10	1 ... 100	5 ... 50	Use small search radius (5-10 m; i.e. 5-20 pixels) if you are interested in small features, e.g. archeology.
remove noise	none	low ... high	low	Low: first 10% pixels (1 pixel if $r \leq 10$ ) Medium: first 20% pixels (2 pixels if $5 < r \leq 10$ ) High: first 40% pixels (4 pixels if $r \leq 10$ )

### 4.3 Verwerking tot een test

Na de verwerking van de datasets tot verschillende visualisaties sluipt de kernvraag van deze thesis opnieuw naar boven: 'Met behulp van welke visualisatiemethode(n) kunnen lidardata het best gevisualiseerd worden in een educatieve setting van België en/of Mexico?'. Om hierop een antwoord te formuleren wordt een test opgezet met de intentie om finaal een gebruiksvriendelijk en eenvoudig te begrijpen visualisatie te selecteren om later te implementeren in een les. Welke visualisatie echter het

best voorhanden is, hangt volgens Kokalj en Hesse (2017) af van een aantal factoren. De belangrijkste zijn onder meer de reliëfsplasticiteit van het landschap, de gezochte morfologische kenmerken, etc., maar evengoed de gebruikersvoorkeuren. De voorkeur van een specifieke visualisatie hangt vaak af van de uit te voeren taak. Een onderscheid wordt gemaakt tussen de visuele detectie van kenmerken, wat wil zeggen het helpen om te zien dat er iets is, en de interpretatie van deze kenmerken, namelijk de herkenning van wat het is (Kokalj & Hesse, 2017). Aangezien dit een eerste implementatie is in het onderwijs, wordt ingezet op de detectie van de kenmerken en het lezen van de beelden. Echter kan wel worden opgemerkt dat opleiding en ervaring na verloop van tijd de voorkeuren van een bepaalde gebruiker kunnen veranderen (Kokalj & Hesse, 2017), maar dit zou onderzoek vereisen op langere termijn, wat niet mogelijk is voor deze masterscriptie.

#### 4.3.1 Doelstellingen

Met behulp van deze enquête wordt hopelijk duidelijk welke visualisatiemethode de *best fit* is voor implementatie in het onderwijs. Daarom werd de test opgesteld naar aanleiding van een reeks vooraf opgestelde doelstellingen om op die manier doelgericht te werk te gaan. De verschillende doelstellingen staan hieronder opgelijst in een hiërarchische volgorde met focus op de belangrijkheid. Hoe lager deze staat in de ranglijst, hoe minder noodzakelijk om hier een antwoord op te vinden. De intentie is dus niet om op elke doelstelling een specifiek antwoord te kunnen formuleren. Het is echter wel wenselijk een statistisch ondersteunde beslissing te nemen voor de *best fit* visualisatie en idealiter worden alle doelstellingen beantwoord.

1. Welke visualisatiemethode(n) is (zijn) het meest geschikt om te worden geïmplementeerd in een educatieve setting binnen het onderwijs van België en/of Mexico en is (zijn) deze voorstelling(en) significant beter dan de andere methoden?
2. Welk kenmerk uit de basisvragen (vb. geslacht, land, etc.) heeft de grootste invloed op de prestaties van de participanten? Kunnen de resultaten met andere woorden voorspeld worden op basis van de meegenomen factoren?
3. Is er een verscheidenheid aan resultaten indien verschillende kaartgebruikersgroepen met elkaar worden vergeleken? Zo ja, wat zou de onderliggende oorzaak hiervan kunnen zijn? Met verschillende kaartgebruikersgroepen wordt een verschil in gender, afkomst of niveau bedoeld.
4. Komt het resultaat van de best leesbare visualisatie in de test overeen met de voorkeur van de gebruiker of verschillen deze van elkaar? De leesbaarheid kan per visualisatiemethode worden uitgerekend door het aantal juiste antwoorden bijeen te tellen.
5. Zijn er significante verschillen op te merken tussen de eindresultaten van de verschillende studiegebieden? Zo ja, wat zou de onderliggende oorzaak hiervan kunnen zijn?



#### 4.3.2 Efficiëntie van visualisaties

Voor de evaluatie van de efficiëntie van de visualisatiemethoden voor lidardata in een educatieve setting wordt vooral gericht op de prestaties van het kaartlezen. Bruikbaarheid is dan de mate waarin leerlingen de functionaliteit van de visualisatie kunnen begrijpen en gebruiken (Senaratne *et al.*, 2012). Dit beantwoordt de vraag van Koua *et al.* (2006): 'Efficiënt voor wat?'. In een onderwijscontext is het bedoeld ter ondersteuning van de kennisconstructie, om te helpen bij het beantwoorden van vragen over geografische fenomenen en processen en om kracht te geven aan de gemaakte argumenten bij het maken van beslissingen.

Net zoals in het onderzoek van Phillips (1982) zal aan de hand van een aantal "eenvoudige", representatieve kaartleestaken een test worden opgezet. Volgens Laidlaw *et al.* (2005) moeten die taken die gebruikt worden om de efficiëntie van de visualisaties te evalueren kenmerkend zijn voor de typische interacties die de gebruikers, in dit geval leerlingen, uitvoeren met de data. Op die manier kunnen resultaten kwantitatief gemaakt worden tegenover de subjectieve vergelijking waarbij het gaat om een visuele interpretatie van het studiegebied door de gebruiker (Štular *et al.*, 2012). Aangezien het in deze enquête gaat over reliëfkaarten verkregen uit lidar, werd in brede zin naar gelijkaardige literatuur gezocht voor de identificatie van de uit te voeren taken. De verkregen resultaten op de test zullen vervolgens worden gebruikt om 'het begrijpen van de visualisatie' in te schatten en er op die manier de best leesbare visualisatiemethode uit te halen. Dit is enorm belangrijk aangezien een verkeerde interpretatie van het beeld zou kunnen leiden tot een ongewenste beslissing met bijhorende neveneffecten. Het doel is om het eindresultaat later te kunnen implementeren in een GIS-omgeving naar aanleiding van de gegeven aanbevelingen (paragraaf 7) waar zowel de leerkrachten/docenten als de leerlingen/studenten eenvoudig mee aan de slag kunnen.

#### 4.3.3 Aanpak

Het bruikbaarheidsonderzoek wordt met een vergelijkbare aanpak opgesteld als in het onderzoek van Senaratne *et al.* (2012) en kan in vijf fasen worden opgesplitst. Om te starten wordt aan de deelnemers gevraagd of ze reeds gewerkt hebben met satellietbeelden, GIS-software of lidardata. Hierdoor kan enig inzicht worden verworven over het niveau van de participanten. Als tweede stap worden de visualisaties van één studiegebied voorgelegd. De beelden worden geanalyseerd om de bijhorende vragen te beantwoorden, de tijd wordt bijgehouden. Een belangrijk onderscheid is dat de Belgische studenten starten met het invullen van de vragen van Bellewaerde Heuvelrug, terwijl de Mexicaanse studenten starten met Yucatan South GLAS s399. Hierdoor wordt min of meer gestart met een gekend(er) gebied. De verschillende visualisaties, namelijk de *hillshade*, de *slope gradient* en de *sky view factor* van het studiegebied worden voor de verschillende studenten in volgorde gerandomiseerd om het repetitief invullen van de vragen in de mate van het mogelijke tegen te gaan. In een derde fase wordt vervolgens aan de leerlingen gevraagd hun voorkeur in visualisatiemethode te markeren om later de overeenkomst tussen de prestaties en de voorkeuren te kunnen vergelijken en beoordelen. Aansluitend werd ook

gevraagd of het studiegebied al dan niet herkend werd. Hierop volgend worden fase twee en drie herhaald, maar ditmaal met de vragen van het andere studiegebied dat normaliter minder gekend is of zou moeten zijn. In het vierde deel worden er tot slot nog enkele basisvragen meegegeven die vrij eenvoudig in te vullen zijn zoals bijvoorbeeld gender en leeftijd. Hierbij wordt rekening gehouden met de juridische aspecten van de *General Data Protection Regulation* (GDPR). Dit grondrecht bepaalt dat EU-burgers recht hebben op de bescherming van hun persoonlijke gegevens (Europese Commissie, 2021). Persoonsgegevens waarmee identificatie mogelijk is werden om die reden uit de enquête gehaald tijdens de naverwerking. Deze fase met basisvragen werd meer naar het einde geplaatst, daar deze niet veel inspanning vereist ingeval de leerling/student zijn concentratie zou verliezen. Geëindigd werd er tenslotte met de vraag of de enquête al dan niet moeilijk was om een algemeen beeld over de test te kunnen verkrijgen. Hier werd er ook ruimte voorzien om eventuele opmerkingen optioneel te vermelden.

#### 4.3.4 Aanmaak

Bij de aanmaak van de test werd vooraf beslist om uitsluitend te werken met gesloten vragen, dit om de verwerking achteraf eenvoudig te houden in aanvulling met het feit dat de Spaanse taal niet door mezelf beheerst wordt. Gestart werd er met de aanmaak van een Nederlandstalige versie van de enquête in het programma Word, die achteraf vertaald werd naar het Spaans. Dit voor het gemak en het vermijden van misinterpretatie van de vragen bij de Mexicaanse studenten. Alle vragen zijn verplicht in te vullen, met uitzondering van de optionele opmerkingen in het afsluitende gedeelte.

De conceptuele doelstellingen en de eerder beschreven aanpak werden gebruikt als basis voor het definiëren van de operationele oefeningen die de leerlingen en studenten dienden op te lossen in de test. De uiteindelijk gestelde vragen steunen onder meer op onderzoeken van Phillips (1982), Evans (1997) en Koua *et al.* (2006). Telkens werden verschillende zaken aangeduid op de verschillende voorstellingen met behulp van QGIS (2021), een professionele toepassing voor GIS die bovenal gratis en *open source* wordt aangeboden. Naast het creëren van nieuwe *shapfile layers*, konden doorsneden worden verkregen met de *terrain profile* plugin. Om de leerlingen niet in de juiste richting te duwen omtrent het verloop van het reliëf (stijgend vs. dalend), werd ook gebruik gemaakt van een omgekeerde doorsnede. Daar dit niet te verwezenlijken was met de *profile tool*, werden de coördinaten met bijhorende hoogtes gekopieerd naar het verwerkingsprogramma Microsoft Excel. Om de grafiek te maken van de omgekeerde doorsnede werden omgekeerde hoogten berekend door gebruik te maken van de volgende formule:

$$hoogte_{omgekeerd} = hoogte_{gemiddeld} - (hoogte - hoogte_{gemiddeld})$$

Na het verkrijgen van deze omgekeerde hoogten, werden de twee spreidingsgrafieken die invers zijn aan elkaar opgesteld. Een ononderbroken lijn werd door de punten getrokken en de punten zelf werden

transparant geplaatst om tot de vorm van het reliëf te komen. Ten slotte werden een grafiektitel en bijhorende astitels toegevoegd om tot het gebruikte resultaat te komen.

De opgestelde basisvragen werden daarentegen gesteld met oog op het onderzoek van Hanus en Havelková (2019b). Uit hun studie blijkt dat er verschillende factoren zijn die invloed hebben op het niveau van de kaartvaardigheden. Die factoren kunnen opgedeeld worden in kaartkenmerken, gebruikerskenmerken en externe factoren zoals educatie en familie (Hanus & Havelková, 2019b). Uit de laatste twee categorieën werden enkele van de meest significante factoren geselecteerd die het vaakst invloed blijken te hebben op deze vaardigheden.

#### 4.3.5 LimeSurvey

In het kader van deze enquête werd beroep gedaan op de vrije, opensource webapplicatie van LimeSurvey (2021). Naar eigen ondervinding bood dit programma meer opties aan voor het maken van online-enquêtes en bevestigingen in vergelijking met een Google Form. De enquête kan daarbij snel en intuïtief worden aangemaakt door de gebruiker en kan door wel duizenden mensen worden ingevuld (LimeSurvey, 2021). De onderstaande stappen werden in totaal tweemaal uitgevoerd, dit eenmaal in het Nederlands en eenmaal in het Spaans.

Bij het aanmaken van een nieuwe bevestiging werd gestart met het in orde plaatsen van de algemene instellingen en de basisgegevens. De belangrijkste zaken die hier werden meegenomen zijn onder meer de standaardtaal, de instellingen omtrent gegevensbescherming, het opslaan van tijd en de functie omtrent het terugbladeren. De standaardtaal is de hoofdtal van de website. Hierdoor worden ook de knoppen (bv. volgende) in de geselecteerde taal weergegeven. De instellingen betreffende de gegevensbescherming hebben te maken met de eerder vermelde GDPR. Het is een voor de deelnemer verplicht aan te vinken *checkbox* op de welkomspagina waarbij een inklapbare tekst aanwezig is omtrent dit gegeven. Een foutmelding wordt gegenereerd indien de participant vergeet het beleid te accepteren. Als derde wordt de gebruikte tijd per pagina van de enquête opgeslagen om later mee te kunnen nemen in de verwerking. Het vergelijken van de gebruikte tijd per participant of visualisatiemethode wordt hierdoor mogelijk. Ten slotte is het niet toegestaan dat een deelnemer terug gaat bladeren en de al ingevulde antwoorden gaat wijzigen. Door dit te verbieden is het niet mogelijk om een later verworven inzicht te hanteren bij een voorgaande visualisatiemethode wat zou inspelen op de betrouwbaarheid van de enquête.

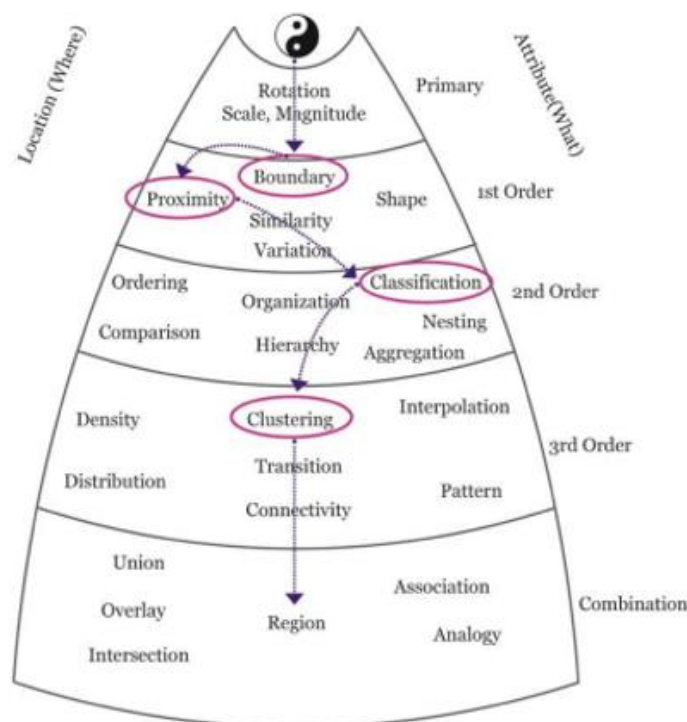
Daarna werden de vragen en vraaggroepen opgesteld. Voor iedere visualisatiemethode per studiegebied werd een vraaggroep voorzien met de bijhorende vragen. Om de volgorde van deze groepen bij het tonen aan de gebruiker willekeurig te maken, werd randomisatie ingesteld. Op die manier start niet elke leerling met dezelfde visualisatie en kan het repetitief invullen van de vragen in de mate van het mogelijke worden tegengegaan. Om dit eveneens tegen te gaan werd gespeeld met de benaming van de aangeduide zaken op de visualisaties, wat resulteerde in andere eindoplossingen

voor dezelfde vragen. Zo werden de leerlingen en studenten verplicht om opnieuw naar de visualisatievoorstelling te kijken. De vragen zelf bestonden uit verschillende soorten types: een array, een lijst met radioknoppen, een vrije tekst, etc. Hierdoor werd ten slotte ingespeeld op het verkrijgen van juiste antwoorden in het gewenste formaat.

## 4.4 Testafname

### 4.4.1 Participanten

Voor de bepaling van de doelgroep in België en Mexico werd in eerste instantie onderzocht vanaf welke leeftijd leerlingen het benodigde niveau aan ruimtelijk denken bereikt hebben. Naar het onderzoek van Perdue en Lobben (2013) is ruimtelijk denken een verzameling van cognitieve vaardigheden. Die vaardigheden kunnen zoals reeds eerder vermeld worden gerangschikt volgens het principe van eenvoudig tot complex, wat door hen werd voorgesteld in een ruimtelijk denkkader (figuur 20). In het getoonde voorbeeld wordt regionale identificatie (hoger niveau) bereikt door de accumulatie van grens-, nabijheids-, classificatie- en clustervaardigheden (Perdue & Lobben, 2013). Daar veel van de vaardigheden pas op latere leeftijd worden verworven, werd gemikt op een doelgroep van minimum de derde graad. In het secundair onderwijs bezit deze doelgroep namelijk het grootste vermogen tot ruimtelijk denken, wat wenselijk is voor de uitvoering van deze test, daar het gaat over de implementatie van een nieuwe soort ruimtelijke informatie.



Figuur 20: Ruimtelijk denkkader. Bron: Perdue & Lobben, 2013.

De test werd uiteindelijk afgenomen bij vier groepen participanten (figuur 21), deze zijn:

- **secundair onderwijs België:** voor deze doelgroep namen 18 leerlingen deel uit het vijfde middelbaar, richting wetenschappen-wiskunde. Dit was een samenwerking met dhr. Christ Naert, leerkracht aardrijkskunde in het Guldensporencollege Kaai te Kortrijk.
- **universitair onderwijs België:** voornamelijk eerstejaarsstudenten en studenten van de specifieke lerarenopleiding van de eigen vakgroep geografie (UGent) werden opgedragen de enquête in te vullen. In totaal namen 22 studenten deel aan de test.
- **secundair onderwijs Mexico:** van het *Colegio Instituto Tecnológico* in Mexico kwamen uiteindelijk maar vijf resultaten binnen. Dit is een te kleine steekproef om de populatie goed te vertegenwoordigen en werd daarom achterwege gelaten. De betrouwbaarheid van deze resultaten bij de processing zou namelijk in vraag gesteld kunnen worden. Mocht het uiteindelijk in tweede instantie mogelijk geweest zijn om naar Mexico te trekken, werd de enquête in de klas zelf afgenomen. Als voordeel ging dit resulteren in de benodigde antwoorden in een tijdsduur van één lesuur en kon met eigen ogen gezien worden hoe het er daar aan toe ging. Het continu heen en weer mailen bleek zijn vruchten niet af te werpen.
- **universitair onderwijs Mexico:** 63 studenten van de opleiding aardrijkskunde, georiënteerd op geïntegreerd landschapsbeheer (UNAM) namen deel aan deze enquête.



**Figuur 21: De vier doelgroepen van dit onderzoek.**

#### 4.4.2 Invullen enquête

De afname van de enquête gebeurde tussen 22 februari en 7 april volledig online vanwege de COVID-19 context. Voor het eigenlijke begin van de test werden de participanten ingelicht over het doel en de inhoud met behulp van een introductiefilmpje. Aan de hand van een PowerPointpresentatie (bijlage 14) werd het verhaal gedaan in het Nederlands en in het Engels. Daar de Engelse versie van het filmpje bestemd was voor de Mexicaanse respondenten, werden hierbij aanvullend ondertitels geplaatst in het Spaans met behulp van de software van Kapwing. Vervolgens kon gestart worden met de enquête en werden alle vragen ingevuld. Naar de respondenten die de juiste antwoorden wensten te ontvangen werd een handleidings- en oplossingsbundel doorgestuurd (bijlage 15).

## 4.5 Data processing

De afname van de enquête resulteerde in een totaal van 175 respondenten, waarvan 117 respondenten (66%) de volledige enquête doorliepen. Hoe deze data werden verwerkt om te komen tot statistische resultaten, wordt beschreven in de onderstaande paragrafen. Er werd gebruik gemaakt van de verwerkingsprogramma's Excel en SPSS.

### 4.5.1 Voorbewerking

Alvorens verder onderzoek te doen naar de eerder geformuleerde doelstellingen, dienden de verzamelde gegevens gecontroleerd te worden op bruikbaarheid. Dit gebeurde in de voorbereiding om vertekeningen in de analyse te voorkomen. Gegevens die fouten of onzekerheden bevatten, werden uit de uiteindelijke dataset verwijderd. De fouten zijn hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de vertaling naar de test in het Spaans, daar deze opvallend enkel voorkwamen bij de Mexicaanse respondenten. De vier verschillende fouten die zich hebben voorgedaan zijn de volgende:

- een misinterpretatie van de testvragen;
- het niet correct opgeven van de persoonsgegevens;
- het invullen van willekeurige antwoorden die geen verband houden met de gestelde vragen;
- het niet behoren tot de doelgroep van de enquête.

Na het opschonen van de dataset met 117 volledige responsen, bleken er uiteindelijk 93 bruikbaar te zijn en werden er 24 verwijderd omwille van de bovenstaande redenen. In het algemeen kon dus ongeveer 21% van de gegevens niet worden gebruikt. Vervolgens werd in de tweede stap van de voorverwerking de data van de middelbare school in Mexico ook uit de dataset gehaald wegens een te kleine steekproef van vijf responsen, waardoor met 88 resultaten werd verder gegaan. Deze data werden correct onder elkaar geplaatst, aangezien de doelgroepen telkens begonnen met het door hen min of meer gekend(er) gebied. Eens alle kolommen goed gepositioneerd stonden, werd ten slotte aan alle antwoorden een score van nul of één toegekend. Respectievelijk staan deze scores voor een fout en een juist antwoord.

### 4.5.2 Descriptieve statistiek

In dit deel van de studie wordt een beschrijving gegeven van de opgeschoonde dataset door middel van een aantal descriptieve statistieken. Eerst en vooral worden enkele grafieken weergegeven die de kenmerken van de verkregen dataset kwantitatief beschrijven of samenvatten. Voorbeelden hiervan zijn percentages met betrekking tot gender, land, leeftijdscategorieën, etc. Verder worden ook *boxplots* weergegeven met betrekking tot het aantal juiste antwoorden en de benodigde tijd. Op deze manier wordt een overzicht gegeven van de mogelijkheden van de dataset alvorens wordt overgegaan tot de effectieve statistische analyse.

### 4.5.3 Statistische analyse

Met behulp van statistische analyses kunnen antwoorden worden verkregen op de doelstellingen van de test omtrent lidarvisualisaties in een educatieve setting. Per doelstelling worden de verschillende statistische testen beschreven.

#### 4.5.3.1 Doelstelling 1: Meest geschikte visualisatiemethode

Om te onderzoeken welke visualisatiemethode(n) het meest geschikt is (zijn) om te worden geïmplementeerd in een educatieve setting binnen het onderwijs van België en/of Mexico wordt een binomiale test en een chi-kwadraattoets gebruikt. De eerste vraag bij de binomiale test stelt zich of het aantal juiste antwoorden per visualisatiemethode voldoende overtuigingskracht draagt om te beweren dat er meer kans is op een juist dan op een fout antwoord. Indien dit bij meerdere visualisaties al dan niet het geval blijkt, wordt een chi-kwadraattoets gebruikt om na te gaan of de twee of meer verdelingen van elkaar verschillen. In beide toetsen wordt verwacht dat het moet gaan over onafhankelijke observaties (van den Berg, 2021a, 2021b). Dit houdt in dat een antwoord gegeven door een respondent niet afhankelijk mag zijn van een antwoord van een andere respondent. Daar de test individueel moest worden opgelost, wordt verondersteld dat aan deze assumptie wordt voldaan. Controle op samenwerking was echter niet mogelijk door het online gebeuren. De chi-kwadraattoets heeft vervolgens nog een bijkomende assumptie, namelijk verwachte frequenties groter dan vijf (van den Berg, 2021b). Deze tweede voorwaarde wordt door SPSS gecontroleerd en onder het resultaat van de toets weergegeven. Het voldoen aan deze assumpties laat toe met deze twee statistische testen verder te gaan.

#### 4.5.3.2 Doelstelling 2: Invloeden op de prestaties

Om te weten te komen welk kenmerk uit de basisvragen de grootste invloed heeft op de prestaties van de participanten, wordt een meervoudige lineaire regressie gebruikt. Een model wordt geschat waarin de afhankelijke variabele, namelijk het behaalde percentage per respondent, wordt voorspeld op basis van vier onafhankelijke variabelen, waarbij de laatste categorie telkens dient als referentiecategorie:

- **gender:** man versus vrouw;
- **land:** Mexico versus België;
- **educatieve instelling:** middelbaar versus universiteit;
- **vrije tijd:** als hobby bezig met geocatching/kaartlezen/drones/topografie, neen versus ja.

