

## Memo

**Aan**  
Harry Piening, Jeroen Jansen, Auditcommissie

<b>Datum</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Aantal pagina's</b>
29 augustus 2016	1221249-000-ZKS-0008	5
<b>Van</b>	<b>Doorkiesnummer</b>	<b>E-mail</b>
Reinier Schrijvershof	+31(0)88335 7483	reinier.schrijvershof@deltares.nl

**Onderwerp**  
Meetfout van de LiDAR gegevens van het Friesche Zeegat

---

### 1 Aanleiding tot het voorliggende memo

Op 7 juni 2016 is in Leeuwarden de Zeegse VII bijeenkomst gehouden. Door middel van een posterpresentatie is de verwerking van de LiDAR gegevens van het Friesche Zeegat gepresenteerd. Tijdens deze bijeenkomst is er overleg geweest tussen Deltares en de Audit commissie over het commentaar dat per memo door de Auditcommissie is gegeven (*3110 Auditcommissie, memo lidar.pdf*). Uit de postersessie en het overleg tussen Deltares en de Auditcommissie zijn enkele verbeterpunten en aanbevelingen naar voren gekomen. Deze punten staan hieronder beschreven.

1. Hypsometrische curven van de bodemhoogteveranderingen zijn voor niet ingevoerde mensen lastig te interpreteren. Door middel van een filmpje van de reeks aan bodemopnamen kunnen de veranderingen gemakkelijker inzichtelijk gemaakt worden.
2. Er kan een (lineaire) trendanalyse van individuele meetpunten worden uitgevoerd om een beeld te krijgen welke gebieden structureel sedimenteren/eroderen. Een lineaire trend is dan een eerste benadering. Naarmate wadplaten het GHW niveau bereiken zal de trend zeker niet meer lineair zijn. Hier moet bij de interpretatie van een dergelijke analyse rekening mee worden gehouden.
3. De LiDAR meetgegevens kunnen geïntegreerd worden met andere metingen, zoals de spijkermetingen.
4. Het totale gebied van het Pinkegat (63 km<sup>2</sup>) in het Deltaresrapport komt niet overeen met het oorspronkelijke gebied van 60 km<sup>2</sup>. Blijkbaar komen de beide polygonen niet helemaal overeen.
5. Op de bijeenkomst is gebleken dat er momenteel nog steeds onduidelijkheid bestaat over de meetfout die gehanteerd dient te worden voor de LiDAR meetgegevens. Dit komt onder andere door de vraag of een bepaalde fout systematisch of stochastisch is en wanneer deze tegen elkaar weg vallen. Door de normaalverdeling van alle hoogteverschillen van opeenvolgende verschilkaarten te plotten, kan een orde-grootte benadering van de meetfout worden verkregen. Er zitten echter ook morfologische veranderingen tussen die hoogteverschillen, die kunnen leiden tot een grotere of kleinere standaarddeviatie van de normaalverdeling.

De discussiepunten 1 t/m 3 kunnen in de eerstvolgende Deltares LiDAR-rapportage opgepakt worden (na nader overleg tussen Deltares en NAM). Discussiepunt 4 wordt behandeld in het memo van de NAM (*Piening, 2016*). Discussiepunt 5 wordt in dit memo behandeld.

## 2 Meetfout van de verschilkaarten

Aan Deltares worden de LiDAR opnames aangeleverd in de vorm van ASCII-bestanden met een roosterresolutie van 1x1 m. De ASCII-bestanden worden gemaakt door de individuele meetpunten, met een dichtheid van 1 tot meer dan 4 (>8 bij Eurosense) punten per m<sup>2</sup> te middelen naar een 1x1 m rooster. De individuele punten kunnen de volgende meetfouten bevatten:

- 1 Hoogfrequente ruis van het LiDAR meetsysteem (stochastische fout). Deze fout zal wegvallen bij vergridding naar 10x10 m.
- 2 Laagfrequente navigatiefout: meetfout met een langgolvig karakter als gevolg van de beweging van het vliegtuig. Deze fout kan gedurende enkele seconden van de vlucht (overeenkomstig met honderden meters) constant worden verondersteld. Deze fout valt niet weg door vergridding en wordt door de meetpartij als stochastisch beschouwd.
- 3 Systematische fout in de locatiebepaling: deze meetfout is constant over het meetgebied en zal worden uitgefilterd door inpassing met de GPS-punten.

