

Nauwkeurige dieptemetingen

overwegingen & een methode

drs. ir. Eric Weijters

Weijters Archeologie & Techniek



www.weijters.net

Het inmeten van een wrakveld

Een in onze Nederlandse wateren goed bruikbare methode om scheepswrakken in te meten is de zgn. Direct Survey Method (DSM). In de wrakresten worden op een aantal plaatsen spijkers geslagen: de meetpunten. Met een meetlint worden de onderlinge afstanden tussen deze punten gemeten en met een dieptemeter de diepte van de punten. De meetwaarden kunnen vervolgens met behulp van een software programma worden verwerkt tot een tekening waarop te zien is hoe de punten ten opzichte van elkaar liggen.

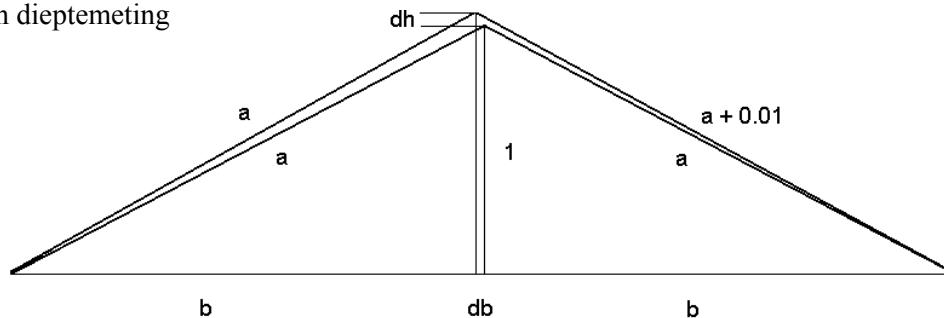
De meetlinten kunnen op 1 cm nauwkeurig worden afgelezen maar een digitale dieptemeter of duikcomputer heeft over het algemeen een afleesnauwkeurigheid van 10 cm: zo worden bijvoorbeeld 9.650 en 9.749 afgerond tot 9.7 m. De Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek (ROB) beschikt wel over een 1 cm nauwkeurige -maar zeer kostbare- dieptemeter.

Nauwkeurige dieptemetingen: nodig of niet ?

Nu volgen een aantal voorbeelden waaruit duidelijk moet worden in hoeverre nauwkeurige dieptemetingen van belang zijn. Om het rekenwerk eenvoudig te houden zijn het voorbeelden in een 2 dimensionaal vertikaal vlak: dit heeft geen essentiële gevolgen voor het 'vertalen' van de conclusies naar 3 dimensies. Het snijpunt kan berekend worden met 2 afstanden of een afstand en een dieptemeting. Gekeken wordt wat het effect is van een fout in een van de meetwaarden. Een dergelijke fout kan ontstaan doordat een meetlint doorhangt door zijn eigen gewicht, door de stroming of er kan bijvoorbeeld sprake zijn van een afleesfout. De belangrijkste fout bij het gebruik van een duikcomputer is een gevolg van de geringe afleesnauwkeurigheid.

1) vanaf 2 bekende meetpunten wordt een nieuw punt ingemeten:

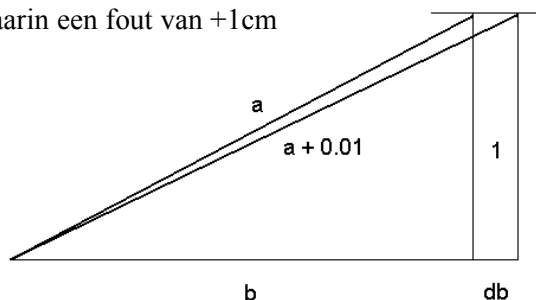
- 2 (gelijke) afstanden, waarbij verondersteld wordt dat in 1 afstand een fout zit van +1 cm (0.01 m)
- geen dieptemeting



b=20 m: fout van 1 cm geeft bijna 10-voudige afwijking in de lokatie: 9.6 cm in hoogte en 0.5 cm horizontaal
 b=10 m: fout van 1 cm geeft bijna 5-voudige afwijking in de lokatie: 4.9 cm in hoogte en 0.5 cm horizontaal
 b= 5 m: fout van 1 cm geeft 2.6-voudige afwijking in de lokatie: 2.5 cm in hoogte en 0.5 cm horizontaal
 b= 1 m: fout van 1 cm geeft zelfde afwijking in de lokatie: 0.7 cm in hoogte en 0.7 cm horizontaal

