



Geochemie van het voormalige getijdegebied Slikken van Flakkee

Presentatie op 2 december 2020 met vragen en antwoorden

Drs. Martin van der Weiden, BSc. Deborah Bassotto en
Dr. Anton van Haperen



Inhoud

1. Inleiding	1
2. Presentatie 2 december 2020	2
3. Vragen en antwoorden	8
4. Referenties	12

Figuren

Figuur 1: Voortschrijdende gemiddelden van Ellenbergvoedselrijkdomswaarden per deelgebied per hoogteklasse per PQ versus tijd voor deelgebieden binnen Slikken van Flakkee. De periode voor het voortschrijdend gemiddelde is vijf jaar en de gemiddelden zijn toegewezen aan het centrale jaar.	10
Figuur 2: Voortschrijdende gemiddelden van Ellenbergshaliniteitswaarden per deelgebied per hoogteklasse per PQ versus tijd voor Slikken van Flakkee. Voortschrijdende gemiddelden zoals in Figuur 1.	11
Figuur 3: Ellenbergshaliniteitswaarden versus tijd voor geselecteerde PQ's in Slikken van Flakkee. Betreft PQ's waarvoor waarde in of sinds 2005 hoger is geworden of is gestabiliseerd. Legenda zoals in Figuur 2.	11

Tabel

Tabel 1: Hoogte en bodemsamenstelling van PQ's met in of sinds 2005 verhoging van Ellenbergshaliniteitswaarde.....	9
--	---

1. Inleiding

Deelonderzoek Labwerk Slikken van Flakkee

Op 10 oktober 2018 heeft het Copernicus Instituut opdracht gekregen van Rijkswaterstaat voor het uitvoeren van het onderzoek 'Ecohydrogeochemie voormalige getijdegebieden, Grevelingen' met het zaaknummer 31144038. Dit onderzoek bestond uit 4 deelonderzoeken en het 2^e deelonderzoek betrof de chemische analyse van bodemonsters van de Slikken van Flakkee.

Rapport

Als eindproduct van dit deelonderzoek is een rapport opgesteld. Het concept van dit rapport is in november 2020 beoordeeld door Paul Paulus (Rijkswaterstaat), Erik Jan van der Meer (RVO), Sander Terlouw (Staatsbosbeheer), Yvette Rosenboom (RVO), Roos Bol (Rijkswaterstaat) en René Boeters (Rijkswaterstaat) als leden van het werkoeverleg voor het project 'Getij Grevelingen'. Zij hadden geen commentaar op het rapport en het rapport is daarom definitief gemaakt (Weiden et al., 2020).

Presentatie

Op 2 december 2020 is voor deze direct betrokkenen door Van der Weiden een presentatie verzorgd als toelichting bij het rapport. De toen gestelde vragen hadden vooral betrekking op de hydrologische en ecologische effecten van beperkt getijherstel. Deze vragen zijn door Van der Weiden kwalitatief beantwoord. Verwacht wordt dat met deelonderzoek 3 (hydrologisch modelleren Slikken van Flakkee) de hydrologische effecten gekwantificeerd zullen kunnen worden.

Indeling

De dia's van de presentatie zijn weergegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn de vragen en antwoorden weergegeven.

2. Presentatie 2 december 2020



The title slide features a green background with a central text area. To the left is a vertical image of green grass, and to the right is a vertical image of blue water with golden reflections. The text is centered in the green area.

Geochemie van het voormalige getijdegebied Slikken van Flakkee

Martin van der Weiden
2 december 2020
m.m.v. Deborah Bassotto en Anton van Haperen



Universiteit Utrecht



Rijkswaterstaat
Ministerie van Verkeer en Waterstaat



The introduction slide features an aerial satellite-style map of the Slikken van Flakkee area, showing a winding waterway through a landscape of green fields and brownish soil. The text is overlaid on the left side of the map.