Vooraleer de meervoudige lineaire regressie effectief wordt uitgevoerd, moeten de gegevens eerst voldoen aan acht assumpties, wat het geval bleek te zijn. Deze aannames zijn (Lund Research Ltd, 2018):

- De afhankelijke variabele heeft een continue schaal, namelijk percentages.
- Er zijn twee of meer onafhankelijke variabelen die continu of categorisch zijn. In dit geval behoren de vier onafhankelijke variabelen tot deze laatste categorie.
- Er wordt ook voldaan aan een voldoende grote steekproefomvang met per meegenomen voorspeller een minimum aan twintig participanten (88 respondenten, vier predictoren).
- De onafhankelijkheid van de residuen wordt getest met de Durbin-Watson statistiek. Met een Durbin-Watson waarde van 2,087 wordt voldaan aan de onafhankelijkheid van de residuen, daar deze in het interval [1,5;2,5] ligt (Statistics How To, 2021a).
- De gegevens vertonen verder ook homoscedasticiteit, wat inhoudt dat de variantie gelijk blijft over de volledige range van variabelen (Van Acker, 2019a). Dit bleek het geval omdat de residuen de trendlijn van het opgestelde P-P Plot evenaarden.
- De gegevens mogen geen multicollineariteit vertonen, wat zich voordoet indien twee of meer onafhankelijk variabelen sterk met elkaar gecorreleerd zijn. Daar de variantie inflatie factoren (VIF) allemaal kleiner zijn dan vier (1,083; 1,473; 1,540; 1,149), treedt in dit geval geen multicollineariteit op (Statistics How To, 2021b). Dit wordt eveneens bevestigd door de correlatiecoëfficiënten te bekijken, weergegeven bij de resultaten in paragraaf 5.2.2. Deze coëfficiënten hebben altijd een waarde tussen nul en één. Hoe hoger deze waarden, hoe groter de multicollineariteit (Van Acker, 2019b).
- Vervolgens mogen er geen significante uitschieters zijn. Dit bleek niet het geval te zijn bij het opstellen van de *boxplots* voor de gestandaardiseerde en de niet-gestandaardiseerde residuen.
- Ten slotte werd met de *one-sample Kolmogorov-Smirnov Test* gecontroleerd of de residuen ongeveer normaal verdeeld zijn. Met een p-waarde van 0,200 kon worden geconcludeerd dat de residuen een normale verdeling hebben bij een significantieniveau van  $\alpha = 0,05$ .

#### 4.5.3.3 Doelstelling 3: Verscheidenheid bij kaartgebruikersgroepen

Het onderzoeken van de verscheidenheid aan resultaten bij verschillende kaartgebruikersgroepen wordt met de chi-kwadraattest uitgevoerd. Aangezien dit nog altijd gaat over dezelfde resultaten als bij de eerste doelstelling, wordt aan de assumptie van onafhankelijke observaties voldaan. Of de verwachte frequenties groter zijn dan vijf, wordt opnieuw in SPSS gecontroleerd daar dit onder het resultaat van de toets wordt weergegeven.

#### 4.5.3.4 Doelstelling 4: Voorkeursvisualisatiemethode

Om de correspondentie tussen gebruikersprestaties en gebruikersvoorkeuren te onderzoeken wordt te werk gegaan zoals bij Senaratne *et al.* (2012). Voor elke doelgroep worden tweezijdige tabellen opgesteld om de overeenkomst tussen de prestaties en de voorkeur van de gebruiker met elkaar te vergelijken. De visualisatievoorkeur vormt namelijk mede een belangrijke factor bij het bepalen van de meest geschikte methode, daar het aangeeft welke methode de gebruikers zelf het liefst willen om lidardata mee te visualiseren. Daarom geeft de hoogste overeenkomst tussen deze twee factoren ook



een indicatie voor de meest geschikte visualisatiemethode(n) voor de verschillende doelgroepen (Senaratne *et al.*, 2012). Om het geheel van de correspondenties en het effectieve aantal keer dat een visualisatiemethode tot voorkeur was verkozen met elkaar te vergelijken, wordt vervolgens een z-toest met twee proporties uitgevoerd. De data moeten hiervoor voldoen aan twee assumpties. Ten eerste moet het gaan over onafhankelijke waarnemingen, wat hier het geval is daar verondersteld wordt dat de participanten afzonderlijk hebben gewerkt. Ten tweede dient de steekproefomvang voldoende groot te zijn, waarbij aan twee condities dient te worden voldaan:  $n * p > 5$  en  $(1 - p) * n > 5$ . Dit werd berekend in tabel 11, waaruit kan besloten worden dat ook aan deze tweede assumptie wordt voldaan.

**Tabel 11: Test assumptie steekproefomvang voor data over de voorkeuren.**

<b>ALGEMENE KENMERKEN VOORKEUREN</b>				
	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>n * p</i>	$(1 - p) * n$
<b>HS</b>	0,55	99	54	45
<b>SG</b>	0,55	55	30	25
<b>SVF</b>	0,50	22	11	11

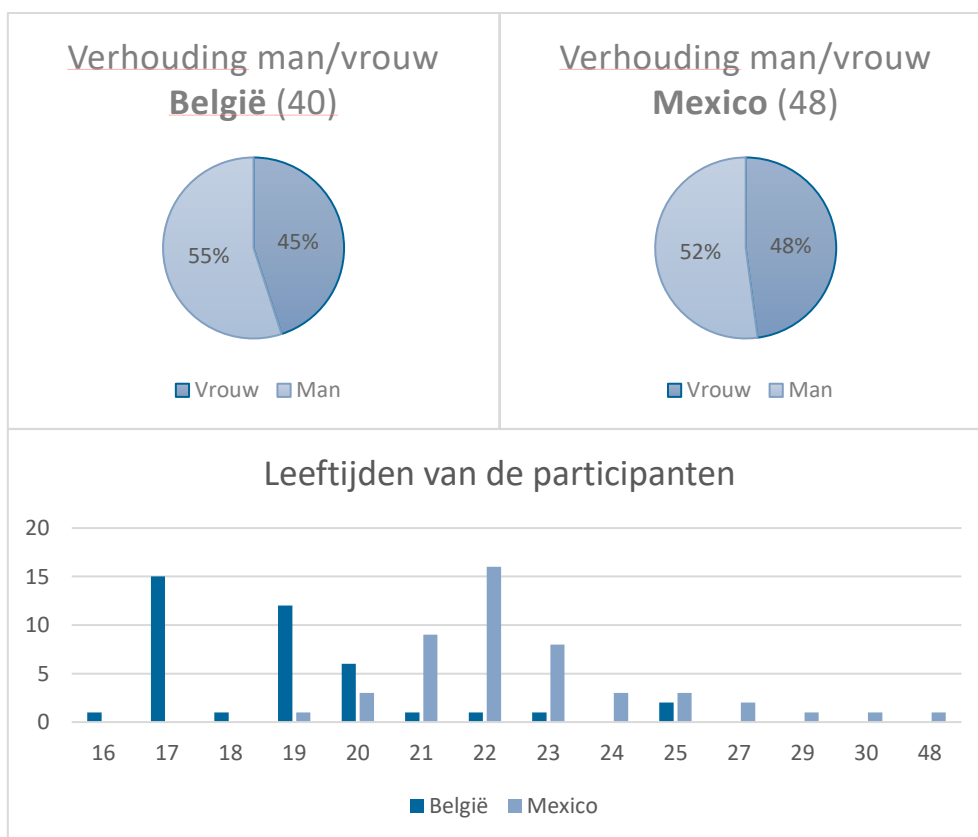
#### 4.5.3.5 Doelstelling 5: Verschillen bij de studiegebieden

Voor de laatste doelstelling waarbij de vraag zich stelt of er significante verschillen zijn op te merken tussen de eindresultaten van de verschillende studiegebieden, wordt een laatste keer de chi-kwadraattest toegepast. Opnieuw gaat dit over onafhankelijke observaties daar er vanuit wordt gegaan dat de participanten de vragen afzonderlijk hebben ingevuld voor ieder studiegebied. Of de verwachte frequenties groter zijn dan vijf, wordt opnieuw met de resultaten weergegeven. Dit wordt namelijk in SPSS onderaan de toets weergegeven.

## 5. RESULTATEN

### 5.1 Descriptieve statistieken

Dit onderzoek bevat drie doelgroepen aan jongeren: universiteitsstudenten uit Mexico, universiteitsstudenten uit België en middelbare scholieren uit België. Algemene kenmerken van de participanten worden weergegeven in figuur 22. Van de 88 respondenten hebben er een totaal van 47 mannen en 41 vrouwen deelgenomen. De verhoudingen tussen de deelnemende mannen en vrouwen zijn ook in beide landen ongeveer gelijk. De leeftijden zijn daarentegen opvallend lager bij Belgische participanten dan bij de Mexicaanse deelnemers, wat logisch is daar er geen middelbare scholieren van Mexico in de test werden meegenomen. Opmerkelijk blijkt de gemiddelde leeftijd van de Mexicaanse student ( $\bar{x} = 23$ ) drie jaar hoger te zijn dan deze van de Belgische student ( $\bar{x} = 20$ ). Dat studenten daar vaak iets ouder zijn werd bevestigd door Mario Hernandez, de contactpersoon voor deze thesis met Mexico. In Mexico is studeren namelijk niet eenvoudig, de meeste studenten moeten werken om alles te kunnen betalen. Scholen hebben dan ook vaak twee roosters, een in de vroege ochtend en een andere in de late namiddag. Gewoonlijk hebben studenten van de vroege ochtend de leeftijd van het eerste jaar van de Europese universiteiten, studenten van de latere namiddag zijn daartegenover vaak degenen die overdag werken. Het is duidelijk te zien dat deze laatste groep ouder is dan de studenten die onmiddellijk hogere studies aanvatten (persoonlijke communicatie, 2021). De Belgische scholieren hebben uiteindelijk een gemiddelde leeftijd van 17 jaar.



Figuur 22: Algemene kenmerken van de 88 participanten.

De enquête-specifieke antwoorden in tabel 12 geven vervolgens een mooi overzicht over de voorkennis van de participanten. Zo werkten rond de 60% van de deelnemers reeds met satellietbeelden of een GIS. Opvallend lager is dit percentage voor het werken met laserdata, dat maar 9% bedraagt. Hieruit kan worden besloten dat de participanten over het algemeen geen experts waren in het werken met lidardata en hier meestal nog niet mee in aanraking waren gekomen. Merkwaardig bleken deze percentages wel altijd lager te zijn voor de Mexicanen in vergelijking met deze van de Belgen. Bij de vraag naar het al dan niet moeilijk zijn van de test, antwoordden de respondenten ongeveer 50-50.

**Tabel 12: Enquête-specifieke kenmerken van de 88 participanten.**

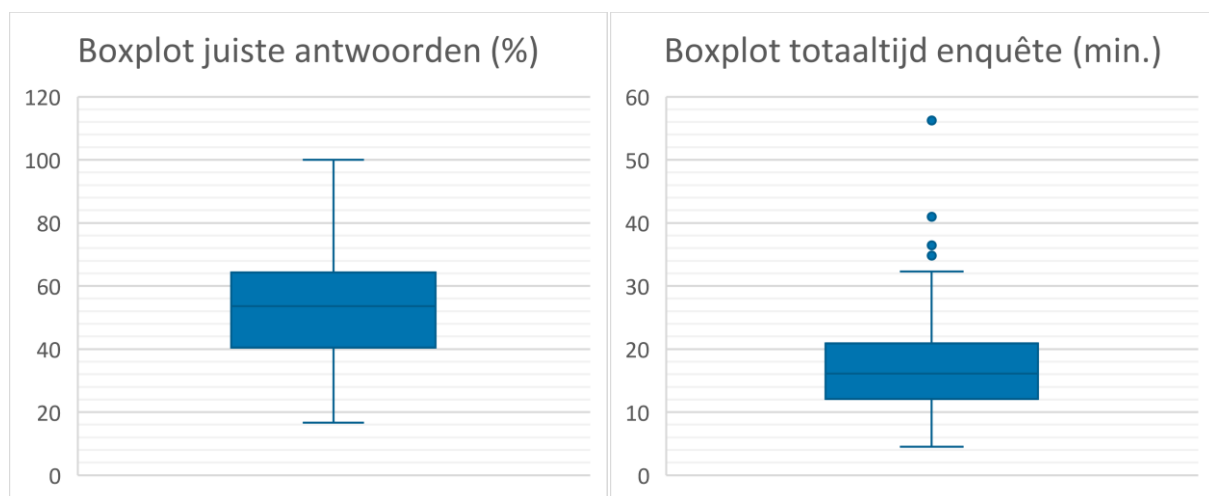
Generale vragen:						
	(1)		(2)		(3)	
Ja	61%		59%		9%	
	<b>BE</b>	<b>MEX</b>	<b>BE</b>	<b>MEX</b>	<b>BE</b>	<b>MEX</b>
	90%	37,5%	62,5%	56,3%	12,5%	6,3%

(1) Hebt u reeds gewerkt met satellietbeelden?

(2) Hebt u reeds gewerkt met een geografisch informatiesysteem?

(3) Hebt u reeds gewerkt met laserdata (lidar)?

Ten slotte volgen nog enkele *boxplots* (figuur 23) omtrent de enquêteresultaten en de benodigde tijd om de test in te vullen. Hieruit kan worden opgemerkt dat de minimum- (16,6%) en maximumscore (100%) enorm ver uit elkaar liggen. Dit kan het gevolg zijn van de omstandigheden of de kennis van de gebruiker. De mediaan ligt wel net boven de 50%, waardoor de meeste deelnemers de helft behaalden. Qua tijd hadden de participanten gemiddeld 18 minuten nodig, waar echter enkele uitschieters op terug te vinden zijn. Dit kan liggen aan het feit dat de betreffende participanten bezig waren met iets anders, de enquête als moeilijk ervaren of net hun tijd namen om een zo goed mogelijk resultaat naar eigen kunnen te behalen. Opmerkelijk deden de uitschieters het wel allemaal slechter dan de gemiddelde score van 53,4%.



**Figuur 23: Boxplots enquêteresultaten van de 88 participanten.**

## 5.2 Statistische analyse

### 5.2.1 Doelstelling 1: Meest geschikte visualisatie

Aangezien er uiteindelijk een doelgroep uit de enquête is weggevallen (paragraaf 4.4.1), worden de behaalde resultaten afzonderlijk bekeken voor de scholieren en studenten van België en Mexico. De binomiale test gaat per doelgroep na of de verdeling van de antwoorden juist/fout per visualisatiemethode significant afwijkt van de nulhypothese die stelt dat de kans op een juist of een fout antwoord gelijk is aan 50%. Logischerwijs is de kans bij de alternatieve hypothese niet gelijk aan 50%. Er wordt tweezijdig getest, daar er geen verwachtingen zijn voor een bepaald verschil. Het maakt met andere woorden niet uit welke richting het eventuele verschil zou hebben. De nulhypothese komt in totaal zes maal te vervallen bij een significantieniveau van  $\alpha = 0,05$  (tabel 13), namelijk bij de antwoorden juist/fout bij de *slope gradient* van de Belgische scholieren ( $sig. = ,089$ ), de *slope gradient* bij de Belgische studenten ( $sig. = ,077$ ), de *sky view factor* bij de Belgische studenten ( $sig. = ,077$ ) en alle visualisaties bij de Mexicaanse studenten ( $sig. = ,097$ ;  $sig. = ,153$ ;  $sig. = ,097$ ). Dit houdt in dat de scores voor de Belgische scholieren beter zijn dan verwacht bij de *hillshading* en de *sky view factor* visualisatie. De Belgische studenten doen het daarentegen significant beter met *hillshading*. De Mexicanen doen het ten slotte nergens beduidend beter dan een kans van 50% op een juist antwoord. Op zowel de resultaten van de scholieren (*hillshading* en *sky view factor*) als van de Mexicaanse studenten (*hillshading*, *slope gradient* en *sky view factor*) wordt vervolgens een chi-kwadraattoets uitgevoerd om alsnog de beste visualisatiemethode te kunnen bepalen.

Met behulp van de chi-kwadraattoets kunnen vervolgens de verschillen in de verhoudingen van de visualisaties geanalyseerd worden. De verwachting is dat de verhouding juist/fout voor de verschillende visualisatiemethoden gelijk is. Uit de opmerking onder de chi-kwadraattest (tabel 14) blijkt dat aan de tweede voorwaarde is voldaan. Er staat namelijk dat 0% van de verwachte frequenties kleiner is dan vijf. In de kruistabel zelf zijn voor de *slope gradient* bij de Belgische scholieren geen waarden terug te vinden aangezien deze methode reeds bij de vorige test werd geëlimineerd. Voor de *hillshading* en de *sky view factor* van de Belgische scholieren kan dan met een betrouwbaarheid van ongeveer 95,3% de nulhypothese worden verworpen. Er is met andere woorden geen associatie tussen de antwoorden van de beide visualisaties. Hierdoor is er wel degelijk een verschil in de methoden en kan worden gesteld dat *hillshading* uitkomt tot de beste visualisatie voor de Belgische scholieren, wat al het geval was voor de Belgische studenten. Daartegenover is het verschil tussen de drie visualisatiemethoden voor de Mexicaanse studenten niet significant. De p-waarde ( $sig. = ,982$ ) is groter dan het significantieniveau van  $\alpha = 0,05$ , waardoor de nulhypothese niet kan worden verworpen. Er is met andere woorden geen verschil in de verhoudingen van de verschillende visualisaties, wat tot gevolg heeft dat er voor Mexico geen *best fit* visualisatiemethode kan worden vooruitgeschoven.

Tabel 13: Binomiale test per visualisatiemethode per doelgroep.

<b>BINOMIALE TEST</b>						
<b>Middelbaar België</b>						
	Categorie	N	Geobserveerde Prop.	Test Prop.	Exacte Sig. (2-zijdig)	
<b>Hillshade</b>	<b>Juist</b>	1,00	179	,71	,50	,000
	<b>Fout</b>	,00	73	,29		
	<b>Totaal</b>		252	1,00		
<b>Slope gradient</b>	<b>Juist</b>	1,00	140	,56	,50	,089
	<b>Fout</b>	,00	112	,44		
	<b>Totaal</b>		252	1,00		
<b>Sky view factor</b>	<b>Juist</b>	1,00	158	,63	,50	,000
	<b>Fout</b>	,00	94	,37		
	<b>Totaal</b>		252	1,00		
<b>Universiteit België</b>						
	Categorie	N	Geobserveerde Prop.	Test Prop.	Exacte Sig. (2-zijdig)	
<b>Hillshade</b>	<b>Juist</b>	1,00	212	,69	,50	,000
	<b>Fout</b>	,00	96	,31		
	<b>Totaal</b>		308	1,00		
<b>Slope gradient</b>	<b>Juist</b>	1,00	170	,55	,50	,077
	<b>Fout</b>	,00	138	,45		
	<b>Totaal</b>		308	1,00		
<b>Sky view factor</b>	<b>Juist</b>	1,00	170	,55	,50	,077
	<b>Fout</b>	,00	138	,45		
	<b>Totaal</b>		308	1,00		
<b>Universiteit Mexico</b>						
	Categorie	N	Geobserveerde Prop.	Test Prop.	Exacte Sig. (2-zijdig)	
<b>Hillshade</b>	<b>Juist</b>	1,00	314	,47	,50	,097
	<b>Fout</b>	,00	358	,53		
	<b>Totaal</b>		672	1,00		
<b>Slope gradient</b>	<b>Juist</b>	1,00	317	,47	,50	,153
	<b>Fout</b>	,00	355	,53		
	<b>Totaal</b>		672	1,00		
<b>Sky view factor</b>	<b>Juist</b>	1,00	314	,47	,50	,097
	<b>Fout</b>	,00	358	,53		
	<b>Totaal</b>		672	1,00		

Tabel 14: Chi-kwadraattest voor de verschillende visualisaties.

KRUISTABELLEN									
Antwoorden Belgische scholieren						Antwoorden Mexicaanse studenten			
			Fout	Juist	Totaal		Fout	Juist	Totaal
visualisatie	HS	BE	73	179	252	MEX	358	314	672
	SG		-	-	-		355	317	672
	SVF		94	158	252		358	314	672
		Totaal	167	337	504	Totaal	1071	954	2016

CHI-KWADRAAT TEST									
België				Mexico					
		Waarde	df	Sig.			Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat		3,949 <sup>a</sup>	1	,047			,036 <sup>a</sup>	2	,982
N geldige gevallen		504					2016		

(a) 0 cellen (0,0%) hebben een verwachte telling van minder dan 5.

### 5.2.2 Doelstelling 2: Invloeden op de prestaties

Alvorens wordt overgegaan naar de resultaten van de meervoudige lineaire regressieanalyse, wordt eerst nog kort iets dieper ingegaan op de correlatiecoëfficiënten van de onafhankelijke variabelen (tabel 15). Er is sprake van een significante, hoge negatieve correlatie tussen gewicht het land van de participant en de educatieve instelling ( $r = -0,555$ ). Deze correlatie wordt veroorzaakt door het feit dat er voor Mexico geen scholieren werden meegenomen in de test. Daar alle andere waarden een lage of zwakke correlatie vertonen ( $|r| < 0,3$ ), wordt multicollineariteit opnieuw weerlegd.

Tabel 15: Correlatiecoëfficiënten van de onafhankelijke variabelen.

CORRELATIES					
		Gender	Land	Edu_inst	Vrije_tijd
Spearman's rho	Gender	1,000	-0,008	-0,046	-0,277**
	Land	-0,008	1,000	-0,555**	-0,005
	Edu_inst	-0,046	-0,555**	1,000	0,208
	Vrije_tijd	-0,277**	-0,005	0,208	1,000

\*\* De correlatie is significant op het niveau van 0,01 (2-zijdig)

De meervoudige lineaire regressie gaat uiteindelijk een model gaan schatten waarin de afhankelijke variabele resultaat (Y) wordt voorspeld op basis van gender, land, edu\_inst en vrijetijd. De output bestaat uit een modeloverzicht, een ANOVA-tabel en een coëfficiëntentabel (tabel 16). In het modeloverzicht geeft  $R^2$  aan dat in de steekproef ongeveer 16% van de variantie in Y verklaard wordt door de set predictoren. Volgens de *adjusted*  $R^2$  is dit maar ongeveer 12%, waarbij rekening wordt gehouden met het aantal verklarende variabelen in het model. Het tweede blok ANOVA geeft vervolgens

de resultaten van de modeltoets weer. Met deze eenzijdige toets wordt nagegaan of het regressiemodel een significante proportie variantie verklaard, wat bij deze data het geval blijkt te zijn ( $sig. = ,005$ ). Het blok met de coëfficiënten geeft ten slotte zowel de ruwe als de gestandaardiseerde regressiecoëfficiënten weer die tweezijdig getest worden. In de steekproef blijkt het land van de participant de grootste gestandaardiseerde coëfficiënt te hebben ( $beta = ,351$ ) en dus de belangrijkste predictor te zijn. Mede is dit de enige significante voorspeller ( $sig. = ,005$ ) voor de behaalde resultaten. De voorspelde toename in de resultaten is dan ook ongeveer 12,79% voor Belgen ten opzichte van de Mexicanen.