Het is onduidelijk in hoeverre punt 3) bijdraagt aan de meetfout. In de laatste opname, van zomer 2015, lijkt de GCP correctie een extra fout te introduceren.

Door de meetpartij worden de bovenstaande foutenbronnen als volgt gekwantificeerd voor een afwijking in de hoogte (z-coördinaat):

- Systematische fout: 3.8 cm (komt overeen met fout onder punt 2)
- Stochastische fout 3.0 cm (het is niet duidelijk welke fout dit is).

Deltares verwerkt de LiDAR meetgegevens door de ASCII 1x1 m data om te zetten naar roostercellen met een resolutie van 10x10 m. Uitschieters uit de data worden eerst verwijderd door alle punten met een hoogteligging hoger dan 2 m NAP te verwijderen, daarna vindt de omzetting plaats door de datapunten uit de 1x1 m ASCII te middelen naar 10x10m ASCII. Data met een bodemhoogteligging lager dan -0,5 m NAP worden verwijderd om de waterspiegel uit te filteren (*Schrijvershof en Vroom, 2015*). Een verschilkaart van twee opeenvolgende opnamen geeft dan het verschil in bodemhoogte (voor alle individuele punten) tussen de twee opeenvolgende opnamen. Voor verschilkaarten zal de meetfout per definitie  $\sqrt{2}$  maal de totale fout van een individuele kaart bedragen.

De hoogteverschillen van de verschilkaarten kunnen het gevolg zijn van twee factoren. Enerzijds zijn er de werkelijke opgetreden veranderingen in bodemhoogte. Dit kan zowel een toe- als afname in bodemhoogte zijn. Anderzijds zijn er verschillen tussen twee opeenvolgende bodemopnamen die niet het gevolg zijn van werkelijke opgetreden bodemhoogteveranderingen. Deze verschillen zijn het gevolg van de meetfout(en) van de LiDAR meetgegevens. Deze verschillen kunnen eveneens zorgen voor een toe- of afname in bodemhoogte.

De verdeling van de bodemhoogteverschillen van een verschilkaart kan verondersteld worden normaal verdeeld te zijn. De variatie van de bodemhoogteverschillen van één verschilkaart

wordt dan weergegeven door één maal de standaarddeviatie ( $1\sigma$ ) van die bodemhoogteverschillen. Deze variatie in bodemhoogteverschillen wordt dus veroorzaakt door werkelijke veranderingen in bodemhoogte en veranderingen die het gevolg zijn van de meetfout(en). In het theoretische geval dat er geen morfologische veranderingen zijn opgetreden, geeft de standaarddeviatie de stochastische meetfout en het gemiddelde de systematische meetfout. Door verschilkaarten van twee opeenvolgende bodemopnamen te beschouwen zijn de morfologische veranderingen relatief klein. De standaarddeviatie geeft dan een benadering van de stochastische meetfout van een verschilkaart.

