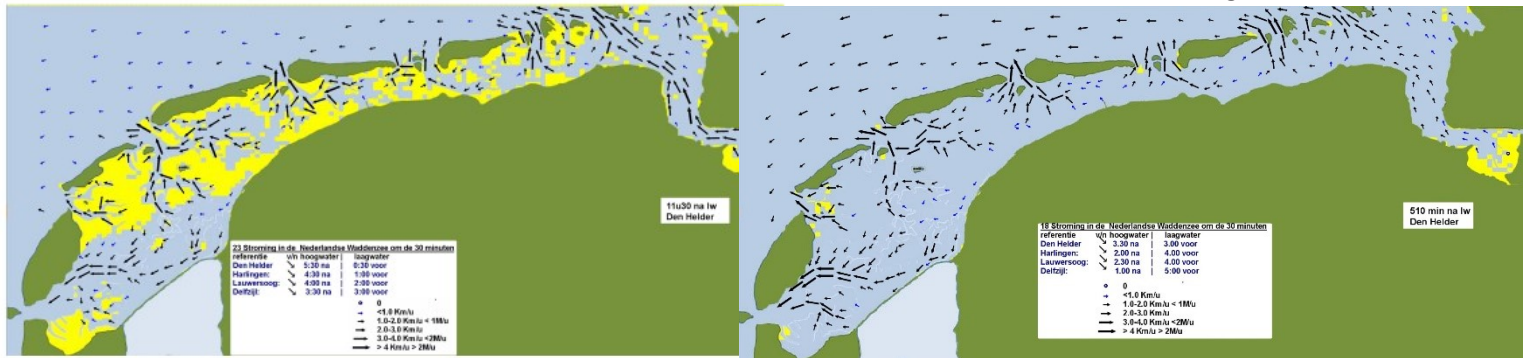


# Stroming in de Waddenzee

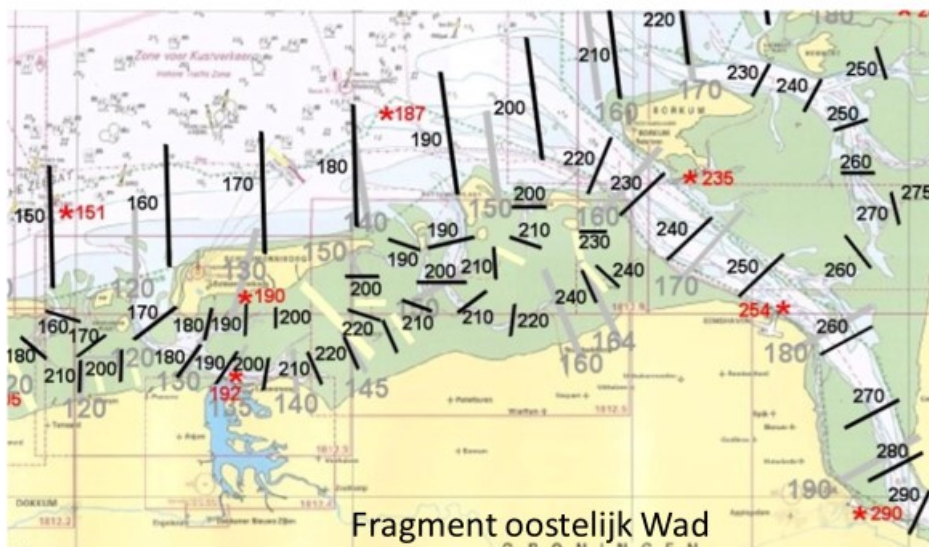
Robbert van der Eijk, uitgewerkte Powerpoint Presentatie 19-2-2020 GKV Groningen



## Inleiding

1. [Animatie](#): Het water in de Waddenzee stroomt ingewikkeld door de geulen en over de platen als gevolg van de getijden.

## 10-minuten –isokentertijden 1.0



2. Waarom heb ik mij verdiept in stromingen in de Waddenzee?  
In 2015 heb ik aan de hand van de tijdsverschillen van hoog- en laagwater tussen de meetpunten van Rijkswaterstaat geschat waar, gerekend vanaf Noorderhaaks het hoog- resp. laagwater is. Zo berekende ik hoogwaterlijnen en laagwaterlijnen die ik kenterlijnen of kenteringlijnen heb genoemd.  
Op die manier kun je voor elk willekeurig punt op de Waddenzee inschatten wanneer het ter plaatse hoog- of laagwater is als je de getijdengegevens van een meetpunt in de buurt weet. Ik dacht dat ik iets nieuws had bedacht maar in 1977 en in 1956 waren er door Rijkswaterstaat ook al zgn. reductiekaarten gemaakt volgens hetzelfde idee.  
Maar ik kreeg commentaar dat ik de hoogwater- en laagwaterlijnen geen kenter(ing)lijnen mocht noemen omdat de kentering en hoogwater of laagwater niet hetzelfde is. Hoe zit dat?

3. Vorig jaar bedacht ik dat bij het opdelen in stukken van 10 minuten ik ook rekening zou moeten houden met de verschillende snelheden waarmee de getijdengolf zich voort beweegt in het Waddengebied: de getijdensnelheid.

Het resultaat zijn nieuwe kaarten met laagwaterlijnen resp. hoogwaterlijnen, te downloaden van [nautin.nl/getij](http://nautin.nl/getij) en [wadkanovaren.nl/getijden](http://wadkanovaren.nl/getijden).

Toen ik met de verschillen in getijdensnelheid begon te rekenen en meer in detail ging kijken naar de stromingen in de Waddenzee werd ik geconfronteerd met de complexiteit er van. Het bleek niet een kwestie van eenvoudig hoge snelheid bij het zeegat en geen snelheid bij het wantij zoals ik aanvankelijk dacht. Het bleek ingewikkelder in elkaar te zitten.

## 10-minuten –isokentertijden 2.0



4. Voor het opstellen van de 10-minuten hoogwater en laagwater lijnen heb ik gebruik gemaakt van de tijdsverschillen tussen de verschillende meetpunten waar de getijdentabellen voor hoog- en laagwater op zijn gebaseerd. Toen ik bij de berekening ook rekening wilde houden met het verschil in getijdensnelheid tussen die punten en/of wantijen, liep ik er tegen aan dat ik niet simpelweg de getijdensnelheid van het zeegat tot aan het eindpunt kon laten aflopen; zo simpel was het niet.

Neem als voorbeeld de situatie

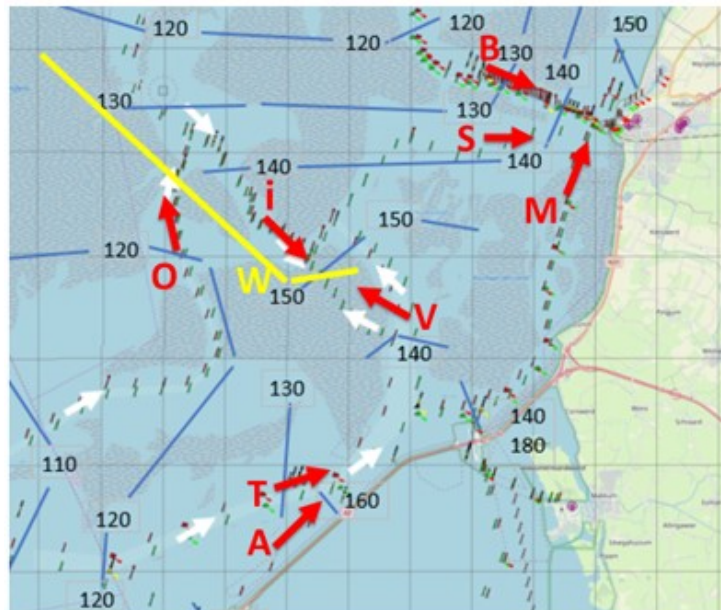
tussen de Afsluitdijk en Harlingen als voorbeeld. Bij het Marsdiep stroomt bij opkomend tij het water de Waddenzee binnen en vertakt zich in twee hoofdstromingen.

Een deel stroomt langs Texel met een bocht naar Kornwerderzand en door naar Harlingen (T). Een ander deel stroomt met een omweg via Den Oever langs de Afsluitdijk ook richting Kornwerderzand (K), en voegt zich bij de Texelstroom die daar al ca 40 minuten eerder is aangekomen. Wat doet dat met de stroomsnelheid en wat met het moment van hoog en laagwater tussen Kornwerderzand en Harlingen?

Het geheel stroomt door naar Harlingen (M) waar de situatie nog weer ingewikkelder is omdat daar ook de vloedgolf (B) vanuit de Blauwe Slenk en de Vliestroom tussen Vlieland en Terschelling al eerder is aangekomen bij Harlingen. Bovendien voegen zich daar ook nog bij de samengevoegde stroming (S) van de Inschot (I) en Verversgat (V) bij Harlingen.

Het wordt nog ingewikkelder bij het wantij (W) tussen het stroomgebied van het Marsdiep en dat van de Vliestroom/Blauwe Slenk. Aftakkingen van de Texelstroom (O en V) uit het westen stuiten bij het wantij op de Inschot aftakking (I) van de Vliestroom uit het noorden. Daarmee was mijn interesse in het hoe en wat van stroming in het Wad gewekt en heb ik mij er verder in verdiept met dit verhaal als resultaat.

## complexe situaties stromingen in de Waddenzee



## Waarom bestaat er eb en vloed?

### De watermassa op de aarde vanuit de ruimte



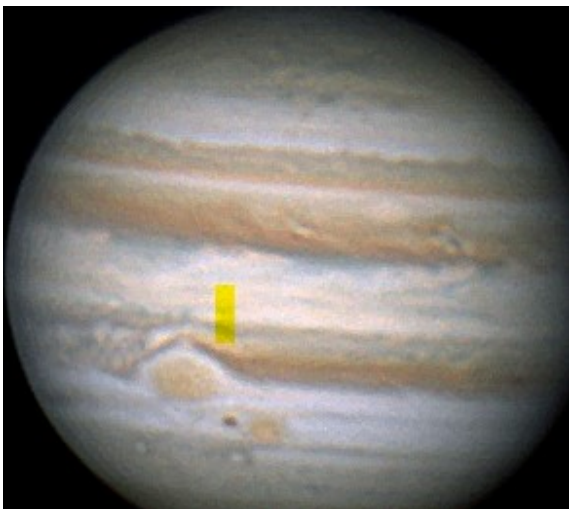
5. Waarom hebben we eigenlijk getijden? Wat ligt er ten grondslag aan de getijden in de Waddenzee? Wel meer dan de werking van maan en zon.  
[Animatie](#): We beginnen met kijken naar de aarde vanuit de ruimte en eindigen aan het eind in de doodlopende geultjes in het wad.

De aarde is een harde bol bedekt met een laagje water er overheen.