**Tabel 16: Resultaten van de meervoudige lineaire regressieanalyse.**

MODELOVERZICHT					
Model	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	Std Error van de schatting	
1	,400	,160	,120	17,13033	
ANOVA					
	Som v.d. kwadraten	Df	Gemiddeld kwadraat	F	Sig.
Regressie	4643,742	4	1160,935	3,956	,005
Residueel	24356,207	83	293,448		
Totaal	28999,948	87			
COËFFICIËNTEN					
	Niet-gestandaardiseerde coëfficiënten		Gestandaardiseerde coëfficiënten	t	Sig.
	B	Std. error	Beta		
(Constant)	50,790	6,314		8,044	,000
Gender	-,991	3,817	-,027	-,259	,796
Land	12,790	4,452	,351	2,873	,005
Edu_inst	-3,506	5,618	-,078	-,624	,534
Vrije_tijd	,198	4,671	,005	,042	,966

### 5.2.3 Doelstelling 3: Verscheidenheid bij kaartgebruikersgroepen

De verscheidenheid in resultaten bij gender, het land van waar de opleiding wordt gevolgd en de educatieve instelling wordt getest met behulp van de chi-kwadraattoets die als verwachting stelt dat er geen verschil is in de verhouding juist/fout tussen de verschillende gebruikersgroepen (tabel 17). Gestart wordt er met het genereren van de resultaten voor gender. Dit wordt driemaal uitgevoerd met verschillende selecties in de data: alle mannen ten opzichte van alle vrouwen, Belgische mannen ten opzicht van Belgische vrouwen en mannelijke studenten ten opzichte van vrouwelijke studenten. De nulhypothese wordt echter driemaal aanvaard ( $sig. = ,242$ ;  $sig. = ,292$ ;  $sig. = ,106$ ), wat inhoudt dat er geen verschil zou zijn tussen de behaalde resultaten voor mannen en vrouwen. Vervolgens worden de

verschillen in resultaten voor de inwoners van de verschillende landen bekeken. Het land blijkt een significante factor te zijn ten opzichte van de behaalde resultaten (*sig.* = ,000) indien zowel alle participanten worden meegenomen, maar ook indien enkel de studenten ten opzichte van elkaar worden geplaatst. Om te eindigen werd nog het verschil in educatieve instelling bekeken. De resultaten van de Belgische studenten ten opzichte van de Belgische scholieren bleken niet te resulteren in een significant verschil (*sig.* = ,088).

**Tabel 17: Chi-kwadraattest voor de verschillende kenmerken in de basisvragen.**

<b>CHI-KWADRAATTEST</b>			
<b>Gender</b>			
A) Alle mannen ten opzichte van alle vrouwen			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	1,370 <sup>a</sup>	1	,242
N geldige gevallen	3696		
B) Belgische mannen ten opzichte van Belgische vrouwen			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	,359 <sup>a</sup>	1	,292
N geldige gevallen	1680		
C) Mannelijke studenten ten opzichte van vrouwelijke studenten			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	1,650 <sup>a</sup>	1	,106
N geldige gevallen	2940		
<b>Land</b>			
A) Belgische scholieren en studenten ten opzichte van de Mexicaanse studenten.			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	76,097 <sup>a</sup>	1	,000
N geldige gevallen	3696		
B) Belgische studenten ten opzichte van de Mexicaanse studenten.			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	41,962 <sup>a</sup>	1	,000
N of Valid Cases	2940		
<b>Educatieve instelling</b>			
A) Belgische studenten ten opzichte van de Belgische scholieren.			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	1,972 <sup>a</sup>	1	,088
N geldige gevallen	1680		

(a) 0 cellen (0,0%) hebben een verwachte telling van minder dan 5.



#### 5.2.4 Doelstelling 4: Voorkeursvisualisatiemethode

De gebruikersprestaties en de voorkeuren worden per visualisatiemethode per doelgroep uiteengezet in tabel 18. Belangrijk om aan te geven is dat de gebruikers meerdere beste prestaties konden hebben, waardoor de totalen van elke rij en kolom niet het totale aantal gebruikers aangeven. Een blik op de verschillende doelgroepen geeft aan dat de *hillshade* visualisatie er telkens bovenuit springt. Ondanks het feit dat de Mexicaanse studenten reeds in de eerste doelstelling niet tot een best fit visualisatie kwamen, komt er dus duidelijk wel een voorkeur naar boven. In totaal werd er 54 keer de voorkeur gegeven aan *hillshading*, waarbij dit ook tot de beste prestatie van de participant behoorde.

Tabel 18: Correspondentie tussen prestaties en voorkeuren voor lidarvisualisaties.

<b>SCHOLIEREN BELGIË</b>					<b>STUDENTEN BELGIË</b>						
		VOORKEUR				VOORKEUR					
		HS	SG	SVF	TOTAAL			HS	SG	SVF	TOTAAL
PRESTATIE	HS	<b>9</b>	3	6	18	PRESTATIE	HS	<b>22</b>	8	3	33
	SG	6	<b>5</b>	2	13		SG	13	<b>9</b>	1	23
	SVF	8	7	<b>3</b>	18		SVF	15	5	<b>2</b>	22
	TOTAAL	23	15	11			TOTAAL	50	22	6	
<b>STUDENTEN MEXICO</b>					<b>TOTAALTABEL</b>						
		VOORKEUR				VOORKEUR					
		HS	SG	SVF	TOTAAL			HS	SG	SVF	TOTAAL
PRESTATIE	HS	<b>23</b>	16	5	44	PRESTATIE	HS	<b>54</b>	27	14	95
	SG	31	<b>16</b>	4	51		SG	50	<b>30</b>	7	87
	SVF	30	16	<b>6</b>	52		SVF	53	28	<b>11</b>	92
	TOTAAL	84	48	15			TOTAAL	157	85	32	

Daaropvolgend wordt met behulp van de z toets met twee proporties getest of de totaalverhoudingen voorkeur-prestatie tussen de verschillende visualisaties dezelfde zijn (tabel 19). Daar tweezijdig wordt getest, waren er op voorhand geen verwachtingen en werd telkens gekeken of de geobserveerde proporties (voorkeursmethode en beste prestatie ten opzichte van het totaal aantal keer een methode als voorkeur werd gekozen) gelijk zijn aan elkaar. Daar een Z-waarde geassocieerd met een significantieniveau van  $\alpha = 0,05$  overeenkomt met een waarde van 1,96 en alle Z-waarde tussen het interval  $[-1,96; 1,96]$  liggen ( $Z = 0,00$ ;  $Z = -0,63$ ;  $Z = -0,63$ ), worden alle nulhypotheseën aanvaard. Dit houdt in dat het verschil tussen de twee populatieverhoudingen telkens gelijk is aan nul en er dus geen verschil is tussen de geobserveerde proporties van de verschillende visualisatiemethodes.

Tabel 19: Verwerking z-toets met twee proporties.

BEREKENING Z-STATISTIEK				
	$dif$	$\hat{p}$	$\widehat{SE}_{dif}$	$Z$
HS/SG	0,00	0,55	0,07	0,00
SG/SVF	-0,05	0,53	0,07	-0,63
SVF/HS	-0,05	0,54	0,07	-0,63

#### 5.2.5 Doelstelling 5: Verschillen bij de studiegebieden

De chi-kwadraattoets gaat ten slotte bij de laatste doelstelling na of de verhouding tussen juiste en foute antwoorden in beide studiegebieden (Heuvelrug Bellewaerde en Yucatan South GLAS s399) dezelfde is (tabel 20). Met een significantieniveau van  $\alpha = 0,05$  wordt de nulhypothese van de chi-kwadraattest verworpen daar de waarde van de significantie van Pearson chi-kwadraat ( $sig. = ,000$ ) kleiner is dan deze van alfa. Er is dus met andere woorden wel degelijk een significant verschil in de gegeven antwoorden bij het studiegebied van België en Mexico. De behaalde resultaten bij Yucatan South GLAS s399 waren opmerkelijk beter.

Tabel 20: Chi-kwadraat tabel eindresultaten verschillende studiegebieden.

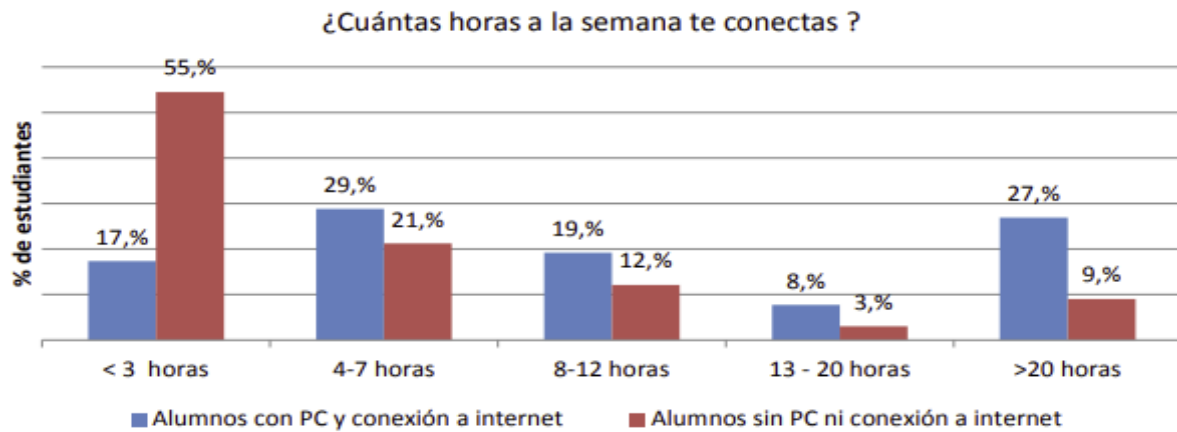
CHI-KWADRAATTEST			
	Waarde	df	Sig.
Pearson chi-kwadraat	88,937 <sup>a</sup>	1	,000
N geldige gevallen	3696		

(a) 0 cellen (0,0%) hebben een verwachte telling van minder dan 5.

## 6. DISCUSSIE

### 6.1 Best fit visualisatie

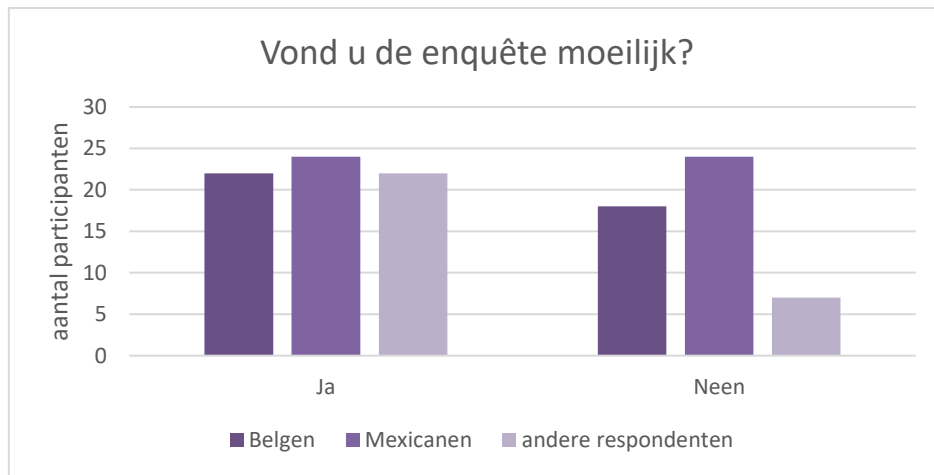
De hoofddoelstelling van dit onderzoek was een *best fit* visualisatiemethode te selecteren voor het onderwijs van België en/of Mexico. Er werd gericht op een visualisatie die het begrip van het ruimtelijke aspect ondersteunt en waar leerlingen/studenten eenvoudig mee aan de slag kunnen. Concluderend kan gesteld worden dat zowel de scholieren als de studenten van België significant minder fouten maakten met de *hillshade* visualisatie. Daar staat tegenover dat er bij de Mexicanen geen significante verschillen werden gevonden tussen de verschillende visualisaties. Een oorzaak voor deze resultaten kan het verschil in onderwijs zijn. Volgens de *International Geographical Union* (IGU) (2016) kan de status van onderwijs tussen landen verschillen. Sommige mensen hebben minder toegang tot hoogwaardig aardrijkskunde- of geografieonderwijs dan anderen (IGU UGI, 2016). In het onderzoek van Villagrán *et al.* (2016) wordt gesteld dat Mexico in het nadeel is van de producerende landen, daar de online beschikbare middelen en de nieuwste onderwijssoftware meestal van buitenlandse oorsprong is. De barrière van onder andere taal en hoge kosten zorgt ervoor dat de Mexicaanse student niet ten volle kan profiteren van deze middelen. In hun onderzoek evalueerden ze het ICT-gebruik van de studenten van het *Instituto Tecnológico Superior de Champotón* (ITECHAM) waarvan maar enkele resultaten werden ontvangen. Het doel was om aan de hand van de resultaten acties op te zetten voor het maximaal ontwikkelen van computervaardigheden. Uit deze studie blijkt dat alle ondervraagde studenten gebruik maakten van het internet, maar 54% gaf aan dat ze minder dan drie uur per week online gingen (figuur 24). Deze tijd wordt meestal ingezet als ondersteuning bij het uitvoeren van taken, in mindere mate maken zij gebruik van specifieke software, zoals geografische informatiesystemen (Villagrán *et al.*, 2016). Ondanks het feit dat dit onderzoek enigszins gedateerd is, kan met de huidige COVID-19 context ook gekeken worden naar de oplossing voor de onderwijscrisis indien lessen niet op school mogen doorgaan. Naar het artikel van Rivers *et al.* (2020) heeft de Mexicaanse regering besloten dat de beste manier om leerlingen onderwijs aan te bieden is door gebruik te maken van televisie, gezien de faciliteiten van het land. In Mexico is het namelijk niet zo eenvoudig om lessen online te volgen. Volgens de overheidsstatistieken heeft slechts 56% van de huishoudens toegang tot het internet, waartegenover 93% televisie heeft (Rivers *et al.*, 2020). België daarentegen heeft een boost gegeven aan het online-onderwijs (Sleiderink, 2020). De Belgische participanten hebben dusdanig een grotere kans om in contact te komen met een online technologie zoals een GIS, waardoor ze misschien meer 'gewoon' zijn om met ruimtelijke data te werken. In die zin kunnen ze vlugger bewust of onbewust in aanraking zijn gekomen met een *hillshade* visualisatie, wat voor hen tot *best fit* visualisatie uitkwam. Dit wordt afgeleid uit één van de gegeven opmerkingen door een Belgische student: "*Persoonlijk vond ik de hillshade weergaven het makkelijkste om te interpreteren, maar dit kan liggen aan het feit dat de weinige lidarbeelden die ik al gezien heb, meestal in hillshade waren*". Dit was misschien niet het geval bij de drie Mexicanen die aangaven reeds met lidardata gewerkt te hebben.



**Figuur 24: Vergelijking van de wekelijkse verbindingsuren tussen studenten met computer en internet (blauw) en zonder computer en internet (bordeaux). Bron: Villagrán *et al.*, 2016.**

## 6.2 Verscheidenheid aan resultaten

Het bekijken van de verscheidenheid tussen resultaten van verschillende doelgroepen gaf aan dat er enkel ten opzichte van het land waar de educatieve opleiding gevolgd wordt een significant verschil is tussen de antwoorden juist en fout. Dit kan eventueel verklaard worden door het 'te moeilijk' zijn van de enquête voor een bepaalde doelgroep. Hiernaar werd gepolst aan het einde van de enquête, waarvan de resultaten terug te vinden zijn in figuur 25. Opvallend is dat ongeveer de helft van de meegenomen participanten de enquête moeilijk vond (52%), de andere helft dan weer niet. Dit verschil is opvallend hoger bij de andere respondenten die omwille van verschillende redenen (paragraaf 4.5.1) uit de dataset werden verwijderd. Een totaal van 78% van deze groep die enkel bestond uit Mexicanen vond de enquête moeilijk. Dit hogere percentage kan gelinkt worden aan de misinterpretatie van de vragen. Daar uiteindelijk 60% van de Mexicanen aangaf dat deze enquête moeilijk was, wat 5% meer is dan de Belgen, kan een aanwijzing zijn voor de mindere prestaties en de verscheidenheid in de resultaten. Concluderend kan aldus gesteld worden dat voor de deelgenomen participanten de Belgen zich voornamelijk hebben onderschat, terwijl de Mexicanen zich meestal hebben overschat. Dit zou eventueel verklaard kunnen worden aan de hand van sociologische kenmerken, maar is niet de kern van deze scriptie. Globaal geeft het een overzicht van hoe de participanten de test ervaren hebben. Naast het 'te moeilijk' zijn, kan ook het verschil in onderwijs, reeds besproken in de voorgaande paragraaf, een rol spelen.



**Figuur 25: Resultaat Belgen, Mexicanen en weggelaten respondenten op de vraag: ‘Vond u de enquête moeilijk?’**

De resultaten opgedeeld volgens gender en educatieve instelling bleken daarentegen niet significant verschillend te zijn. Dit is enigszins opmerkelijk, daar een verscheidenheid aan resultaten zou kunnen verwacht worden. Het bestaan van sekseverschillen is bijvoorbeeld een terugkerend onderwerp van discussie. Verschillen zijn daarbij herhaaldelijk wetenschappelijk aangetoond waar het gaat om ruimtelijke vaardigheden (Lawton, 1994; Reilly, 2012). Desondanks blijkt dit geen invloed te hebben op de resultaten van deze test. Dit is evenzeer het geval bij de educatieve instelling. In eerste opzicht zou verwacht kunnen worden dat de Belgische studenten beter zouden scoren dan de scholieren, wat gemiddeld niet zo was (verschil van 3%). Een eerste verklaring zou kunnen gevonden worden in de omstandigheden waarin de test werd afgelegd. Bij de scholieren was dit tijdens een online lesuur, waarna werd doorgegeven of iedereen had ingediend. Daar staat tegenover dat de studenten dit na de lessen hebben ingevuld, wat eventueel resulteerde in minder motivatie en het minder aandachtig invullen van de test. Een tweede verklaring zou kunnen zijn dat de ruimtelijke vaardigheden bij deze doelgroep reeds goed ontwikkeld zijn. Volgens de klasleraar Christ Naert was dit een sterke klas wetenschappe-wiskunde (persoonlijke communicatie, 2021). Daarnaast werkten in de beide doelgroepen ongeveer 12% van de participanten reeds met lidardata. Al deze resultaten omtrent de verscheidenheid aan resultaten (chi-kwadraattest) werden eveneens bevestigd door de meervoudige lineaire regressieanalyse.

### 6.3 Voorkeuren van visualisaties

Ondanks het feit dat er voor de Mexicaanse studenten geen *best fit* visualisatiemethode naar voren komt, blijkt er wel een voorkeurstechniek te zijn, namelijk *hillshading*. Noemenswaardig is dat dit gelijklopend is met de voorkeur van de Belgen. De gebruikers geven dus gemeenschappelijk aan dat dit de methode is die ze verkiezen om lidardata mee te visualiseren. Dit ligt ook in de lijn van het onderzoek van Quentin Bourgeois waar de beginnende gebruikers voornamelijk kozen om grafheuvels aan te duiden op de *hillshade* visualisatie. Daarnaast geeft deze methode volgens Kokalj en Hesse (2017) de meest natuurlijke visuele indruk van alle technieken. Ten aanzien daarvan kon dit resultaat

verwacht worden bij gebruikers zonder enige echte voorkennis over lidarbeelden en de interpretatie ervan. Het is een visualisatiemethode die dicht aansluit bij de vertrouwde wereld door te werken met schaduwen.

#### **6.4 De verschillende studiegebieden**

Indien de beide studiegebieden ten opzichte van elkaar werden vergeleken, werd ten slotte ook daar een significant verschil gevonden tussen de gegeven antwoorden. Dit zou kunnen verklaard worden aan de hand van het onderzoek van Štular *et al.* (2012) dat stelt dat de gebruikte visualisatietechniek grotendeels slaagt of faalt als gevolg van de schaal en de vorm van de waargenomen archeologische kenmerken. Hierdoor is het ook niet waarschijnlijk dat één enkele techniek alle archeologische details in het landschap onthult (Štular *et al.*, 2012). Dit wordt eveneens bevestigd door Hanus en Havelková (2019b) die concluderen dat de keuze van de visualisatie in de eerste plaats afhangt van de kenmerken van het gezochte reliëf en de algemene landschapsvormen. Daar de visualisaties voor het Mexicaanse studiegebied beter scoorden dan de visualisaties van het Belgische domein, zou kunnen gesteld worden dat voor deze visualisatiemethoden het detecteren van *borrow pits*, *plazas* en *structures* beter gaat dan de herkenning van bomkraters. Dit andere verloop van het reliëf zou dusdanig de verscheidenheid in de resultaten kunnen verklaren.

#### **6.5 Opmerkingen bij het onderzoek**

Op het eind van de enquête was het mogelijk om opmerkingen te geven omtrent het onderzoek (tabel 21), wat enkele interessante zaken naar boven bracht. In eerste opzicht kan besloten worden dat het opzet van de test geslaagd is. Er werd niets over het reliëf van het studiegebied aangegeven door het gebruik van de omgekeerde doorsnede en de visualisatiemethoden werden niet uitgelegd. Dat resulteerde in geen al te eenvoudige test. Hierdoor was niet altijd geweten of het reliëf naar boven of naar beneden ging, waardoor effectief de efficiëntie van de visualisaties werd getest. Ten tweede was ook te merken aan opmerkingen dat de test goed was uitgewerkt. Het filmpje was duidelijk en de dynamiek van de vragen zat goed. Ten derde werd het ook als nuttig ervaren, er zit wel degelijk een meerwaarde in het gebruik van lidardata om onderzoek mee te doen en te implementeren in een educatieve context. Tot slot werd als vierde punt nog opgemerkt dat de Mexicanen veel positiever reageerden op hun deelname aan de test in vergelijking met de Belgische participanten. Uit hun opmerkingen valt af te leiden dat ze dit soort onderzoek wel degelijk interessant vinden en hier graag meer over zouden willen leren. Dit was voor hen een kans om deel te nemen aan buitenlands onderzoek, wat het enthousiasme zou kunnen verklaren. Een Belg daarentegen kan vrij regelmatig geconfronteerd worden met het invullen van een enquête of het deelnemen aan een onderzoek.

**Tabel 21: Oplijsting van enkele relevante opmerkingen (vertaling door Jonas Denys).**

OPMERKING	VERTALING
“Ik wist soms niet of het putten of bergen waren.” /	
“... slecht zag of het naar beneden ging of naar boven. / Voor de rest leuke enquête!”	
“Zonder bijkomende informatie is het niet altijd duidelijk vind ik.” /	
“La encuesta se me iso muy difícil de contestar”	<i>De enquête was erg moeilijk voor mij om te beantwoorden.</i>
“Además de Geografía, soy arqueólogo. Y la tecnología LIDAR, siempre me pareció sumamente útil y con enormes posibilidades de aplicación en estudios futuros ...”	<i>Naast aardrijkskundige, ben ik archeoloog. En de lidartechnologie leek mij altijd uiterst nuttig en met enorme toepassingsmogelijkheden voor toekomstige studies.</i>
“Estuvo bien el video ya que es la primera vez que escucho sobre la visualizaciones de LIDAR”	<i>De video was goed, want dit is de eerste keer dat ik over lidarvisualisaties hoor.</i>
“Pues que fue interesante la encuesta y que me gustaría aprender más sobre los satélites y sobre los mapas.”	<i>Dat de enquête interessant was en dat ik meer zou willen leren over satellieten en kaarten.</i>
“Es un trabajo muy interesante a que se lleva la elaboracion, es la primera vez que veo esto y me gusto la dinamica de las preguntas, muy buen trabajo!”	<i>Het is een zeer interessant werk dat goed uitgewerkt is, het is de eerste keer dat ik dit zie en ik hield van de dynamiek van de vragen, zeer goed werk!</i>
“Me gusta la investigación de zonas geográficas con este tipo de tecnologías, me parece una buena forma de hacer hallazgos arqueológicos, sin embargo, esto podría ser contraproducente para el pais en el que se realiza la investigación, ya que se ve involucrado el saqueo de estos lugares.”	<i>Ik vind het leuk om onderzoek te doen naar geografische zones met deze technologieën. Het lijkt mij een goede manier om archeologische vondsten te doen, maar voor het land waar het onderzoek wordt uitgevoerd, kan het contraproductief zijn, omdat het de plundering van deze plaatsen inhoudt.</i>

## 6.6 Beperkingen van het onderzoek

In deze studie werd de enquête ingevuld door vier nauw verbonden doelgroepen van jongeren: Belgische en Mexicaanse leerlingen en studenten. Ondanks de grote respons en het enthousiasme van de Mexicaanse universiteitsstudenten, werden te weinig resultaten verkregen van de scholieren. Dit kon worden voorkomen door effectief ter plaatse de test af te nemen in plaats van onderzoek op afstand. Door deze groep weg te laten bij de fase van de voorverwerking, werden eveneens bepaalde vergelijkingen onmogelijk. Zo konden de Belgische scholieren enkel en alleen nog maar vergeleken worden met de Belgische studenten. Dit kan geleid hebben tot het missen van enkele belangrijke relaties, inzichten en conclusies. Vervolgens was het niet beheersen van het Spaans, de officiële taal van Mexico, ook een minpunt in dit onderzoek. Tijdens de fase van de gegevensverzameling werd een gegevensverlies van 21% vastgesteld dat enkel voorkwam bij de Mexicaanse respondenten. Ondanks het feit dat de vertaling werd gecontroleerd, bleek de optie gender met onderverdeling man, vrouw en anders toch niet geheel duidelijk te zijn, wat dus beter kon worden geformuleerd. Ook kon

misinterpretatie vermeden worden indien de test zich afspeelde in een gecontroleerde omgeving en niet op afstand, omdat er dan een mogelijkheid was tot het stellen van vragen en het geven van extra sturing. Het vloeiend beheersen van de onderzoekstaal en het onderzoek ter plaatse kunnen begeleiden zijn daardoor zeker een meerwaarde voor dit onderzoek. Het zou al kunnen leiden tot een beperking van het eerder aangehaalde gegevensverlies. Tot slot is er nog de beperking om educatieve resultaten uit Mexico te interpreteren zonder er zelf ooit geweest te zijn. Zonder de COVID-19 context kon een beeld van de levensomstandigheden en onderwijssituatie ter plaatse gevormd worden, wat nu niet mogelijk was door de gesloten grenzen. Hierdoor kon enkel naar verklaringen gezocht worden in reeds bestaand wetenschappelijk onderzoek zonder eigen inbreng aan inzichten over de situatie ginder.