2) een nieuw punt wordt ingemeten met:

- 1 afstand vanaf een bekend meetpunt met daarin een fout van +1cm
- een nauwkeurige ('exacte') dieptemeting

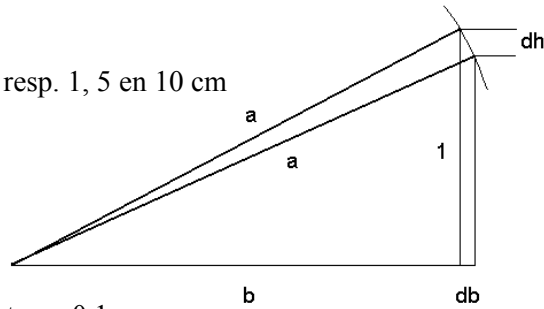


b=20 m: fout van 1 cm geeft een horizontale afwijking van 1.0 cm
 b=10 m: fout van 1 cm geeft een horizontale afwijking van 1.0 cm
 b= 5 m: fout van 1 cm geeft een horizontale afwijking van 1.0 cm

b= 1 m: fout van 1 cm geeft een horizontale afwijking van 1.4 cm

3) een nieuw punt wordt ingemeten met:

- 1 afstand vanaf een bekend meetpunt
- een dieptemeting met daarin een fout van resp. 1, 5 en 10 cm



b=20 m: hoogte fout van 1 cm geeft horizontale fout van 0.1 cm,			
„ 5 cm	„	0.2 cm,	
„ 10 cm	„	0.5 cm	
b=10 m: hoogte fout van 1 cm geeft horizontale fout van 0.1 cm,			
„ 5 cm	„	0.5 cm,	
„ 10 cm	„	1.0 cm	
b= 5 m: hoogte fout van 1 cm geeft horizontale fout van 0.2 cm,			
„ 5 cm	„	1.0 cm,	
„ 10 cm	„	1.9 cm	
b= 1 m: hoogte fout van 1 cm geeft horizontale fout van 1.0 cm,			
„ 5 cm	„	4.8 cm	
„ 10 cm	„	9.1 cm	

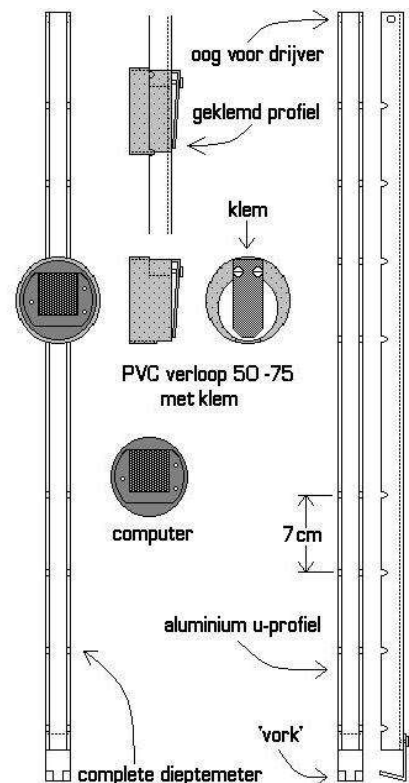
In een uitgestrekt veld met geringe hoogte verschillen blijkt dat een kleine fout in een gemeten afstand een grote afwijking tot gevolg heeft, een fout die niet voorkomt indien de diepte nauwkeurig is opgemeten. Meer algemeen is te stellen dat wanneer de meetpunten in een vlak liggen -niet noodzakelijkerwijs horizontaal- dat dan meetfouten bij het inmeten van een nieuw meetpunt grote afwijkingen loodrecht op dit vlak veroorzaken: nauwkeurige dieptemetingen kunnen dit probleem voor een groot deel voorkomen.

De dieptemeter

Het idee is nu om per meetpunt meerdere metingen te doen zodat uit een aantal metingen een nauwkeuriger gemiddelde kan worden bepaald. Het heeft geen zin om op dezelfde hoogte meerdere metingen te doen omdat daar steeds dezelfde waarde uit zal komen. Als een volgende meting echter op een exact bekende afstand boven het meetpunt wordt gedaan dan is een nieuwe waarde te bepalen door deze afstand bij de meetwaarde op te tellen. Zo worden er een aantal metingen op exact bekende afstanden boven het meetpunt gedaan waarna er van de herleidde waarden voor het meetpunt een gemiddelde wordt bepaald.