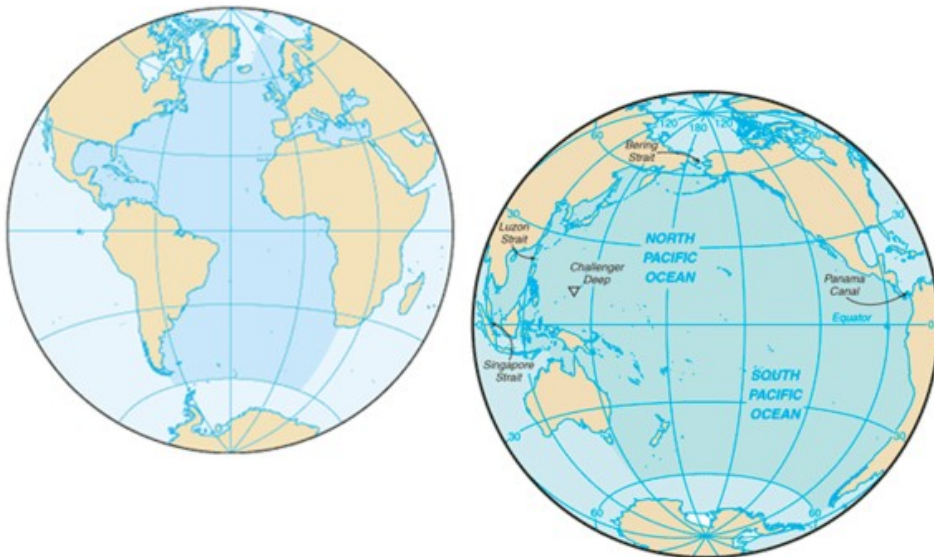
De aarde tolt rond van west naar oost en daardoor wordt het water ook in beweging gebracht van west naar oost. Door de draaiing van de aarde wordt het water van het middelpunt af getrokken (middelpuntvliedende kracht).

Maar de watermassa wordt doorstoken door land waardoor het ronddraaien van het water verstoord wordt.

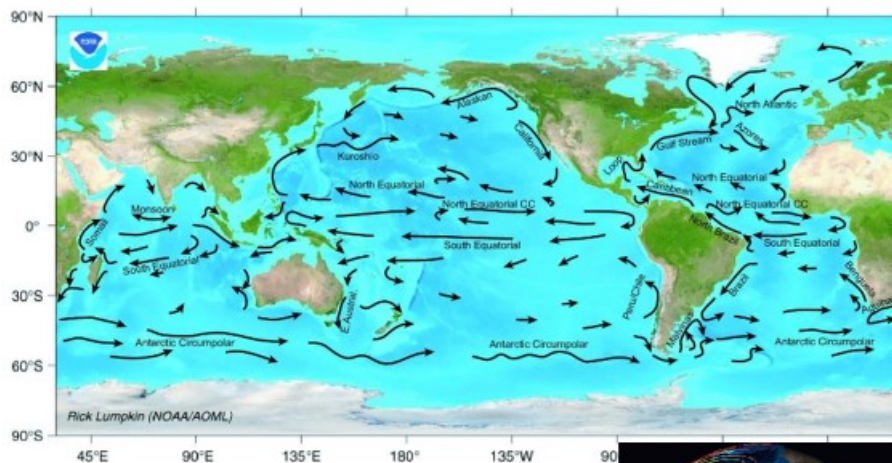
6. [Animatie](#): Zonder land stel ik mij voor dat we een situatie zouden hebben als op Jupiter, een dichte gasbol met eeuwig durende stormen.  
De buitenste gaslaag draait rond, inclusief kolken en stormen.



## 2 oceanen

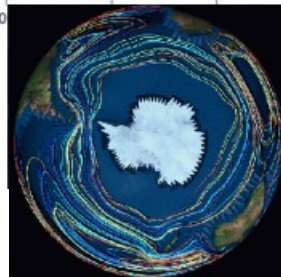


7. Maar de aarde heeft wel land boven de oceanen uitsteken die een ongestoorde waterbeweging verhinderen. Grof gezegd een verdeling hebt in een Stille oceaan, Atlantische oceaan en Indische oceaan, die alleen in 't zuiden verbonden zijn. De verbinding in het noorden tussen Stille en Atlantische Oceaan wordt nog grotendeels belemmerd door het ijs, nog wel.



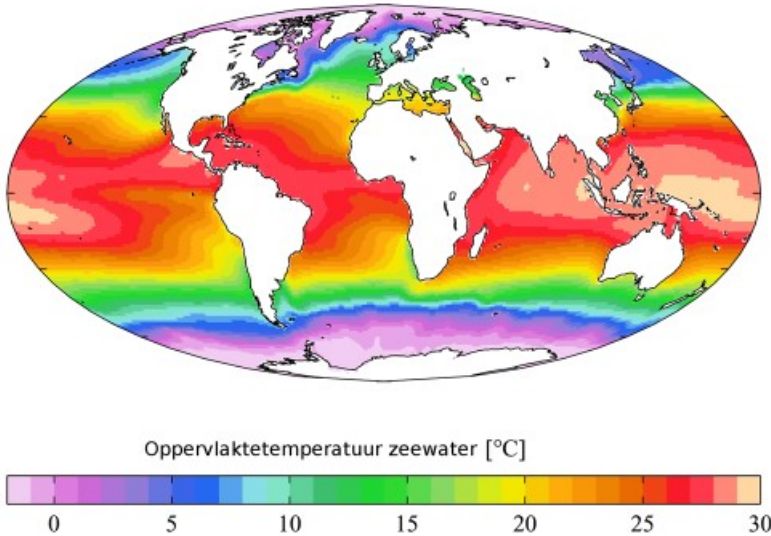
## Waterstromen op Aarde

De zuidpool gezien vanuit het zuiden vanuit een satelliet



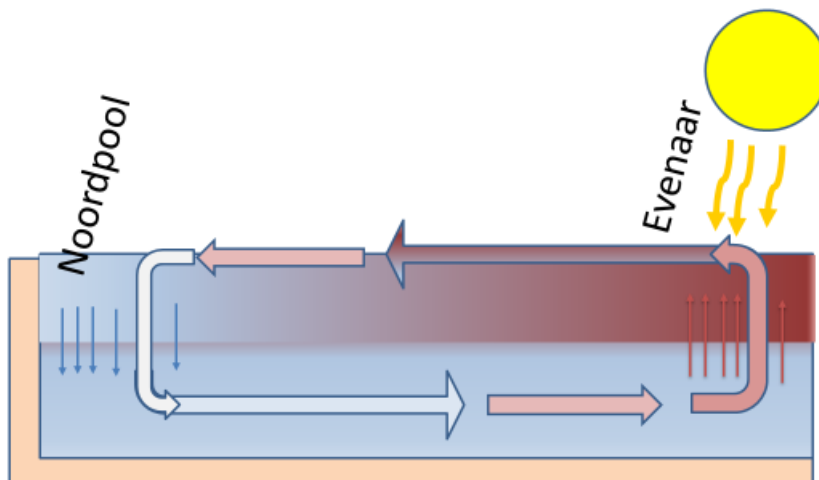
8. Dat geeft al ingewikkeldere patronen dan op Jupiter. Alleen rond de Zuidpool kan het water ongehinderd rondraaien. Verder draait het Oceaanwater rondjes tussen de continenten.

## Koude polen, hete tropen



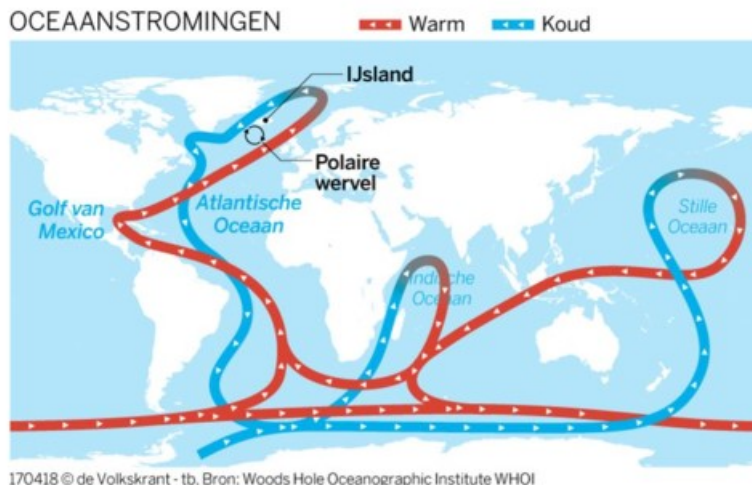
9. Maar er is nog meer dan alleen de draaiing van de aarde. De aarde heeft een hete zone in het midden in de tropen en (nu nog) ijskoude polen, en dus warm water in de tropen en koud water bij de polen. Ook dat brengt water in beweging.

## Koude polen en hete tropen: de koude stroom van pool naar evenaar



10. Warm water is lichter dan koud water waardoor er van de evenaar naar de polen een horizontale stroming in stand wordt gehouden. Het warme water van de evenaar stroomt naar de polen en koelt daar af. Bij de polen zakt dat koudere en dus zwaardere water naar de oceaانبodem en stroomt vandaar terug naar de evenaar, warmt daar op, wordt lichter, stijgt op en duwt het warme water weg richting noorden, enz. Zo is de cyclus rond.

# De golfstroom



11. De draaiing van de aarde, de opdeling in drie oceanen en de temperatuurverschillen tussen evenaar en polen leiden tot een ingewikkelde stroming van het water door de oceanen. Voor ons belangrijk is wat er gebeurt in de Atlantische Oceaan. Het effect is een warme stroming aan de oppervlakte die vanaf de evenaar langs de golf van Mexico de Atlantische oceaan oversteekt naar Scandinavië /Spitsbergen, daar afkoelt, de warmte afgeeft (waardoor wij ons zachte klimaat hebben), naar de bodem zakt, naar de evenaar wordt geduwd, in de Indische Oceaan weer opwarmt en warm in de Atlantische oceaan terugkeert waarmee de cyclus gesloten is. Daarnaast is er de eerder genoemde stroming rond Antarctica als gevolg van de draaiing van de aarde en toevoer van koud water van Antarctica die opwarmt in de Stille Oceaan en Indische Oceaan en waar de golfstroom ook water mee uitwisselt.



12. [Animatie](#) Ook zonder maan en zon zou er eb enloed zijn omdat het water niet vrij kan rond draaien, maar tegen de continenten botst en terugkaatst, net als bij een golfbad, maar minder sterk omdat dan de invloed van maan en zon zouden ontbreken.

## De maan



13. Wat we tot nu toe hebben laten zien is wat de aarde ongeveer in z'n uppie doet (want er is nog meer, zoals wisselende dieptes, ijs, klimaat). Maar de aarde is niet alleen, zoals je weet. Om de aarde draait de maan.