## 6.7 Toekomstig onderzoek

Dit innovatieve onderzoek richtte zich op het implementeren van lidarbeelden in een educatieve context door het bepalen van de *best fit* visualisatiemethode. Aangezien dit één van de eerste onderzoeken is omtrent dit thema, kan toekomstig onderzoek nog vele richtingen uitgaan. Een eerste mogelijkheid is het uitbreiden van dit onderzoek naar het bredere publiek. Onderwijs kan bekeken worden in andere landen dan België en Mexico, maar er kan evengoed onderzoek worden gedaan in de bedrijfswereid (ref. onderzoek Quentin Bourgeois). Ten tweede kan het onderzoek ook open worden getrokken omtrent de verschillende visualisaties en studiegebieden. Naast *hillshading*, *slope gradient* en *sky view factor* zijn er nog tal van andere visualisatiemethoden die zouden kunnen getest worden in dezelfde of andere soorten landschappen. Verder zou het concept van kaarten en hoe gebruikers deze zien (ref. onderzoek Kristien Ooms) in toekomstige werken kunnen worden uitgebreid naar hoe lidarbeelden worden bekeken. Cognitieve processen van de kaartgebruikers werden daar onderzocht met behulp van *eye tracking* in een gecontroleerde omgeving. Als vierde mogelijkheid zou een gelijkaardig onderzoek kunnen worden gedaan met eigen gegenereerde data, in te winnen met behulp van de door de vakgroep nieuw aangekochte drone en laserscanner. Op die manier kunnen de eigen middelen worden ingezet en worden data verkregen met dezelfde technische eigenschappen. Vervolgens kan ook verder onderzoek uitgevoerd worden naar de leerlijn (paragraaf 7) en specifiek naar hoe lidardata het best kunnen worden geïmplementeerd in de klas volgens die leerlijn. Welke werkvormen, softwareplaatvormen, middelen, etc. kunnen hiervoor dienst doen? Aanvullend kunnen kant-en-klare lessen worden uitgewerkt die aansluiten bij de leerplannen. Zo zou dit voor leerkrachten de drempel kunnen verkleinen om lidardata effectief in de lessen te integreren. Tot slot is een laatste mogelijkheid om onderzoek uit te voeren op langere termijn met een vaste groep participanten. Volgens Kokalj en Hesse (2017) kan voorkeur in visualisatiemethode van een bepaalde gebruiker veranderen aan de hand van opleiding en ervaring. Daar zo'n onderzoek enkele jaren vereist, was het niet mogelijk dit te bestuderen in deze masterscriptie.



## 7. AANBEVELINGEN TOT COMPETENTIES

Om lidar te gebruiken in het onderwijs voor het ontwikkelen van georuimtelijk denken is het als laatste element van dit onderzoek belangrijk om precies vast te stellen wat er moet bereikt worden en hoe dit kan worden bereikt. Hiervoor zijn er in totaal vier lidarcompetenties opgesteld (tabel 22), gelijklopend aan deze uit het onderzoek van Zwartjes *et al.* (2017) over curriculumopportunities voor het ruimtelijk denken. In de tabel wordt er voor elke uitkomst een niveau van complexiteit beschreven, aangevuld met een bijkomend voorbeeld voor implementatie. Op die manier wordt aangespoord het potentieel van deze toonaangevende laserscantechnologie te benutten en kan het aangewend worden voor innovatief onderwijs. Dit sluit aan bij het doel van het JRC-onderzoek (Redecker, 2017): het aanmoedigen van het leren en het ontwikkelen van competenties die aansluiten bij het digitale tijdperk. De nieuwe vaardigheden en competenties van deze leerlijnen kunnen op die manier bijbrengen tot de persoonlijke ontwikkeling van de leerlingen en nuttig zijn voor het leven en werken in een digitale samenleving. Kaartvaardigheden, het gerelateerd ruimtelijk denken en het gebruik van een GIS zijn namelijk zoals reeds eerder aangehaald belangrijk in het werkveld van bijvoorbeeld een toekomstig geograaf (Hanus & Havelková, 2019a). Ten slotte kan het gebruik van lidar interessant zijn om projecten mee op te zetten over verschillende vakken heen. Kennis uit aardrijkskunde, biologie, geschiedenis, etc. kan worden gebundeld om een onderzoeksprobleem mee op te lossen. Zo kunnen ook de doelen in curricula inzake onderzoekscompetenties worden behaald.

Tabel 22: Lidarcompetenties. Bron: Zwartjes *et al.*, 2017 (Eigen verwerking).

<b>1</b>	<b>Kritisch lezen en interpreteren van lidarbeelden.</b>	<b>Interpretatie van</b>
	A: In staat zijn lidarbeelden te lezen	Voorbeeld: gebruik van de legende
	B: In staat zijn lidarbeelden te interpreteren	Voorbeeld: schaal en oriëntatie gebruiken, betekenis, ruimtelijk patroon en context van het lidarbeeld begrijpen
	C: Zich kritisch bewust zijn van informatiebronnen en hun betrouwbaarheid	Voorbeeld: beelden kritisch evalueren door de technische kenmerken en metagegevens van de beelden te bekijken
<b>2</b>	<b>Beschrijf en gebruik voorbeelden van lidartoepassingen in het dagelijks leven en de samenleving</b>	<b>Toepassingen van</b>
	A: Wees je bewust van lidar(data)	Voorbeeld: op de hoogte zijn van lidargerelateerde toepassingen waaronder het DHMV, iPhone 12 Pro, etc.
	B: Gebruik enkele voorbeelden van lidar (uit het dagelijkse leven)	Voorbeeld: gebruik van of onderzoek over het DHMV; landmeetkundige en medische toepassingen; autonome voertuigen; kustlijnbeheer; etc.
	C: Evalueren hoe en waarom lidartoepassingen nuttig zijn voor de samenleving	Voorbeeld: de functionaliteit en het gebruik van lidar voor de samenleving beoordelen (archeologie, onderzoek, hoogtemodellen, etc.) en de resultaten presenteren
<b>3</b>	<b>Analyseren welke visualisatiemethode goed uitkomt om lidardata mee te visualiseren</b>	<b>Visualiseren van</b>
	A: Aantonen dat lidardata met verschillende visualisaties kunnen worden weergegeven	Voorbeeld: inzicht hebben in de verschillende visualisatiemethoden en de voor- en nadelen ten opzichte van elkaar kunnen benoemen
	B: In staat zijn een geschikte visualisatiemethode te selecteren uit een reeks beelden	Voorbeeld: een aantal verschillende voorstellingen ( <i>hillshading, slope gradiënt, sky view factor, etc.</i> ) kunnen evalueren en gebruiken
	C: In staat zijn zelf een geschikte visualisatie aan te maken	Voorbeeld: het maken van een visualisatie met behulp van de <i>Relief Visualization Toolbox</i> en openen in een GIS
<b>4</b>	<b>Reflecteren en handelen met behulp van lidar</b>	<b>Besluiten maken</b>
	A: Oriënteren op een onderzoeksprobleem waarbij beslissingen worden genomen	Voorbeeld: gebruik lidardata om te beoordelen waar de lokale overheid de Maya-trein moet bouwen
	B: Beoordeel implicaties voor individu en samenleving	Voorbeeld: concluderen dat er winnaars en verliezers zullen zijn voor ieder voorstel
	C: Onderzoeksresultaten en conclusies rapporteren	Voorbeeld: ontwikkel een campagne/artikel/filmpje om beleidmakers te overtuigen over de mogelijke situering van het tracé van de Mayatrein

## 8. BESLUIT

Deze masterproef richtte zich op het concept van visualisaties voor lidardata in een educatieve setting en het gebruik ervan in onderzoek om bruikbare informatie in te winnen omtrent de efficiëntie van het lezen van deze beelden. Door middel van een enquête werd een verscheidenheid aan data verzameld in het onderwijs van België en Mexico en dit voor de drie verschillende visualisaties: *hillshading*, *slope gradient* en *sky view factor*. Omwille van de voortdurende vooruitgang van lidartechnologie en het stijgende belang van het ruimtelijk bewustzijn, wordt middels deze studie het stimuleren van het georuimtelijk denken aan de hand van lidargegevens aangemoedigd met als doelstelling implementatie in onderwijsinstellingen.

Gebruikmakend van de data verkregen uit de enquête zoals de persoonlijke kenmerken, de voorkennis van de participant en de verschillende antwoorden, werd bij de gegevensanalyse op zoek gegaan naar de vraag of er een *best fit* visualisatie te vinden is, of er een verscheidenheid aan resultaten zichtbaar is, of voorkeur verschilt van prestatie en of er persoonlijke kenmerken zijn die een invloed hadden op de behaalde resultaten. Wat de *best fit* visualisatie betreft was *hillshading* voor de Belgische scholieren en studenten significant beter dan de andere methoden. Voor de studenten uit Mexico werd er daarentegen geen visualisatiemethode naar voren geschoven, wat veroorzaakt kan zijn door het verschil in onderwijs tussen de beide landen. Verdere analyse toonde echter wel aan dat de participanten van de drie doelgroepen *hillshade* telkens het meest aanduiden als voorkeursvisualisatie en logischerwijs als het minst complex beschouwden. Toch was er geen significant verschil tussen de geobserveerde proporties bij de drie visualisatiemethoden, waarbij de verhouding van voorkeur in combinatie met beste prestatie werd geplaatst ten opzichte van het totaal aantal keer dat de betreffende methode tot voorkeur werd aangeduid. Dit houdt in dat de gebruikers zich over het algemeen wel goed konden inschatten. Verder was er een verscheidenheid aan resultaten zichtbaar tussen de verschillende landen. De Belgen deden het significant beter dan de Mexicanen met een voorspelde toename van ongeveer 12,79% in het behaalde percentage. Daar staat tegenover dat factoren zoals educatieve instelling, gender en als hobby bezig zijn met geocaching, kaartlezen, drones, etc. geen significant verschil vertonen. Dit zijn enigszins verrassende resultaten, daar deze niet overeenkwamen met de vooropgestelde verwachtingen. Als laatste element werd nog een significant verschil gevonden tussen de antwoorden gegeven op het studiegebied van Bellewaerde Heuvelrug en Yucatan South GLAS s399. Een visualisatietechniek slaagt of faalt dan ook grotendeels als gevolg van de schaal en de vorm van de waargenomen archeologische kenmerken, die in dit geval totaal verschillend waren.

Daar deze scriptie educatief gericht is, werden als laatste stap in dit onderzoek nog aanbevelingen gedaan omtrent het gebruik van lidar in een onderwijscontext. Bij het opstellen van de vier lidarcompetenties werd rekening gehouden met het feit dat het belangrijk is om precies vast te stellen wat er moet worden bereikt en hoe dit kan bereikt worden. Zo bevatten de competenties het kritisch lezen en interpreteren van lidarbeelden, het beschrijven en gebruiken van lidartoepassingen in het dagelijkse leven en de samenleving, het analyseren van verschillende visualisatiemethoden en het

reflecteren en handelen met behulp van lidar. Voor elke competentie werden vervolgens ook drie niveaus aan complexiteit beschreven om in de klas stapsgewijs te werk te kunnen gaan.

Hoewel dit onderzoek uiteindelijk enkele beperkingen kende, zijn toch heel wat interessante resultaten naar boven gekomen. Lidardata kunnen ingezet worden in het onderwijs voor het ontwikkelen van het georuimtelijk denken, wat noodzakelijk wordt geacht voor het leven en werken in de hedendaagse maatschappij. Deze verkennende studie biedt verder ook een eerste benadering voor het gebruik van lidarbeelden in een educatieve setting en de resultaten kunnen gebruikt worden voor verder onderzoek gaande over de effectieve implementatie. Andere mogelijke toekomstige studies kunnen ten slotte nog veel verschillende richtingen uitgaan. Het onderzoek kan uitgebreid worden naar het bredere publiek, er kunnen ook andere visualisatiemethoden getest worden of er kan gekeken worden naar hoe de gebruikers deze beelden zien. Verder is het ook mogelijk dit onderzoek te herhalen met eigen gegenereerde data of kan het onderzoek worden uitgevoerd op langere termijn om te kijken of resultaten veranderen naargelang opleiding en ervaring.

## 9. REFERENTIELIJST

### 9.1 Artikels

Balenović, I., Alberti, G., & Marjanović, H. (2013). Airborne Laser Scanning - the Status and Perspectives for the Application in the South-East European Forestry. *South-East European Forestry*, 4(2), 59–79.

Brady, C., Davis, S., Megarry, W., & Barton, K. (2013). Lidar survey in the Brú na Bóinne world heritage site.

Bundzel, M., Jaščur, M., Kováč, M., Lieskovský, T., Sinčák, P., & Tkáčik, T. (2020). Semantic segmentation of airborne lidar data in maya archaeology. *Remote Sensing*, 12(22), 3685.

Challis, K., Forlin, P., & Kincey, M. (2011). A generic toolkit for the visualization of archaeological features on airborne LiDAR elevation data. *Archaeological Prospection*, 18(4), 279-289.

Cheung, Y., Pang, M., Lin, H., & Lee, C. K. J. (2011). Enable spatial thinking using GIS and satellite remote sensing—A teacher-friendly approach. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 130-138.

Cook, B. D., Nelson, R. F., Middleton, E. M., Morton, D. C., McCorkel, J. T., Masek, J. G., ... & Montesano, P. M. (2013). NASA Goddard's LiDAR, hyperspectral and thermal (G-LiHT) airborne imager. *Remote Sensing*, 5(8), 4045-4066.

Dewilde, M., Stichelbaut, B., Van Hollebeeke, Y., Verboven, H., & Wyffels, F. (2014). Bellewaarde en zijn turbulent oorlogsverleden. *M&L : MONUMENTEN, LANDSCHAPPEN*, 33(3), 30–47.

Drosos, V. & Farmakis, D. (2006). Airborne Laser Scanning and DTM Generation. In: Manolas, E. (Eds.), *Naxos International Conference on Sustainable Management and Development of Mountainous and Island Areas* (pp. 206–218). Greece.

Evans, B. J. (1997). Dynamic display of spatial data-reliability: Does it benefit the map user?. *Computers & Geosciences*, 23(4), 409-422.

Golden, C., Murtha, T., Cook, B., Shaffer, D. S., Schroder, W., Hermitt, E. J., ... & Scherer, A. K. (2016). Reanalyzing environmental lidar data for archaeology: Mesoamerican applications and implications. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 293-308.

Hanus, M., & Havelková, L. (2019a). Teachers' Concepts of Map-Skill Development. *Journal of Geography*, 118(3), 101-116.

Hanus, M., & Havelková, L. (2019b). Map skills in education: A systematic review of terminology, methodology and influencing factors. *Review of International Geographical Education Online (RIGEO)*, 9(2), 361.

Inomata, T., Pinzón, F., Ranchos, J. L., Haraguchi, T., Nasu, H., Fernandez-Diaz, J. C., ... & Yonenobu, H. (2017). Archaeological application of airborne LiDAR with object-based vegetation classification and visualization techniques at the lowland Maya site of Ceibal, Guatemala. *Remote sensing*, 9(6), 563.

Jo, I., & Bednarz, S. W. (2009). Evaluating geography textbook questions from a spatial perspective: Using concepts of space, tools of representation, and cognitive processes to evaluate spatiality. *Journal of Geography*, 108(1), 4-13.

Johansson, T. (2003). GIS in Teacher Education-Facilitating GIS Applications in Secondary School Geography. In *ScanGIS* (pp. 285-293).

Kennelly, P. J. (2009). Hill-shading techniques to enhance terrain maps. *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile*.

Kerle, N., Janssen, L. L., & Huurneman, G. C. (2004). Principles of remote sensing. *ITC, Educational textbook series*, 2, 250.

Kholoshyn, I., Varfolomyeyeva, I., Hanchuk, O., Bondarenko, O., & Pikilnyak, A. (2019). Pedagogical techniques of Earth remote sensing data application into modern school practice. *arXiv preprint arXiv:1909.04381*.

Khosravipour, A., Skidmore, A. K., Wang, T., Isenburg, M., & Khoshelham, K. (2015). Effect of slope on treetop detection using a LiDAR Canopy Height Model. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 104, 44-52.

Kokalj. (2011). Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. *Remote Sensing* 3(2): 398-415.

Kokalj, Ž., & Hesse, R. (2017). Airborne laser scanning raster data visualization. *A guide to good practice*.

Kokalj, Ž., & Somrak, M. (2019). Why not a single image? Combining visualizations to facilitate fieldwork and on-screen mapping. *Remote Sensing*, 11(7), 747.

- Koua, E. L., MacEachren, A., & Kraak, M. J. (2006). Evaluating the usability of visualization methods in an exploratory geovisualization environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(4), 425-448.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into practice*, 41(4), 212-218.
- Laidlaw, D. H., Kirby, R. M., Jackson, C. D., Davidson, J. S., Miller, T. S., Da Silva, M., ... & Tarr, M. J. (2005). Comparing 2D vector field visualization methods: A user study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(1), 59-70.
- Lambers, K., Verschoof-van der Vaart, W. B., & Bourgeois, Q. P. (2019). Integrating remote sensing, machine learning, and citizen science in Dutch archaeological prospection. *Remote Sensing*, 11(7), 794.
- Lapon, L. (2020). *Unraveling the global-scale cognitive map: a worldwilde study* (Doctoral dissertation, Ghent University).
- Lawton, C. A. (1994). Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex roles*, 30(11), 765-779.
- Meylemans, E., & Petermans, T. (2017). Het gebruik van laseraltimetrische gegevens en het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen in het kader van archeologisch en landschappelijk onderzoek. Agentschap Onroerend Erfgoed.
- Mongus, D., Pečnik, S., & Žalik, B. (2009). Efficient visualization of LIDAR datasets. In *2009 International Conference on Optical Instruments and Technology: Optoelectronic Imaging and Process Technology* (Vol. 7513, p. 75130M). International Society for Optics and Photonics.
- Naumann, S., Siegmund, A., Ditter, R., Haspel, M., Jahn, M., & Siegmund, A. (2009). Remote sensing in school—Theoretical concept and practical implementation. *E-Learning Tools, Techniques and Applications*, edited by G König & H Lehmann (ISPRS, Potsdam).
- Patra, P. (2010). Remote Sensing and Geographical Information System (GIS). *The Association for Geographical Studies*, 1977, 1–28.
- Pečnik, S., Mongus, D., & Žalik, B. (2013). Evaluation of Optimized Visualisation of LiDAR Point Clouds, Based on Visual Perception. In A. Holzinger & G. Pasi (Eds.) *HumanComputer Interaction and Knowledge Discovery in Complex, Unstructured, Big Data* (pp. 366-385). Maribor, Slovenia: Springer.

Perdue, N., & Lobben, A. (2013). The Challenges of Testing Spatial Thinking Skills with Participants who are Blind or Partial-ly Sighted. *Sharing knowledge*, 107.

Pfeifer, N., & Briese, C. (2007). Laser scanning—principles and applications. In *GeoSiberia 2007-International Exhibition and Scientific Congress* (pp. cp-59). European Association of Geoscientists & Engineers.

Phillips, R. J. (1982). An experimental investigation of layer tints for relief maps in school atlases. *Ergonomics*, 25(12), 1143-1154.

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu (No. JRC107466). *Joint Research Centre* (Seville site).

Reilly, D. (2012). Gender, culture, and sex-typed cognitive abilities. *PLoS ONE*, 7(7): e39904. doi:101371/journal.pone.0039904.

Schroder, W., Murtha, T., Golden, C., Hernández, A. A., Scherer, A., Morell-Hart, S., ... & Brown, M. (2020). The lowland Maya settlement landscape: Environmental LiDAR and ecology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33, 102543.

Senaratne, H., Gerharz, L., Pebesma, E., & Schwering, A. (2012). Usability of spatio-temporal uncertainty visualisation methods. In *Bridging the geographic information sciences* (pp. 3-23). Springer, Berlin, Heidelberg.

Štular, B., Kokalj, Ž., Oštir, K., & Nuninger, L. (2012). Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of archaeological science*, 39(11), 3354-3360.

Villagrán, A. C., Barrera, B. R. C., & Rosado, M. D. (2016). El uso de las tecnologías de información y comunicación como herramienta de aprendizaje en alumnos de educación superior. *Revista Varela*, 16(45), 221-233.

Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54(2-3), 68-82.

Werbrouck, I., Antrop, M., Van Eetvelde, V., Stal, C., De Maeyer, P., Bats, M., ... & De Smedt, P. (2011). Digital Elevation Model generation for historical landscape analysis based on LiDAR data, a case study in Flanders (Belgium). *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8178-8185.

Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote sensing*, 3(2), 398-415.



Zwartjes, L., de Lázaro, M. L., Donert, K., Sánchez, I. B., González, R. D. M., & Wołoszyńska-Wiśniewska, E. (2016). Literature review on spatial thinking. *GI Learner*.

Zwartjes, L., de Lazaro y Torres, M. L., Lindner-Fally, M., Parkinson, A., & Prodan, D. (2017). Curriculum opportunities for spatial thinking.

## 9.2 (Hoofdstukken uit) boeken

Aggarwal, S. (2004). Principles of Remote sensing. In M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen & S.K. Saha (Eds.) *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology* (pp. 23-38). World Meteorological Organization.

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.

Carver, S., Cornelius, S., Heywood, I. (2011). *An introduction to geographical information systems* (4<sup>e</sup> ed.). Engeland, Harlow: Pearson Education Limited.

Daels, L., & De Breuck, W. (1973). *Afstandswaarneming met luchtfoto's*. Antwerpen: De Sikkel.

De Maeyer, P., Ooms, K., & Bogaert, P. (2019). *Cartografie [Cursus]*. Gent: Universiteit Gent – Vakgroep Geografie.

Deanekint, D., De Maeyer, P., Goethals, D., Van Broeck, C., Van Cleemput, A., Zwartjes, L. (2016). *De boeck atlas handleiding*. Antwerpen: De Boeck nv.

Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (Eds.). (2006). *The new taxonomy of educational objectives*. Corwin Press.

Stichelbaut, B. (2018). *Sporen van oorlog: archeologie van de Eerste Wereldoorlog*. Hannibal.

Tomlinson, R. F. (2007). *Thinking about GIS: geographic information system planning for managers* (Vol. 1). ESRI, Inc.