Om de toepassing van het idee mogelijk te maken is er een hulpmiddel bedacht om onderwater eenvoudig metingen te kunnen doen op exact bekende hoogten boven een meetpunt.

De tekening toont de complete dieptemeter. De ‘vork’ omklemt de kop van de meetspijker. Een kleine drijver zorgt ervoor dat de dieptemeter onderwater vertikaal staat. De duikcomputer is geklemd in een kunststof houder en deze houder is over een aluminium profiel te verschuiven. Een op de houder gemonteerde veer zorgt ervoor dat de houder eenvoudig in



een van de 8 kerfjes geklemd wordt. De onderlinge afstand van de kerfjes is 0.07 m waarbij een kerfje is overgeslagen.

Om te meten in hoeverre de druksensor niet lineair is, is een ijkmeting gedaan. Onderwater is met behulp van een grondanker en een hefballon een meetlint vertikaal gespannen. De dieptemeter is daarna op dit lint geklemd waarna er op 13 plaatsen (meetpunten) steeds 8 metingen zijn verricht. De eerste waarde in de tabel is steeds de aflezing op het lint, dit is de exacte diepte minus steeds dezelfde onbekende constante: het lint liep immers niet geheel door naar het wateroppervlak. Voor een programma als Web-It zijn enkel de onderlinge afstanden belangrijk en dus is het niet nodig te kijken op de exacte waterdiepte. Per meetpunt zijn de metingen genummerd van m_1 tot en met m_8

Zoals gezegd moet de druksensor geijkt worden maar om van een druk naar een diepte te komen is ook nog de dichtheid van het water van invloed: uit de ijkmetingen is ook per meetpunt deze factor 'c' te berekenen waarna er gemiddeld wordt over de 13 meetpunten in de veronderstelling dat de dichtheid over dit kleine interval van 5 m constant is.

lint	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8
14.000	15.1	15.1	15.0	14.8	14.7	14.7	14.6	14.6
13.950	15.0	15.0	14.9	14.8	14.7	14.6	14.6	14.5
13.500	14.6	14.6	14.5	14.3	14.2	14.1	14.0	14.0
13.000	14.0	14.0	13.9	13.9	13.7	13.6	13.5	13.4
12.750	13.9	13.7	13.6	13.5	13.3	13.3	13.3	13.3
12.500	13.5	13.4	13.3	13.3	13.1	13.1	13.0	12.9
12.250	13.3	13.2	13.1	13.0	12.9	12.8	12.8	12.7
11.500	12.5	12.4	12.3	12.3	12.2	12.1	12.0	11.9
11.000	12.0	11.9	11.8	11.8	11.6	11.6	11.5	11.5
10.500	11.5	11.5	11.3	11.3	11.2	11.1	11.0	10.9
10.000	11.0	10.9	10.9	10.8	10.7	10.6	10.5	10.5
9.500	10.5	10.4	10.4	10.4	10.1	10.1	10.0	9.9
9.000	10.0	9.9	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.5

de ijkmetingen (in m)

Berekeningen

Per meetpunt is de factor c te berekenen door steeds het gemeten 'hoogteverschil' te delen door het exacte hoogteverschil:

$$\begin{aligned}
 & ((m_1 - m_8) / 0.56 + \\
 & ((m_1 - m_7) + (m_2 - m_8)) / 0.49 + \\
 & ((m_1 - m_6) + (m_2 - m_7) + (m_3 - m_8)) / 0.42 + \\
 & ((m_1 - m_5) + (m_2 - m_6) + (m_3 - m_7) + (m_4 - m_8)) / 0.35) / 10 = c
 \end{aligned} \tag{1}$$

Vervolgens wordt het gemiddelde genomen van alle 13 meetpunten, het resultaat is $c=1.015$. Met deze c is het gemiddelde van de dieptemetingen te berekenen:

$$\begin{aligned}
 & ((m_1/c) + (m_2/c + 0.07) + (m_3/c + 0.14) + (m_4/c + 0.21) + (m_5/c + 0.35) + (m_6/c + 0.42) + (m_7/c + 0.49) + (m_8/c + 0.56)) / 8 = \\
 & (\sum \text{stap} + \sum \text{meting} / c) / 8 = \text{diepte}
 \end{aligned} \tag{2}$$