## De zon



14. En de Aarde draait om de Zon.

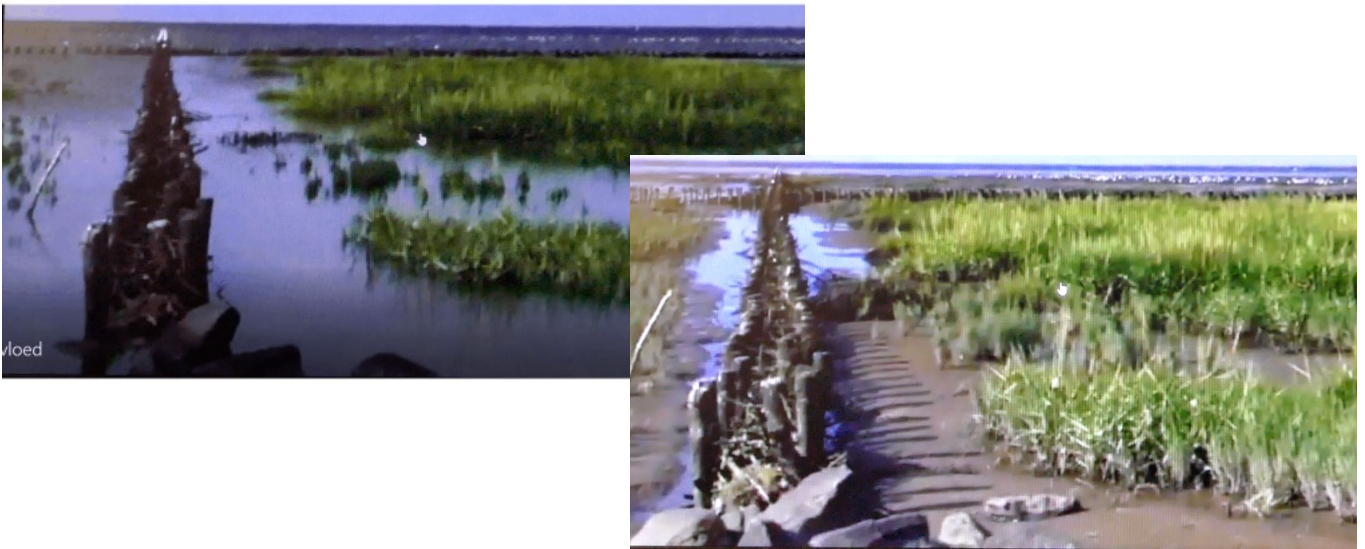
Sinds Newton realiseren we ons dat massa's elkaar aantrekken en weten we dat desondanks de maan niet op de aarde knalt dankzij de cirkelbeweging van de maan om de Aarde en dat de Aarde niet opgeslokt wordt door de zon door zijn beweging om de Zon, in het spraakgebruik: de middelpuntvliedende of centrifugale kracht<sup>1</sup>.

De aarde is weliswaar heel veel groter dan de maan, maar staat zoveel verder weg dat de invloed van de zon 46% die van de maan is.

---

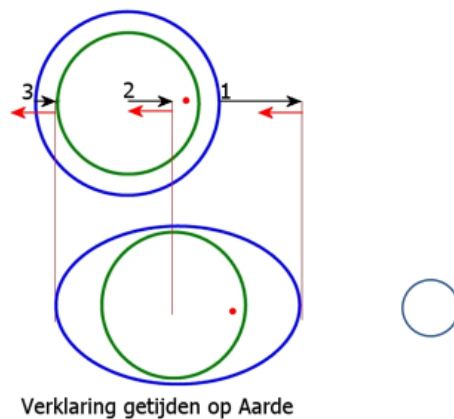
<sup>1</sup> Voor de fijnproevers: de middelpuntvliedende of centrifugale kracht is een schijnkracht want is niet de oorzaak die maan resp. aarde doet ronddraaien, maar is het resultaat van enerzijds de kracht van de rechtlijnige voortbeweging van Maan en Aarde (1<sup>e</sup> wet van Newton) en anderzijds de zwaartekracht van resp. aarde en Zon (2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> wet van Newton).

## Eb en vloed



15. [Animatie](#): Het gevolg van de aantrekkingskracht van Maan en Zon draagt bij aan de getijdengolf, waardoor het water opkomt en weer afneemt. Hoe zit dat?

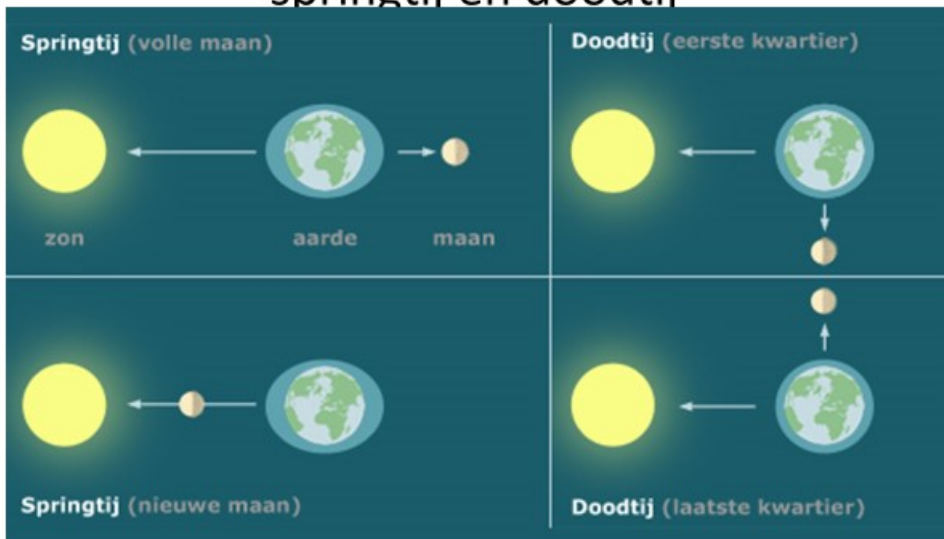
## Om elkaar draaien van Maan en Aarde



16. Doordat de Aarde om zijn as draait, wordt het water van het middelpunt af getrokken (zie punt 5). Aarde en Maan trekken elkaar aan omdat ze massa hebben (Aarde ca 81 x meer dan de Maan) en vormen zo een draaiend systeem om een zwaartepunt. Dat zwaartepunt van het draaiende systeem is niet het middelpunt van de Aarde, maar ligt ongeveer aan de rand van de Aarde. Omdat het systeem Aarde-Maan om dat zwaartepunt draait, wordt het water op Aarde ook daardoor van het zwaartepunt naar buiten getrokken, dus tegenover de Maan van de Maan af (want links van het zwaartepunt in de fig.). Aan de kant van de Maan wordt het water naar de Maan getrokken (want in de fig. rechts van het zwaartepunt). De resultante van enerzijds de aantrekkingskracht van de Maan en anderzijds de draaibewegingen van de Aarde rond middelpunt van de Aarde en het zwaartepunt van het Aarde-Maan systeem (middelpuntvliedende krachten) is een vloedgolf zowel aan de kant van de maan als aan de andere kant.

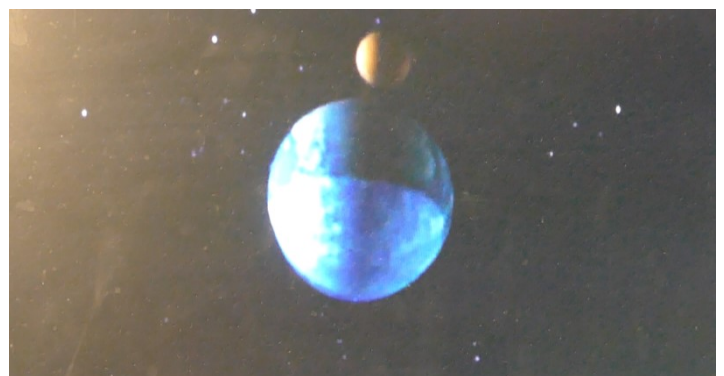
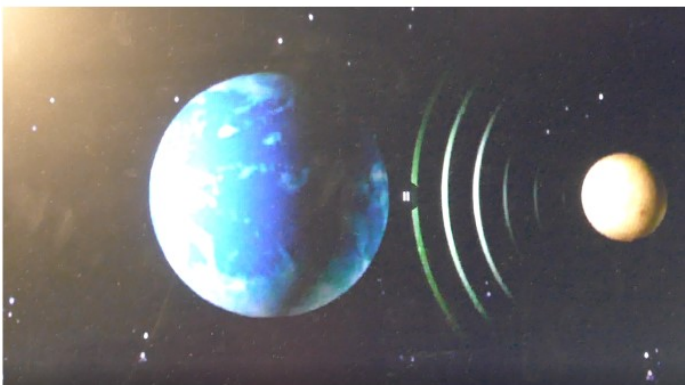


## Aantrekkingskracht van maan en zon springtij en doottij



17. Op dit punt begint de meestal pas de uitleg over eb en vloed: met de aantrekking op het water door Maan en Zon en dan krijg je bovenstaande klassieke plaatjes te zien. De invloed van de Zon is ca de helft van die van de Maan. Als de Maan en Zon in elkaars verlengde staan, versterken ze elkaar en krijg je springtij: het water wordt extra aangetrokken en komt 1,5 hoger dan als er geen invloed van de Zon zou zijn. Als de Maan en Zon in een hoek van 90° staan verzwakken ze elkaar en is de resultante van de aantrekking ca 0,5 minder dan als er geen invloed van de Zon zou zijn. Je hebt dan doottij.

### Springtij en doottij op en af



18. Animatie: De Maan draait in 29,5 dagen om de aarde. De gemiddelde periode tussen een springtij en een doottij is ca 7 dagen en 9 uur. De gemiddelde tijd tussen laagwater (eb) en hoogwater (vloed) is iets meer dan 6 uur als gevolg van de traagheid en wrijving is die gemiddeld 6 uur 12 minuten. In ondiep water (Noordzee) gaat de golf van opkomend tij sneller. De werkelijke periodes is van veel plaatselijke factoren afhankelijk. Enkeldaags getij komt voor in de Golf van Mexico, de Zee van Ochotsk, de Zuid-Chinese Zee, het noordwestelijk deel van de Golf van Thailand, en in de Javazee.



## Getijden in de noordzee

19. We kruipen dichterbij het Wad en kijken naar de getijden in de Noordzee.

Vanuit de Atlantische Oceaan komt een getijdengolf bij Schotland de Noordzee binnen en een andere getijdengolf komt via het Kanaal naar de Noordzee. Halverwege Noord-Holland wordt die laatste golf opgenomen in de grote getijdenstroom uit het Noorden.

De getijdengolf uit Schotland is na een dag bij de Nederlandse kust. In de Noordzee draaien de getijdengolven tegen de richting van de klok in om drie wervelpunten. Dit komt door de draaiing van de aarde, het verschijnsel heet het Coriolis effect. In het centrum van zo'n wervel is weinig getijverschil. In de Noordzee liggen de punten in het noordoosten bij Scandinavië, in het midden en in het zuiden. De centrale wervel is de belangrijkste voor de Waddenzee. Doordat de Schotse getijdengolf een halve dag achterloopt op de getijdengolf uit het Kanaal worden de hoog-laag verschillen verkleind.

In Nederland komt de getijdengolf in Vlissingen aan, waarna hij zich naar het noorden verplaatst. Het Waddengebied krijgt met name de getijdengolf die van Schotland de Noordzee binnen komt. Een uur of acht later is hij bij Schiermonnikoog. De hoogte van het getij heeft te maken met de afstand tot het centrum van de wervel.