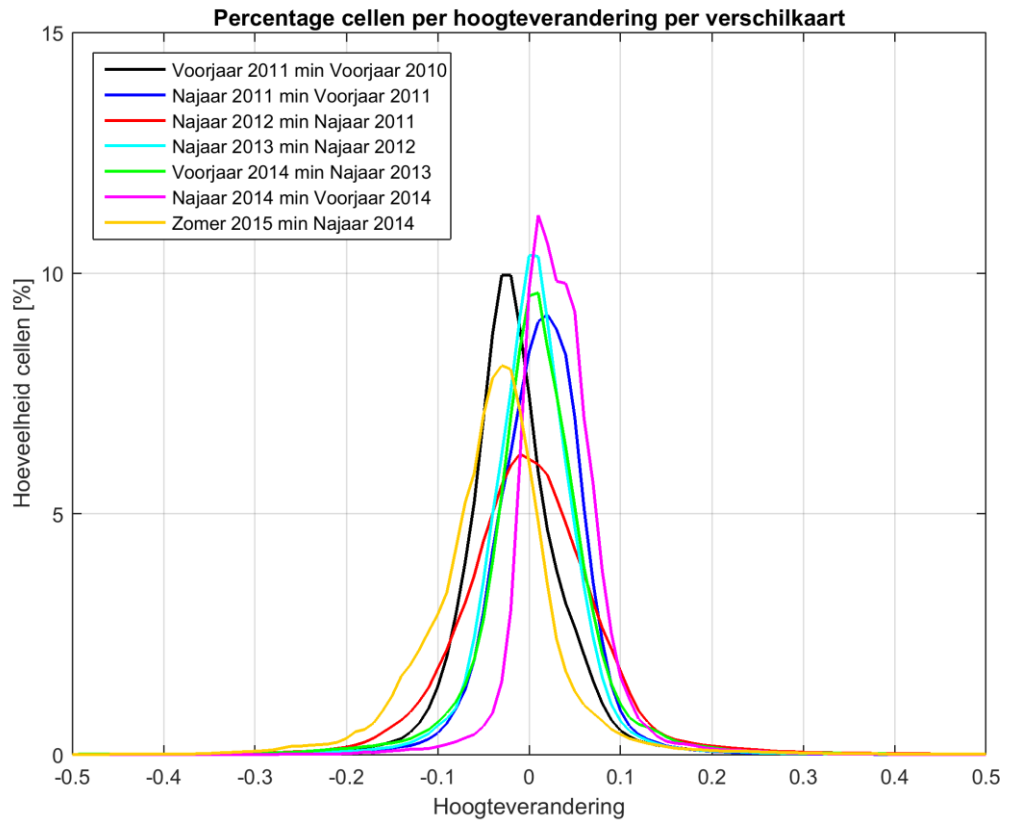
De normaalverdelingen van de verschilkaarten zijn weergegeven in Figuur 2.1 en Figuur 2.2. De curven laten duidelijk zien dat de verschillen niet geheel normaal verdeeld zijn, doordat de curve niet perfect symmetrisch is en de top van de curve niet altijd met de gemiddelde waarde ( $\mu$ ) overeenkomt. De curve van de verschilkaart van Najaar 2014 met Voorjaar 2014 is sterk asymmetrisch. Dit komt waarschijnlijk door de waterspiegel die ter hoogte van Ternaard is ingemeten. De normaalcurve van de verschilkaart van Zomer 2015 en Najaar 2014 wijkt ook sterk af doordat de top van de curve ver naast de gemiddelde waarde ligt. Enerzijds kan dit komen door de GCP-correctie die op de dataset van de zomer van 2015 is toegepast, anderzijds speelt het inmeten van de waterspiegel in de opname van Najaar 2014 ook in deze verschilkaart een rol.

Het gemiddelde en de standaarddeviatie van alle verschilkaarten van opeenvolgende bodemopnamen zijn weergegeven in Tabel 2.1. De kleinste standaarddeviatie van deze gehele reeks aan verschilkaarten geeft niet de beste benadering van de meetfout van alle verschilkaarten, omdat de werkelijke veranderingen in bodemhoogte de standaarddeviatie van de verschilkaarten zowel groter als kleiner kan maken. Als er bijvoorbeeld over een groot gebied exact dezelfde sedimentatie is opgetreden, zal dit resulteren in een smallere normaalverdeling met een hogere piek. De standaarddeviatie is dan klein, terwijl de meetfout even groot is als er geen sedimentatie zou zijn opgetreden. Het gemiddelde van de standaarddeviatie van deze reeks aan verschilkaarten geeft wel een goede benadering van de meetfout die gehanteerd dient te worden voor de verschilkaarten van de LIDAR meetgegevens.

Doordat de laatste twee verschilkaarten duidelijk aanwijsbare fouten bevatten, kan er bij het middelen van de standaarddeviatie van de verschilkaarten beter geen gebruik gemaakt worden van deze laatste twee kaarten. Het gemiddelde van de standaarddeviatie van de eerste vijf verschilkaarten is 0,0723. De meetfout die op basis van deze analyse voor de verschilkaarten gehanteerd dient te worden is dus 7,23 cm. Voor een individuele kaart betekent dit dat de stochastische fout 7,23 cm gedeeld door  $\sqrt{2}$  is, oftewel 5,11 cm.

