



module Fotogrammetrie - handleiding voor leraren



© 2015 Vakgroep Geografie, Universiteit Gent

Auteurs: Bart De Wit & Lieselot Lapon

Deze workshop werd ontwikkeld door de Vakgroep Geografie van de Universiteit Gent in het kader van het Geomobiel project. Het materiaal (handleiding, werkbladen, data) mag enkel aangewend worden door geregistreerde gebruikers (zie www.geomobiel.be) en is onderhevig aan de gebruiksvoorwaarden zoals omschreven op www.geomobiel.be/?borging.

Inhoudstafel

DEEL I: ALGEMENE INFORMATIE	3
Samenvatting module Fotogrammetrie	3
Indeling van de module	4
Tijdsindeling.....	4
Groepsindeling	5
Materiaal	5
Praktische opmerkingen.....	6
Enkele veel voorkomende vragen van leerlingen	6
Extra informatie.....	7
DEEL II: THEORIE.....	8
Doelstelling.....	8
Inleiding	8
Begrip fotogrammetrie.....	9
Begrip fotovlucht	10
Begrip stereopaar	10
Begrip parallax.....	11
DEEL III: OEFENING FORMULE – Formule parallax.....	13
DEEL IV: OEFENING 1 – Berekenen hoogte blokken	14
DEEL V: OEFENING 2 – Berekenen hoogte Boekentoren	18
DEEL VI: OEFENING 3 – Berekenen reliëf van een “berg”	22
DEEL VII: NABESPREKING.....	26

DEEL I: ALGEMENE INFORMATIE

Samenvatting module Fotogrammetrie

De module start met een korte theoretische uitleg van een aantal belangrijke fotogrammetrische principes en de verklaring waarom de mens een 3D-zicht heeft. Op basis van een schematische tekening leiden de leerlingen zelf een wiskundige formule af die hen in staat stelt de hoogte van een gebouw te bepalen op basis van twee luchtfoto's. Om aan te tonen dat deze formule wel degelijk de correcte hoogte berekent, simuleren de leerlingen in kleine groepjes een fotovlucht. Dit laat hen toe om na te gaan of ze de theorie in praktijk kunnen brengen.

Van zodra de principes en termen (parallax / vliegbasis / vlieghoogte) duidelijk zijn, worden ze toegepast op twee concrete situaties. Deze opdrachten voegen telkens een mate van complexiteit toe zodat de leerlingen, in kleine stappen, de aangeleerde principes leren toepassen op moeilijkere situaties. In de eerste opdracht moeten de leerlingen de hoogte van een gebouw berekenen, waarbij ze dienen rekening te houden met de schaal van de foto's. In de tweede opdracht wordt eerst de relatieve hoogte van verschillende punten in een landschap bepaald. Nadien wordt de absolute hoogte berekend die vervolgens gebruikt kan worden om een hoogteprofiel te tekenen. De leerlingen bepalen en berekenen in deze oefening het reliëf van de Mont Ventoux (Frankrijk) en tekenen een hoogteprofiel van de klim naar de top van de berg.

	lesvorm	klas/zelf	tijd	materiaal
Deel 1	theorie	klassikaal	20 – 30 min	powerpoint
Deel 2	theorie	zelfstandig	15 – 20 min	bundel leerlingen
Deel 3	uitleg oefening	klassikaal	10 min	powerpoint
Deel 4	oefening 1	zelfstandig in groepjes	20 – 30 min	camera, meter, blokjes, A3-referentieblad
Deel 5	uitleg oefening	klassikaal	5 min	powerpoint
Deel 6	oefening 2	zelfstandig in groepjes	20 – 30 min	prints luchtfoto's, rekenmachine, geodriehoek
Deel 7	uitleg oefening	klassikaal	5 min	powerpoint
Deel 8	oefening 3	zelfstandig in groepjes	40 - 50 min	prints luchtfoto's, rekenmachine, geodriehoek
Deel 9	nabespreking	klassikaal	10 min	

Indeling van de module

Deel 1: De theorie handelt over de volgende begrippen: fotogrammetrie, 3D, parallax, stereopaar, fotovlucht (zie pp. 8-12).

Deel 2: Zelfstandig laten nadenken over en uitwerken van de formule van de parallax (zie p. 13).

Deel 3: Klassikale uitleg over de eerste oefening waarbij de leerlingen de link leggen tussen de formule en de schematische voorstelling van een fotovlucht enerzijds en de praktijk anderzijds (zie pp. 14-17).

Deel 4: Oefening 1 (zie pp. 14-17).

Deel 5: Klassikale uitleg over de derde oefening waarbij de leerlingen de hoogte van een hoog gebouw berekenen (zie pp. 18-21).

Deel 6: Oefening 2 (zie pp. 18-21).

Deel 7: Klassikale uitleg over de vierde oefening waarbij de leerlingen een hoogteprofiel maken van de weg die wielrenners afdalen als ze de Mont Ventoux opklimmen (zie pp. 22-25).

Deel 8: Oefening 3 (zie pp. 22-25).

Deel 9: Nabespreking van de resultaten van de verschillende oefeningen en link naar de opleiding en bedrijfswereld (zie p. 26).

Tijdsindeling

In de tabel hierboven vindt u een overzicht van de indeling van de module met een suggestie van de duur van de verschillende delen van de module.

Let hierbij wel op dat de tijdsduur afhankelijk is van de sterkte van de groep. Uit ervaring is gebleken dat sterk wetenschappelijke richtingen de 3 oefeningen kunnen afronden in 3 lessen van 50 minuten.

De duur van de module kan door de leraar zelf bepaald worden. Uit ervaring is gebleken dat oefeningen 1 en 2 essentieel zijn. Oefening 1 is van belang om het principe van parallax te begrijpen. Oefening 2 is belangrijk om te begrijpen wat fotogrammetrie precies inhoudt en wat je in de praktijk kan doen met de parallax. Oefening 3 werkt met dezelfde principes als oefening 2, maar is complexer.

Als het inkorten van de module gewenst is dan zijn er een aantal mogelijkheden, bijvoorbeeld:

- de leerlingen de formule meegeven en niet meer zelf laten berekenen
- oefening 3 sneller laten verlopen door de 11 punten te verdelen onder de leerlingen (en in dit geval elke leerling de hoogte van 1 of 2 punten te laten berekenen)
- oefening 3 in zijn geheel laten wegvallen.

Groepsindeling

Oefening 1 doen de leerlingen in groepjes van twee of drie. De andere oefeningen kunnen de leerlingen zelfstandig of in groepjes van twee afwerken.

Materiaal

Materiaal te voorzien door de leerlingen:

- Rekenmachine
- Geodriehoek

Extra materiaal te voorzien door leerlingen of leraren:

- Fototoestel (of smartphone met camera) per groepje
- Stok van minimum 1 meter lang met decimeter aanduiding (mag ook een plooiometer zijn) per groepje (zie Foto 1)
- Een A3-referentieblad per groepje (te downloaden en printen)
- Een aantal houten blokken of andere voorwerpen met een hoogte van ongeveer 10 tot 30 cm (zie Foto 1)
- Prints van de luchtfoto's (belangrijk is deze niet te herschalen) zie website www.geomobiel.be/?borging
- Prints van de invulbladen zie website www.geomobiel.be/?borging



Foto 1: Voorbeeld van het lesmateriaal voor oefening 1

Praktische opmerkingen

Hieronder volgt een gedetailleerde uitleg van de theorie die in de klas gegeven werd door de GeoMobiel-medewerkers. Zij werkten met een powerpoint om alle begrippen te visualiseren. Daarom zal in dit draaiboek elke slide uitgeschreven worden. De powerpoint kunnen jullie downloaden. Uiteraard staat het jullie vrij om deze inhoud aan te passen.

