

Gedegen, innovatieve en verbindende monitoring  
van het waddengebied

## **FACTSHEET LASER-ALTIMETRIE**

Gerbrand Vestjens

Geodelta

# INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LASER-ALTIMETRIE</b> .....	<b>5</b>
	2.1 Specificiteit en nauwkeurigheid .....	7
	2.2 Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid .....	9
	2.3 Uniformiteit .....	10
	2.4 Regionale geschiktheid .....	10
	2.5 Continuïteit .....	10
	2.6 Prijs/kwaliteit .....	10
	2.7 Toepassingskader monitoring binnen problemafakening .....	10
<b>3</b>	<b>CONCLUSIES / AANBEVELINGEN</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>REFERENTIES</b> .....	<b>13</b>

# 1 INLEIDING

De huidige winning van gas uit de diepe ondergrond van de Waddenzee vindt plaats volgens het principe van “hand aan de kraan”. Het is aannemelijk dat dit ook zal gelden voor toekomstige winningen van delfstoffen, zoals de voorgenomen winning van steenzout. Winning mag plaatsvinden onder de voorwaarde dat de beschermde natuurwaarden geen schade ondervinden. Van tevoren is vastgesteld hoe snel de bodem maximaal mag dalen om aan die voorwaarde te voldoen.

Tijdens de winning vindt monitoring plaats om zo nodig de hand aan de winningskraan te zetten om de winning te verminderen dan wel geheel te stoppen.

De monitoring richt zich op:

- De bodemdaling (meet en regelcyclus);
- Mogelijke effecten op natuurwaarden van het natte wad, kwelders, duinen en polders.

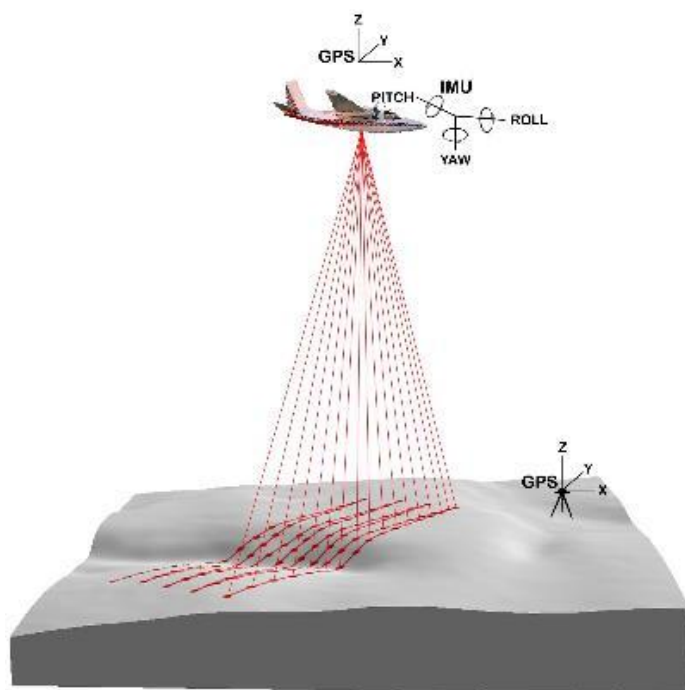
Voor de monitoring van de bodemdaling wordt op momenteel gebruik gemaakt van diverse meettechnieken als GPS-metingen en inSAR voor enkele kleinere gebieden. Lidar (laseraltimetrie) kan als techniek mogelijk een rol spelen bij de (lange-termijn) monitoring van bodembewegingen.

Bodemdaling van de Pleistocene ondergrond kan tot eventuele schade aan natuurwaarden zou kunnen leiden. Dit hangt af van het type oppervlak. Daarbij valt te denken aan de gevolgen van bodemdaling op de waterhuishouding bij binnendijkse polders, de stabiliteit van de duinen, eroderen of opslibben van kwelders, variaties in de grens tussen land en water en de morfologie van platen en geulen op het wad. Veranderingen van al deze zaken hebben weer directe of indirecte gevolgen voor de lokale flora en fauna. Ook voor het monitoren van deze flora en fauna kan lidar een rol spelen.