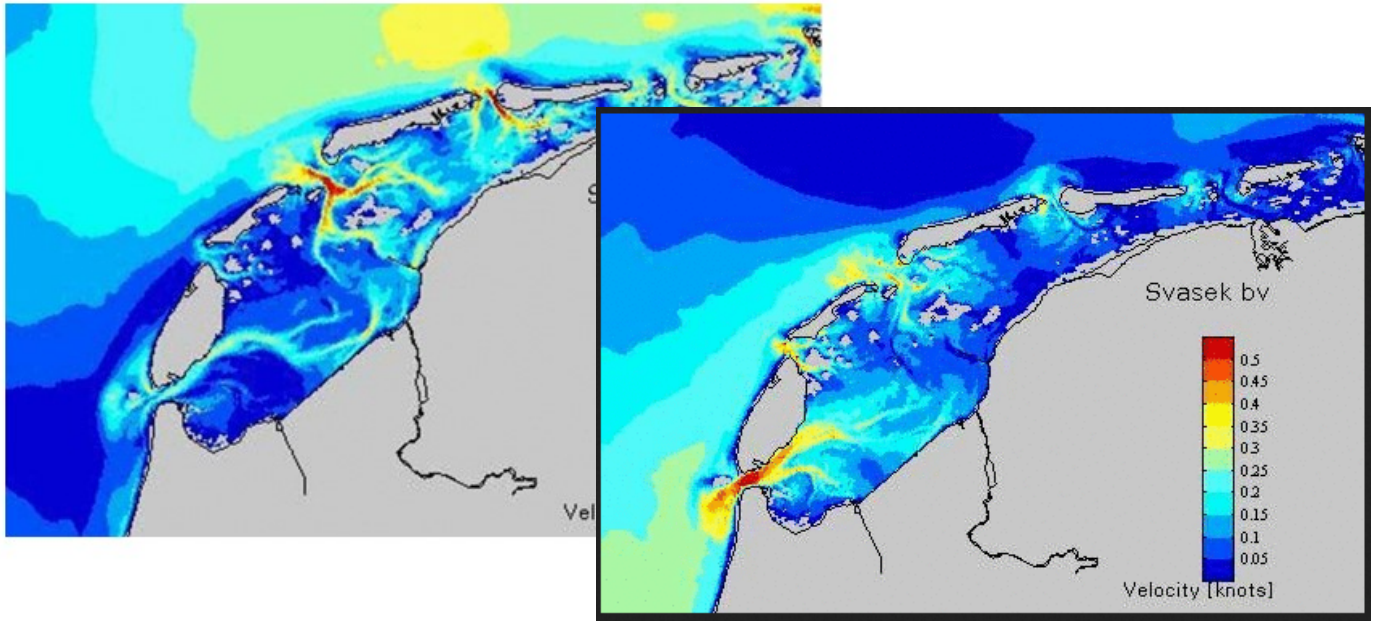
## Waddenzee met geulen en platen



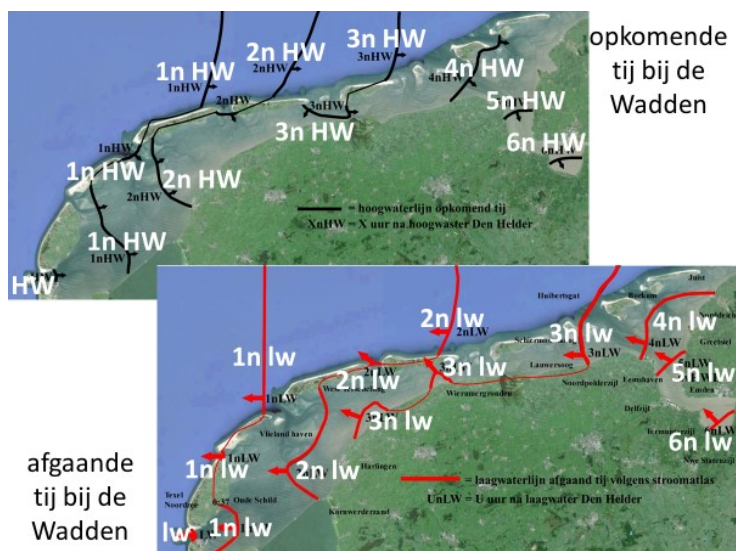
20. De Waddenzee is complex vergeleken met de Noordzee door zijn vele geulen en platen, zie bijv. het gebied onder Schier (inzet).

## Eb en vloed in de Waddenzee

### Eb en Vloed Wadden



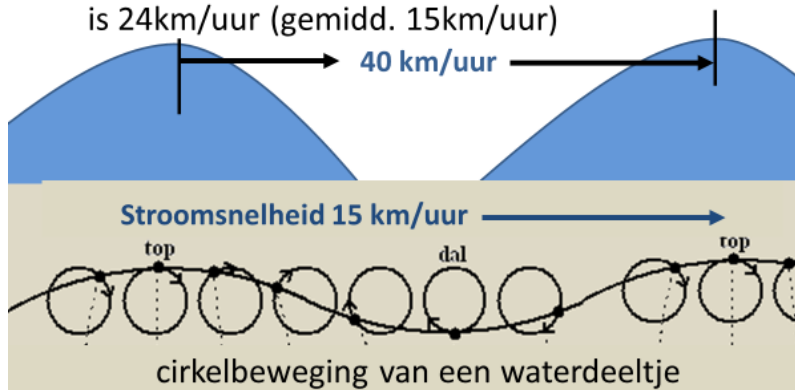
21. [Animatie](#) van opkomend en afgaand tij. De getijdeweg komt bij Noorderhaaks/Razende bol het Waddengebied binnen, trekt langs de eilanden naar het oosten en stroomt via de zeegaten tussen de eilanden de Waddenzee binnen. Ik kom hier verderop in meer detail op terug.



22. Over een afstand van ca 160km tussen Noorderhaaks en Borkum doet de vloedgolf bijna 4 uur. Na ca 6 uur bereikt de getijdeweg ook nieuwe Statenzijl. Ook de laagwater getijdeweg komt bij de Razende Bol /Noorderhaaks aan bij de Wadden-eilanden en het wad en stroomt boven de eilanden langs en door de zeegaten naar buiten. Over een afstand van ca 160km tussen Noorderhaaks en Borkum doet de eb-golf ruim 3 uur; dus iets sneller dan de vloedgolf. Nieuwe Statenzijl wordt door de eb-golf na 6 uur bereikt. Uit de beide kaarten met de uurlijnen kun je al zien dat de tijdverschillen tussen twee punten voor hoogwater en laagwater niet dezelfde zijn. QuickTide gaat daar wel vanuit en zal op dat punt nog aangepast moeten worden.

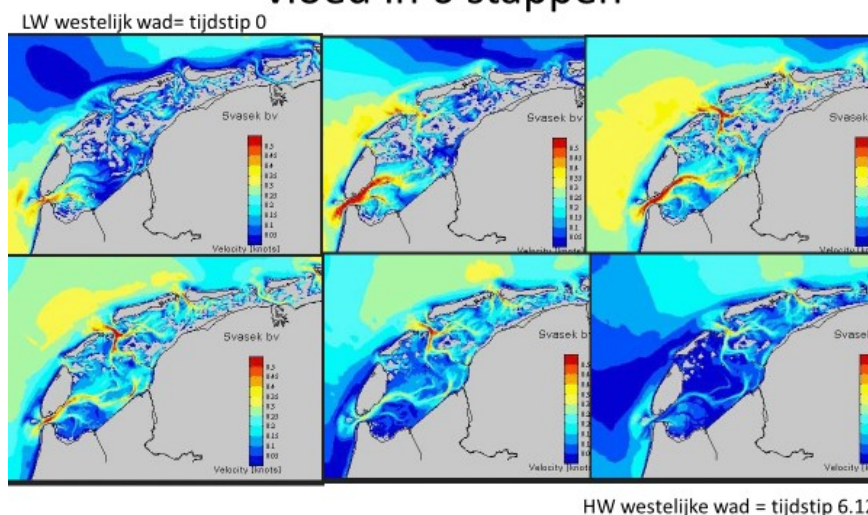
## snelheid vloedgolf $\neq$ stroomsnelheid

- De getijdegolf verplaatst zich langs de eilanden met ca 40 km/uur
- max. stroomsnelheid volgens de stroomkaart is 24km/uur (gemidd. 15km/uur)



23. Je moet onderscheid maken tussen de voortplantingsnelheid van de getijdegolf (30 - 40km/uur) en de stroomsnelheid van het water (gemiddeld ca 15km/uur). Ook is het goed om te weten dat bij een golf die is veroorzaakt door de wind de waterdeeltjes als gevolg van de golf een cirkelvormige beweging maken en min of meer op zijn plek blijven. Het is door de hoeveelheid water die met de getijdegolf meekomt dat het water daadwerkelijk wordt verplaatst. Denk maar aan het verschil in het effect van golven in een golfbad en golven door de wind of deining op zee. In het eerste geval word je door de golf meegenomen en in het zwembad omgegooid in het tweede geval ga je alleen op en neer.

## Stroomsterkte bij eb en vloed in 6 stappen



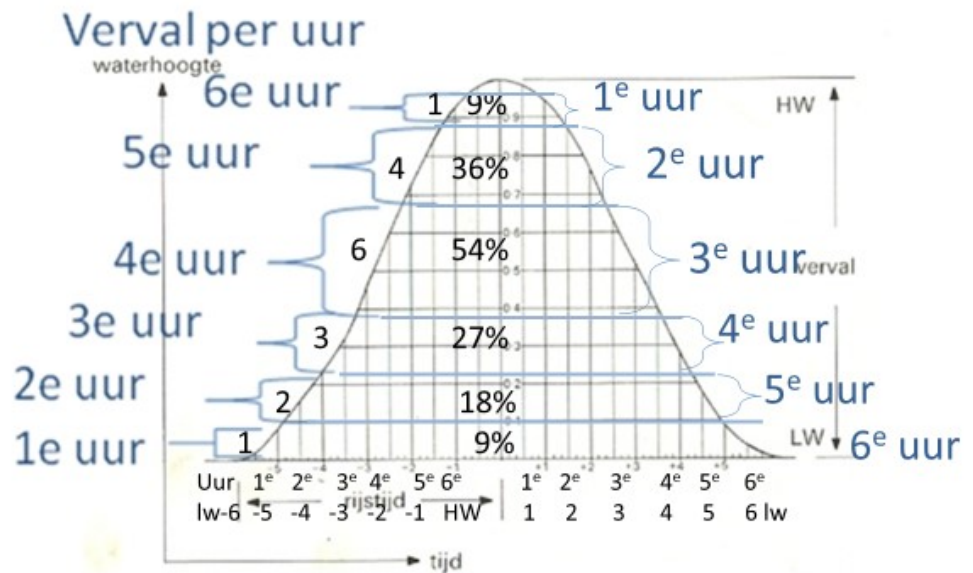
24. De animatie van nr. 21 in 6 stappen. Terwijl de getijdegolf zich gestaag voortplant langs de eilanden en de Waddenzee in, vertoont de stroomsnelheid sterke verschillen in tijd en plaats. Blauw is weinig stroomsnelheid 0,05 mijl/uur = ca 100m/uur, rood is hoge snelheid 0,5 mijl/uur = bijna 1 km/uur. Zie de verplaatsing van de blauwe zone en gele zone van links naar rechts (west  $\rightarrow$  oost) in de opeenvolgende plaatjes. De stroomsnelheid varieert zowel per plek (binnen één plaatje) als in de tijd tussen laag- en hoogwater. Bij laagwater ter hoogte van de Afsluitdijk is de stroom daar vrijwel 0, terwijl die ter hoogte van Noorderhaaks en in het Marsdiep op hetzelfde moment hoog is. Het Wad ligt dan maximaal droog. De stroomsnelheden nemen tussen laag- en hoogwater eerst toe en dan weer af.