Na de theorie worden de oefeningen stap voor stap tot in detail uitgelegd waarmee je als leraar meteen aan de slag kan. In het *cursief* worden er tips of mogelijke fouten die leerlingen kunnen maken, meegegeven. De foto's illustreren en verduidelijken het verloop van de oefeningen.

Enkele veel voorkomende vragen van leerlingen

- 1) Gebruiken professionele geografen deze methode ook om hoogtes van gebouwen of bergen te bepalen?

De hoogte van een berg of gebouw kan op verschillende manieren gemeten worden. Doorgaans wordt er gebruik gemaakt van GPS. Dure toestellen kunnen de positie tot op een paar centimeter nauwkeurig bepalen. In Vlaanderen is er Flemish Positioning Service (FLEPOS) waarbij correctiesignalen van satellieten via GSM of mobiel internet worden verspreid. Daardoor heb je voor Vlaanderen de mogelijkheid tot een zeer nauwkeurige positiebepaling.

De hoogte kan ook bepaald worden door het meten van de luchtdruk met een barometer, met tijdmeting met lasers (laseraltimetrie), door het meten van de zwaartekracht (gravimetrisch) of door driehoeksmeting (trigoniometrisch).

- 2) Kan ik nauwkeuriger meten? En hoe kan ik nauwkeuriger meten?

Er kan zeker nauwkeuriger gemeten worden dan de metingen die wij uitvoeren in deze oefeningen. Met deze oefeningen willen we jullie aantonen dat er verschillende toepassingen zijn binnen de geografie en willen we jullie daar een eerste keer mee laten kennismaken. Maar als er echt nauwkeurig moet gemeten worden dan worden er andere methodes gebruikt (zoals hierboven beschreven).

Extra informatie

Websites:

Begrip fotogrammetrie:

<http://www.ngi.be/NL/NL2-2-1.shtm>

<http://meet-tekenwerk.nl/meettechnieken/fotogrammetrie/>

http://telescript.denayer.wenk.be/2012-13/b4/public_html/fotogrammetrie.shtml

http://www.polfed-fedpol.be/pub/inforevue/inforevue1_09/Fotogrammetrie.pdf

Begrip parallax:

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Parallax>

Begrip stereoscopie:

<https://nl.wikipedia.org/wiki/Stereoscopie>

Animaties:

<https://youtu.be/iMnvakdfIUM?t=21>

<https://youtu.be/exSjOZ9qZlA>

DEEL II: THEORIE

Doelstelling

Slide 2



Het doel van dit lessenpakket is de leerlingen aan de hand van oefeningen bijbrengen hoe geometrische metingen (hoogtes, afstanden) van objecten of gebieden aan de hand van digitale beelden uitgevoerd worden. Bij uitbreiding begrijpen ze dan ook dat er twee beelden nodig zijn om een 3D-beeld te creëren. Om fotogrammetrie te kunnen toepassen is het begrip van bepaalde termen cruciaal: 3D, parallax, fotovlucht, stereopaar.

Inleiding

Slides 3-4-5



Deze slides tonen aan dat hersenen twee beelden moeten verwerken om een 3D-beeld te genereren en dat leerlingen dit principe ook in hun vrije tijd gebruiken zonder er bij stil te staan.

Bij slide 3 wordt gepolst of ze als kind nog gespeeld hebben met een viewmaster. Er wordt gevraagd wat ze precies zien door een dergelijk toestelletje en of ze kunnen uitleggen hoe het komt dat ze het beeld in 3D zien. Op de disc van de viewmaster is te zien dat één beeld telkens twee keer voorkomt (voor elk oog één keer). Op de beelden van de 3D-films is ook duidelijk te zien dat er zonder het dragen van een speciale 3D-bril een dubbel beeld geprojecteerd wordt. Hier krijgen ze al een eerste introductie over het 3D-principe, namelijk dat de mens twee foto's van hetzelfde beeld nodig heeft zodat de hersenen het dubbele 2D-beeld tot een 3D-beeld kunnen verwerken.

Begrip fotogrammetrie

Slides 6-7-8

Fotogrammetrie

- Wat is fotogrammetrie ?
 - Geometrische metingen (afstanden, hoeken, hoogtes, oppervlaktes,...)
 - Op basis van foto's
- Terrestrische vs luchtfotogrammetrie
 - Terrestrisch
 - Vanop de grond
 - Grote schaal
 - Ook voor geneeskunde, industrie, architectuur of archeologie

Fotogrammetrie

- Terrestrische vs luchtfotogrammetrie
 - Terrestrisch

Fotogrammetrie

- Terrestrische vs luchtfotogrammetrie
 - Luchtfotogrammetrie
 - Vanuit de lucht
 - Kleinere schaal
 - Duurdere toestellen
 - Snelle beweging (vliegtuig) → wazig beeld
 - Verticale vs oblieke (schuine) foto

Fotogrammetrie is de techniek die toelaat geometrische metingen (afstanden, hoeken, hoogtes, oppervlaktes,...) van objecten, fenomenen of gebieden te verrichten op basis van foto's of digitale beelden. Belangrijk hierbij is dat de metingen indirect zijn, waarmee wordt bedoeld dat de metingen op de foto worden uitgevoerd en niet op het terrein.

In de fotogrammetrie zijn er twee grote disciplines te onderscheiden, namelijk terrestrische fotogrammetrie, waarbij foto's worden genomen vanop de grond, en luchtfotogrammetrie, waarbij de foto's vanuit de lucht worden genomen.

Bij terrestrische fotogrammetrie worden foto's gebruikt die vanop de grond getrokken zijn, deze zijn op een beduidend grote schaal genomen (beelden bedekken een kleinere oppervlakte). Naast geografische toepassingen, namelijk voor het opmeten van gebouwen, wordt terrestrische fotogrammetrie eveneens gebruikt voor niet-topografische toepassingen in bijvoorbeeld de geneeskunde, de industrie, in de architectuurwereld of voor archeologische doeleinden.

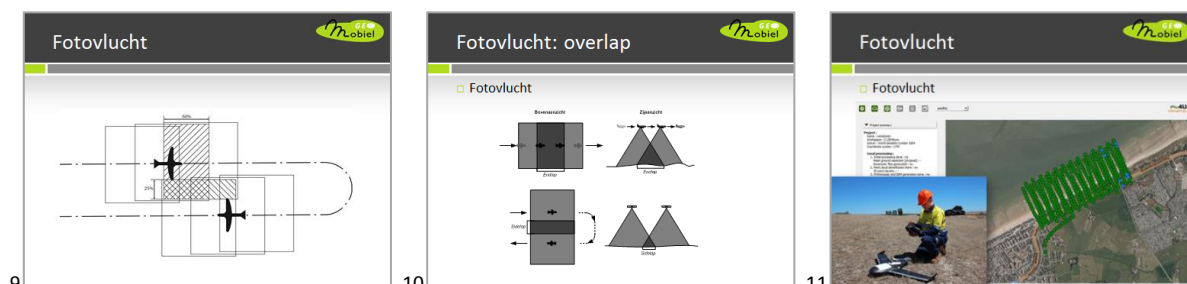
Luchtfoto's worden vanuit de lucht genomen, wat impliceert dat de afstand tussen de camera en het op te meten object behoorlijk groot is. Een rechtstreeks gevolg hiervan is dat deze beelden meestal op kleine schaal zijn (beelden bedekken een grote oppervlakte). Deze luchtfoto's kunnen worden gebruikt om het landschap, de bodem, de archeologie ed. te bestuderen. Met luchtfotogrammetrie kan een 3D-beeld worden gemaakt van het reliëf van het landschap.