## 2 LASER-ALTIMETRIE

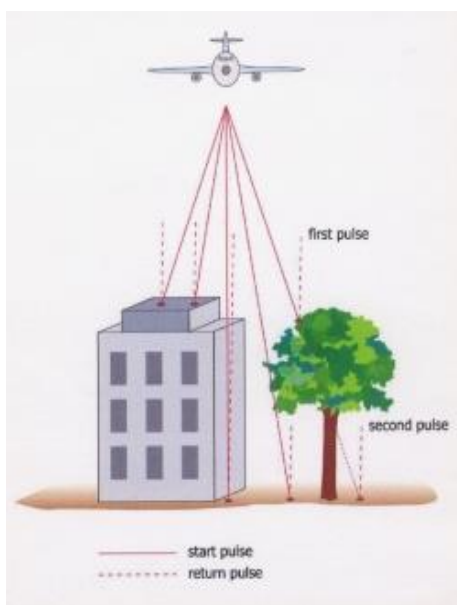
Lidar, ofwel laser-altimetrie, is een techniek waarbij uit de looptijd en richting van een uitgezonden laserpuls de positie van de reflectie(s) van deze puls ten opzichte van de laser-altimeter bepaald wordt. Doordat deze laser-altimeter gemonteerd is in een opnamevoertuig (helicopter, vliegtuig) dat met behulp van een Global Navigation Satellite System (GNSS, zoals GPS) en traagheidsnavigatie (INS/IMU) zijn positie weet, kan de positie van de laserpuls in terreincoördinaten worden uitgedrukt. Er zijn ook aardobservatie satellieten met lidar instrumenten aan boord.

Een uitgezonden puls kan meerdere zogenaamde 'returns' geven. De eerste return ofwel 'first pulse' geeft daarbij de hoogte van een object boven het maaiveld aan, de 'last pulse' de hoogte van het onderliggende maaiveld. Doordat onbekend is waarop de laserpuls weerkaatst, kan geen uitspraak over gemeten objecten gedaan worden. Na de inwinning en verwerking van laserhoogtedata wordt in nagenoeg alle gevallen een zogenaamde classificatie uitgevoerd. Hierbij wordt met behulp van filteringstechnieken het maaiveld onderscheiden van overige terreinelementen. Filtering, ook wel classificatie genoemd, vindt veelal in twee stadia plaats. Eerst wordt er met behulp van filteringssoftware een eerste classificatie van de laserdata uitgevoerd, waarna er in de meeste gevallen nog een handmatige controle- of verbeteractie plaatsvindt. Afhankelijk van de wijze waarop de filtering wordt uitgevoerd, kunnen diverse objecten in het terrein (bebouwing, begroeiing) geclassificeerd worden. Het is veelal niet mogelijk om individuele vegetatietypen van elkaar te onderscheiden. De hoogte van het maaiveld kan in veel gevallen duidelijk gemeten worden, tenzij er sprake is van dichte vegetatie. In dat geval is het afhankelijk van de vegetatiedichtheid welke hoogte lokaal gemeten wordt (Hopkinson, et al., 2004).



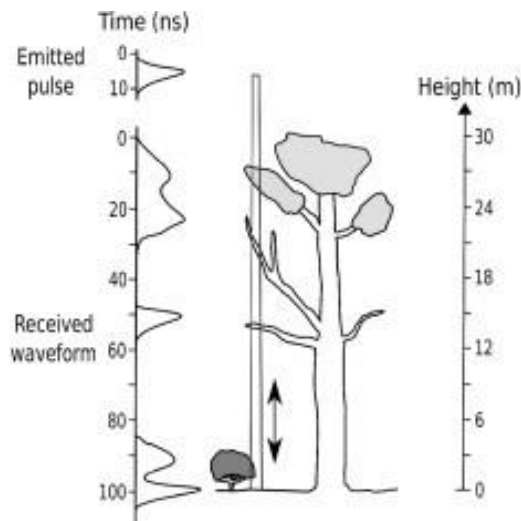
**Figuur 1.** Principe van lidar, zie uitleg in de tekst.