Inleiding

- Ecohydrogeochemisch onderzoek in voormalige getijdegebieden
- Kwantificeren optredende processen
 - Sinds droogvallen
 - Bij beperkt herstel getij
- Aansluiting bij project 'Getij Grevelingen'
- Deelonderzoek: Labwerk Slikken van Flakkee
- Doel: Samenstelling bodem en poriënwater > geochemische processen

Thema's

1. Slikken van Flakkee
2. Methoden
3. Resultaten
4. Interpretatie en discussie
5. Conclusies en aanbevelingen

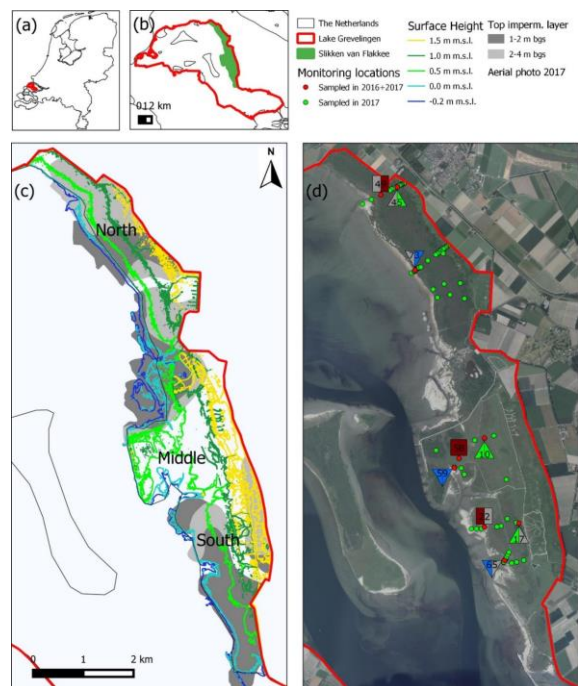


3

Ecohydrogeochemisch onderzoek, Labwerk

1. Slikken van Flakkee

- Drooggevallen in 1971
- Hoogteverloop: -20cm+NAP – 150cm+NAP
- Bodem:
 - Fijn zand
 - Naast geulen ondiep veen en zandige klei
 - > Minder doorlatend
 - > Tragere grondwaterstroming
 - > Trager verloop processen
- Onderzoeklocaties:
 - 63 PQ's



4

Ecohydrogeochemisch onderzoek, Labwerk

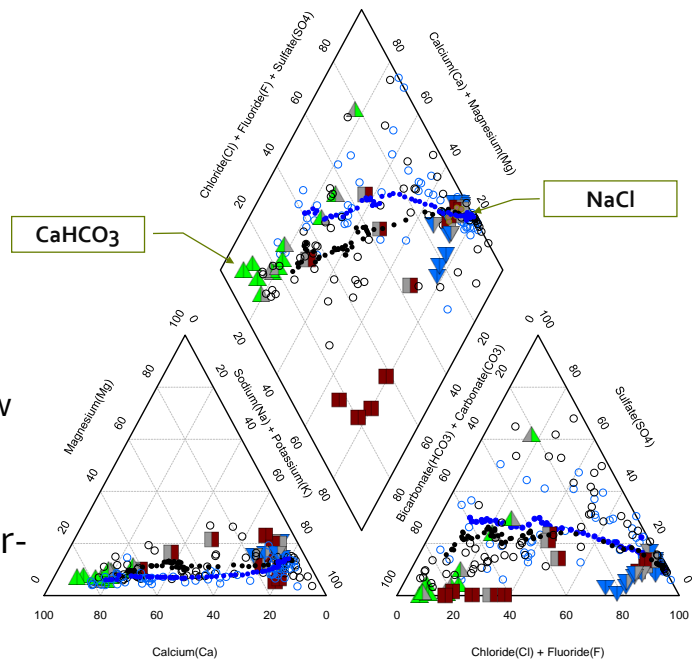
2. Methoden

- Veldwerk
 - 2016: 9 PQ's, 4 diepten
 - 2017: Alle 63 PQ's, 2 diepten
- Labwerk
 - 2016: Directe bemonstering poriënwater
 - 2017: Extracties voor reconstructie poriënwater
- Dataverwerking
 - Correcties, berekeningen en controles
 - Welke processen en fasen relevant?
- Inverse modellering
 - Kwantificering processen die watersamenstelling verklaren