Een ander duidelijk verschil tussen beide is dat bij luchtfoto's meestal preciezere en dus duurdere toestellen moeten worden gebruikt. Dit komt doordat het fototoestel snel beweegt aangezien het wordt vastgemaakt aan een vliegtuig. Hierdoor zijn speciale instrumenten en korte sluitertijden van het fototoestel nodig om geen wazig beeld te krijgen.

Men onderscheidt twee soorten foto's, enerzijds de verticale luchtfoto's en anderzijds oblieke of schuine luchtfoto's. Bij de eerste wordt de foto verticaal of bijna verticaal genomen, de camera-as is dus (bijna) verticaal. Bij de tweede soort is de camera-as significant verschillend van de verticale. in deze oefening zal worden gewerkt met verticale luchtfoto's. Ondanks alle voorzorgen zal de as van de camera nooit perfect verticaal zijn, we noemen dit dan ook bijna-verticale of tilted luchtfoto's.

Begrip fotovlucht

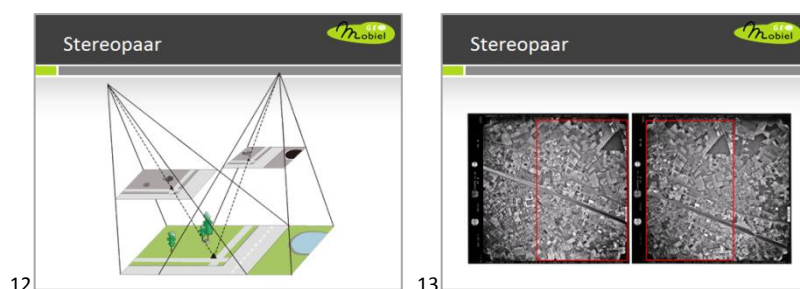
Slides 9-10-11



Luchtfoto's worden op een systematische wijze verkregen aan de hand van een fotovlucht. Bij een dergelijke fotovlucht wordt het te karteren gebied met vliegstroken bedekt. Belangrijk bij het nemen van luchtfoto's is dat deze op een zodanige manier genomen zijn dat stereo-uitwerking mogelijk wordt. Stereo-uitwerking of stereoscopie houdt in dat we een bepaald beeld bekijken met diepte doordat we met elk oog een afbeelding bekijken. De voorwaarde voor stereoscopie is een dwars- en een langsoverlappend. De dwarsoverlappend (sidelap) is de zijdelingse overlap van naburige vluchtlijnen, deze bedraagt traditioneel 30%. De langsoverlappend (endlap) is traditioneel 60%. In theorie zou een overlap van 50% voldoende zijn, maar om zeker te zijn dat elk punt twee maal gefotografeerd wordt, wordt er een extra marge van 10% genomen. Dat komt dan neer op 60% endlap. Op deze manier heeft men van elk gebied minstens 2 foto's vanuit een verschillend standpunt. Die twee afbeeldingen worden samen een stereopaar genoemd.

Begrip stereopaar

Slides 12-13



Twee opeenvolgende foto's langsheen een vluchtlijn worden een stereopaar genoemd. Bij een fotovlucht is de langsoverlappend van zeer groot belang, omdat er enkel geometrische metingen kunnen worden gedaan met foto's die hetzelfde gebied bedekken, met de voorwaarde dat de foto's vanuit een andere standpunt getrokken zijn. Bij deze twee slides zie je een gebied dat tweemaal gefotografeerd is. Op slide 12 komt dat overeen met het gebied rond de bomen. Op slide 13 gaat het om het rood aangeduide deel van de foto's.

Begrip parallax

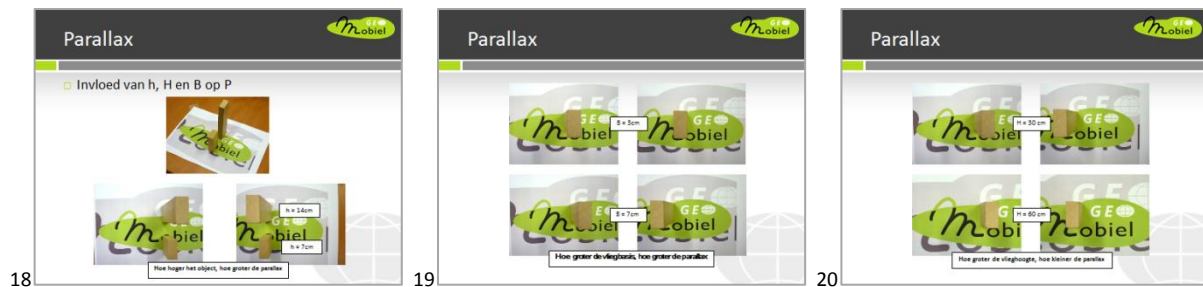
Slides 14-15-16-17-18-19-20-21-22-23



Om tot een goed begrip van de parallax te komen wordt gevraagd aan de leerlingen om eerst twee kleine oefeningen te doen.

- 1) Bij slides 14 en 15 moeten ze hun arm gestrekt houden ter hoogte van hun gezicht en hun wijsvinger verticaal opsteken. Eerst moeten ze met hun linkeroog focussen op hun vinger (rechteroog gesloten), dan met hun rechteroog (linkeroog gesloten). De verschuiving van de vinger ten opzichte van de achtergrond (de roos) noemt men de parallax. Die parallax is nodig om de geometrische metingen op foto's te kunnen doen. (ter verduidelijking, zie punt "dieptezicht, een essentiële eigenschap!" http://telescript.denayer.wenk.be/2012-13/b4/public_html/fotogrammetrie.shtml)
- 2) Per twee kan een andere korte oefening worden gedaan om het 3D-principe ludiek te verklaren (zonder slide). Laat elke leerling één oog sluiten. Nu moet de ene leerling de wijsvinger van de andere leerling proberen te raken, zonder dat de elleboog op de bank rust. Dit gaat minder evident dan wanneer er met twee ogen gekeken wordt. Hieruit blijkt ook dat de mens twee beelden nodig heeft. Onze twee ogen zorgen voor twee beelden die door onze hersenen worden geïnterpreteerd tot een 3D-beeld.

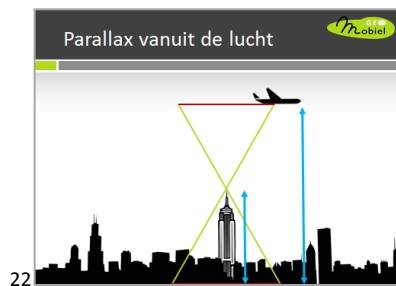
Als er twee foto's worden genomen van hetzelfde object, maar vanuit een ander standpunt, kunnen we vanuit dit stereopaar 3D-informatie verkrijgen. Van de opstelling, te zien op slide 16, werden twee foto's gemaakt vanuit een verschillend standpunt (aangeduid met de pijlen). Merk op dat de blokjes ten opzichte van het GeoMobiel-logo verschoven zijn, op Foto's A en B. Zo komt de linkerzijde van het balkje op Foto A overeen met het middelste beentje van de M en op foto B met het linkerbeentje van de M. Deze verschuiving noemen we parallax. Het balkje, dat verder staat van het logo, is meer verschoven dan de cilinder, die dichterbij het logo staat. Deze parallax hebben we nodig om de hoogte van gebouwen of plaatsen in het landschap te bepalen.