25. Een bekend plaatje is de schematische weergave van de rijzing van het water tijdens opkomende water en het verval van tijdens afgaand tij, dus de verandering in waterhoogte.

Gemiddeld is de verhouding in de stijging van het waterniveau grof weg 1:2:3:6:4:1 (linker helling van onder naar boven) en na hoogwater bij het verval 1:4:6:3:2:1. (rechter helling van boven naar beneden).

Dus in het 4<sup>e</sup> uur stijgt (resp. 3<sup>e</sup> uur daalt) het water met 50% en tussen het 3<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> uur met ca 80%. Dit is slechts een schematische weergave: per plek en per dag kan de figuur van rijzen en dalen er anders uitzien, zie bijv. getijdentabellen op [wadkanovaren.nl/getijden.html](http://wadkanovaren.nl/getijden.html). Gaat snelle of langzame verandering in het waterniveau samen met een hogere of lagere stroomsnelheid?

## Verval/uur

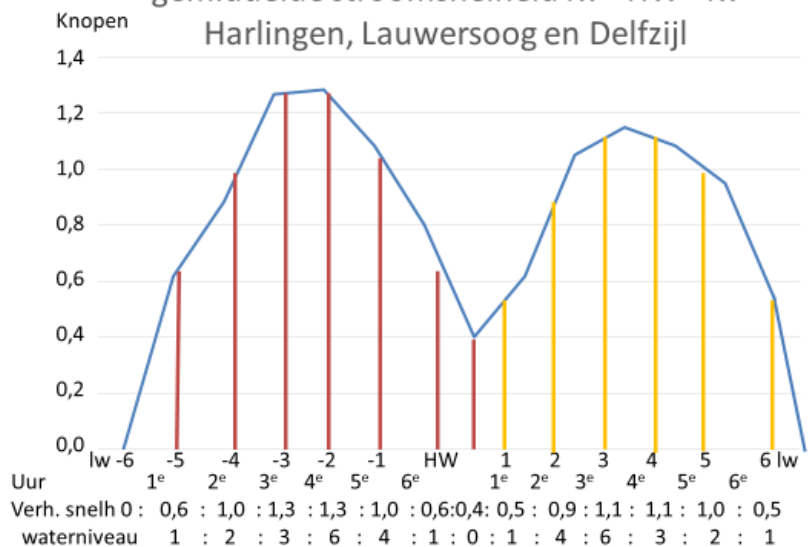


26. Hoe zit het met de stroomsnelheid tijdens opkomend en afgaand tij? Loopt die gelijk op en af met het stijgen en dalen van het waterpeil? Ik heb de gemiddelde stroomsnelheid berekend aan de hand van de stroomatlassen van de Dienst der Hydrografie (HP33) bij de meetpunten Harlingen, Lauwersoog en Delfzijl. Verticaal staan de gemiddelde stroomsnelheden van het 1<sup>e</sup> t/m het 6<sup>e</sup> uur, horizontaal de verhoudingen tussen die stroomsnelheden.

Voor de vergelijking zijn ook de verhoudingen van het waterniveau (zie nr. 25) er onder gezet: Het waterniveau stijgt en daalt tussen 3<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> uur veel sterker (tot 6x sterkere verandering) dan de stroomsnelheid verandert (ca 2x sterkere verandering).

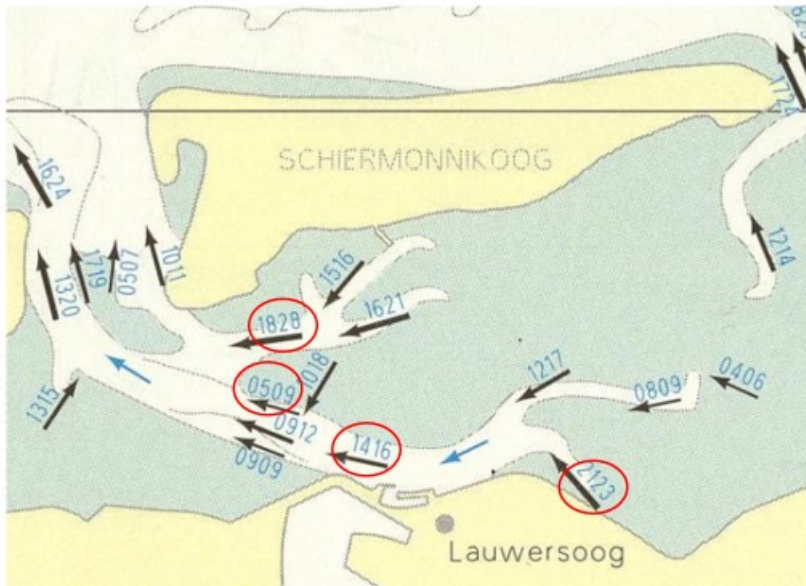
Dat is straks nog van belang als we kentering en hoogwater en laagwater bekijken.

## gemiddelde stroomsnelheid lw - HW - lw



Horizontaal de verhouding van de verandering in stroomsnelheid resp. waterniveau per uur.

## stroomsnelheid op verschillende plekken

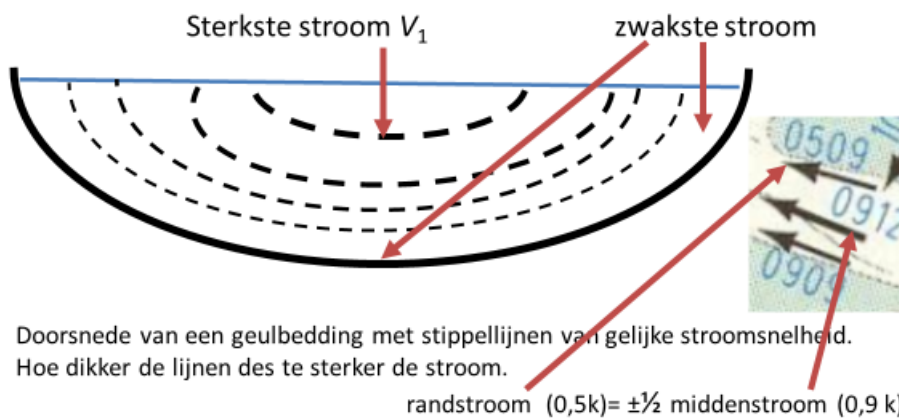


27. Op korte afstand van elkaar kunnen grote stroomverschillen optreden, zoals vlak boven de haven Lauwersoog: over 7 km verschil van 2,1/2,3<sup>2</sup> naar 0,5/0,9 knopen, over 3 km van 14/16 naar 05/09, en tussen midden van de geul en rand van de geul 9/12 en 5/9 knopen. Hoe komt dat? Ik bespreek vijf factoren die alle tegelijk hun invloed kunnen hebben op de stroomsterkte.

<sup>2</sup> 2,1/2,3= 2,1 knopen bij dooftij, 2,3 bij springtij

## Oorzaak verschillen in stroomsnelheid

### 1. plek in de geul



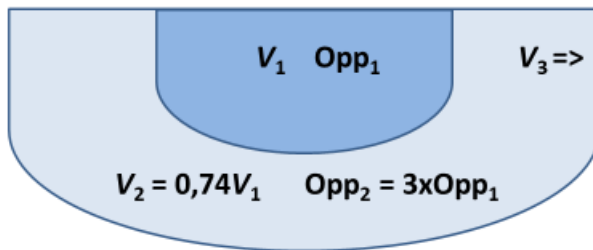
De gemiddelde stroomsnelheid  $V$  die op een punt door de de geul stroomt, is ca 0,74 x de stroomsnelheid in het midden onder het oppervlak: dus  $V = 0,74V_1$

28. De stroom is in het midden van een geul het sterkst en aan de randen de zwakst. De gemiddelde stroomsnelheid voor de hele geul is ca 0,74 x de stroomsnelheid in het midden van de geul.

Als je tegen de stroom in moet varen, kun je dus beter aan de rand of als er genoeg water staat, buiten de geul over de plaat te varen, als je stroom mee hebt juist in het midden.

## Oorzaak verschillen stroomsnelheid

### 2. volume/ verticaal oppervlak geul



Dwarsdoorsnede geul

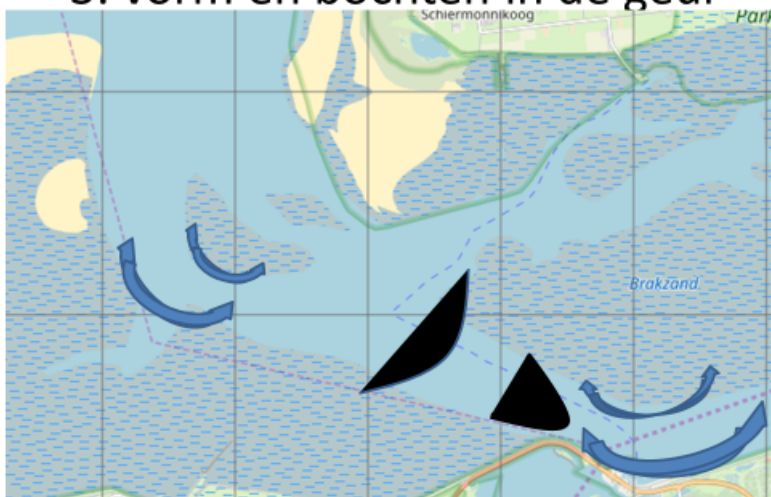
- Totale hoeveelheid water  $W$  dat voorbij stroomt = Oppervlakte doorsnede x gemiddelde stroom:
- $W_2 = Opp_2 \times 0,74V_1$ .
- $W_2 = 3 \times 0,74W_1 = 2,22 \times W_1$
- $V_3 = \pm 0,5V_1$

29. Het water in de Waddenzee wordt bij opkomend tij opgestuwd door het via de zeegaten binnenstromende water.

Afhankelijk van het oppervlak van de doorsnede van de geul stroomt het harder of zachter. Als het oppervlak 3 x groter is, neemt de kracht, dus de stroomsnelheid, met de helft af. Denk aan de kracht van een waterstraal bij een tuinslang die je meer of minder dicht knijpt.