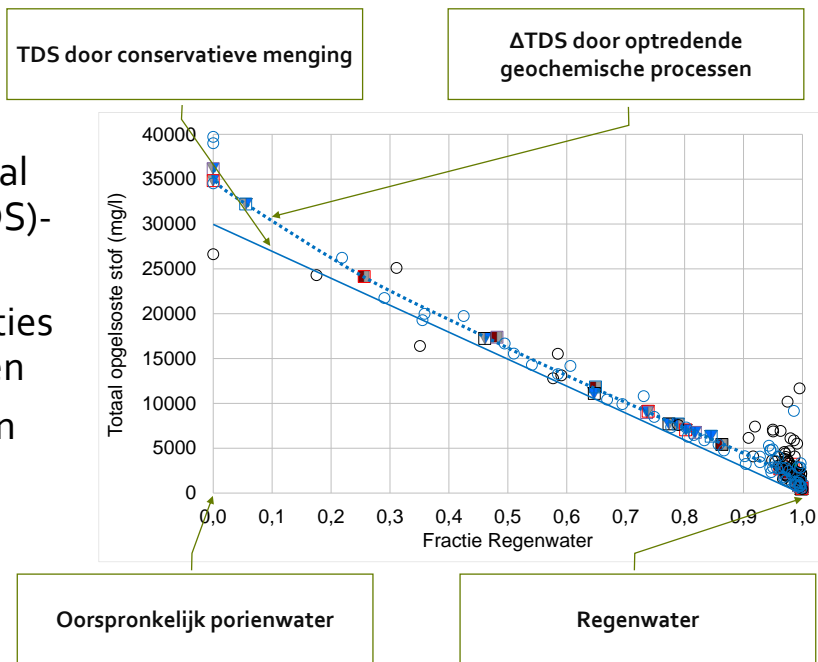
3.1 Resultaten

- Verificatie
 - 2016 '≡' 2017
- Optredende processen
 - Ontzilting, Oxidatie, Kalkoplossing, Kationuitwisseling, Opbouw organisch materiaal met nutriënten
- Ontwikkeling poriënwater-samenstelling
 - NaCl -> CaHCO₃



3.2 Resultaten

- Ontwikkeling Totaal opgeloste stof (TDS)-gehalten
- Verschilconcentraties voor alle elementen
- Omvang processen gekwantificeerd



4. Interpretatie en discussie

- Poriënwater en gereconstrueerd poriënwater
 - 2016: Representatief voor in situ situatie
 - 2017: Oxidatie -> Extra ΔTDS (zoals bij verdroging), geen invloed op Cl

- Omvang processen gekwantificeerd

- Kalkoplossing versterkt door
- oxidatie sulfiden,
- neerslag ijzerhydroxiden
- Kationuitwisseling

Nr	Proces	Fase en reactievergelijking	Omzetting (gram/l)			
			Poriënwater		H ₂ O-extract	
	Omschrijving		A-horizont	B-horizont	A-horizont	B-horizont
1	Indringen gassen	$CO_2 + H_2O \rightarrow HCO_3^- + H^+$	0.12	0.10	0.21	-0.08
2		$O_2 \rightarrow O_2(aq)$	0.09	0.27	0.56	0.40
3	Oplossen kalk als aragoniet	$CaCO_3 + H^+ \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$	0.56	0.99	1.54	1.24
4	Oplossen kalk als strontianiet	$SrCO_3 + H^+ \rightarrow Sr^{2+} + HCO_3^-$	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Oxidatie ijzersulfiden	$FeS + O_2 \rightarrow Fe^{2+} + SO_4^{2-}$	0.05	0.28	0.28	0.42
6	Neerslag ijzerhydroxiden	$4 \cdot Fe^{2+} + O_2 + 10 \cdot H_2O \rightarrow 4 \cdot Fe(OH)_3 + 8 \cdot H^+$	-0.05	-0.34	-0.34	-0.50
7	Kation uitwisseling	$NaX \rightarrow Na^+ + X^-$	0.01	0.08	0.12	0.12
8		$KX \rightarrow K^+ + X^-$	0.02	0.03	0.18	0.10
9		$MgX_2 \rightarrow Mg^{2+} + 2 \cdot X^-$	-0.01	0.04	0.03	-0.04
10		$Ca^{2+} + 2 \cdot X^- \rightarrow CaX_2$	-0.01	-0.15	-0.25	-0.09
11	Oplossen chalcedoon	$SiO_2 + 2 \cdot H_2O \rightarrow H_4SiO_4$	0.00	0.00	0.04	0.05
12	Oxidatie organisch materiaal	$N_{org. mat.} + 1.25 \cdot O_2 + 0.5 \cdot H_2O \rightarrow NO_3^- + H^+$	0.02	0.01	0.12	0.02
Σ omzettingen, absoluut			0.93	2.27	3.66	3.06
Σ omzettingen, netto (A)			0.80	1.32	2.49	1.64
TDS-verschilconcentratie (B)			0.95	1.55	2.74	1.60
Σ omzettingen t.o.v. TDS-verschilconcentratie (A/B*100; %)			84.80	84.98	91.04	102.80