Bovenstaande slides illustreren de invloed van h (hoogte object), B (vliegbasis) en H (vlieghoogte) op p (de parallax):

- Hoe hoger het object, hoe groter de parallax
- Hoe groter de vliegbasis, hoe groter de parallax
- Hoe groter de vlieghoogte, hoe kleiner de parallax

Met deze parameters kunnen we de hoogte van punten (van gebouwen of een reliëf) berekenen.



Deze animatie toont hetzelfde principe als de blokjes voor het GeoMobiel-logo. De groene lijnen geven weer waar het hoogste punt van het gebouw terechtkomt op de luchtfoto. Als een foto getrokken wordt aan de linkerkant van het gebouw dan komt de top van het gebouw terecht aan de rechterkant van het grondoppervlak van het gebouw. In het rood worden de vliegbasis en de parallax aangeduid, in het blauw de vlieghoogte en de hoogte van het gebouw, dat moet berekend worden aan de hand van een formule.

DEEL III: OEFENING FORMULE – Formule parallax

Slides 24-25-26-27-28-29-30-31

Formule parallax

- B = vliegbasis (afstand tussen opnamepunten)
- H = vlieghoogte
- h = hoogte object
- p = parallax

24

Formule parallax

□ Opstellen formule:

■ Stel de formule op voor h, vertrekkend van H, B en p

25

Formule parallax

□ Opstellen formule:

■ Stel de formule op voor h, vertrekkend van H, B en p

□ 2 driehoeken zijn gelijkvormig

26

Formule parallax

□ Opstellen formule:

■ Stel de formule op voor h, vertrekkend van H, B en p

□ 2 driehoeken zijn gelijkvormig

■ $h/(H-h) = p/B$

27

Formule parallax

□ Opstellen formule:

■ Stel de formule op voor h, vertrekkend van H, B en p

□ 2 driehoeken zijn gelijkvormig

- $h/(H-h) = p/B$
- $hB = p(H-h)$
- $hB = pH - ph$
- $hB + ph = pH$
- $h(B+p) = pH$
- $h = \frac{pH}{B+p}$

31

Vanuit de lucht ziet de fotovlucht met twee opnames er schematisch uit zoals de figuur op de slides hierboven. B is de afstand tussen de 2 foto's die worden genomen. Dit noemt men de vliegbasis. h is de hoogte van een object (= de afstand tot de grond). p is de parallax op de grond. H is hoogte waarop de foto genomen wordt. Dit wordt ook de vlieghoogte genoemd.

De leerlingen mogen zelfstandig de formule opstellen voor h (de hoogte van het object) vertrekkend van H, B en p. Zie document 'OF_OEFformule_FOTO_IIIn'.

Opmerking 1: Om ze goed op gang te zetten kan worden gepolst naar hoe ze hier aan zouden kunnen beginnen. Het juiste antwoord hierop is door rekening te houden met het feit dat de driehoeken gelijkvormig zijn. Gelijkvormigheid is een term die geen probleem zou mogen vormen bij leerlingen uit de derde graad. Als de leerlingen dan tot de eerste vergelijking komen (namelijk: $h/(H-h) = p/B$) dan kunnen ze deze verder uitwerken totdat ze h kunnen afzonderen.

Opmerking2: Leerlingen uit wetenschappelijke richtingen met veel uren wiskunde zijn in staat om deze formule zelf te berekenen. Andere groepen hebben wat meer begeleiding nodig. De slides zijn zo opgesteld dat de uitwerking van de formule stap per stap kan worden geprojecteerd.

Opmerking 3: Let op dat de leerlingen in de eerste vergelijking starten met 'H-h' en niet met 'H' als hoogtelijn van de grote driehoek.

DEEL IV: OEFENING 1 – Berekenen hoogte blokken

Slides 32-33

Hoogte blokjes

- Berekenen hoogte blokken
- Vlieghoogte $H =$
- Vliegbasis $B =$
- Parallax $= \text{ABS}(d(\text{foto } 1) - d(\text{foto } 2)) = p$
- Hoogte blokje $= \frac{B \cdot H}{B + p}$

Voorbeeld

Wat is de parallax van de twee blokken?

linkerblokje: 26,2 cm – 20,2 cm = 6,0 cm
rechtterblokje: 16,0 cm – 3,0 cm = 13,0 cm

Waarom deze oefening?

In de eerste oefening willen we de link leggen tussen de formule en de schematische voorstelling van een fotovlucht (slide 32) enerzijds en de praktijk anderzijds. Door middel van een eenvoudige opstelling moeten de leerlingen nadenken over de termen vlieghoogte, vliegbasis en parallax.

Het doel van de oefening?

Het doel van de opdracht is met behulp van de formule, die de leerlingen zonet bekomen hebben, de hoogte van twee objecten te bepalen door van deze objecten twee foto's te trekken vanuit twee verschillende standpunten.

Inleiding tot de oefening (klassikaal uitgelegd door de leraar)

Een manier om dit aan te pakken is samen met de leerlingen één opstelling op te zetten en te overlopen welke waarden er nodig zijn om de hoogte van de objecten te bepalen.

De opstelling voor deze oefening is als volgt (Foto2):

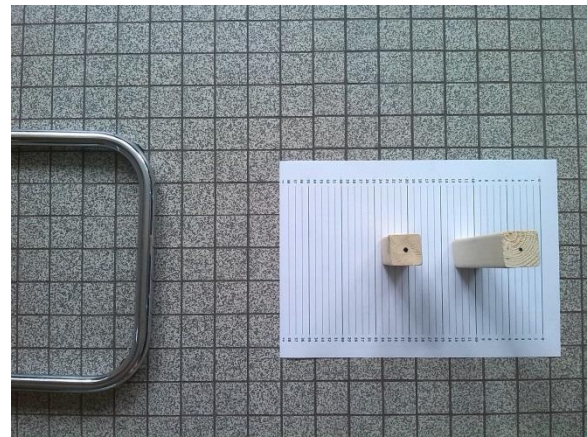
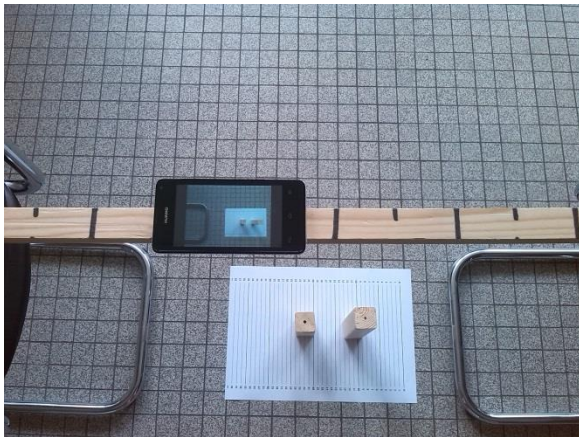
- Twee banken of stoelen met de rug naar elkaar toe worden met een tussenafstand van ongeveer 70 centimeter tegenover elkaar geplaatst. *Belangrijk is dat de tafels en leuning van de stoelen even hoog zijn.*
- Het referentieblad ('1_OEF1_referentieblad_FOTO_leraar') wordt in de lengte tussen de twee banken of stoelen op de grond gelegd. *Dit blad mag niet worden herschaald bij het printen.* Als het referentieblad correct is afgeprint geeft het de centimeternaanduiding weer. Dit referentieblad is nodig om de parallax in realiteit te berekenen.
- De stok/lat komt op de twee leuning van de stoelen of tafels te liggen boven het referentieblad. De stok/lat stelt in dit geval de fotovlucht weer.
- Twee blokjes of objecten met een verschillende grootte worden op het referentieblad geplaatst.