## Oorzaak verschillen in stroomsnelheid

### 3. vorm en bochten in de geul



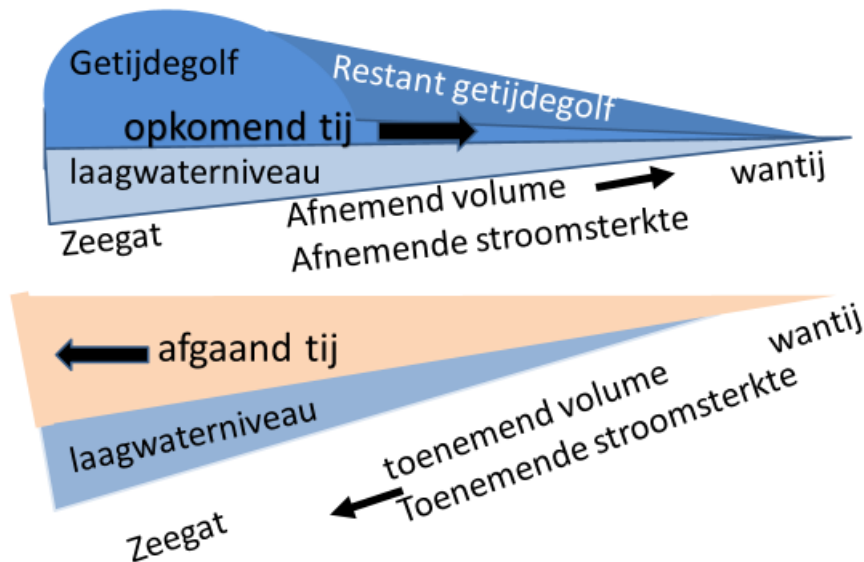
Diepe/smalle  $\leftrightarrow$  platte/brede doorsnede  
binnenbocht  $\leftrightarrow$  buitenbocht

30. In een buitenbocht is de stroomsnelheid vaak hoger dan in de binnenbocht. Bovendien is het daar vaak ook dieper dan in de binnenbocht omdat door de hogere stroomsnelheid daar meer zand en modder wordt weg gevoerd. Bovendien kan een zgn. spiraalstroom ontstaan: een stroom over de bodem die dwars op de stroomrichting staat en materiaal van de buitenbocht naar de binnenbocht vervoert.

Als het oppervlak van de doorsnee gelijk blijft, hebben verschillende vormen weinig invloed. Bij obstakels kunnen keerstromen ontstaan die in tegengestelde richting gaan, zie onder nr.37.

## Oorzaak verschillen in stroomsnelheid

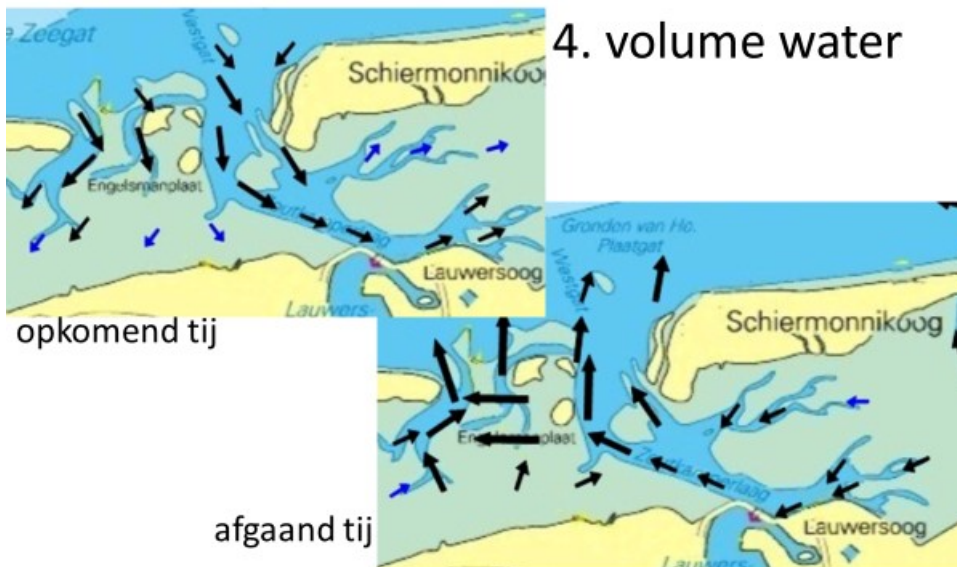
### 4. volume water



31. Als bij opkomend tij de getijdegolf bij een zeegat aankomt, stijgt het water; en route blijft steeds een deel van het water op die plek achter en is er minder water over voor het vervolgtraject. Dus de voortstuwende kracht neemt af omdat het watervolume afneemt. Daartegen in werkt eventueel de afname van het beschikbare volume in de geul als die smaller en ondieper wordt. Maar als het water een plaat op stroomt en het stroomgebied wordt vergroot, neemt het volume van het waterbekken juist weer toe. Bij afgaande tij stroomt het water van het wantij en van de plaat af naar het zeegat en neemt het watervolume richting zeegat steeds meer toe: gevolg hogere stroomsnelheid, en dat zien we ook weer terug in de stroomatlassen, zie figuur hieronder.

## Oorzaak verschillen in stroomsnelheid

### 4. volume water



Hoe groter het volume, des te hoger de stroomsterkte

32. Dat de hoeveelheid en het volume water van invloed op de stroomsnelheid is te zien in de stroomkaarten; hoge snelheid in het zeegat en lage stroomsnelheid richting wantij.



# Oorzaak verschillen in stroomsnelheid

## 5. substraat



Vertraging stroomsnelheid door mossel- en oesterbanken, zeegras = ca 60%

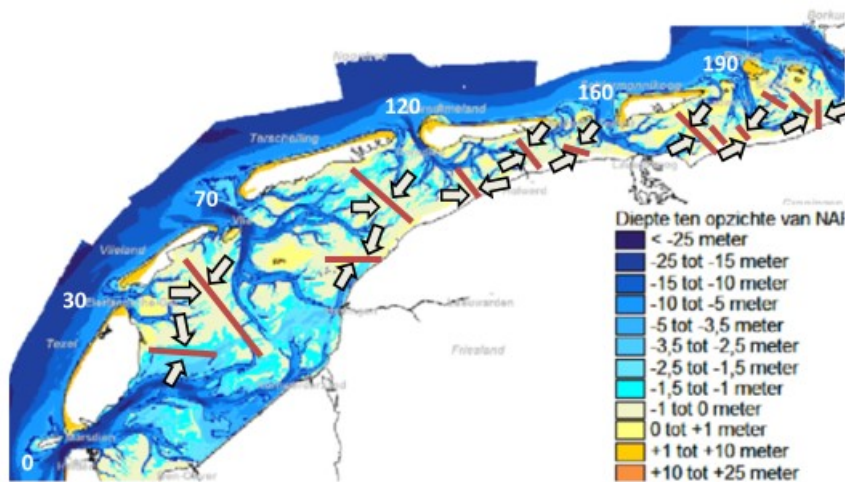
33. De bodem kan van invloed zijn, met name in ondiep water. Zeegras, zeewier en andere waterplanten hebben een sterkere remming dan oesters en mosselen. Toen zeegras nog veel voorkwam in de Waddenzee verpestte die op termijn zijn eigen milieu van helder water: door de stroom sterk af te remmen, werd het water troebeler waar het zeegras niet goed tegen kan.

## Samenvattende vaarstrategie



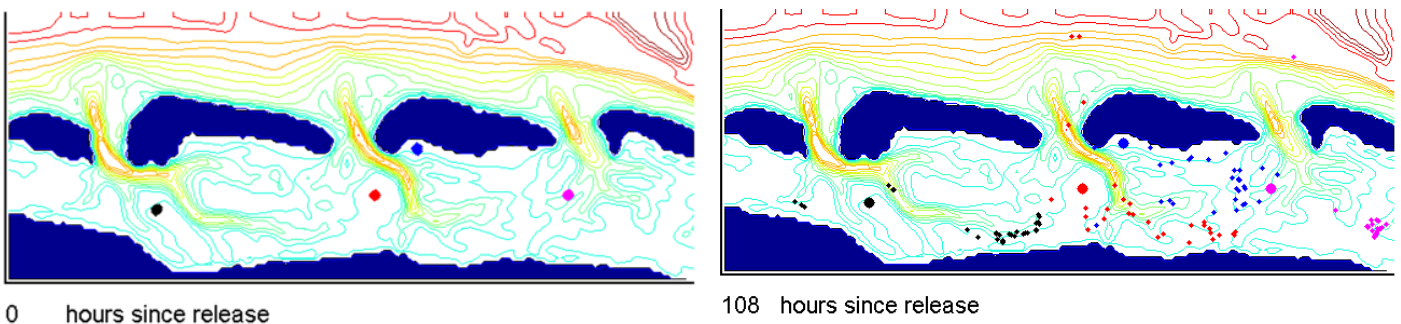
34. Met de kennis van de vijf hiervoor genoemde factoren die van invloed zijn op de stroomsnelheid kun je je vaarstrategie opstellen:  
Als je stroom mee hebt, heb je het meest profijt van de stroom in het midden van de geul en in bochten in de buitenbocht. Het voordeel is het grootst tijdens het 3<sup>e</sup> t/m 5<sup>e</sup> uur.  
Als je stroom tegen hebt, beperk je de tegenkracht het best door aan de rand van de geul of op de plaat te varen (mits er genoeg water op staat). Dat het water door de helling van de plaat vaak een stroomrichting heeft die meer dwars op de stroom in de geul staat vermindert de tegenwerking ook. Bij een bocht vaar je tegen de stroom in bij voorkeur in de binnenbocht. Benut keerstromen als die er zijn (zie onder bij nr. 37).  
Bij stroom tegen kun je het beste voor het 3<sup>e</sup> uur en na het 5<sup>e</sup> uur varen.

## wantijen



35. Het water stroomt via de zeegaten het Wad binnen en verdeelt zich over de geulen naar het westen en naar het oosten. Het stroomgebied per zeegat heet een komberging. Ongeveer op 2/3 van een eiland naar het oosten ontmoeten beide stromingen elkaar in een wantij (bruine balken in de fig.). Dat het niet op de helft is, komt omdat de getijdeweg op zee het westelijk zeegat 30 tot 50 minuten eerder bereikt dan het buur-zeegat ten oosten ervan (witte cijfers in de fig.).
- Onder Ameland verplaatst het wantij zich langzaam in westelijke richting tot een nieuw evenwicht tussen het westelijke (Borndiep) en oostelijke (Pinkegat) stroomgebied is bereikt. Dit gebeurt bijv. met het wantij ten oosten van Holwerd, maar de angst dat het wantij zich nog veel verder naar het westen zou verplaatsen, is ongegrond, want er ontstaat een nieuw evenwicht waar de westelijke en de oostelijke stroming elkaar compenseren.