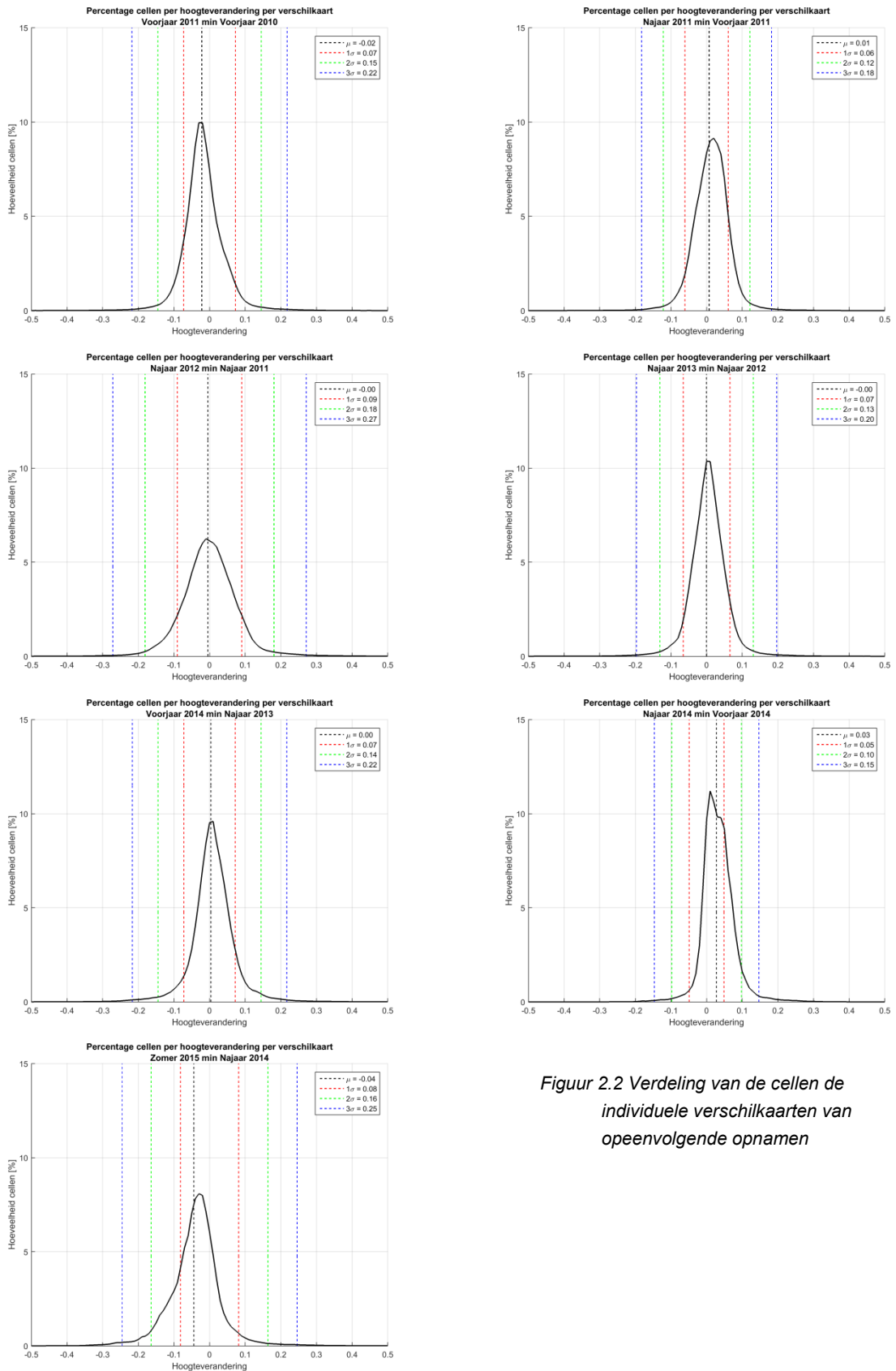
*Tabel 2.1 Gemiddelde en standaarddeviatie van de verschilkaarten tussen alle opeenvolgende kaarten.*

<b>Verschilkaart</b>	<b><math>\mu</math></b>	<b><math>\sigma</math></b>
Voorjaar 2011 – Voorjaar 2010	-0.0218	0.0726
Najaar 2011 - Voorjaar 2011	0.0073	0.0607
Najaar 2012 – Najaar 2011	-0.0048	0.0904
Najaar 2013 – Najaar 2012	-0.0007	0.0655
Voorjaar 2014 – Najaar 2013	0.0038	0.0722
Najaar 2014 – Voorjaar 2014	0.0276	0.0489
Zomer 2015 – Najaar 2014	-0.0440	0.0819



*Figuur 2.1*

*Verdeling van de cellen van verschilkaarten van opeenvolgende opnamen.*



Figuur 2.2 Verdeling van de cellen de individuele verschilkaarten van opeenvolgende opnamen