• Totaal: 1-3 gram / l

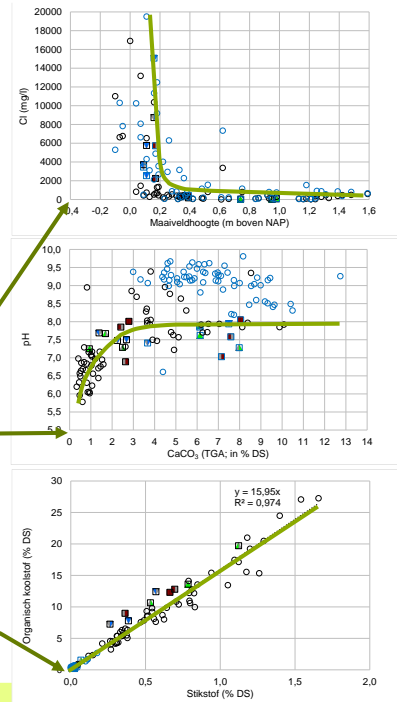
5.1 Conclusies

- Geochemische processen geïdentificeerd en gekwantificeerd
- Belangrijkste processen
 - **Ontzilting**
 - Afhankelijk van maaiveldshoogte, doorlatendheid én overstromingsgrens (ca. 20-40 cm boven NAP)
 - **Kalkoplossing**
 - 0,5-1,5 gram CaCO_3/l (versterkt door oxidatie ijzersulfiden / neerslag ijzerhydroxiden en kationuitwisseling)
 - Geen verzuring (door overmaat kalk t.o.v. ijzersulfiden; pH niet lager dan van regenwater)
 - **Geen eutrofiering**
 - Nutriëntgehalten zijn natuurlijk ($\text{C/N}=16$)

Cl – Maaiveldhoogte

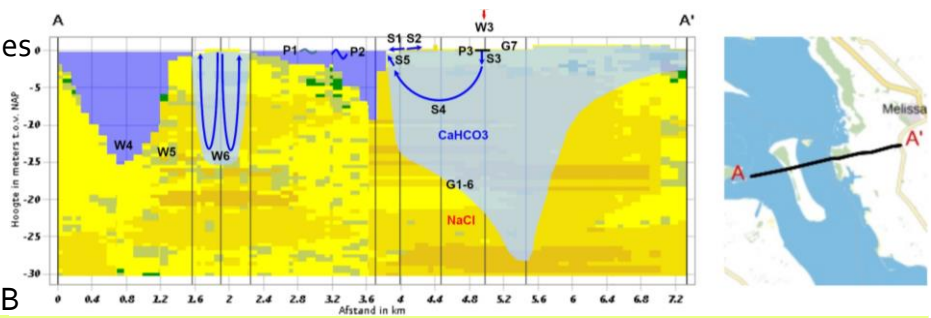
pH – CaCO_3

C – N



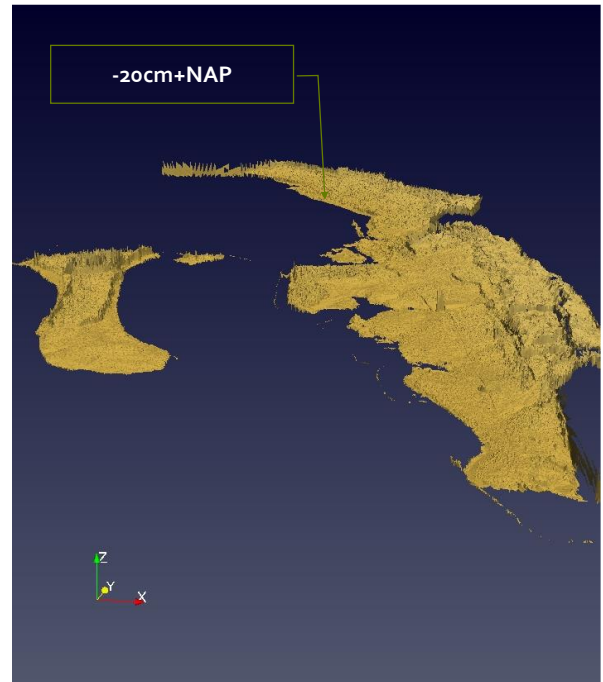
5.2.1 Aanbevelingen

- Statistische analyse
 - Al uitgevoerd
 - Kwantificering onderlinge relaties vegetatie en abiotische condities
 - Significant:
 - CaCO_3 -A
 - Fijn zand-A
 - OM-B
 - Cl-A
 - (Zeer) fijn zand-B
- Hydrologische modellering
 - Gepland (3D met iMOD)
 - Doel: Bij Peil_{huidig} en Peil_{getij} kwantificeren:
 - grondwaterstand
 - snelheid stroming en geochemische processen