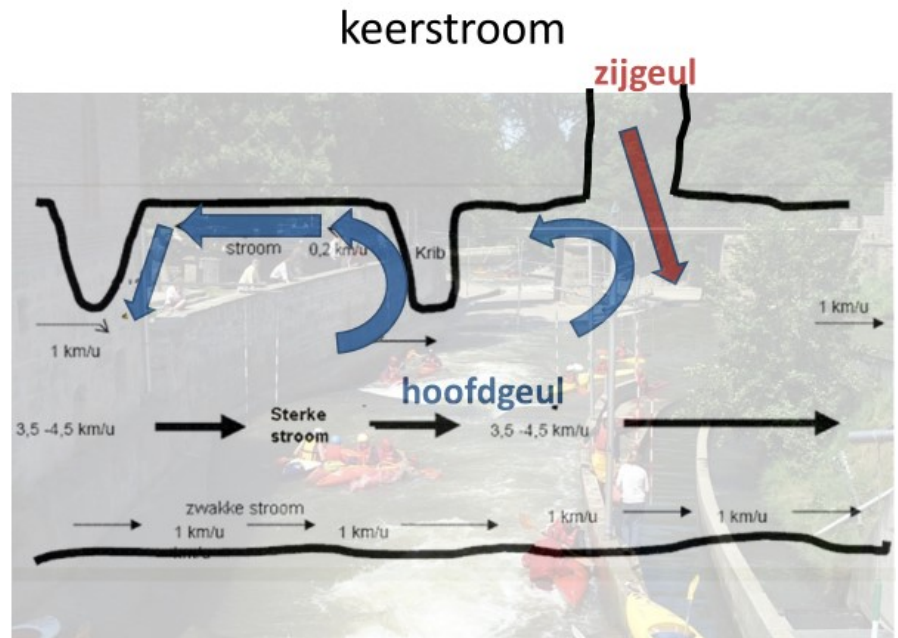
## proces sediment afzetting



Naarmate de stroomsnelheid afneemt richting wantij bezinkt er meer sediment/zand/modder

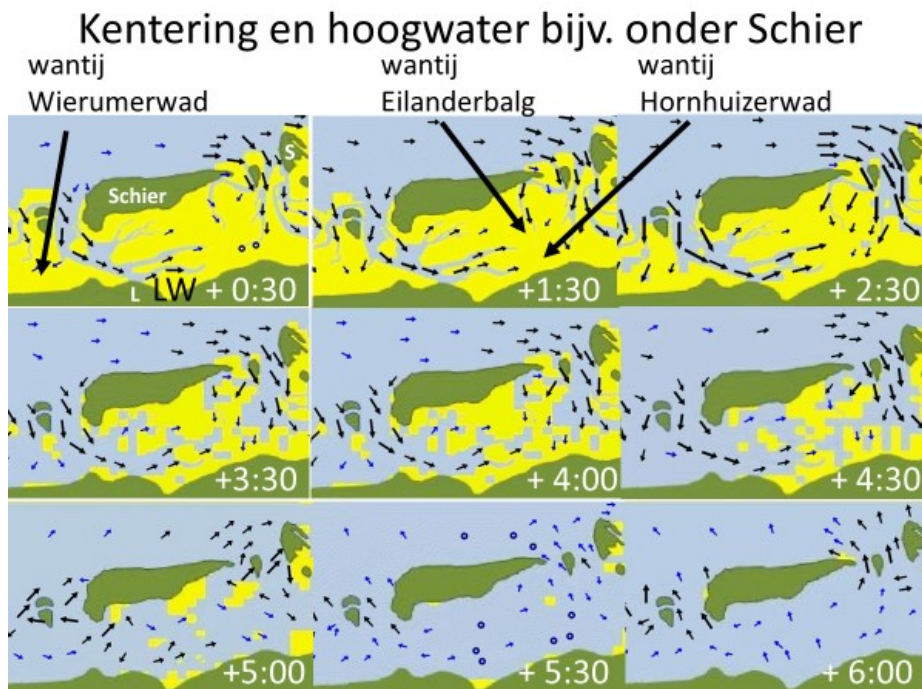
36. [Animatie](#): Naarmate de stroomsnelheid afneemt richting wantij bezinkt er meer sediment, zand en modder.
- In het oostelijk Wad heeft dit tot gevolg dat de platen ondieper en hoger worden. In het westelijk Wad in het stroomgebied van het Marsdiep is dat niet zo.
- Als de zeespiegel stijgt, zal het oostelijk Wad wellicht de stijging een tijd kunnen bijhouden met het afzetten van nieuw zand, afhankelijk van de snelheid van de zeespiegelstijging.
- De angst dat de Waddenzee zal "onderlopen" en als getijdengebied zou verdwijnen, speelt voor het westelijke Wad meer dan voor het oostelijke Wad.

37. Keerstromen ontstaan als de doorgaande stroom tegen obstakels aanbotst, zoals kribben, maar ook bij zijstromen, zoals bij afgaand tij de Gliner die in de Zoutkamperlaag uitkomt. Bij een keerstroom ontstaat een tegengestelde stroom langs de oever, waar je als vaarder gebruik van kunt maken.



### Het verloop van de kentering en hoog- en laagwater nader bekeken.

38. We kijken eerst naar de situatie bij hoogwater. Bekijken we als voorbeeld de situatie onder Schier.



In de bovenste rij kaartjes verspringt de tijd met sprongen van 1 uur, te beginnen 30 minuten na laagwater Lauwersoog. Daarna verspringt de tijd met 30 minuten.

Tussen Engelsmanplaat en Schier komt de stroom op gang in de Zoutkamperlaag richting Lauwersoog (L) en ook tussen Schier en Simonszand (S), terwijl de wantijen van Eilanderbalg en Hornhuizerwad nog tot ca 3:30 uur na LW droog liggen. Terwijl het wantij van Wierumerwad in het westen al onderwater staat, bereikt het water pas 4 uur na laagwater de wantijen van Eilanderbalg en Hornhuizenwad in het oosten. Tussen 4u30 en 5 uur na laagwater vindt de kentering al plaats in de beide zeegaten, terwijl het water ten westen van Lauwersoog nog naar het oosten stroomt. De stromingen van het westen en het oosten bereiken elkaar bij de wantijen van Eilanderbalg en Hornhuizenwad pas in het 5<sup>e</sup> uur. Terwijl rond de wantijen en op de platen het nog opkomend tij is, begint in het 5<sup>e</sup> uur bij de zeegaten het afgaand tij al weer opgang te komen.

## Wantij Eilanderbalg en Hornhuizerwad



39. De stromen vanuit het westen (Zoutkamperlaag) en oosten (Eilanderbalg en Spruit) hebben al een lange weg afgelegd als ze bij de wantijen van Eilanderbalg en Hornhuizerwad aankomen. De stroomsnelheid is na een uur sinds ze bij het zeegat het Wad instroomden een stuk afgenomen als ze bij het wantij aankomen. Daardoor zijn zowel het wantij van de Eilanderbalg als van het Hornhuizerwad ruim 3,5 km lang. Veel substraat is al afgezet aan weerszijde van het wantij, met als gevolg dat het wantij aan weerskanten hoger ligt dan in het midden (witte cijfers, resp. ca 40 en 30 cm hoger). In QuickTide is voor het Hornhuizerwad daarom een westelijke en een oostelijk ondiepe passage opgenomen.

## Wantij Brakzand

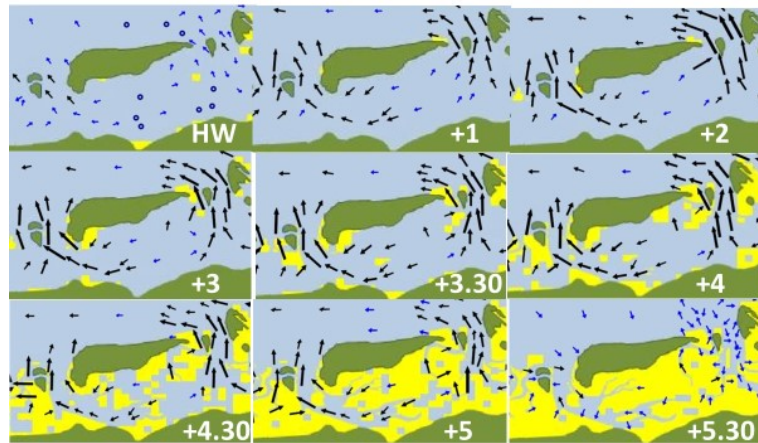


Wantij wordt vanuit Glinder en Zoutkamperlaag overspoelt

40. Bij het wantij in de geul van Brakzand, tussen Schier en Lauwersoog, is de situatie anders dan bij het Hornhuizerwad. De getijdegolf is vanaf het zeegat pas 30 minuten onderweg en nog krachtig in Glinder en Zoutkamperlaag. Door de vlakke over een grote breedte van de plaat Brakzand neemt de stroomsnelheid op de plaat weliswaar snel af, maar de vloedgolven door de geul van Brakzand zullen elkaar bij het wantij ontmoeten en door elkaar stromen.

41. Hoe is de situatie bij afgaand tij? We kijken weer naar de situatie onder Schier. De serie kaartjes begint even nadat het opkomend tij is geweest. Pas in het 3<sup>e</sup> uur (2<sup>e</sup> rij) beginnen er platen droog te vallen onder Schier, het eerst in de buurt van de zeegaten, waar het afgaand tij het snelst op gang is gekomen, terwijl de stroming bij de wantijen net wat meer kracht begint te krijgen. Daarna vallen binnen 2

### Kentering en laagwater onder schier



uur de meeste plekken droog in het 4<sup>e</sup> en 5<sup>e</sup> uur. Al voor het laatste uur van het afgaand tij ligt het oostelijk Wad vrijwel helemaal droog.

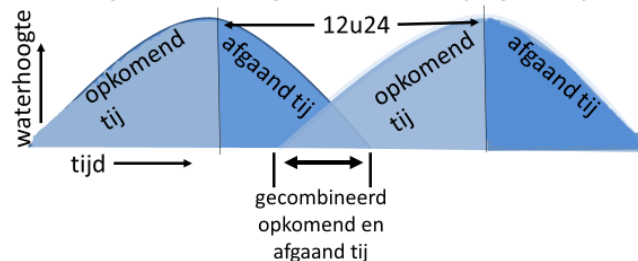
In het laatste uur van het afgaand tij is in de zeegaten het opkomend tij al weer begonnen en stroomt het water het Wad binnen, terwijl onder Schier het nog afgaand tij is.

Dat wil dus zeggen dat aan het eind van het afgaand tij het water nog het Wad via de zeegaten uitstroomt en de Noordzee instroomt, terwijl er ook al weer water met de volgende getijdengolf via datzelfde zeegat het Wad instroomt. We zagen al dat ook het omgekeerde geldt: terwijl in de geulen en op de platen het water opkomt, is er ook al een tegengestelde stroming van water via het zeegat het Wad uit.

42. Hoe kan het dat de kentering (= omkering van de stroomrichting) vaak niet samen valt met het hoogwater resp. laagwatermoment? Op internet heb ik er niets over kunnen vinden, anders dan dat het zo is, zonder verdere uitleg. Ik heb de volgende verklaring bedacht. Hoe kan het dat opkomende en afgaand water tegelijk optreden? Getijdewolven trekken weliswaar in een vast ritme van gemiddeld 12 uur 24 minuten voorbij een bepaald

### Kentering, hoogwater, laagwater op een bepaald punt

- Kentering = omkeren van de stroomrichting
- Hoogwater = de hoogste waterstand bij opkomend tij
- Laagwater = de laagste waterstand bij afgaand tij



punt, maar die getijdewolven bewegen zich onafhankelijk van elkaar: de volgende getijdengolf komt niet omdat de voorgaande golf voorbij is. Ook is het goed om er op te wijzen dat de snelheid van de getijdengolf iets anders is dan stroomsnelheid (zie terug nr. 23).

Als het opkomend tij begint voordat het afgaand tij afgelopen is, zal het volume inkomend water ( $I$ ) aanvankelijk kleiner zijn dan het volume uitgaand water ( $U$ ), dus  $I/U < 1$ . Maar naarmate het volume inkomend water toeneemt en dat van het afgaand water afneemt zal de verhouding  $I/U$  groeien tot de verhouding omslaat en er meer water binnen komt dan er uitgaat ( $I/U > 1$ ).