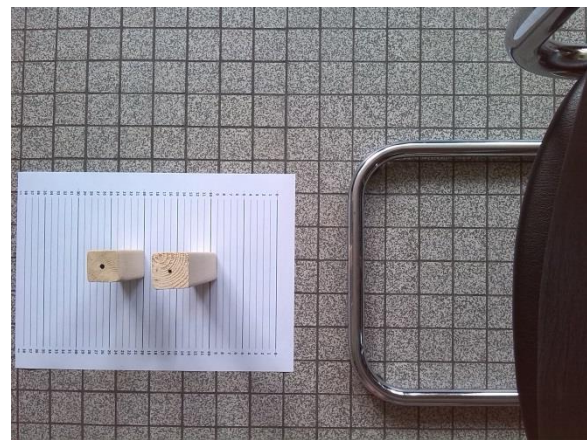
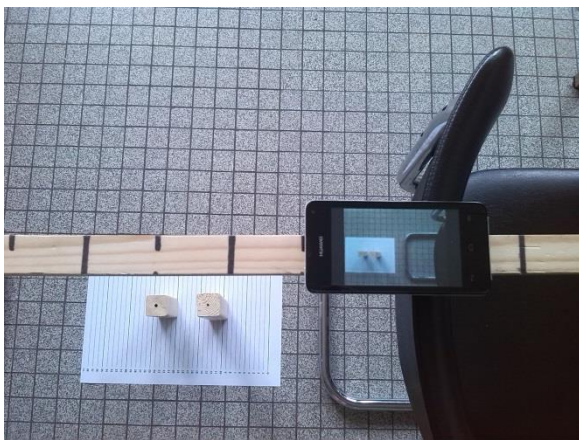
Foto 2: Opstelling voor oefening 1

Als de opstelling klaarstaat dan kan er worden gevraagd aan de leerlingen welke waarden er nodig zijn om de hoogte van de blokjes/objecten te berekenen en hoe ze dit zouden aanpakken. Het antwoord hierop zijn de drie onbekenden H, B en p:

- Vlieghoogte H: is de hoogte van de leuning van de stoel of de hoogte van de bank. Deze kan worden gemeten met de stok/lat. *Om precies te zijn moet de dikte van de stok ook worden meegerekend.*
- Vliegbasis B: de afstand tussen opnamepunt 1 en opnamepunt 2. Het is de bedoeling dat er met de camera twee worden foto's getrokken. Daarvoor dient de camera vlak op de stok/lat, die als vliegbasis dient, te liggen. De ene foto wordt getrokken recht naar beneden maar vanuit een linker invalshoek (Foto 3 en Foto 4), de andere vanuit een rechter invalshoek (Foto 5 en Foto 6). *Belangrijk is dat op beide foto's beide objecten staan.* De afstand tussen opnamepunt 1 en opnamepunt 2 is de afstand waarover de camera verplaatst is om de linker- en rechterfoto's te trekken. Deze afstand kan worden afgelezen op de stok/lat.
- Parallax p: kan afgeleid worden uit de twee foto's. Op slide 33 is er een voorbeeld weergegeven voor twee blokjes. Ook foto's 7 en 8 illustreren dit. De parallax kan je meten aan de hand van het referentieblad dat onder de blokjes ligt. Doe dit voor twee dezelfde punten op de verschillende foto's. Deze punten noemen we homologe punten. Bekijk hiervoor hoeveel het bolletje, getekend op het blokje, verschoven is. De stip op de bovenkant van het linkerblokje staat op de linkerfoto ter hoogte van 26,2 cm, op de rechterfoto ter hoogte van 20,2 cm. De verschuiving van deze stip, met name de parallax, is in dit geval $26,2 \text{ cm} - 20,2 \text{ cm}$, dus 6,0 cm. Voor het rechterblokje: $16,0 \text{ cm} - 3,0 \text{ cm} = 13,0 \text{ cm}$. *Een fout die geregeld terugkomt, is dat leerlingen bij de berekening van de parallax op één foto de waarde van blokje één verminderen met de waarde van blokje twee. Er moet duidelijk worden vermeld dat de leerlingen de parallax berekenen van blokje 1 door te kijken naar blokje 1 op foto 1 en foto 2 en niet door blokje 1 en blokje 2 op foto 1 te vergelijken.*

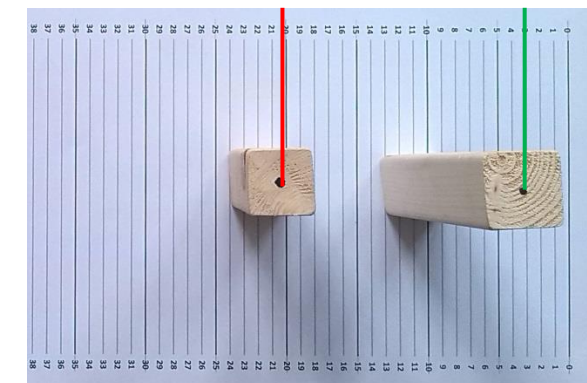
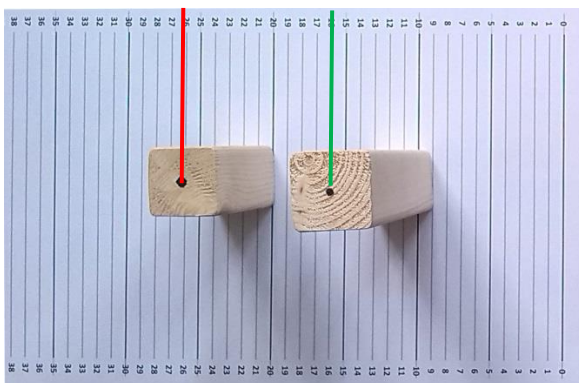


Foto's 3-4: Camera positie 1



Foto's 5-6: Camera positie 2

Wat is in dit geval de parallax?



Foto's 7-8: Parallax aflezen

Voor linkerblokje: $26,2 \text{ cm} - 20,2 \text{ cm} = 6,0 \text{ cm}$; voor het rechterblokje: $16,0 \text{ cm} - 3,0 \text{ cm} = 13,0 \text{ cm}$

Na deze inleiding op de oefening kunnen de leerlingen zelf een dergelijke opstelling maken om de hoogte van verschillende objecten of blokjes te berekenen op basis van twee foto's. Als ze de verschillende waarden (H, B en p) hebben gemeten kunnen ze aan de hand van de formule $(pH/(B+p))$ de hoogte van de twee objecten bereken (zie document '1_OEF1_FOTO_IIIn').

Oplossing

De oplossing van deze oefening is afhankelijk van de grootte van de verschillende objecten gebruikt door de leerlingen. De bekomen hoogte kunnen ze zelf verifiëren door de objecten na te meten.

Nabespreking in de klas

Na de oefening kan er een korte toelichting gebeuren. Hierbij kan worden gezegd dat gebleken is dat het belangrijk is van zo nauwkeurig mogelijk te meten. Pas dan kan enkel zeer precies worden berekend hoe hoog de objecten exact zijn. Dit zal voor de komende oefeningen zeer belangrijk zijn.