5.2.2 Aanbevelingen

- Beheer land
 - Grijp niet / beperkt in voor behoud
 - autonome ontwikkeling
 - waardevolle vegetatie
- Beheer water
 - Beperk overstroming door getij voor behoud:
 - omvang gebied



3. Vragen en antwoorden

In dit hoofdstuk zijn de tijdens het werkoverleg op 2 december 2020 gestelde vragen en bijbehorende toelichting door Van der Weiden voorzien van antwoorden en daarbij geordend volgens huidige situatie, situatie met beperkt getij en effecten van opwaaiing, huidige peiloptimalisatie, beperkt getij en opwaaiing bij beperkt getij. De vragenstellers zijn aangeduid met hun initialen.

1 Huidige situatie

Het huidige streefpeil is -20cm+NAP met een maximum peil van -10cm+NAP dat 2*/maand wordt bereikt. In de huidige situatie treedt scheefstand / opwaaiing / overstroming incidenteel op tijdens harde wind en storm. In de Slikken van Flakkee is de oever loodrecht georiënteerd op de overwegend vanuit het zuidwesten komende wind waardoor er meer opwaaiing dan in de andere gebieden in het Grevelingenmeer optreedt en bijgevolg de vegetatietypen hoger liggen.

Sinds 2005 is het streefpeil geoptimaliseerd waarbij in de winterperiode het peil ligt op -16cm+NAP (Wetsteijn, 2011). In de winterperiode is het peil hierdoor 4 cm hoger.

1.1 Nutriëntgehalten? [ST]

De C/N-verhouding is voor alle grondmonsters gemiddeld ca. 16 en die waarde is kenmerkend voor natuurlijke omstandigheden. De Ellenbergnutriëntwaarden hebben zich sinds 1971 wel ontwikkeld: *“De waarden variëren van ‘voedingsarm - matig voedzame bodem’ (4) tot ‘voedzame bodem’ (7). Het bereik is het grootst in ‘Midden en Zuid’, met de grootste afname bij de hoogteklasse 0,8 m boven NAP. De waarde toont alleen een afhankelijkheid van de hoogte in ‘Noord’. In ‘Noord’ laat de waarde de grootste stijging zien voor de hoogteklassen 0,8 en 1,2 m boven NAP”* (zie **Figuur 1**) (Weiden et al., In preparation).

2 Situatie met beperkt getij

Bij beperkt getij wordt het peil $-30 \pm 20 \text{cm} + \text{NAP}$. Het maximum van ook $-10 \text{cm} + \text{NAP}$ wordt 2*/dag bereikt.

Bij beperkt getij is de scheefstand / opwaaiing / overstroming mogelijk groter / hoger / verder.

3 Effecten

Effecten kunnen betrekking hebben op het oppervlak, de grondwaterstand, de watersamenstelling en de vegetatie.

3.1 Opwaaiing huidige situatie? [ST]

- *Oppervlak:* Met de op het Grevelingenmeer gemeten waterpeilen kan de overstromingsgrens niet bepaald worden en op de Slikken van Flakkee zelf worden geen waterpeilen gemeten.
Met de Cl-concentraties in het (gereconstrueerde) poriënwater kan wel de overstromingsbegrenzing afgeleid worden: ca. 20-40 cm+NAP.

3.2 Peiloptimalisatie? [ST]

- *Vegetatie:* Voor het in beeld brengen van trends in de ontwikkeling van de vegetatie zijn voortschrijdende gemiddelden van Ellenbergssaliniteitswaarden berekend en uitgezet tegen de tijd (Weiden et al., In preparation). **Figuur 2** laat zien dat sinds 1971 de waarden geleidelijk afnemen door ontzilting afhankelijk van maaiveldhoogte, doorlatendheid én overstromingsgrens. De trends zijn over het algemeen asymptotisch. Alleen bij ‘Hoogteklasse-waarde -10cm+NAP; Bovenkant ondoorlatende laag 3-4 m-mv’ zijn de waarden niet afgenomen sinds 1971.