In Figuur 1 is het principe van lidar te zien. In het vliegtuig is een laser-altimeter gemonteerd alsook een GPS en IMU. Uit GPS en IMU kan de positie van het opnamevoertuig worden bepaald en daarmee ook de positie en kijkrichting van de laser-altimeter. De laser-altimeter zendt een puls uit die op het terrein of in het terrein gelegen objecten reflecteert. De looptijd van deze puls wordt gemeten en daarmee kan de positie van elke individuele laserpuls worden bepaald. De individuele pulsen van een laser-altimeter volgen veelal een zig-zag- of een lijnenpatroon ten gevolg van de wijze waarop de uitzendrichting van de laserpuls wordt bepaald (vaak een roterend prisma). De uitgezonden puls kan op meerdere in het terrein gelegen objecten en het terrein zelf reflecteren. Dit resulteert in meerdere puls-responsen per uitgezonden puls. Het hoogste punt van elke uitgezonden puls wordt de 'first pulse' genoemd. Het laagste punt waarvan meestal verondersteld wordt dat dit het terrein is onder de overige objecten wordt de 'last pulse' genoemd (zie ook Figuur 2).



**Figuur 2.** De lidar principes van 'first pulse' en 'last pulse'.

Nieuwere laser-altimeters zijn in staat de intensiteit van het geretourneerde signaal tussen de 'first pulse' en de 'last pulse' integraal op te nemen. Dit intensiteitsverloop wordt de 'wave form' genoemd. Voor analyses van de structuur van de reflecterende objecten kan een analyse van deze 'wave-form' of 'full wave-form' worden uitgevoerd (zie Figuur 3).



**Figuur 3.** Intensiteitsverloop lidar signaal, de 'wave form'.

## 2.1 Specificiteit en nauwkeurigheid

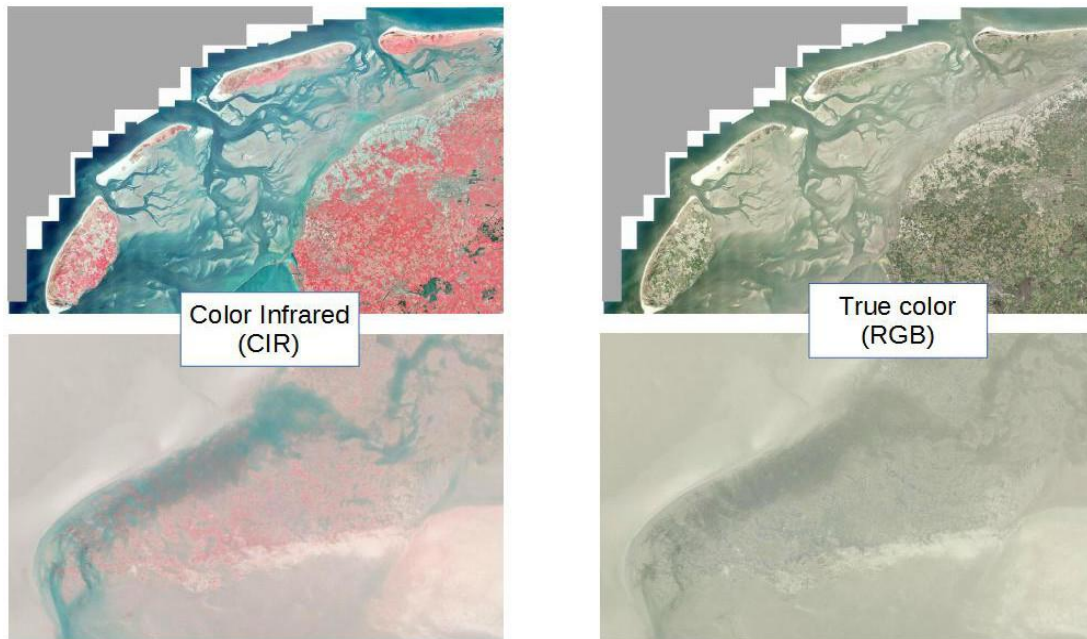
De apparaatnauwkeurigheid van gangbare laserscanners bedraagt ongeveer 1 à 5 cm (1-sigma), maar er is altijd sprake van een systeemnauwkeurigheid. Hierbij dient de nauwkeurigheid van de positioneringstechniek óók beschouwd te worden. Bij een standaard vliegtuig/helikopter-gebaseerd systeem is 5 à 10 cm voor positie en hoogte haalbaar bij gebruikmaking van een voldoende nauwkeurige GPS/IMU combinatie. Aangezien de data veelal aangesloten wordt aan bekende punten (paspunten, pasvelden) is een deel van de systematische fouten van de geo-positionering te minimaliseren. Dit hangt af van de nauwkeurigheid en de spreiding van dergelijke paspunten of pasvelden. Het is gebruikelijk de kwaliteit van de hoogtedata per laserpunt te beschrijven in termen van de maximaal toelaatbare systematische fout (systematic bias) en stochastische fout (noise). Veelgebruikte waarden hiervoor bedragen voor het gehele systeem ongeveer 5 cm stochastische fout (1-sigma) en 5 cm systematisch fout. Door lager te vliegen, meer paspunten of pasvelden te gebruiken en door meer overlap tussen de individuele vliegstroken met laserdata te gebruiken is deze nauwkeurigheid te verbeteren.