Overgang naar oefening 2

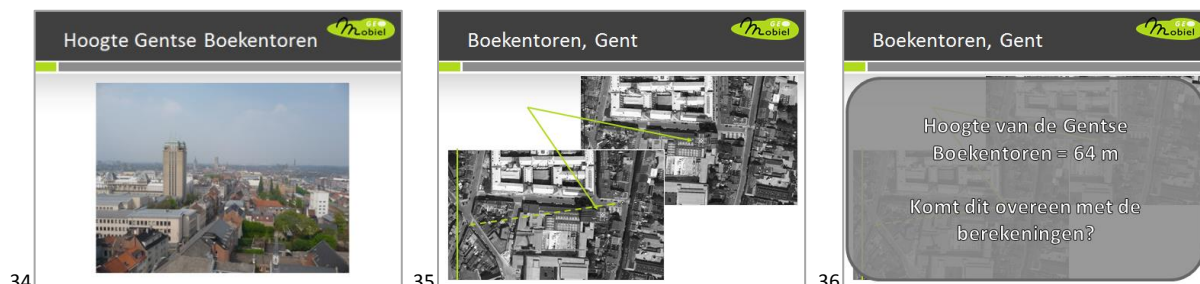
In deze oefening is een vlucht gesimuleerd. Bij de volgende oefeningen maken we gebruik van echte luchtfoto's.

Mogelijke inleidende vragen zijn:

- Wat is het verschil tussen deze opstelling en twee luchtfoto's? Mogelijke antwoorden zijn:
 - o De vlieghoogte
 - o De schaal van de foto
 - o Het gebruik van een referentieblad is in dit geval niet mogelijk (er is geen centimeteraanduiding ter hoogte van het grondoppervlak waarop het gebouw staat)
- Op dit laatste kan er worden ingepikt door te vragen hoe dit kan worden opgelost.
 - o Als de leerlingen naar de luchtfoto's kijken zien ze een lijn getekend staan: de referentielijn (uitleg zie deel IV).

DEEL V: OEFENING 2 – Berekenen hoogte Boekentoren

Slides 34-35-36



Opmerking: Er zijn meerdere cases (andere gebouwen in andere steden) uitgewerkt voor deze oefening. Hier wordt het voorbeeld van de Boekentoren gebruikt om de oefening uit te leggen.

Waarom deze oefening?

Deze oefening is een concreet voorbeeld van fotogrammetrie. Op de twee foto's is duidelijk te zien dat de top van de Boekentoren in Gent verschoven is. De toepassing van de Boekentoren maakt het voor de leerlingen visueel concreet wat er allemaal kan worden berekend met die ene formule ($h = pH / (B + p)$).

Het doel van de oefening?

Het doel van de oefening is dat de leerlingen aan de hand van de vier waarden (h , B , H en p) de hoogte van de Boekentoren berekenen. Ze dienen na te denken over hoe ze de parallax kunnen berekenen en wat de functie is van een referentielijn. Belangrijk is ook dat ze begrijpen dat ze het hoogteverschil meten ten opzichte van de referentielij en niet ten opzichte van het grondoppervlak waar de Boekentoren op staat. Dit betekent concreet dat ze om de hoogte van de Boekentoren te bepalen ook het hoogteverschil tussen het grondoppervlak en de referentielij moeten weten.

Inleiding tot de oefening (klassikaal uitgelegd door de leraar)

Inleidende vragen kunnen zijn:

- Wie is er al ooit in Gent geweest?
- Wie kent de Boekentoren?
- Wat is de Boekentoren? (Universiteitsbibliotheek)
- Wat denken jullie dat de hoogte is van deze toren? (slide 34)

Op de foto (slide 34) is duidelijk te zien dat de Boekentoren de stad domineert en boven het Gentse stadslandschap uittorent.

Op de twee luchtfoto's (slide 35) is het hoogste punt van de Boekentoren aangeduid met een pijl. Op de twee foto's is duidelijk te zien dat dit hoogste punt ten opzichte van de achtergrond verschoven is.

Hoe gaat deze verschuiving, namelijk de parallax, worden berekend? De verschuiving kan worden berekend door een referentielijn te trekken op het beeld. De eerste voorwaarde voor het trekken van de referentielijn is dat deze door een vast punt ligt ter hoogte van het grondoppervlak (bijvoorbeeld niet de bovenkant van een dak want deze heeft zelf ook een parallax). Daarom is de referentielijn in deze oefening getrokken door een punt dat op de straat ligt, een hoek van het zebrapad. De referentielijn moet dus voor beide foto's exact door dit punt worden getrokken. De tweede voorwaarde is dat de referentielijn loodrecht op de vliegrichting getrokken wordt.

Vraag voor de leerlingen: hoe kan je de parallax berekenen met deze referentielijn?

De parallax bereken je door de afstand van de referentielijn naar het hoogste punt van de Boekentoren (in het midden van het vierkantje) te meten op beide foto's en het verschil van die twee waarden te nemen. Dan heb je de verschuiving van het hoogste punt van de Boekentoren bepaald. Belangrijk hierbij is dat de meting gebeurt parallel met de vliegrichting, met andere woorden loodrecht op de referentielijn.

De leerlingen moeten er eveneens op worden gewezen dat bij de vorige oefening, door het referentieblad te gebruiken, de parallax in realiteit gebruikt werd. Bij deze oefening wordt er gewerkt met waarden die worden afgelezen op de luchtfoto. Er moet dus nog een schaal berekend worden om te kunnen achterhalen wat de parallax in realiteit is om vervolgens de hoogte van de Boekentoren in realiteit te kunnen berekenen. Om de schaal te berekenen is de afstand tussen punten A en B meegegeven.

Op de invulbladen zijn de twee luchtfoto's mét referentielijn terug te vinden (zie '2_OEF2_FOTO_Gent_Iln'). Ook andere gegevens zijn er vermeld, namelijk de afstand in realiteit tussen A en B om de schaal te berekenen, de vliegbasis en de vlieghoogte.

Oplossing van de oefening (of zie '2_OEF2_FOTO_Gent_leraar')

vliegbasis B = 224 m; vlieghoogte H = 480 m; afstand tussen A en B = 216 m

- Om de parallax in realiteit te berekenen dien je eerst de schaal te weten van het beeld. Aangezien je de reële afstand tussen punten A en B hebt meegekregen, kan je de schaal berekenen.

Schaal =

$$14,1 \text{ cm} = 216 \text{ m} \rightarrow 1 \text{ cm} = 216 \text{ m} / 14,1 \text{ cm} \rightarrow 1/1532$$

- Vervolgens kan je met behulp van de referentielijn de parallax meten. Het hoogste punt van de Boekentoren staat aangeduid met een klein kruisje. Gebruik het kruisje als punt waarvan je meet.

Parallax op de foto =

$$13,3 \text{ cm} - 10,7 \text{ cm} = 2,6 \text{ cm}$$

- Aangezien je nu geen referentieblad hebt als ondergrond, moet je de berekende parallax herschalen zodat je de waarde in realiteit bekomt.

Parallax in realiteit =

$$2,6 \text{ cm} \times 1532 \text{ cm} = 39,8 \text{ m}$$

- Nu heb je alle waarden verzameld om met de formule die je eerder opstelde, de hoogte van het gebouw te berekenen.