## 9.3 Internetbronnen

ArcGIS Pro. (2021a). How HillShade works. Geraadpleegd op 8 januari, 2021, op <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-hillshade-works.htm>

ArcGIS Pro. (2021b). How Slope works. Geraadpleegd op 9 januari, 2021, op <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>

ASPRS. (2013). LAS specification version 1.4 – R13 15 July 2013. Geraadpleegd op 7 januari, 2021, op [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf)

CIGA UNAM. (2021). Programa y Calendario Curso Propedéutico de ingreso al Posgrado en Geografía orientación en Manejo Integrado del Paisaje 2021. Geraadpleegd op 12 april, 2021, op <https://www.ciga.unam.mx/images/posgrado/convocatoria/2021/PROGRAMA-DEL-CURSO-PROPEDEUTICO-2021.pdf>

Dempsey, C. (2019). What is a GeoTIFF? Geraadpleegd op 22 januari, 2021, op <https://www.gislounge.com/what-is-a-geotiff/>

Esri. (2021). ArcGIS Pro overview. Geraadpleegd op 7 januari, 2020, op <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Europese Commissie. (2021). Gegevensbescherming in de EU. Geraadpleegd op 4 maart, 2021, op [https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu\\_nl](https://ec.europa.eu/info/law/law-topic/data-protection/data-protection-eu_nl)

FileTypes. (2017). GZ bestandsextensie. Geraadpleegd op 21 januari, 2021, op <https://www.filetypes.nl/extension/gz>

IGU UGI. (2016). Internationaal Charter voor Aardrijkskundeonderwijs. Geraadpleegd op 24 april, 2021, op [http://www.igu-cge.org/wp-content/uploads/2019/08/Charter-IGU\\_2016\\_def\\_NL-2019.pdf](http://www.igu-cge.org/wp-content/uploads/2019/08/Charter-IGU_2016_def_NL-2019.pdf)

Informatie Vlaanderen. (2020). Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen (DHMV): ondersteuning. Geraadpleegd op 30 november, 2020, op <https://overheid.vlaanderen.be/DHM-Ondersteuning>

Informatie Vlaanderen. (2021a). Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II. Geraadpleegd op 1 januari, 2021, op <https://overheid.vlaanderen.be/dhm-digitaal-hoogtemodel-vlaanderen-ii>

Informatie Vlaanderen. (2021b). LIDAR Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II – ruwe remote sensing data. Geraadpleegd op 1 januari, 2021, op <https://overheid.vlaanderen.be/DHM-DHMV-II-brondata>

Janssen, L. (2017). Infosessie: Brondata DHMV. Geraadpleegd op 30 november, 2020, op <https://docplayer.nl/51052796-Infosessie-brondata-dhmv.html>

Karimova S., & Veselov, M. (2008). Primenenie danniyh distantsionnogo zondirovaniya v obrazovatelnyih tselyahika prepodavaniya geografii (Application of remote sensing data for educational purposes). Geraadpleegd op 29 november, 2020, op [http://d33.infospace.ru/d33\\_conf/2008\\_conf\\_pdf/SMY/Veselov.pdf](http://d33.infospace.ru/d33_conf/2008_conf_pdf/SMY/Veselov.pdf)

Leonardo da Vinci. (2008). Theorie en praktijk bij Terrestriële Laser Scanning. Training gebaseerd op praktische toepassingen. Geraadpleegd op 23 april, 2021, op [http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo\\_Tutorial\\_Final\\_vers5\\_DUTCH.pdf](http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_DUTCH.pdf)

LimeSurvey. (2021). LimeSurvey Handleiding. Geraadpleegd op 11 februari, 2021, op [https://manual.limesurvey.org/LimeSurvey\\_Manual/nl](https://manual.limesurvey.org/LimeSurvey_Manual/nl)

Lund Research Ltd. (2018). Multiple Regression Analysis using SPSS Statistics. Geraadpleegd op 15 april, 2021, op <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/multiple-regression-using-spss-statistics.php>

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. (2000). Decreet houdende het Geografisch Informatie Systeem Vlaanderen (1). Geraadpleegd op 19 maart, 2021, op [https://www.etaamb.be/nl/decreet-van-17-juli-2000\\_n2000035847.html](https://www.etaamb.be/nl/decreet-van-17-juli-2000_n2000035847.html)

Pavlov, I. (2021). 7-Zip. Geraadpleegd op 3 maart, 2021, op <https://www.7-zip.org/>

QGIS. (2021). QGIS- Het leidende open bron desktop GIS. Geraadpleegd op 24 januari, 2021, op <https://www.qgis.org/nl/site/about/index.html>

Rapidlasso. (2020). LAStools: award-winning software for rapid LiDAR processing. Geraadpleegd op 7 januari, 2021, op <http://lastools.org/>

ReviverSoft. (2021). TAR Bestandsextensie. Geraadpleegd op 21 januari, 2021, op <https://www.reviversoft.com/nl/file-extensions/tar>

Rivers, M., Suarez, K., Gallón, N. (2020). Mexico's solution to the Covid-19 educational crisis: Put school on television. Geraadpleegd op 28 april, 2021, op <https://edition.cnn.com/2020/08/22/americas/mexico-covid-19-classes-on-tv-intl/index.html>

Schmidt, M. (2014). The association: Definitions. Geraadpleegd op 30 november, 2020, op <https://icaci.org/mission/#:~:text=Plan%202003%E2%80%93932011%3A-Map,relationships%20are%20of%20primary%20relevance.>

Sleiderink, N. (2020). Corona boost voor online leerplatformen. Geraadpleegd op 28 april, 2021, op <https://www.tijd.be/politiek-economie/belgie/vlaanderen/corona-boost-voor-online-leerplatformen/10246813.html>

Statistics How To. (2021a). Durbin Watson Test & Test Statistic. Geraadpleegd op 16 april, 2021, op <https://www.statisticshowto.com/durbin-watson-test-coefficient/>

Statistics How To. (2021b). Variance Inflation Factor. Geraadpleegd op 16 april, 2021, op <https://www.statisticshowto.com/variance-inflation-factor/>

UGent. (2020). Studiefiche geografische informatiesystemen (GIS) (C003531). Geraadpleegd op 26 februari, 2021, op <https://studiekiezer.ugent.be/studiefiche/nl/121478807/2021>

Van den Berg, R.G. (2021a). Binomial Test – Simple Tutorial. Geraadpleegd op 7 april, 2021, op <https://www.spss-tutorials.com/binomial-test/>

Van den Berg, R.G. (2021b). SPSS Chi-Square Independence Test Tutorial. Geraadpleegd op 7 april, 2021, op <https://www.spss-tutorials.com/spss-chi-square-independence-test/>

Van den Berg, R.G. (2021c). Z-Test for 2 Independent Proportions – Quick Tutorial. Geraadpleegd op 14 april, 2021, op <https://www.spss-tutorials.com/z-test-2-independent-proportions/>

ZRC SAZU. (2019). Manual: Relief Visualization Toolbox, ver. 2.2.1. Geraadpleegd op 8 januari, 2021, op [https://www.zrc-sazu.si/sites/default/files/rvt\\_2.2.1\\_0.pdf](https://www.zrc-sazu.si/sites/default/files/rvt_2.2.1_0.pdf)

## **9.4 Andere**

GO!. (2017). Leerplan secundair onderwijs A.V. Aardrijkskunde. Brussel: Huis van het GO!.

G-LiHT. (2013). Metadata for NASA Goddard's lidar, hyperspectra land thermal (G-LiHT) airborne imager [word-document]. (Geraadpleegd op: 26 februari 2021).

Hernandez, M. (2020). GIS as a mean to empower the Maya indigenous communities [word-document]. (Geraadpleegd op: 16 maart 2021).

Katholiek Onderwijs Vlaanderen. (2012). Leerplan aardrijkskunde derde graad ASO, studierichtingen met component wetenschappen. Brussel: LICAP.

Van Acker, V. (2019a). Ruimtelijke analyse 2: les 2: Enkele praktische oplossingen [PowerPointpresentatie]. (Geraadpleegd op: 15 april 2021).

Van Acker, V. (2019b). Ruimtelijke analyse 2: les 1: Inleiding + herhaling regressie [PowerPointpresentatie]. (Geraadpleegd op: 15 april 2021).

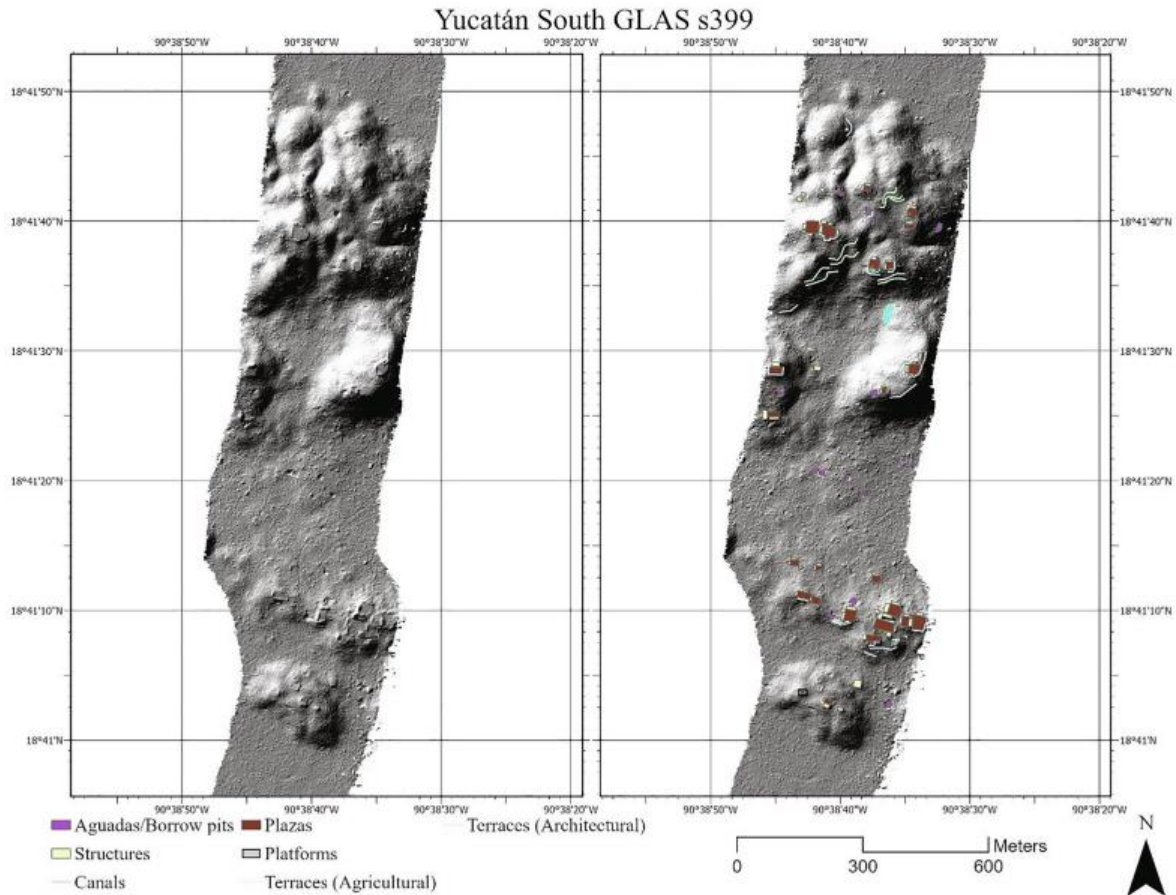
Zwartjes, L. (2020). GIS leerlijn onderwijs [PowerPointpresentatie]. (Geraadpleegd op: 22 februari 2021).

## 10. BIJLAGEN

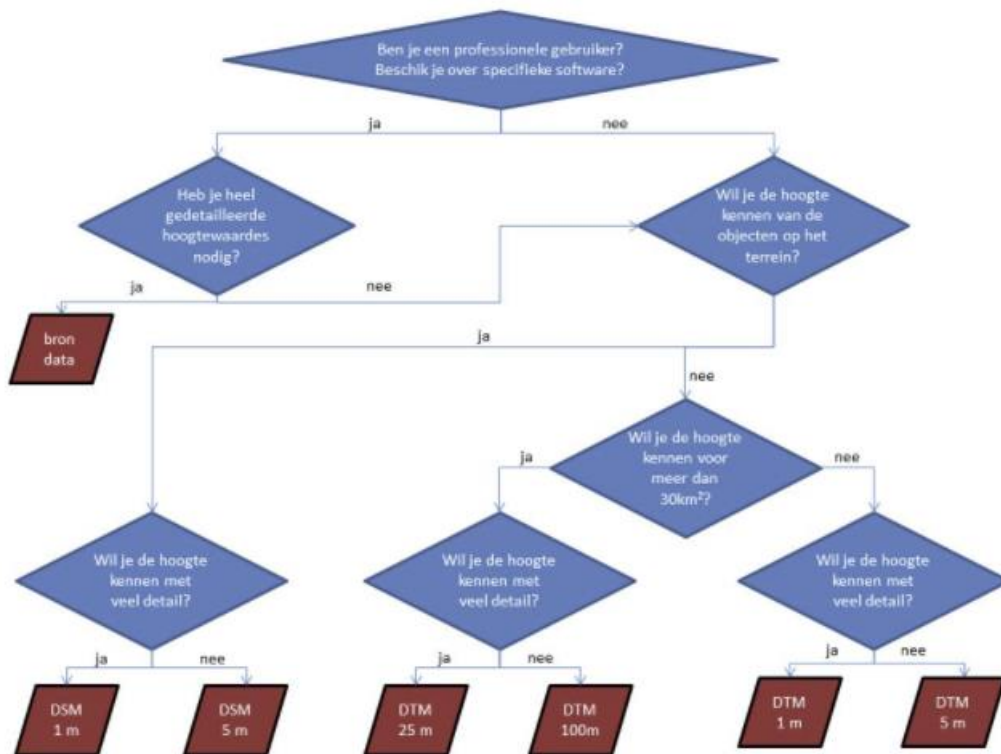
Bijlage 1: Overzicht en datering van de kraters bij Bellewaerde en Railway Wood.  
Bron: Dewilde *et al.*, 2014.



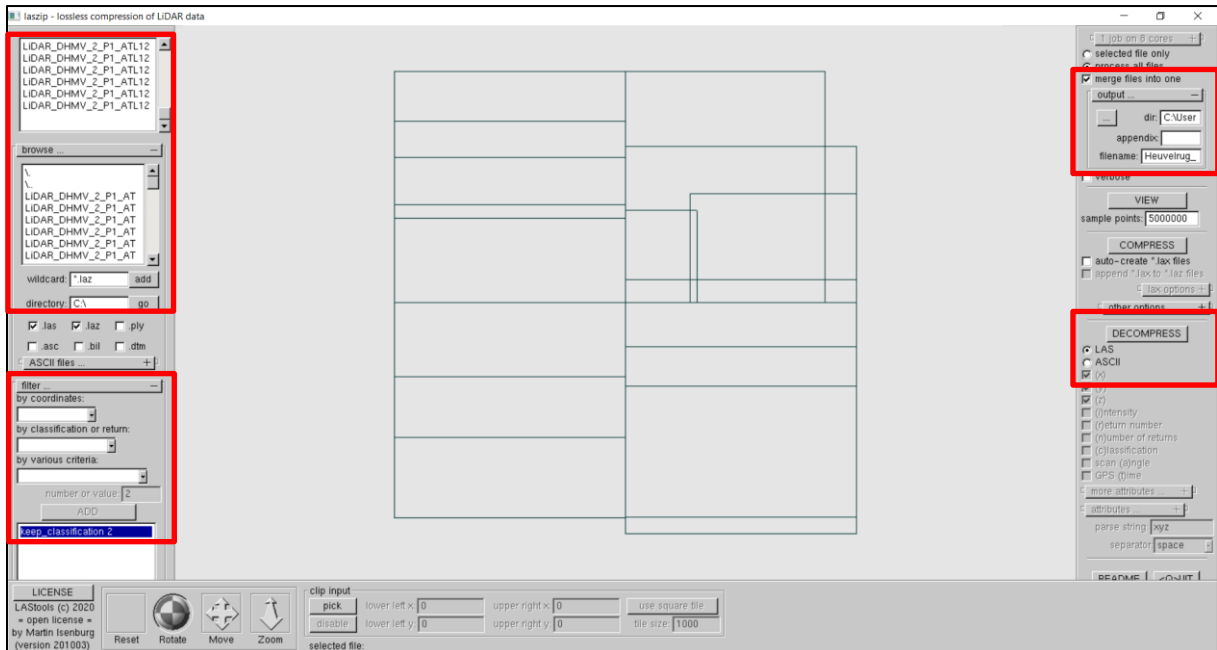
**Bijlage 2: Hillshade van Yucatan South GLAS s399 met aangeduide terrassen.**  
 Bron: Schroder *et al.*, 2020.



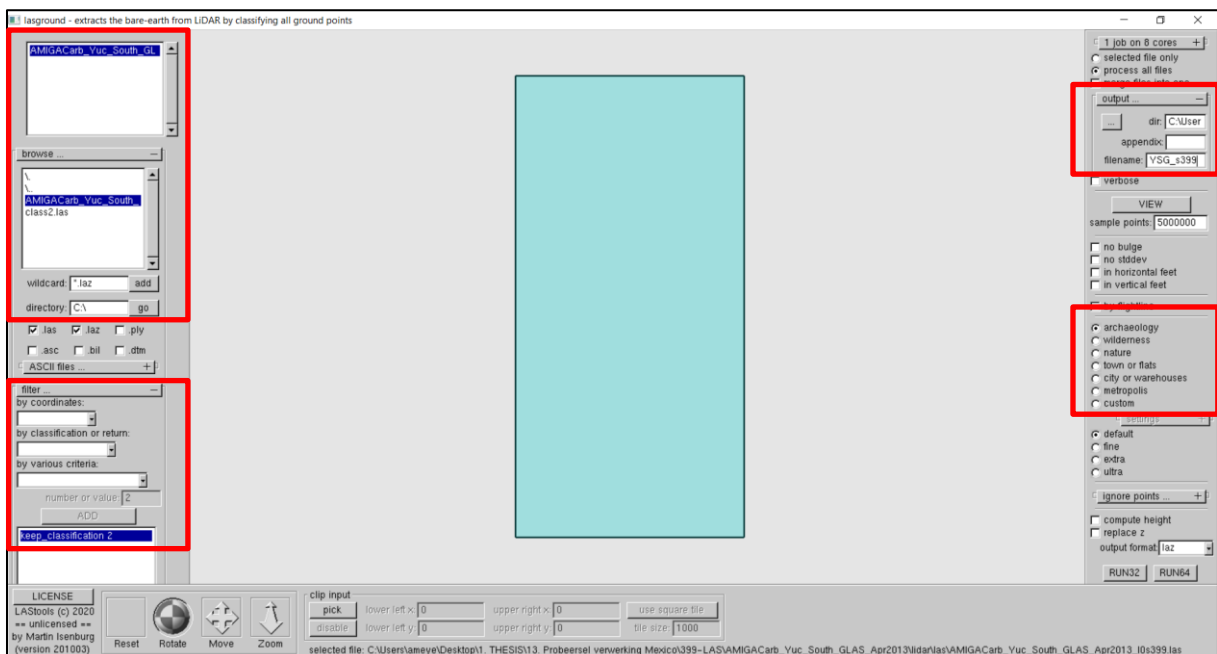
**Bijlage 3: Beslissingsboom DHMV productenaanbod.** Bron: Informatie Vlaanderen, 2020.



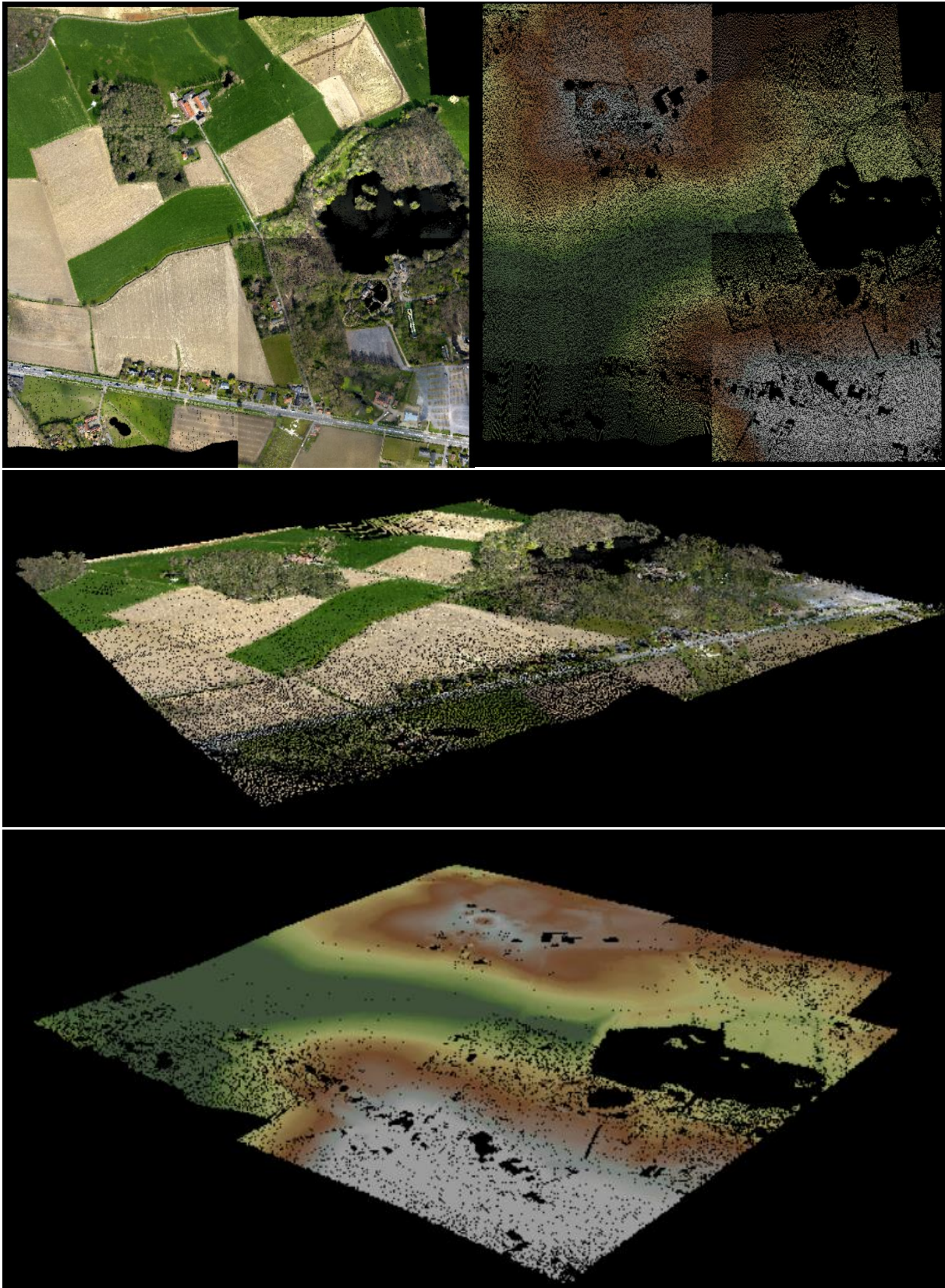
**Bijlage 4: Verwerking in de LASzip.exe interface met bijhorende parameters.  
Bron: LASzip, 2020.**



**Bijlage 5: Verwerking in de LASground.exe interface met bijhorende parameters.  
Bron: LASzip, 2020.**

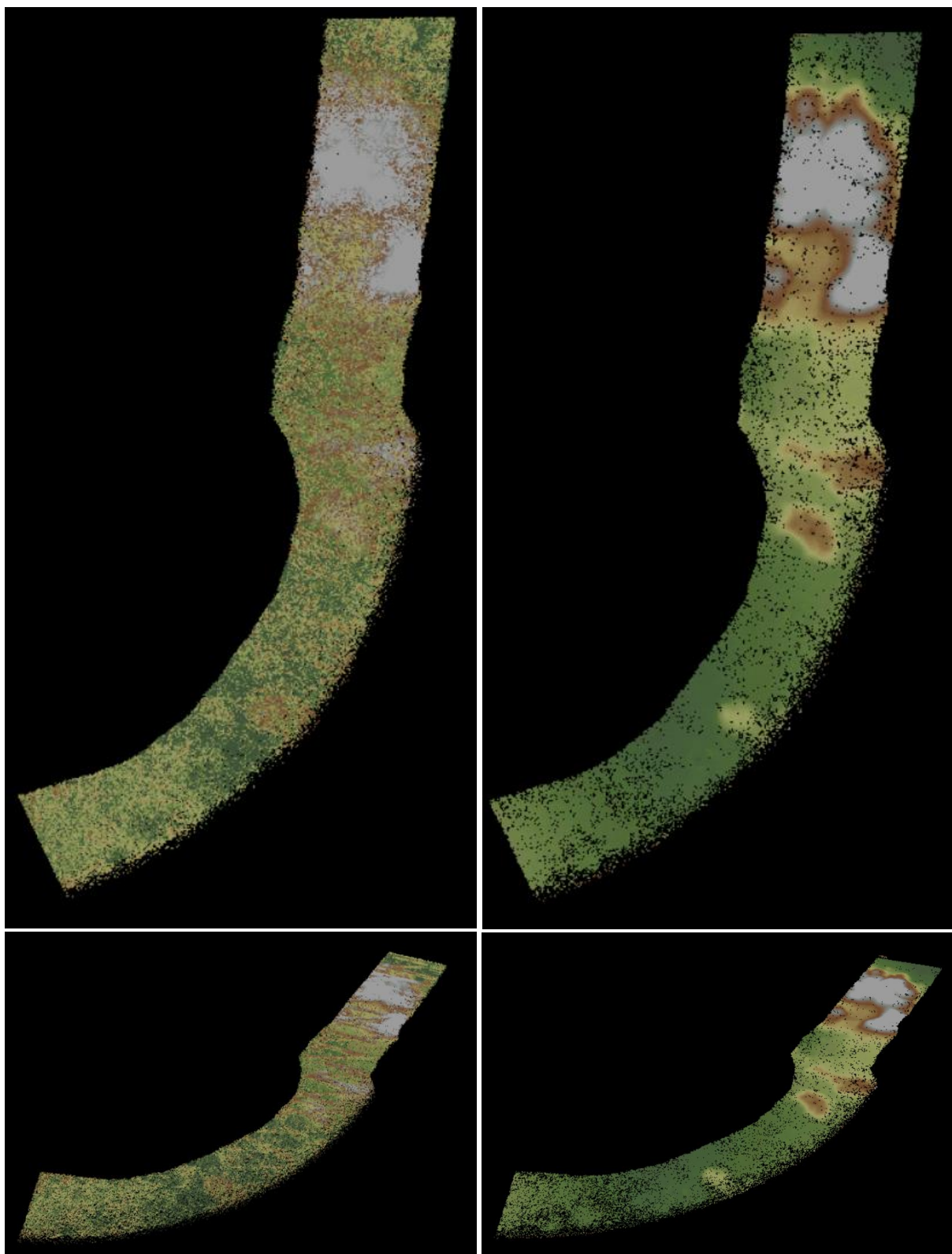


Bijlage 6: Visualisatie FugroViewer Bellewaerde Heuvelrug volledige puntenwolk (RGB *image values*) versus maaiveldpunten (*color points by elevation*). Bron: FugroViewer, 2021.