**Figuur 5.** Lidar-hoogtemodel van loopgraven (zig-zag-patronen) en een tank-greppel uit de Tweede Wereldoorlog in Limburg. De individuele laserpunten zijn omgezet naar een regelmatig raster van 50 cm x 50 cm. Rastercellen zonder laserpunten zijn opgevuld op basis van de hoogten van cellen in de omgeving (bron: AHN-2, nauwkeurigheid voldoet aan de hierboven genoemde systematische en stochastische fouten).

Naast de precisie van de laserpunten speelt ook de puntdichtheid (hoeveel punten per m<sup>2</sup>) en de puntspreiding (liggen de laserpunten geclusterd of in lijnvormige patronen of liggen de punten juist homogeen verspreid) een rol bij de toepasmogelijkheden van de lidar-data.

Classificatie van de lidar-data is een in hoge mate geautomatiseerd proces. Naast reguliere morfologische filtertechnieken is het ook mogelijk de geretourneerde wave-form van de laserpuls te analyseren en hiermee zou een betere filtering van bijvoorbeeld vegetatie en begroeiing moeten kunnen plaatsvinden (zie ook Figuur 3). De technieken voor een full wave-form analyse zijn nog in ontwikkeling en alhoewel er diverse software-tools (zoals bijvoorbeeld TerraSolid of software van lidar-hardware fabrikanten zoals Riegl) beschikbaar zijn om deze analyses uit te voeren, wordt dit soort filtering momenteel nog niet grootschalig commercieel toegepast. Een combinatie met luchtopnamen kan bij identificatie van gewassoorten of vegetatietypen helpen. Hierbij kunnen zowel opnamen in “True color” (RGB) als “Color-infrared” (CIR) een rol spelen.



**Figuur 4.** Overzichten en detailopnamen van een CIR (Color Infrared) beeld en RGB (True color) beeld van het Waddengebied (bron: Beeldmateriaal-project, opnamen in de zomer 2013, 25 cm grondpixelresolutie).

## 2.2 Inzetbaarheid en leverbetrouwbaarheid

Bij het uitvoeren van lidar-metingen mag er geen neerslag vallen en moet de luchtvochtigheid voldoende gering zijn. Daarnaast mag het te meten gebied niet onder water liggen (ook geen ondiepe plassen), aangezien water voor de bij lidar-inwinning gebruikelijk lasers als een spiegel werkt. Indien het, ten behoeve van de classificatie, nodig is simultaan luchtopnamen te maken, moet er ook daglicht zijn, moet de zon minimaal een hoek van 15 graden maken met de horizon en mag er geen bewolking zijn.

Voor het meten van de zeebodem in ondiep water kan er gebruik worden gemaakt van een bathymetrische lidar die gebruik maakt van een laser met groen in plaats van near-infrared licht. In Nederland zijn er geen grootschalige campagnes (zoals de inwinning voor het Actuele Hoogtemodel Nederland, AHN), waarbij dit type lidar wordt ingezet. Enkele fabrikanten zoals Riegl en Optech maken bathymetrische lidar hardware en diverse bedrijven (zoals Fugro Pelagos of Pelydryn) zijn in staat metingen met bathymetrische lidar uit te voeren of hebben zich hierin zelfs gespecialiseerd. Dit type lidar is beter geschikt voor het uitvoeren van metingen op het wad.

Voor het in het waddengebied gebruiken van luchtvoertuigen is toestemming van de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) nodig. Daarnaast gelden er momenteel strenge restricties op vliegbewegingen in het gebied vanuit Defensie. Ook hier moet toestemming gevraagd worden. Op dit moment (2015) kan er alleen in het weekeinde gevlogen worden. Wanneer weersomstandigheden, restricties en waterstand allemaal in acht genomen worden zijn er niet bijzonder veel mogelijkheden om data-inwinning vanuit de lucht te doen.