Berekening:

$$h = pH / (B+p) \rightarrow h = (39,8 \text{ m} \times 480 \text{ m}) / (224 \text{ m} + 39,8 \text{ m}) = 72,4 \text{ m}$$

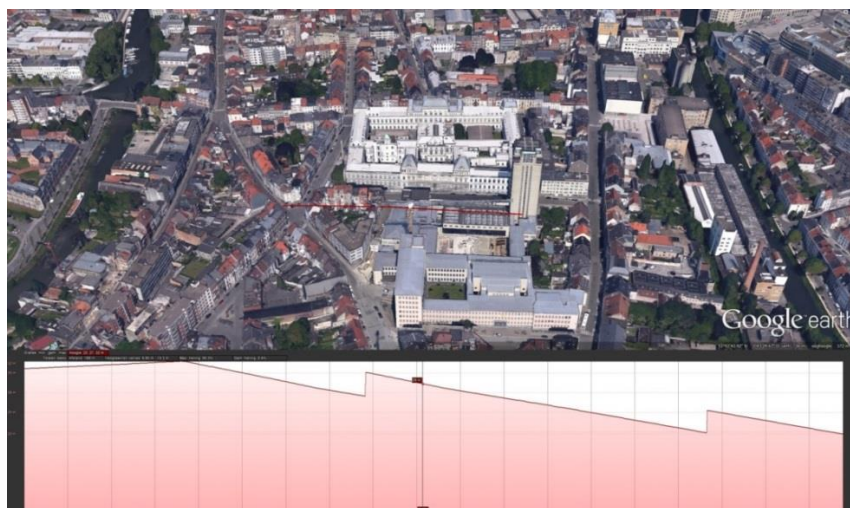
- Hoogte van de Boekentoren ten opzichte van referentielijn = 72,4 m (deze waarde kan bij de leerlingen variëren tussen 69 m en 75 m)

Oplossing en nabespreking (klassikaal uitgelegd door de leraar)

Op slide 33 is te zien dat de hoogte van Boekentoren 64 m is. Hoe komt dit? Omdat er gewerkt is met de referentielijn die door een zebrapad op een kruispunt van wegen loopt. Zoals op de eerste foto te zien is, ligt de Boekentoren op een hogere plek in het landschap, namelijk de Blandijnberg. Als je van dat kruispunt naar de Boekentoren zou wandelen, zou je merken dat je op die korte afstand redelijk stevig stijgt, vandaar het hoogteverschil van een paar meter. De 72,4 meter geeft dus eigenlijk het hoogteverschil weer tussen de kade en het hoogste punt van de Boekentoren.

Een bijkomende vraag:

- Hoe zouden we dit hoogteverschil zelf kunnen berekenen? Aan de hand van een topografische kaart, bij het aflezen van de hoogtelijnen kan je berekenen wat het hoogteverschil is tussen het grondoppervlak aan de kade en het grondoppervlak van de Boekentoren. Als deze waarde wordt afgetrokken van het hoogteverschil tussen het hoogste punt van de Boekentoren en de kade dan is de hoogte van de Boekentoren bepaald.
- Dit kan ook via een hoogteprofiel op Google Earth



Opmerking 1: Er zijn meerdere cases uitgewerkt voor deze oefening

- Boekentoren Gent
- Boekentoren Antwerpen
- Belfort Brugge
- Sint-Maartensdal Leuven
- Sint-Romboutstoren Mechelen
- Atomium Brussel

Deze vindt u terug in de bestanden van Fotogrammetrie. Er zijn ook slides voorzien voor elke casus. Let op: Het hoogteverschil tussen referentielijn en grondoppervlak waar het gebouw opstaat, is niet bij alle terreinen even groot. Voor het belfort van Brugge is dit minimaal (minder dan 1 meter). Als het verschil niet duidelijk is, dan kan u nog steeds het principe tonen aan de hand van het voorbeeld van de Boekentoren in Gent.

Opmerking 2: De oplossingen vindt u eveneens tussen de bestanden op de website. Deze gelden enkel als de luchtfoto's niet werden herschaald bij het printen.


Opmerking 3: Leerlingen hebben zelden dezelfde oplossing. De oplossingen zijn afhankelijk van hoe precies ze meten en hoe ze de waarden afronden. Vandaar dat het hoogteverschil (bijvoorbeeld in het geval van Brugge) niet correct kan zijn.

Opmerking 4: Bij de schaalberekening wordt er gevraagd naar een breukschaal. Klassikaal kan nog eens worden gevraagd wat een breukschaal zoals 1/500 precies betekent. Een algemene fout is dat ze de meters niet omzetten naar centimeters.


DEEL VI: OEFENING 3 – Berekenen reliëf van een “berg”

Slides 52-53-54-55

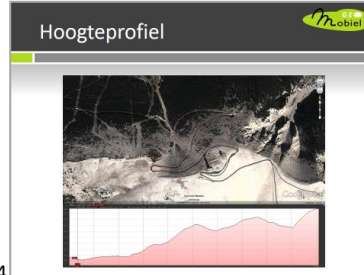
52



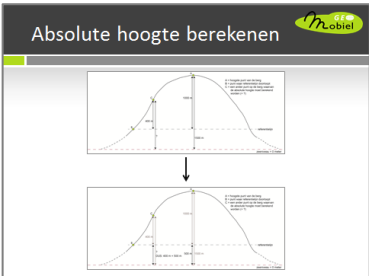
53



54



55



Waarom deze oefening?

In deze oefening wordt niet de hoogte berekend van één object of gebouw maar van een volledig landschap. Op deze manier zien de leerlingen hoe breed de toepassing van fotogrammetrie kan gaan. Voor deze oefening is er gekozen voor de Mont Ventoux in het zuiden van Frankrijk.

Het doel van de oefening?

In deze oefening moeten de leerlingen beginnen met het berekenen van de hoogte van elf punten die langs de weg lopen naar de top van de Mont Ventoux. Dit is ook de weg die de wielrenners afleggen op hun uitdagende klim naar de top. In dit geval gaat het dus om een landschap met een redelijk groot hoogteverschil. De bedoeling is dat ze met deze elf punten een hoogteprofiel uittekenen van de weg die de wielrenners afleggen. Ze dienen in deze oefening opnieuw gebruik te maken van een referentielijn.

Inleiding tot de oefening (klassikaal uitgelegd door de leraar)

Zoals in de vorige oefening worden hier ook de verschillende stappen overlopen. Als herhaling voor de leerlingen: Wat hebben we nodig om de hoogte te berekenen? De parallax! Wat hebben we nodig om de parallax te kunnen berekenen? Een referentielijn! Deze moet op beide foto's door hetzelfde vaste punt lopen (zie slide 53), loodrecht op de vliegrichting. De referentielijn is op deze twee foto's ook reeds aangeduid.