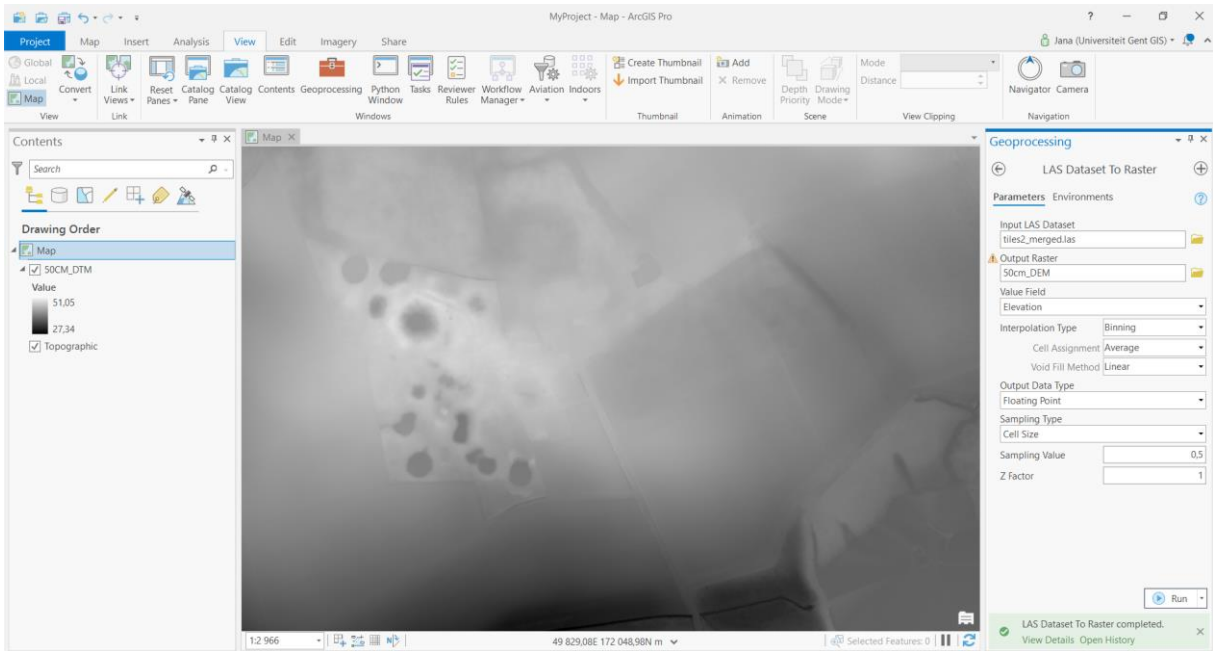




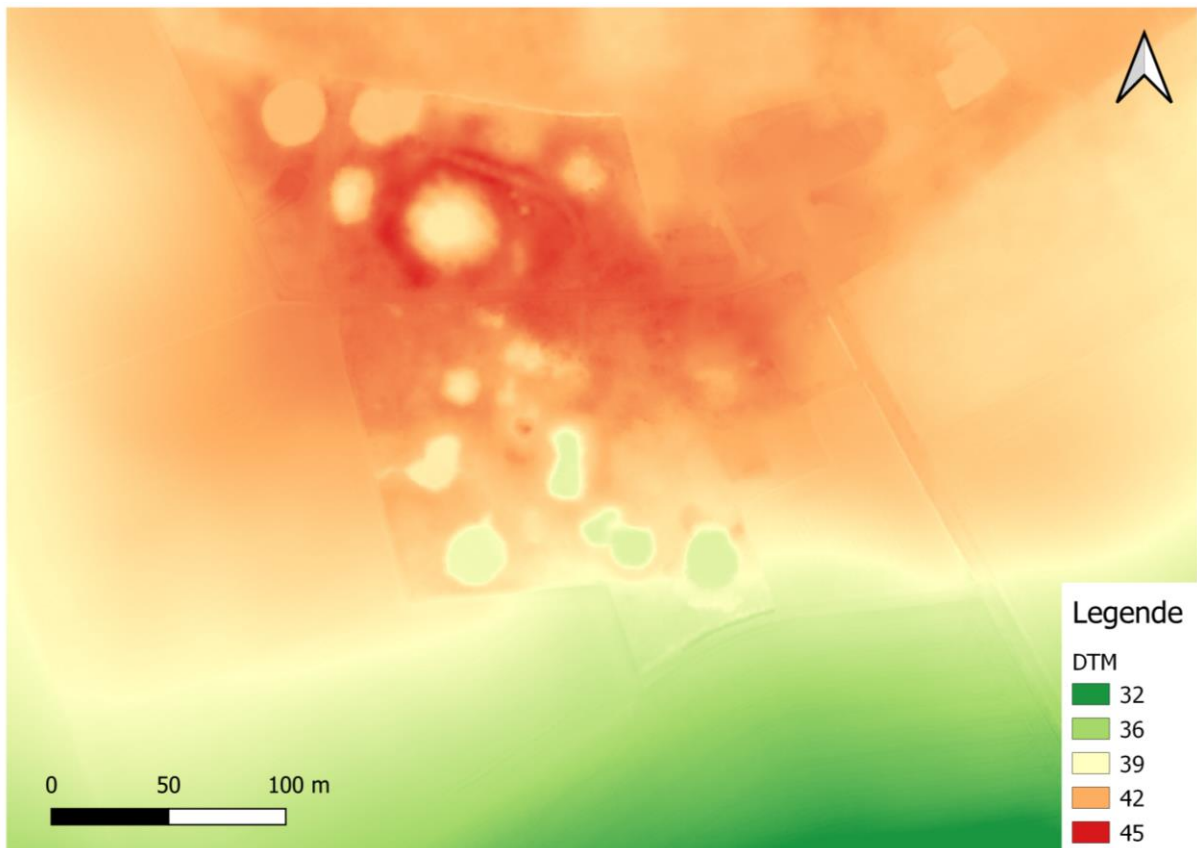
**Bijlage 7: Visualisatie FugroViewer Yucatan South GLAS s399 volledige puntenwolk versus maaiveldpunten (*color points by elevation*). Bron: FugroViewer, 2021.**



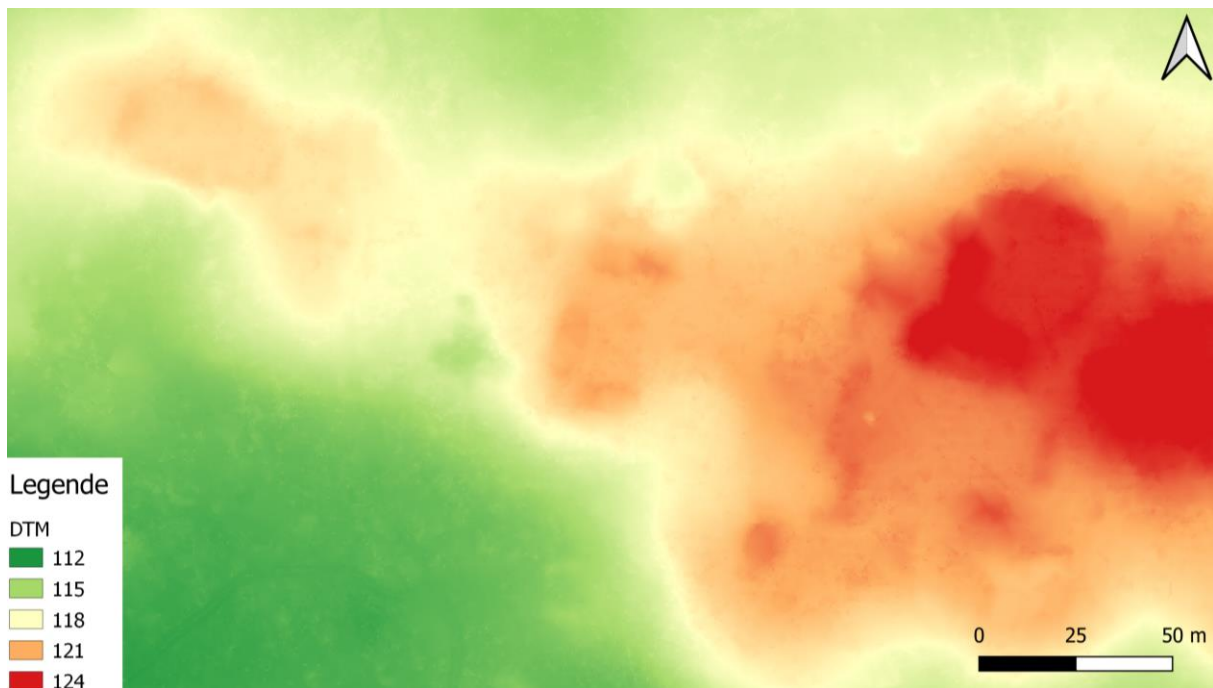
**Bijlage 8: Verwerking in ArcGIS Pro interface. Bron ArcGIS Pro, 2021.**



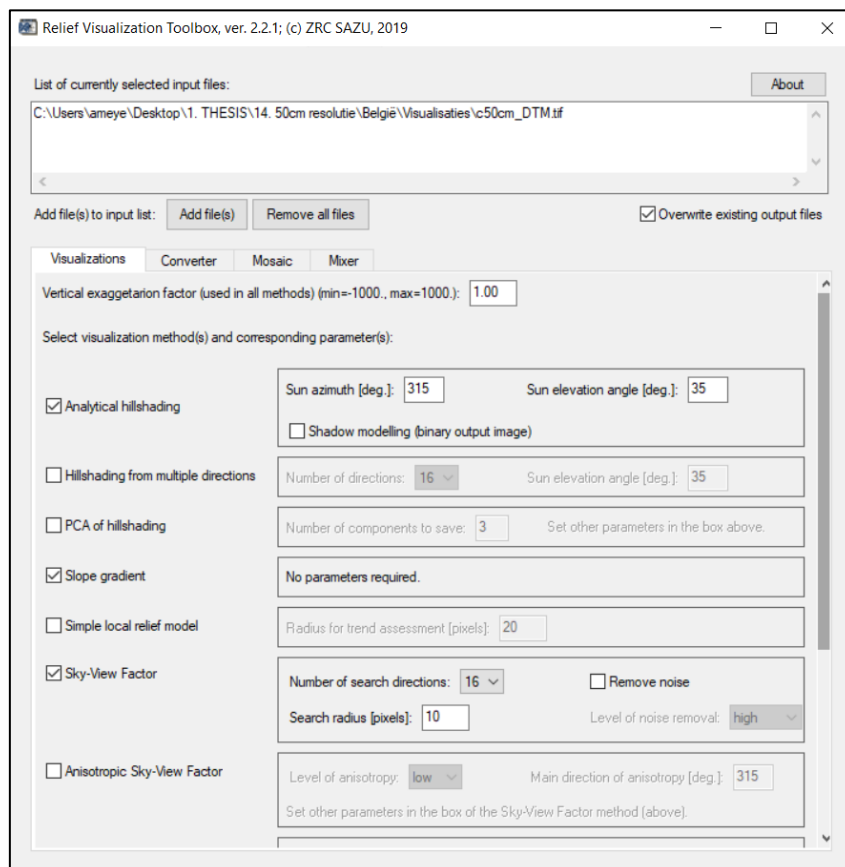
**Bijlage 9: Visualisatie DTM (0,50 m) Heuvelrug Bellewaerde in QGIS.**



## Bijlage 10: Visualisatie DTM (0,50 m) Yucatan South GLAS s399 in QGIS.



## Bijlage 11: RVT gebruikersinterface. Bron: RVT, 2021.



**Bijlage 12: Processing LOG file: Bellewaerde Heuvelrug. Bron: ZRC SAZU, 2019.**

=====  
Relief Visualization Toolbox (version 2.2.1); (c) ZRC SAZU, 2019  
=====

Processing info about visualizations

=====

# Metadata of the input file

Input filename: C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM.tif  
Number of columns: 2000  
Number of rows: 2000  
Number of bands: 1  
Resolution (x, y): 0.5, 0.5

# Warnings

! Files with the same name as RVT outputs WILL BE overwritten if they already exist!

# Selected visualization parameter

Vertical exaggeration factor: 1.00000

# The following visualizations have been performed:

Analytical hillshading -----

Sun azimuth [deg.]: 315.000  
Sun elevation angle [deg.]: 35.0000  
>> Output file 1 (without results manipulation):  
C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_HS\_A315\_H35.tif  
>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0 and 1 for 8-bit output):  
C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_HS\_A315\_H35\_8bit.tif

Slope gradient -----

Note: No parameters required.  
>> Output file 1 (without results manipulation):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_SLOPE.tif

>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0 and 51° for 8-bit output):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_SLOPE\_8bit.tif

Sky-View Factor -----

Number of search directions: 16

Search radius [pixels]: 10.0000

Level of noise removal: no removal

>> Output file 1 (without results manipulation):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_SVF\_R10\_D16.tif

>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0.64 and 1.00 for 8-bit output):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\België\Visualisaties\c50cm\_DTM\_SVF\_R10\_D16\_8bit.tif

# Computation time 00:00:5.0

### **Bijlage 13: Processing LOG file: Yucatan South GLAS s399. Bron: ZRC SAZU, 2019.**

=====  
Relief Visualization Toolbox (version 2.2.1); (c) ZRC SAZU, 2019  
=====

Processing info about visualizations  
=====

# Metadata of the input file

Input filename: C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm.tif

Number of columns: 5620

Number of rows: 6926

Number of bands: 1

Resolution (x, y): 0.5, 0.5

# Warnings

! Files with the same name as RVT outputs WILL BE overwritten if they already exist!

# Selected visualization parameter

Vertical exaggeration factor: 1.00000

# The following visualizations have been performed:

Analytical hillshading -----

Sun azimuth [deg.]: 315.000

Sun elevation angle [deg.]: 35.0000

>> Output file 1 (without results manipulation):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_HS\_A315\_H35.tif

>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0 and 1 for 8-bit output):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_HS\_A315\_H35\_8bit.tif

Slope gradient -----

Note: No parameters required.

>> Output file 1 (without results manipulation):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_SLOPE.tif

>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0 and 51° for 8-bit output):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_SLOPE\_8bit.tif

Sky-View Factor -----

Number of search directions: 16

Search radius [pixels]: 10.0000

Level of noise removal: no removal

>> Output file 1 (without results manipulation):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_SVF\_R10\_D16.tif

>> Output file 2 (linear histogram stretch between 0.64 and 1.00 for 8-bit output):

C:\Users\ameye\Desktop\1. THESIS\14. 50cm  
resolutie\Mexico\visualisaties\c50cm\_dtm\_SVF\_R10\_D16\_8bit.tif

# Computation time 00:01:20.4

## Bijlage 14: PowerPoint presentatie introductiefilmpje – Nederlandse versie.

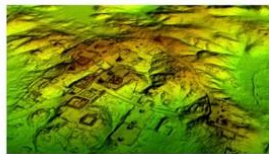
# VISUALISATIES VAN MET LASER GEMAAKTE BEELDEN VOOR EDUCATIEVE DOELEINDEN

Presentatie door Jana Ameye



### Exclusive: Laser Scans Reveal Maya "Megalopolis" Below Guatemalan Jungle

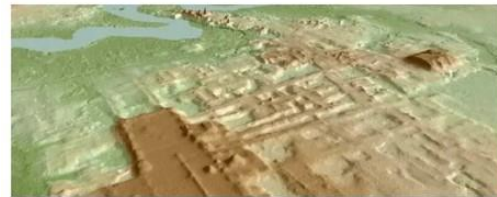
A vast, interconnected network of ancient cities was home to millions more people than previously thought.



[1]

Archaeologists from the University of Arizona have made the monumental discovery of a giant Maya plateau, possibly the largest and oldest Mayan monument discovery to date using LiDar.

[2]



### Hidden Roman ruins discovered by archaeologists using lidar in lockdown

By Jack Loughran

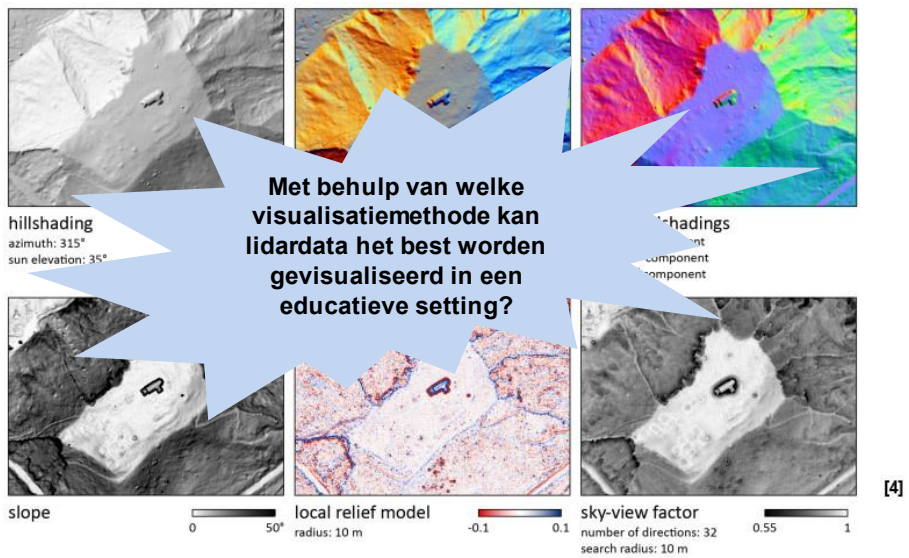
Published Wednesday, May 13, 2020

Archaeologists have discovered new medieval and Roman sites while working from home by analysing data from lidar scans.

# LIDARGEGEVENS



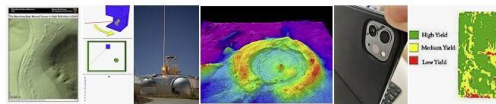
## VERSCHILLENDE VISUALISATIEMETHODEN





## LIDAR

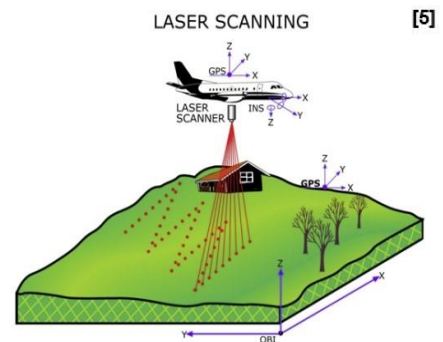
- **Light Detection And Ranging**
- Afstanden meten door middel van laserpulsen
- Verzamelen ruimtelijke informatie
- Breed scala aan toepassingen



light detection and ranging

The term **lidar** was originally a portmanteau of light and radar. It is now also used as an acronym of "light detection and ranging" and "laser imaging, detection, and ranging". **Lidar** sometimes is called 3-D laser scanning, a special combination of a 3-D scanning and laser scanning.

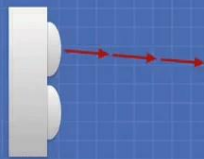
[6]



[5]

## LIDAR

LIDAR



Object

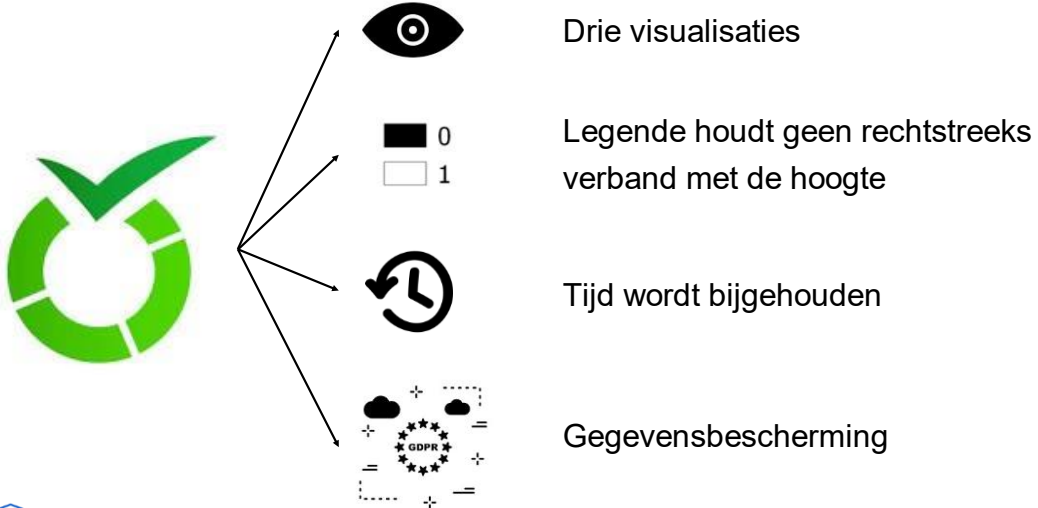
[7]

## HET GROTE VOORDEEL

- Opname van maaiveldpunten



## DE TEST



## STUDIEGEBIEDEN EN DOELGROEPEN

- Een gekend gebied (in België) en minder gekend gebied (in Mexico)

	Belgisch studiegebied	Mexicaans studiegebied
Belgische studenten	Min of meer gekend	Minder gekend
Mexicaanse studenten	Minder gekend	Min of meer gekend

# DE TEST

## SPAANS



0%

Esta encuesta no está activa. Usted no podrá guardar sus respuestas.

### Visualizaciones LiDAR

Descripción de la investigación: ¿Qué método(s) de visualización puede(n) utilizarse mejor para visualizar datos de captor- imágenes LASER, también llamados LiDAR, en un entorno educativo?

**Bienvenido**

Como estudiante de máster en geomatica y topografía, en mi tesis estoy investigando qué método de visualización de datos laser, conocidos como LiDAR es el más adecuado para aplicar en la educación. Por lo tanto, en esta prueba se diseñaron preguntas para evaluar la eficacia de las visualizaciones, que en un entorno educativo están relacionadas con el rendimiento de la lectura de mapas. El tratamiento posterior, que tendrá en cuenta las normas para el tratamiento de datos personales (GDPR), revelará qué visualización se adapta mejor de forma intuitiva para incorporarla posteriormente a las clases de sistemas de información geográfica (SIG software).

Antes de iniciar la prueba, me gustaría reiterar que la leyenda no está directamente relacionada con la altura. Además, también se registra el tiempo necesario para resolver cada grupo de preguntas. Esto se toma en cuenta en el procesamiento posterior y no permite el volver al grupo de preguntas anterior.