## 2.3 Uniformiteit

Voor zowel maaiveldhoogten als begroeiingshoogte (en/of bebouwingshoogten) levert lidar een uniforme kwaliteit van gegevens. Eventueel aanwezige geometrische fouten hebben veelal ook een uniform karakter (systematische hoogte- of positieafwijking). Aanvullende afwijkingen kunnen ontstaan door fouten in de classificatie. Veelal hebben deze echter ook een uniform karakter: als het fout is, dan betreft het vaak een systematisch fout.

## 2.4 Regionale geschiktheid

Doordat de ondergrond droog moet zijn is de techniek op basis van een near-infrared lidar (de meest gebruikelijke) niet geschikt om het wad in natte toestand te meten. Permanent natte delen zullen hiermee nooit opgenomen worden. Bathymetrische lidar is voor metingen op het Wad beter geschikt (of een combinatie van beide lidar-types). Zie verder ook paragraaf over inzetbaarheid.

## 2.5 Continuïteit

Grootschalige inwinning van lidar data (heel NL) wordt elke 5 jaar gedaan (voor zover nu bekend). Individuele initiatieven (NAM Wad-monitoring) kunnen een beduidend hogere frequentie hebben. In principe kan capaciteit bij commerciële lidar-inwinners worden ingekocht.

## 2.6 Prijs/kwaliteit

AHN (Actueel Hoogtemodel Nederland) in versies 1 (1995-2005) en versie 2 (2007-2013) zijn vrij beschikbaar op [www.pdok.nl](http://www.pdok.nl). Andere data zijn niet vrijelijk beschikbaar. De prijs voor het uitvoeren van lidar-vluchten voor specifieke gebieden hangt sterk af van de gebiedsgrootte (hoe groter, hoe goedkoper per oppervlakte-eenheid), de complexiteit van inwinning en verwerking (met name classificatie) en de marktwerking.

Vaste kosten (huur apparaat, huur vliegtuig, afschrijving, mobilisatie/de-mobilisatie, standby-tijd) vormen een significant deel van de prijsstelling bij lidar-metingen. Het kan interessant zijn metingen gecombineerd met andere geïnteresseerden uit te laten voeren, zelfs al zouden hierdoor bijvoorbeeld het op te nemen oppervlak en/of de punt dichtheid van de metingen toenemen.

## 2.7 Toepassingskader monitoring binnen probleemaafbakening

Lidar-metingen zijn goed geschikt voor het monitoren van bodembewegingen. Het monitoren van vegetatie is met deze techniek niet in alle gevallen mogelijk. De eis dat de ondergrond droog moet zijn onder de vegetatie zorgt dat niet in alle gevallen vegetatiehoogten gemeten kunnen worden. Is de ondergrond droog, dan kunnen vegetatiehoogten gemeten worden indien de vegetatie niet te dicht is. De vorm van de aanwezige vegetatie kan mogelijk met een analyse van de wave-form van het geretourneerde laser-sigitaal uitgevoerd worden. Deze techniek wordt echter momenteel voornamelijk toegepast bij het monitoren van boom-kronen, maar is

momenteel nog geen volledig uitgekristalliseerde techniek die uitgebreid commercieel wordt aangeboden.

### 3 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- De grootschalige AHN-metingen geven een 5-jaarlijkse cyclus van de hoogte van het Waddengebied (de droge delen) en zijn publiekelijk beschikbaar. Indien deze cyclus herhaald blijft worden, kunnen uit tijdsreeksen van bodembewegingen mogelijk voorspellingen gedaan worden en kan vroegtijdig ingegrepen worden. Jaarlijkse monitoring met lidar is evenwel goed mogelijk, maar kostbaar.
- Bathymetrische lidar is beter geschikt voor het meten van de ondergrond in ondiep water. Dit type lidar is minder gebruikelijk maar er zijn enkele bedrijven die dergelijke metingen kunnen uitvoeren.
- Monitoring van vegetatiehoogte is met lidar mogelijk, monitoring van de toestand van de vegetatie slechts in zeer beperkte mate.

## 4 REFERENTIES

Hopkinson, D., L.E. Chasmer, G. Zsigovics, I.F. Creed, M. Sitar, P. Treitz & Maher, R.V., 2004. Errors in LIDAR Ground Elevation and Wetland Vegetation Height Estimates. ISPRS proceedings XXXVI-8/W2.