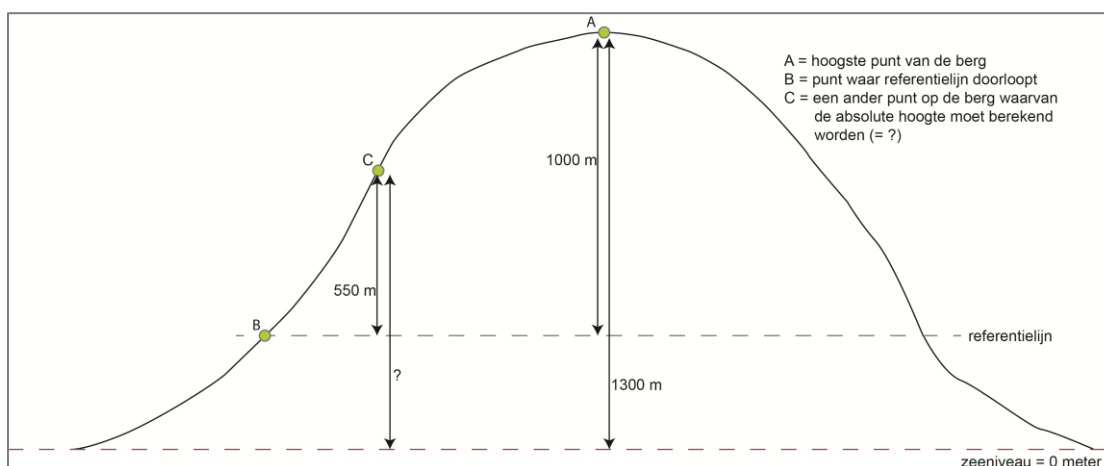
De stippellijnen die op de twee foto's staan zijn hulplijnen die parallel lopen met de referentielijn (indien niet herschaald telkens op 5 cm afstand). Deze zijn een handig hulpmiddel als de leerlingen de parallax willen meten. Verder hebben zij geen betekenis.

Ook van deze beelden moet de schaal berekend worden. Om deze te kunnen berekenen is de afstand in realiteit tussen punten 1 en 10 meegegeven.

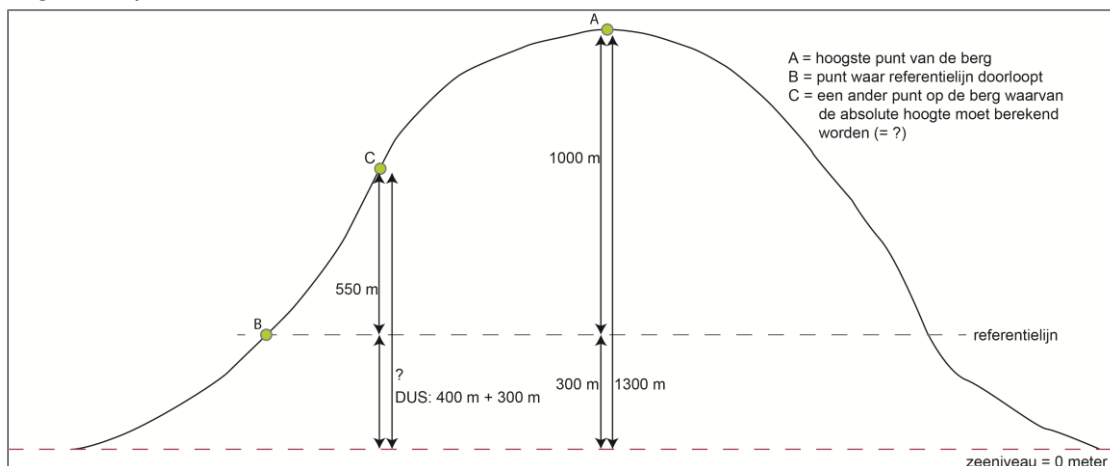
Opmerking: De leerlingen durven soms de afstand tussen 1 en 10 op de volgende verkeerde manier te berekenen: afstand tussen referentielijn en 1 + afstand tussen referentielijn en 10. Dit is foutief.

Op dit moment kan al gepolst worden bij de leerlingen of ze weten wat het verschil is tussen de relatieve en absolute hoogte. Als de hoogte ten opzichte van de referentielijn berekend wordt, dan wordt het hoogteverschil tussen het punt waar de referentielijn doorloopt en het opgemeten punt berekend. Dan gaat het om een relatieve hoogte. De referentielijn ligt weliswaar ook op een zekere absolute hoogte, namelijk de absolute hoogte van het vaste referentiepunt. Deze zou kunnen bepaald worden aan de hand van een topografische kaart. In deze oefening is echter van één punt de absolute hoogte meegegeven, waardoor voor de andere punten ook de absolute hoogte kan berekend worden (absolute hoogte van punt 11 – relatieve hoogte van punt 11; en de andere relatieve hoogtes vermeerderen met dit verschil).

Beginsituatie:



Volgende stap:



Nadat de leerlingen de absolute hoogtes berekend hebben kunnen ze deze uitzetten op de y-as van het hoogteprofiel. Op de x-as moeten ze de afstand tussen de verschillende punten uitzetten, maar dit ook herschaald en dus uitgezet in de eenheid meter. Om deze afstanden te berekenen hebben ze een aparte tabel met de etappes. Daar kunnen ze de afstand op de beelden en de berekende reële afstand invullen. De leerlingen mogen de afstanden tussen de punten meten in vogelvlucht.

Oplossing (invulbladen van de leerlingen)

De gegevens die je nodig hebt om de parallax van de punten te meten zijn:

- Afstand tussen 6 en 10: 640 m
- Vlieghoogte: 1900 m
- Vliegbasis: 720 m

Bereken zelf de schaal van de foto:

1/3743

Punt	Meting Foto 1 (cm)	Meting Foto 2 (cm)	Parallax op foto (cm)	Parallax in realiteit (m)	Relatieve hoogte (m)	Absolute hoogte (m)
1	7,30	7,65	0,35	13,10	34,0	1697
2	11,95	12,25	0,30	11,23	29,2	1692
3	18,90	19,25	0,35	13,10	34,0	1697
4	12,25	13,10	0,85	31,81	80,4	1743
5	10,35	12,00	1,65	61,76	150,1	1813
6	2,95	4,40	1,45	54,27	133,2	1796
7	8,00	10,10	2,10	78,60	187,0	1850
8	11,80	13,90	2,10	78,60	187,0	1850
9	16,30	18,10	1,80	67,37	162,6	1825
10	19,60	21,25	1,65	61,76	150,1	1813
11	14,50	17,20	2,70	101,60	235,0	1898

Etappe	Afstand op foto (cm)	Afstand in realiteit (m)	Afstand vanaf punt 1 (m)
van 1 naar 2	6,5	243	243
van 2 naar 3	7,0	262	505
van 3 naar 4	7,0	262	767
van 4 naar 5	5,1	191	958
van 5 naar 6	7,8	292	1250
van 6 naar 7	5,2	195	1445
van 7 naar 8	4,4	165	1610
van 8 naar 9	5,5	206	1816
van 9 naar 10	3,5	129	1945
van 10 naar 11	6,8	255	2200

Wat is het hoogteverschil tussen het startpunt van de klim (punt 1) en de top van de Mont Ventoux (punt 11)? Verschil tussen de absolute hoogtes van deze twee punten = 201 m

Nabespreking

Bij de nabespreking van deze oefening kan gepolst worden of iedereen alles begrepen heeft en kan gecontroleerd worden of ze hun hoogteprofiel correct uitgetekend hebben.

DEEL VII: NABESPREKING

De link naar de bedrijfswereld komt aan bod in een bedrijfsfilmpje, dat is terug te vinden op de website van GeoMobiel. Daarin komen een aantal mensen aan het woord die bezig zijn met 3D-toepassingen in een professionele omgeving en met gesofisticeerde apparatuur.

Meer informatie over de universitaire opleidingen Geografie vinden jullie op:

VUB: <http://www.vub.ac.be/opleiding/geografie>

KU Leuven: <http://aow.kuleuven.be/geografie/>

Universiteit Gent: <http://geoweb.ugent.be/>