Por último, le deseo buena suerte.  
Le agradezco mucho su aportación.  
Jana Ameye

Per favor, si desea continuar tiene que aceptar nuestra política de encuesta.   
Mostrar política

Siguiente



## NEDERLANDS



0%

Deze enquête is nu niet actief. Uw antwoorden kunnen niet worden opgeslagen.

### LiDAR-visualisaties

Onderzoeksbeschrijving: Met welke visualisatiemethode(n) kan LiDAR data het best gevisualiseerd worden in een educatieve setting.

**Welkom**

Als masterstudent in de geomatica en landmeetkunde doe ik in mijn scriptie onderzoek naar welke visualisatiemethode van LiDAR data het best gebruikt wordt om te implementeren in het onderwijs. Daarom werden in deze test vragen opgesteld om de effectiviteit van de visualisaties te evalueren, die in een educatieve setting verband houden met de prestaties van het kaartlezen. De latere processing, die rekening zal houden met de regels voor de verwerking van persoonsgegevens (GDPR), zal uitwijzen welke visualisatie het best intuïtief wordt aangenomen om later te kunnen verspreken in een les met geografische informatiesystemen (GIS software).

Alvorens de test te beginnen wil ik vervolgens nog eens aankaan dat de legenda niet rechtstreeks verband houdt met de hoogte. Daarnaast wordt ook de tijd per vraaggroep bijgehouden om mee te kunnen nemen in de verdere verwerking en is het niet mogelijk om terug te gaan naar de vorige vraaggroep.

Dan wens ik u ten slotte nog veel succes.  
Ik stel altijd uw inbreng zeer op prijs.  
Jana Ameye

Accepteer eerst onze gegevensbescherming.   
Toon verklaring gegevensbescherming

Volgende

11



**Jana Ameye**  
Student master of Science in geomatics and surveying

VAKGROEP GEOGRAFIE

E Jana.Ameye@ugent.be

www.ugent.be

Universiteit Gent  
 @ugent  
 @ugent  
 Ghent University



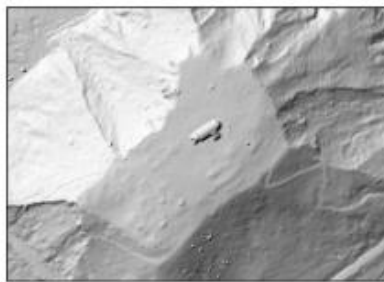




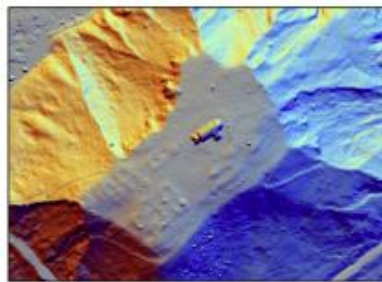
UNIVERSITEIT  
GENT

In functie tot het behalen van de graad master in de richting  
geomatica en landmeetkunde.

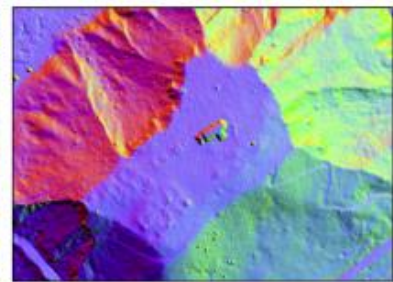
# LIDAR VISUALISATIE- METHODEN



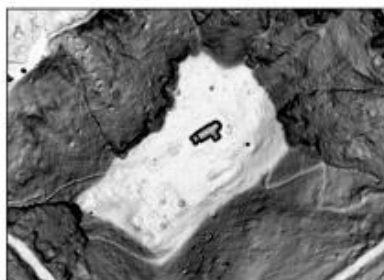
hillshading  
azimuth: 315°  
sun elevation: 35°



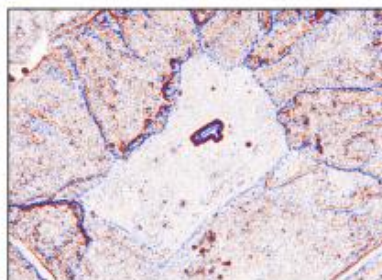
hillshadings in 3 directions  
R: 315°  
G: 15°  
B: 75°



PCA of hillshadings  
R: 1<sup>st</sup> component  
G: 2<sup>nd</sup> component  
B: 3<sup>rd</sup> component



slope  
0 50°



local relief model  
radius: 10 m  
-0.1 0.1



sky-view factor  
number of directions: 32  
search radius: 10 m  
0.55 1

*Een uitleg over de gebruikte visualisatiemethoden van lidar met bijhorende oplossingen uit de afgelegde test.*

Jana Ameye  
master in de geomatica en landmeetkunde  
2020-2021

## INHOUDSTAFEL

INHOUDSTAFEL.....	103
DANKWOORD.....	103
1. INLEIDING.....	104
2. HILLSHADING [4,5].....	104
3. SLOPE GRADIENT [4,6].....	105
4. SKY VIEW FACTOR [4,7].....	106
5. OPLOSSING TEST.....	107
5.1. BELLEWAERDE HEUVELRUG – STUDIEGEBIED BELGIË.....	108
5.2. YUCATAN SOUTH GLAS S399 – STUDIEGEBIED MEXICO.....	108
5.3. OPLOSSING STUDIEGEBIED BELGIË.....	109
5.4. OPLOSSING STUDIEGEBIED MEXICO.....	111
6. BRONNENLIJST.....	113

## DANKWOORD

Beste leerling/student

Eerst en vooral wil ik toch even tijd maken om jou te bedanken. Bedankt voor jouw inzet, jouw enthousiasme en voor het invullen van de test. Zonder deze resultaten zou het voor mij niet mogelijk zijn om onderzoek te doen naar welke visualisatiemethode van lidardata het best intuïtief wordt aangenomen om later te kunnen verwerken in een les met geografische informatiesystemen (GIS-software). In tijden van een pandemie, van onzekerheid, van isolatie en frustratie wordt dit meer dan ooit geapprecieerd. Daarom nogmaals een warme dankuwel voor de medewerking aan deze enquête.

Things will get better!

Jana Ameye



[1]

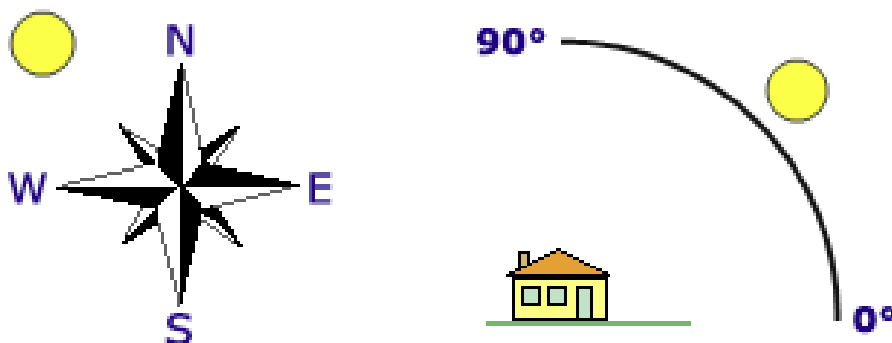
## INLEIDING

Zoals reeds werd uitgelegd in de presentatie voorafgaand aan de af te leggen test, is het doel van dit onderzoek om te komen tot een visualisatie van lidardata die eenvoudig te begrijpen is door leerlingen/studenten. Voor de verwerking van de evaluatie van de efficiëntie van de visualisatiemethoden wordt gericht op de prestaties van het kaartlezen [2]. De reden hiervoor is dat het in een onderwijscontext bedoeld is als ondersteuning van de kennisconstructie. Het kan daarbij enerzijds helpen bij het beantwoorden van vragen over geografische fenomenen en processen, maar anderzijds ook om kracht te geven aan de gemaakte argumenten bij het nemen van beslissingen [3].

Als tegenprestatie voor het invullen van de test, wil ik met behulp van dit document een achtergrond aanbieden aan de door jullie gebruikte visualisatiemethoden. De naam van de drie aangewende methoden doet tevens al heel wat uit de doeken, namelijk "*hillshading*", "*slope gradient*" en "*sky view factor*". In de volgende paragrafen worden ze één voor één in eenvoudige taal uitgelegd, aangevuld met de oplossingen uit de test.

## HILLSHADING – HS [4,5]

*Hillshading* of **reliëfschaduw** is de meest gebruikte techniek om reliëf weer te geven. Het heeft de meest natuurlijke, visuele indruk van alle technieken. De weergegeven grijs tinten verbeteren de perceptie van de morfologie. Typisch aan deze methode is dat het oppervlak wordt verlicht door een direct licht en dit is constant voor de gehele dataset. De reliëfschaduw hangen dus af van de positie van de lichtbron, die bepaald wordt door de azimuth en de hoogte (figuur 1). De term **azimut** staat voor de hoekrichting van de verlichtingsbron die gemeten wordt vanuit het noorden en met de klok mee. In de figuur is te zien hoe deze staat op  $315^\circ$ . De **hoogte** daarentegen komt overeen met de hoek van de verlichtingsbron boven de horizon. In de figuur is dit  $45^\circ$  ten opzichte van het gebouw dat zich bevindt op de begane grond.





Figuur 1: Standaardinstellingen: azimuth op  $315^\circ$  en hoogte op  $45^\circ$  [5].



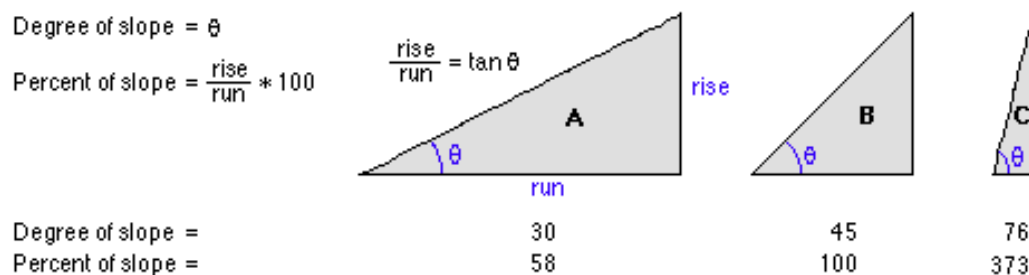
Door de azimut en de hoogte van de lichtbron te variëren, kunnen verschillende verlichtingseffecten worden bereikt. Gebieden die loodrecht op de lichtbundel staan zijn daarbij het meest verlicht, terwijl gebieden die niet rechtstreeks het licht kunnen zien in de schaduw liggen. Hierdoor is deze visualisatie voornamelijk bruikbaar in bergachtige gebieden.

**De voor- en nadelen:**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Eenvoudig te interpreteren</i></li> <li>- <i>Opgenomen in standaard GIS-software</i></li> <li>- <i>Onthult kenmerken met een lage lichtbron op vlakke gebieden</i></li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Donkere tinten en fel verlichte gebieden</i></li> <li>- <i>Lineaire structuren parallel aan de lichtbron</i></li> </ul>

**SLOPE GRADIENT – SG [4,6]**



*Slope gradient* is een visualisatiemethode die de **steilheid** van elke cel van het rasteroppervlak berekent en deze gaat visualiseren. Dit wordt voor iedere individuele rastercel gedaan in graden of percentage (figuur 2). In graden stelt dit telkens de hoek  $\theta$  voor op de onderstaande figuur. Het stijgingspercentage kan worden begrepen als de verhouding van de hoogte (*rise*) en de afstand (*run*) vermenigvuldigd met honderd. Beschouw een driehoek *B* met als hoek  $45^\circ$ , dan is het stijgingspercentage gelijk aan 100%, daar een gelijkbenige driehoek resulteert in een verhouding van één.



**Figuur 2: Interpretatie helling in graden versus helling in procent [6].**

Dit geeft een beeld over hoe de pixelwaarden kunnen worden geïnterpreteerd. Hoe lager de hellingswaarde, hoe vlakker het terrein. Omgekeerd heeft een steiler terrein een hogere hellingswaarde. In deze test werd het beeld gerepresenteerd met een omgekeerde grijschaal, dat wil zeggen dat donkerder cellen een reliëfweergave waren voor de steilere hellingen. Dit komt ten goede aan de weergave van de morfologie, waarbij het zeer geschikt is om lokale niveauverschillen op te sporen. De visualisatie is hierdoor ook vrij eenvoudig te interpreteren.

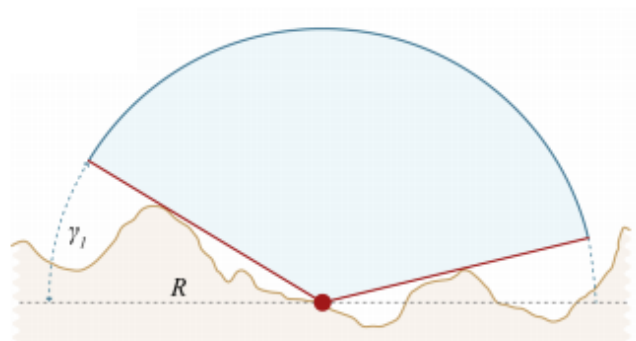
## De voor- en nadelen:

	<ul style="list-style-type: none"><li>- Gemakkelijk te interpreteren</li><li>- Opgenomen in standaard GIS-software</li><li>- Werkt goed op de meeste soorten terreinen</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Aanvullende informatie is nodig voor interpretatie</li><li>- Hellingswaarden in dezelfde kleur ongeacht ze omhoog of omlaag gaan</li></ul>

## SKY VIEW FACTOR – SVF [4,7]

De laatste benadering die gebruikt werd voor de visualisatie van het reliëf was de *sky view factor* (SVF). Dit is een techniek die gebruik maakt van een gelijkmatige, diffuse verlichting. Dit is zeer nuttig in de archeologie omdat het de herkenning van kleinschalige kenmerken verbetert. Daarnaast kan deze methode een oplossing bieden voor de richtingsgebonden problemen van de *hillshading*.



Zoals te zien is in figuur 3 meet de SVF het deel van de hemel dat zichtbaar is vanaf een bepaald punt, maar dit enkel indien de hoogtegegevens niet met een verticale overdrijving gemanipuleerd worden. De reliëfverlichting is dus gecorreleerd aan een deel van de **zichtbare hemel** die beperkt wordt door de reliëfhorizon. Hierdoor is een punt op een heuvelrug helderder dan een punt op de bodem van een steil dal. De verklaring luidt dat op de heuvelrug een groter deel van de hemel te zien is.



**Figuur 3: De zichtbare hemel boven een bepaald waarnemingspunt gezien vanuit een tweedimensionale voorstelling [7].**

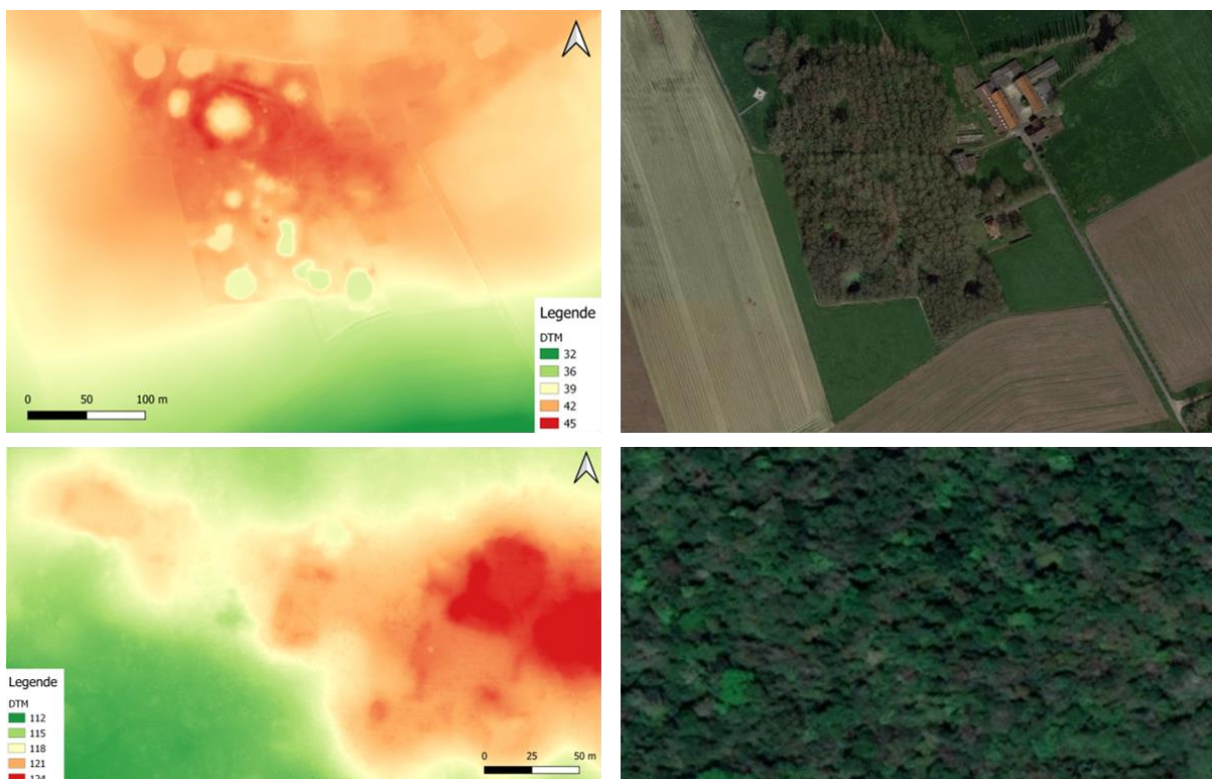
De SVF levert uiteindelijk pixelwaarden met een bereik tussen nul en één. Waarden van één geven aan dat praktisch het volledige halfrond boven de pixel zichtbaar is, terwijl waarden die aanleunen tegen nul in lagere delen van dalen zijn gelegen waar bijna geen hemel te zien is. In de praktijk wordt deze waarde echter berekend door de hoogthoek te bepalen in meerdere richtingen tot de gegeven afstand.

## De voor- en nadelen:

	<ul style="list-style-type: none"><li>- Duidelijk onderscheid tussen 'uitstekende' kenmerken en depressies</li><li>- Kan intuïtief worden geïnterpreteerd</li><li>- Werkt goed met noise (= ruis)</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>- Een soort van wash-out effect op heel vlak terrein met zeer laag uitstekende objecten</li></ul>

## OPLOSSING TEST

In deze paragraaf volgen de oplossingen van de gemaakte test. Doordat de aangeduide nummers op de verschillende visualisaties gerandomiseerd waren per studiegebied, worden de nummers in dit geval dezelfde gehouden om de oplossingen kort en efficiënt te kunnen weergeven. Het was geen eenvoudige opdracht, dus geen paniek indien je een ander resultaat voor ogen had. Gestart werd er met een relatief gekend gebied, om over te gaan naar een minder gekend gebied. De gestelde vragen steunden onder meer op onderzoeken van Phillips (1982), Evans (1997), Koua *et al.* (2006) en Hanus & Havelková (2019).



**Figuur 4: Digitaal terrein model (links) ten opzichte van het satellietbeeld (rechts). Bellewaerde heuvelrug in België (boven) ten opzichte van Yucatan South GLAS s399 in Mexico (beneden). [Satellite only, 2021 – QGIS – Eigen verwerking].**

## 1.1. BELLEWAERDE HEUVELRUG – STUDIEGEBIED BELGIË

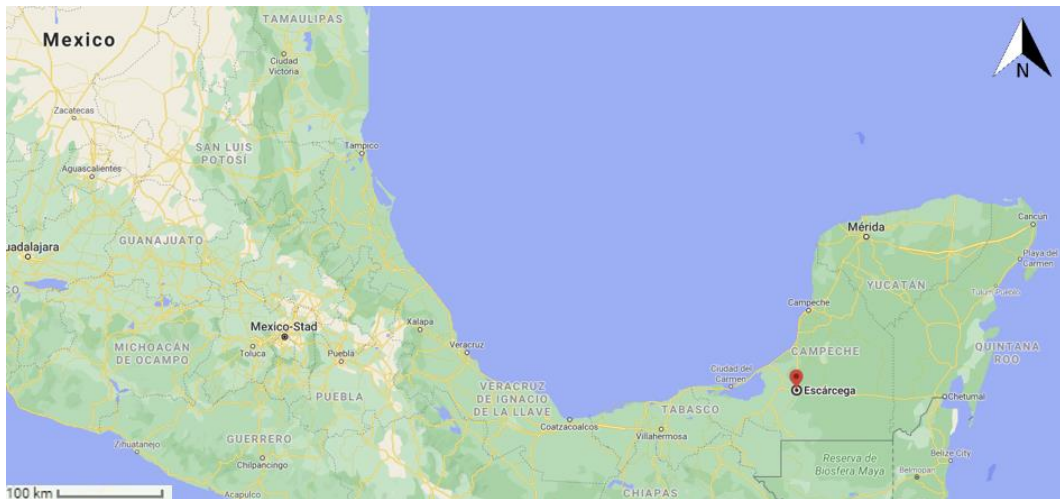
Het eerste studiegebied bevindt zich in de Westhoek van België. De heuvelrug van Bellewaerde werd gekozen daar er nergens ooit zoveel kraters op zo'n beperkte oppervlakte bewaard zijn gebleven. Niet alleen zijn de archeologische resten en sporen belangrijk voor het erfgoed in een rondom Bellewaerde, het is bijzonder hoe authentiek en bijna onaangeroerd het relictlandschap is gebleven [8]. Op hedendaagse luchtfoto's is hier echter weinig van te merken. Het bladerdek van de bomen belemmert het uitzicht op de hotspot van de ondergrondse mijnenoorlog. Vaak wordt algemeen aangenomen dat de wederopbouw van het land de sporen van de oorlog heeft weggevaagd, een blik op lidardata toont ons echter een heel ander beeld [9].



Figuur 5: Overzichtskartaal lokalisatie Heuvelrug Bellewaerde [Google Maps, 2020].

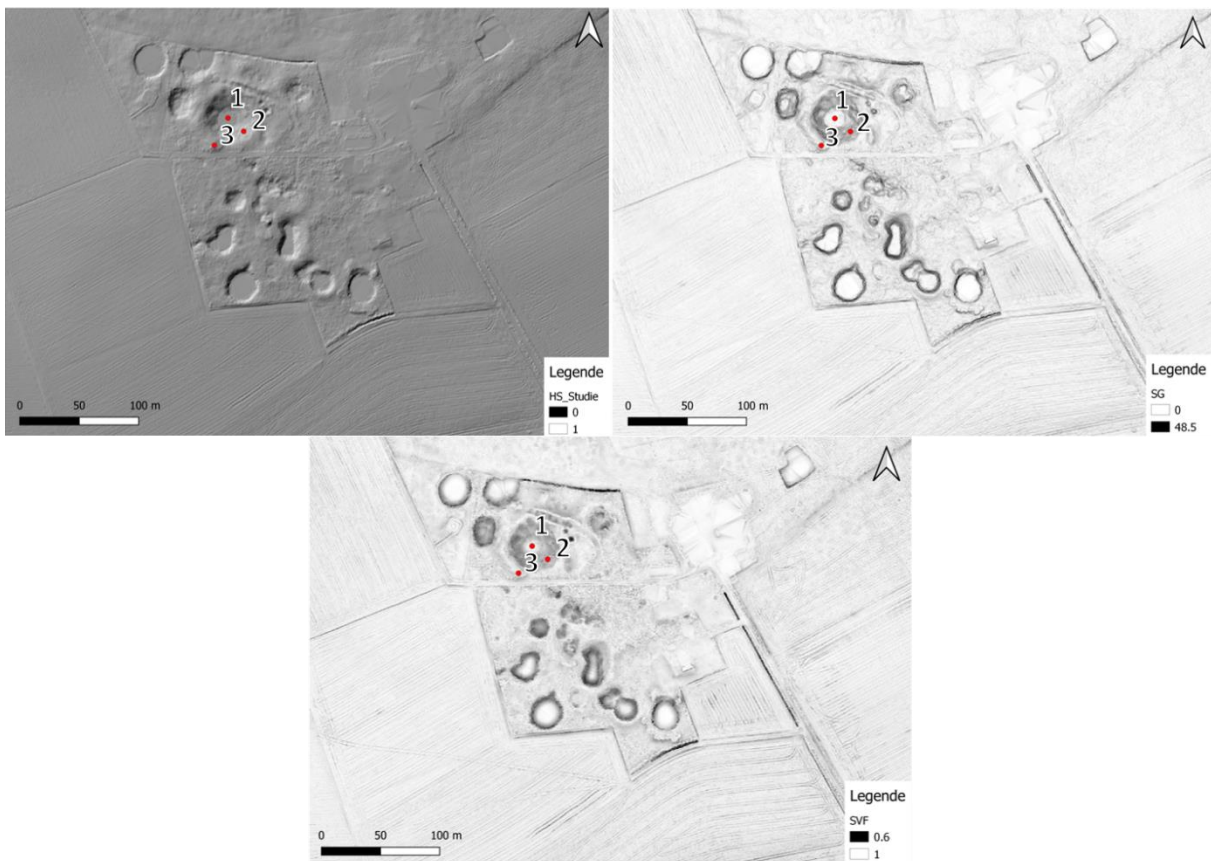
## 1.2. YUCATAN SOUTH GLAS S399 – STUDIEGEBIED MEXICO

Het tweede studiegebied betreft Yucatan South GLAS s399 dat is gelegen op het schiereiland van Yucatan in Mexico. Het is gesitueerd op ongeveer 13 km van het stadscentrum van Escárcega, een stadje gelegen in de staat Campeche. Dit gebied werd gekozen vanwege zijn rijkdom aan *borrow pits*, *plazas* en *structures*. *Borrow pits* of leenputten zijn gegraveerde ruimtes, gebruikt voor het verzamelen van water en/of bouw materiaal. *Plazas* of pleinen zijn verzonken of verhoogde bestratingen die ingesloten worden door structuren aan één of meerdere zijden of een ingesloten vlakke ruimte. Onder *structures* of structuren wordt de architectuur verstaan [10].