Maar hoe kan het dat als het water op een bepaalde plek, bijv. in een zeegat, de laagste stand, dus laagwater, al heeft gehad en de waterstand stijgt en er de stroom toch nog naar buiten is? Dus dat kentering en hoogwater resp. laagwater niet gelijk vallen?

43. Eerst een simpel proefje.

Het was logisch om te veronderstellen dat het water uit de Noordzee bij opkomend tij boven op het water van het Wad stroomt, het komt immers van een hoger niveau aan.

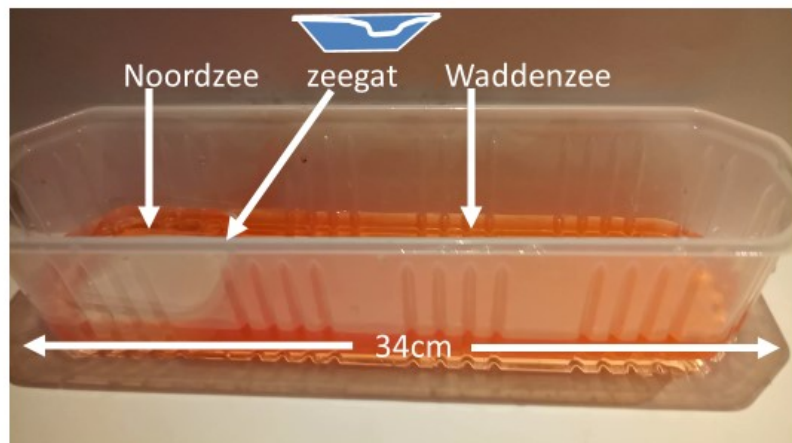
Om te kijken wat er gebeurt als water met een golf een bak met water instroomt, is de situatie van het Wad met instromend water uit de Noordzee nagebootst in een simpele opstelling:

Een smalle transparante bak van 34cm is voor 2cm gevuld met oranje gekleurd water en stelt de Waddenzee voor.

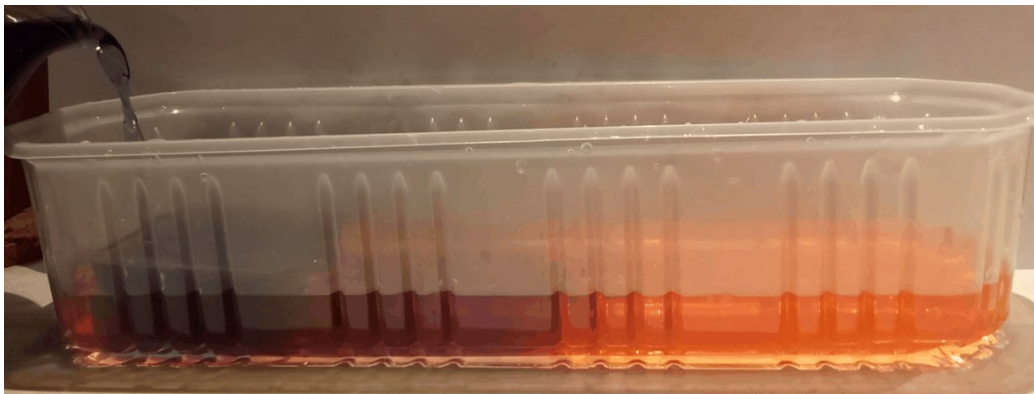
Links is in het water een klein bakje van 3cm hoog geplaatst. Het bakje heeft op 2cm hoogte rechts-midden een inkeping. Dit stelt de Noordzee met zeegat voor. Het bakje is met helder water gevuld tot hetzelfde niveau als het water in de waddenbak. Het niveau in het zeebakje en in de wadbak is dus gelijk.

Als je donker gekleurd water rustig in de Wadbak laat lopen wat gebeurt er dan ...?

## Een waterloopkundig proefje in de keuken



Wat doet water dat bij lager gelegen water komt: mengen of er over heen?



44. [Animatie](#): Als het Noordzeebakje volstroomt en het water door de zeegat-inkeping de

Waddenbak instroomt, blijkt het donkere water niet op en over het oranje water te stromen, maar vermengen beide waters zich direct.

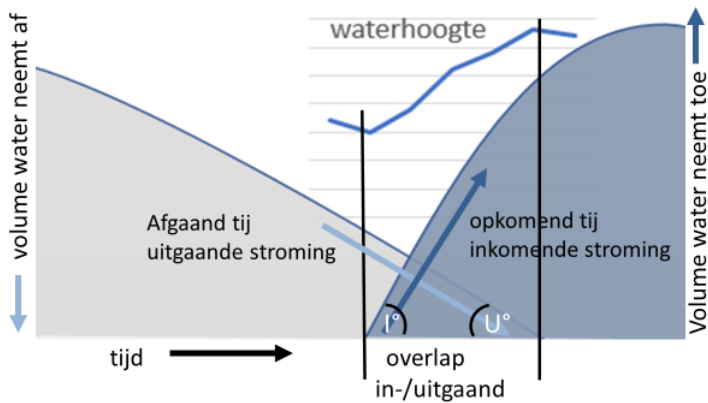
Het waterniveau kan dus stijgen zonder dat er een stroming aan het oppervlak ontstaat.

Natuurlijk is het een te simpel proefje om het proces bij het zeegat weer te geven, maar het laat wel zien dat instromend water op het oppervlak niet op het aanwezige water zal stromen, maar zich vermengt met het aanwezige water.

Dan zijn er nog 3 factoren die de vermenging van Noordzeewater en Waddenwater bevorderen: zouter en kouder Noordzeewater is zwaarder dan minder zout en warmer Wadwater (zie begin van ons verhaal, nr. 10) waardoor bij opkomend tij het Noordzeewater zich vermengt met het Wadwater in plaats van er overheen te stromen. Bovendien komt de vloedgolf niet zozeer als een laag water boven het afgaand water aan, maar heeft zich al veel eerder vermengd met het aanwezige water voor het bij een zeegat aankomt.

Het is dus heel goed mogelijk dat je een afgaande stroom hebt terwijl het water toch stijgt, en dus dat kentering en laagwatertijdstip niet gelijk vallen.

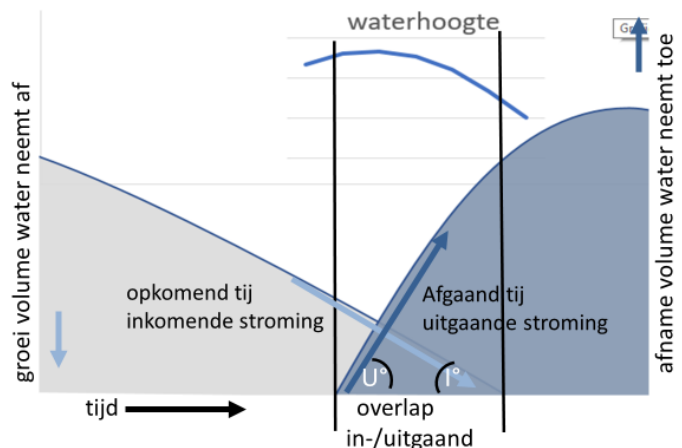
### Toename/afname watervolume einde afgaand tij



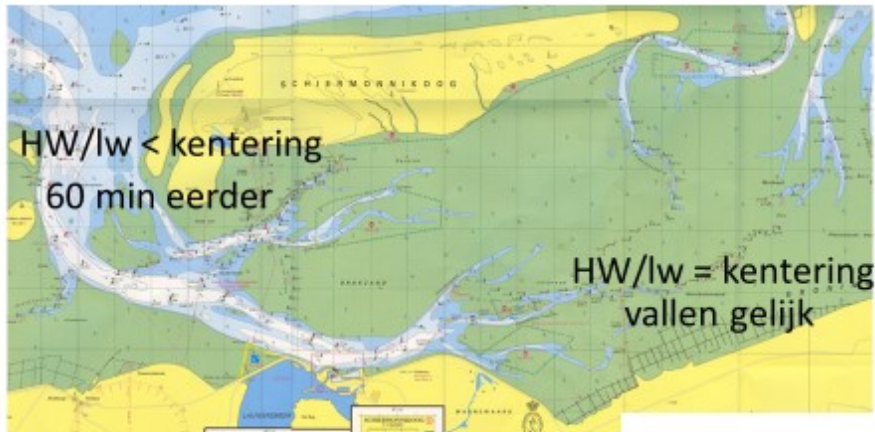
45. We bekijken de situatie bij een zeegat tegen het einde van het afgaand tij in meer detail. We zagen eerder (zie nr. 41) dat de volgende getijdeweg het zeegat al binnen stroomt terwijl het afgaand water van de vorige golf nog niet afgelopen is. Gedurende enige tijd overlappen uitgaande en inkomende stroming elkaar. In deze periode neemt het volume water in het zeegat af door het uitstromende water, maar neemt het tegelijkertijd toe door het binnenkomende water (zie terug nr. 42). De waterhoogte ter plaatse is de resultante van deze toename en afname van het volume water. De stroomrichting is de resultante van de ingaande en uitgaande stroom; zolang de uitgaande stroom groter is dan de inkomende stroom zal de waargenomen stroom afgaand zijn, hoewel de waterhoogte inmiddels stijgt. Zoals de figuur ook laat zien dat het tijdstip van laagwater eerder is dan de kentering en heb je zoals dat ook wel wordt genoemd een verlengd tij.

46. Nu de situatie bij het einde van het opkomend tij. Voordat de instroom van de vloedgolf ten einde is, komt de uitstroom ook al op gang (zie nr. 38). De figuur is wat ingewikkelder te begrijpen dan de vorige. In de figuur staat links de afname in de groei van het volume weer gegeven, dus niet het volume zelf. Rechts wordt de toename van het volume van het uitstromende water weergegeven, dus van het water dat de Waddenzee verlaat. De afnemende groei van het volume van het water dat de Waddenzee instroomt – links -draagt steeds minder bij aan verhoging van de waterstand. Terwijl de toenemende hoeveelheid water dat de Waddenzee verlaat juist steeds meer bijdraagt aan de verlaging van de waterstand. Net als bij de vorige situatie is het resultaat is dat het hoogwatermoment eerder valt dan de kentering = verlengd tij

### Toename/afname watervolume einde opkomend tij



# Kentering van zeegat tot wantij



- Het tijdsverschil in kentering en hoog/laagwater is bij het zeegat het grootst tot ca 1 uur en bij het wantij het kleinst ca 0 minuten
- Verlengd tij. Bij dood tij minder dan bij springtij omdat verhouding Noordzeewater – Waddenwater kleiner is dan bij springtij?

47. Uit de voorgaande beelden kun je opmaken dat het verschil tussen het moment van kentering en dat van hoog- en laagwater het grootst is bij de zeegaten en op de Noordzee. Maar naarmate je dichterbij het wantij komt, kruipen die tijden naar elkaar toe, omdat ook de hoeken U en I steeds kleiner worden als gevolg van de afnemende stroomsnelheden.

De bewering dat kentering en hoog/laagwater niet gelijk vallen en die aanleiding was voor mijn zoektocht naar het hoe en wat bij stroming in het Wad, is dus ten dele terecht, maar naarmate je dichterbij het wantij komt, gaat de aanname dat kentering= hoogwater resp. Laagwater beter op.

Robbert van der Eijk  
Groningen, februari/maart 2020