In formule (2) is de berekening van het gemiddelde herschreven in een korte formule. Als voorbeeld hier de berekening voor het eerste meetpunt met behulp van formule (2):

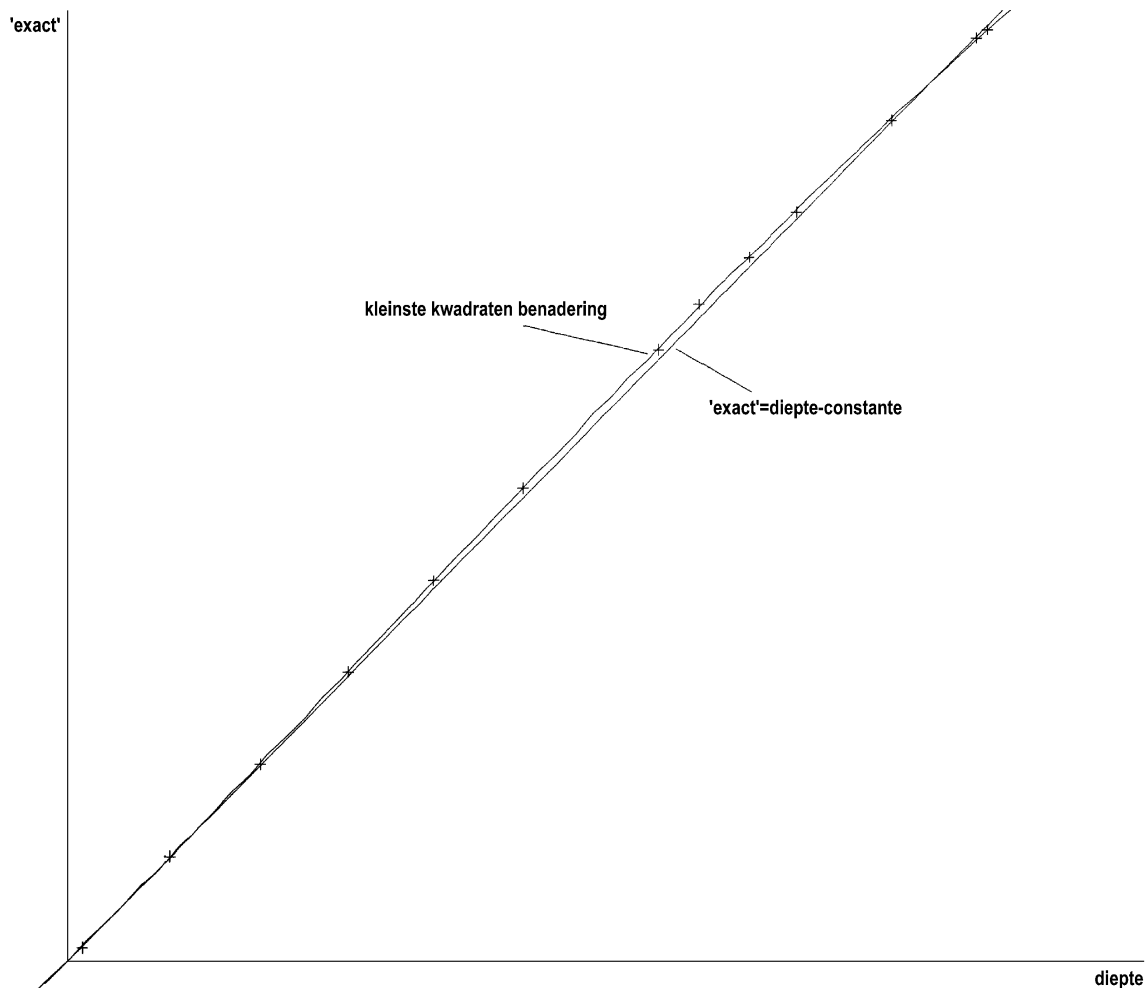
$$((0.07+0.14+0.21+0.35+0.42+0.49+0.56)+(15.1+15.1+15.0+14.8+14.7+14.7+14.6+14.6)/1.015)/8 = 14.886$$