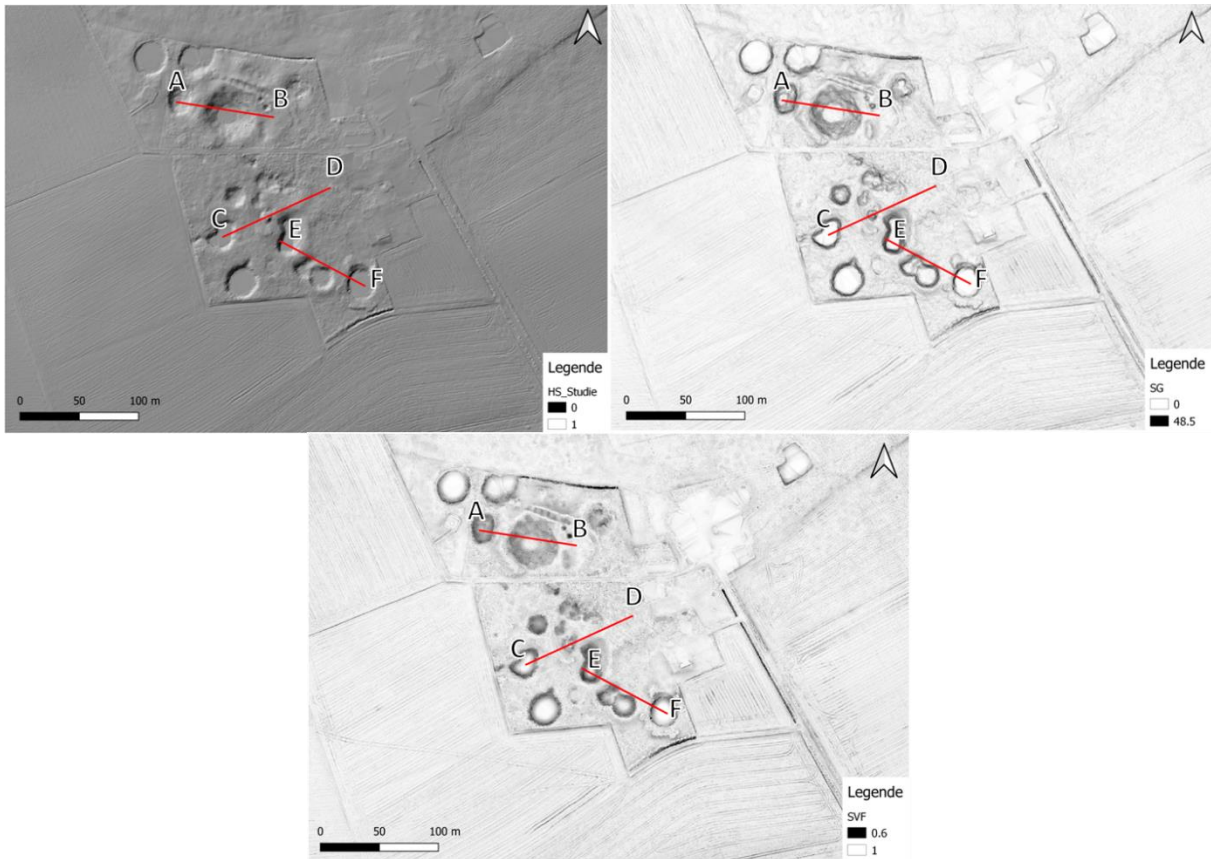


**Figuur 6: Overzichtskaart lokalisatie Yucatan South GLAS s399 [Google Maps, 2021].**

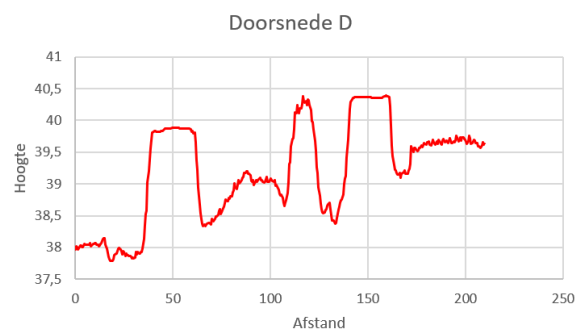
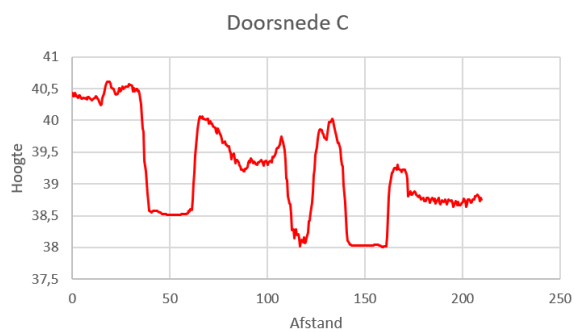
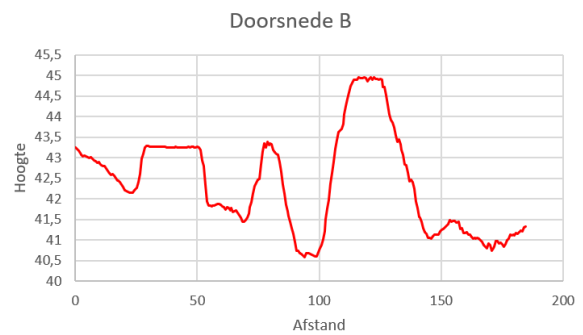
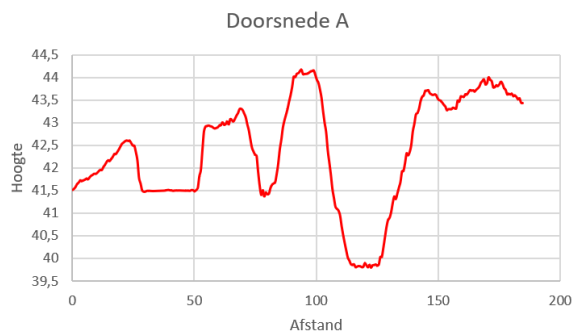
### 1.3. OPLOSSING STUDIEGEBIED BELGIË

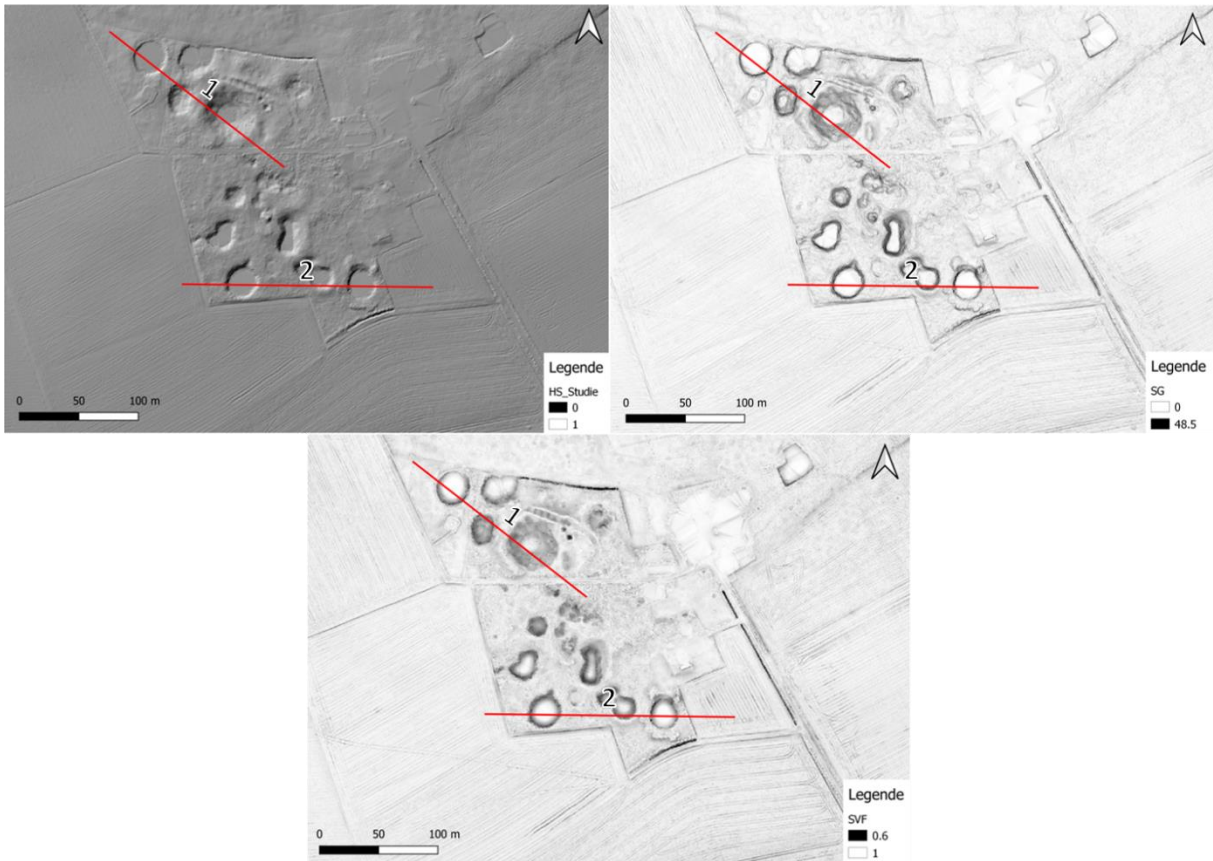


1. Welk cijfer correspondeert met het hoogst gelegen punt in het studiegebied van België?  
**Antwoord: 3**
  
2. En welk cijfer correspondeert op dezelfde afbeelding met het laagst gelegen punt?  
**Antwoord: 1**



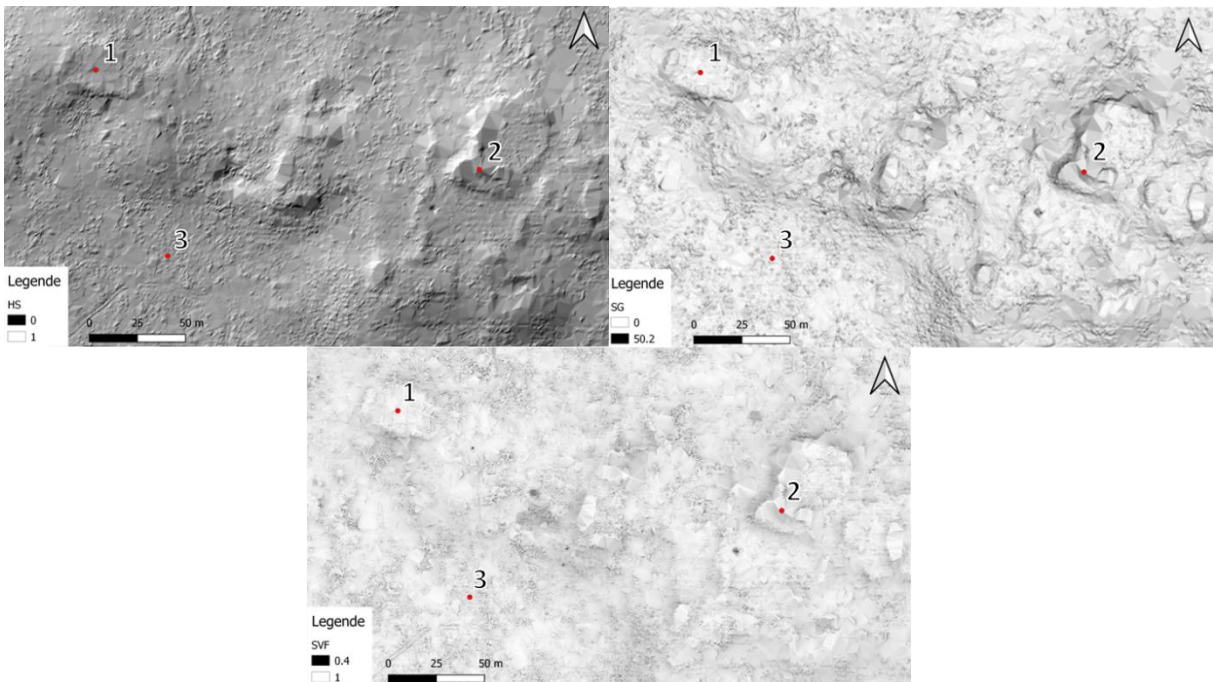
3. Welk eindpunt van de lijn ligt hoger?  
**Antwoord lijn AB: B**  
**Antwoord lijn CD: D**  
**Antwoord lijn EF: E**





4. Match een doorsnede (=hoogteprofiel) aan de lijnen op de kaart.  
**Antwoord lijn 1: A**  
**Antwoord lijn 2: C**

#### 1.4. OPLOSSING STUDIEGEBIED MEXICO

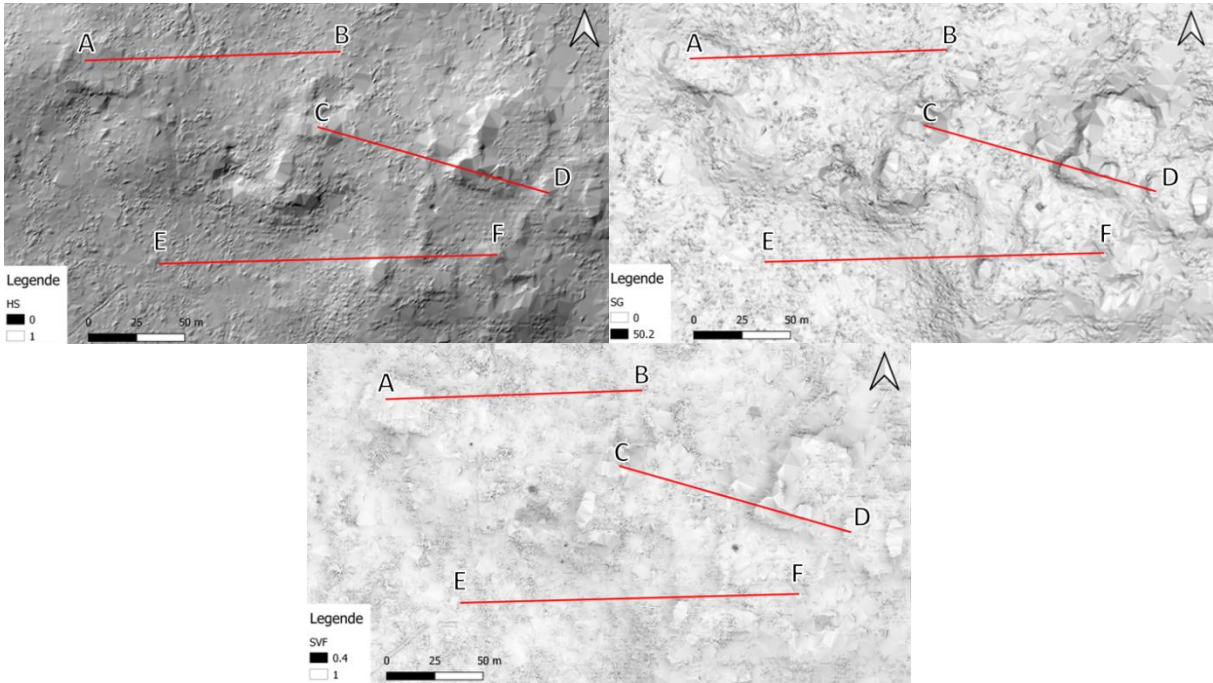


1. Welk cijfer correspondeert met het hoogst gelegen punt in het studiegebied van Mexico?

**Antwoord: 2**

2. En welk cijfer correspondeert op diezelfde afbeelding met het laagst gelegen punt?

**Antwoord: 3**

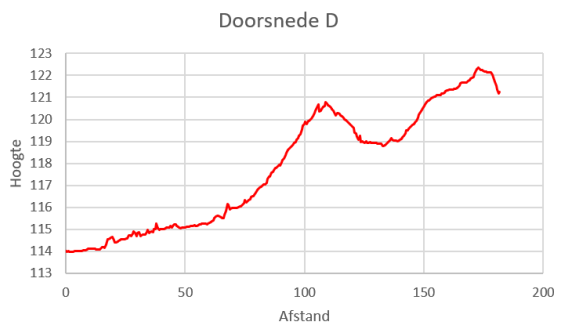
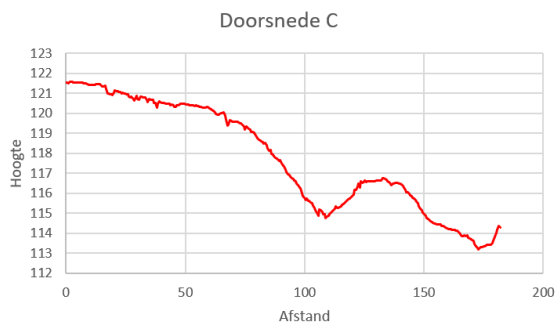
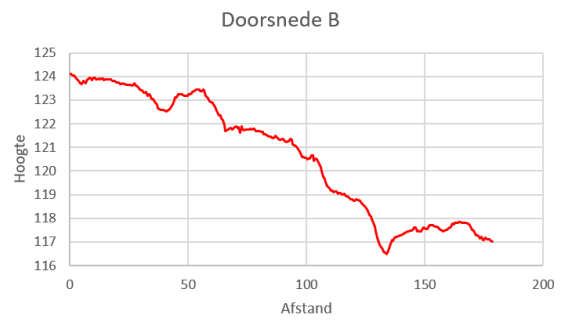
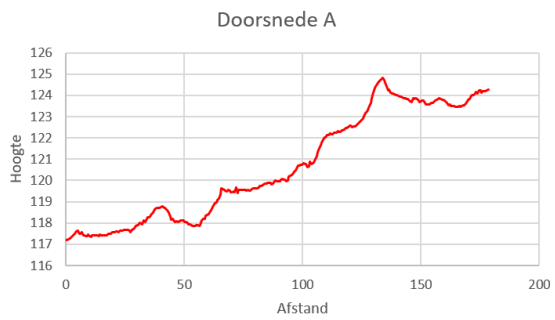


3. Welk eindpunt van de lijn ligt hoger?

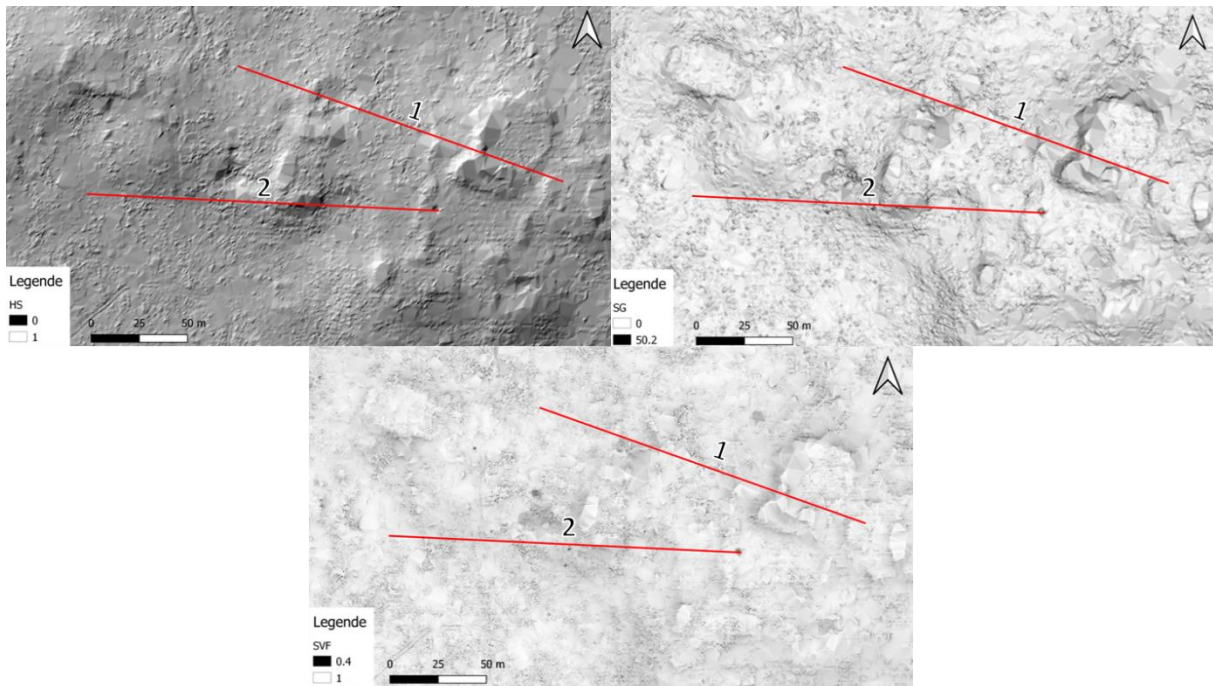
**Antwoord lijn AB: A**

**Antwoord lijn CD: D**

**Antwoord lijn EF: F**







4. Match een doorsnede (=hoogteprofiel) aan de lijnen op de kaart.  
**Antwoord lijn 1: A**  
**Antwoord lijn 2: D**

## BRONNENLIJST

- [1] Noll, D. (2019). The Importance of Saying Thank You. Geraadpleegd op 9 januari, 2021, op <https://uncorneredmarket.com/importance-saying-thank-you/>
- [2] Senaratne, H., Gerharz, L., Pebesma, E., & Schwering, A. (2012). Usability of spatio-temporal uncertainty visualisation methods. In *Bridging the geographic information sciences* (pp. 3-23). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [3] Koua, E. L., MacEachren, A., & Kraak, M. J. (2006). Evaluating the usability of visualization methods in an exploratory geovisualization environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(4), 425-448.
- [4] Kokalj, Ž. (2014). Raster lidar data visualizations for interpretation of microrelief structures [PowerPoint-presentatie]. (Geraadpleegd: 8 januari 2021).
- [5] ArcGIS Pro. (2021a). How HillShade works. Geraadpleegd op 8 januari, 2021, op <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-hillshade-works.htm>
- [6] ArcGIS Pro. (2021b). How Slope works. Geraadpleegd op 9 januari, 2021, op <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-slope-works.htm>

**[7]** Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote sensing*, 3(2), 398-415.

**[8]** Dewilde, M., Stichelbaut, B., Van Hollebeeke, Y., Verboven, H., & Wyffels, F. (2014). Bellewaarde en zijn turbulent oorlogsverleden. *M&L : MONUMENTEN, LANDSCHAPPEN*, 33(3), 30–47.

**[9]** Stichelbaut, B. (2018). *Sporen van oorlog: archeologie van de Eerste Wereldoorlog*. Hannibal.

**[10]** Schroder, W., Murtha, T., Golden, C., Hernández, A. A., Scherer, A., Morell-Hart, S., ... & Brown, M. (2020). The lowland Maya settlement landscape: Environmental LiDAR and ecology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 33, 102543.