Als nu voor alle meetpunten deze berekening wordt uitgevoerd en de resultaten uitgezet worden in een grafiek tegen de exacte waarden van het meetlint; dan blijkt dat door de punten een licht gebogen kromme te trekken is. In het ideale geval -bij een perfecte druksensor- zou hier sprake zijn geweest van een rechte lijn.

$$\text{diepte}_{\text{exact}} = \text{diepte} - 0.84 \tag{3}$$

De constante is een gevolg van het feit dat het meetlint bij de ijkmetingen niet geheel tot het wateroppervlak kwam. Met de kleinste kwadraten methode is vervolgens een benadering gemaakt voor de licht gebogen lijn. Met deze vergelijking kunnen de met formule (2) berekende eerste benaderingen worden gecorrigeerd.

$$\text{diepte}_{\text{exact}} \sim -0.0043488 \text{ diepte}^3 + 0.1510881 \text{ diepte}^2 - 0.7194869 \text{ diepte} + 5.56979 = \text{diepte}_{\text{gecorrigeerd}} \tag{4}$$



Als we de eerste benadering voor het eerste meetpunt (14.886) invullen dan is de $\text{diepte}_{\text{gecorrigeerd}} = 13.994$ ipv. de exacte waarde **14.000** maar het verschil is zeer gering. De verwerking van de meetgegevens is gedaan met

software: de weergegeven waarden zijn afgerond en daarom is bv. $14.000 - 13.994 = 0.005$. Dit verschil -de laatste rij van de onderstaande tabel- geeft de nauwkeurigheid aan van de gevolgde methode

14.000	13.950	13.500	13.000	12.750	12.500	12.250	11.500	11.000	10.500	10.000	9.500	9.000
14.886	14.825	14.357	13.827	13.569	13.285	13.064	12.312	11.820	11.339	10.859	10.354	9.874
13.994	13.940	13.513	13.011	12.760	12.480	12.260	11.498	10.993	10.497	10.004	9.490	9.009
0.005	0.009	0.013	0.011	0.010	0.019	0.010	0.001	0.006	0.002	0.004	0.009	0.009

de nauwkeurigheid (in m)

Gemiddeld komt de nauwkeurigheid op 0.8 cm met een uitschieter naar 1.9 cm: het is echter mogelijk dat er in de bijhorende serie van 8 metingen sprake is geweest van een meet- of notatiefout.

Nu de ijking van de dieptemeter gereed is kan vervolgens het wrak ingemeten worden. De ijking is gedaan voor waarden waarbij de m_i (de eerste meetwaarde per meetpunt) ligt tussen de 15.1 en 10.0 meter: formule (4) is enkel geldig voor dit interval. De 8 metingen per meetpunt worden met formule (2) omgerekend in een eerste benadering en vervolgens met formule (4) tot de waarde die in de Direct Survey Method gebruikt kan worden.

Bij de gevolgde methode is na ijking van de dieptemeter deze ook te gebruiken als er sprake is van een groot temperatuur- en dus dichtheidsverschil (zomer-winter) of in ander water (zout-zoet). Zo kan de ijking ook plaats vinden onder gecontroleerde omstandigheden op een andere lokatie. Het is dan echter wel nodig om voldoende metingen op het wrak te doen om een nieuwe factor c met formule (1) betrouwbaar te kunnen berekenen.

Een vergelijkbare situatie ontstaat als de fabrikant gegevens beschikbaar stelt waaruit blijkt in hoeverre de druksensor niet lineair is, vergelijkbaar met formule (4). Dan is een ijkmeting niet nodig. De meetwaarden op het wrak worden dan gebruikt om de factor c te berekenen en vervolgens worden formule (2) en (4) gebruikt voor de berekening van de diepte.

Conclusie

Wie een wrakveld goed in wil meten moet in een aantal situaties de beschikking kunnen hebben over een dieptemeter waarmee de diepte nauwkeurig kan worden bepaald. Het is met de besproken methode mogelijk om met eenvoudige middelen nauwkeurige dieptemetingen te doen. Het rekenwerk kan over gelaten worden aan een software programma. Als fabrikanten meer gegevens verstrekken dan is het heel wel mogelijk dat er een dieptemeter blijkt te zijn waarmee niet 8 metingen per meetpunt gedaan moeten worden maar bijvoorbeeld slechts 6, waardoor er per duik meer meetpunten afgewerkt kunnen worden.