In **Figuur 2** zijn in de waarschijnlijke overstromingszone (hoogteklassewaarden -0,1 t/m 0,2 m+NAP) geen duidelijke trendbreuken waarneembaar rond 2005.

In **Figuur 3** zijn de individuele ontwikkelingen van de Ellenbergsaliniteitswaarde weergegeven voor de PQ's t/m hoogteklassewaarde 0,2 m+NAP én die in of sinds 2005 een verhoging vertonen. In de tabel hieronder zijn de betreffende PQ's met hun hoogte en bodemsamenstelling weergegeven.

Tabel 1: Hoogte en bodemsamenstelling van PQ's met in of sinds 2005 verhoging van Ellenbergsaliniteitswaarde.

PQ	Hoogte (m+NAP)	Bodemsamenstelling
N71	-0,07	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
N73	0,16	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
N74	0,18	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
N76	0,26	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z22	0,17	Bovenkant ondoorlatende laag op 3-4 m-mv
Z23	0,11	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z24	0,04	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z25	-0,10	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z59	0,11	Geen ondoorlatende laag
Z60	0,19	Geen ondoorlatende laag
Z81	-0,05	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z82	0,07	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z86	0,18	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv
Z87	0,25	Bovenkant ondoorlatende laag op 1-2 m-mv

3.3 Beperkt getij? [PP, YR, RenéB]

- **Oppervlak:** Geen effect (omdat $Peil_{max, getij} = Peil_{max, huidig}$; -10 cm+NAP).
- **Grondwaterstand:** Langs de oever wordt een hogere grondwaterstand van 0-10 cm verwacht. De waterbeweging in de bodem is namelijk vele malen trager dan in het oppervlaktewater. Bij vloed zal de grondwaterstand in de overstromingszone meestijgen, maar bij eb zal de daling van de grondwaterstand minder snel verlopen dan de daling van het waterpeil. Hierdoor treedt enige verhoging van de grondwaterstand op.
Op de Slikken van Flakkee en ook op de Veermansplaat hebben we infiltratie-experimenten uitgevoerd. We verwachten hiermee het effect van het getij op de grondwaterstand langs de oever te kunnen kwantificeren. Daarnaast meten we sinds begin 2018 op de Veermansplaat automatisch de stijghoogten in diepe putten (nu in 5 putten elk half uur). Bij de tot op heden uitgevoerde analyses bleek er geen relatie tussen de gemeten stijghoogten en het peil in het Grevelingenmeer. De grondwaterstand beweegt daar dus niet mee met het getij.
Met deelonderzoek 3 (hydrologisch modelleren) nader te kwantificeren.
- **Watersamenstelling:** Bij overstroming wordt de watersamenstelling geheel of gedeeltelijk 'gereset' waarbij het TDS-gehalte weer ca. 30.000 mg/l wordt en het watertype weer NaCl (verziltning).
- **Vegetatie:** Geen effect (omdat de 2 PQ's beneden -10 cm+NAP kaal zijn).

3.4 Opwaaiing beperkt getij? [ST]

Vooralsnog geen effect (zie 5.1). Als toch effect, dan mogelijk de volgende effecten.

- **Oppervlak:** Te kwantificeren met A_0/A_{SVF} waarin
 A_0 = Oppervlak van overstromingsgebied (m^2);
 A_{SVF} = Oppervlak Slikken van Flakkee (m^2).
- **Vegetatie:** Afhankelijk van nu aanwezige vegetatie t.p.v. overstroming.

4 Evaluatie

4.1 Peiloptimalisatie? [ST]

- **Vegetatie:** De overstroming door de peilverhoging van 4 cm is gering en heeft ter plaatse van de PQ's daardoor geen effect. Echter, uit de ontwikkeling van de Ellenbergssaliniteitswaarden volgt dat voor meerdere PQ's nabij de oever in of sinds 2005 de waarden een geringe verhoging dan wel stabilisatie laten zien. Dit kan verklaard worden door opwaaiing, maar ook door de bodemsamenstelling waarbij de ondiepe ondoorlatende laag en daarmee lage doorlatendheid zorgt voor trage ontzilting.

5 Maatregelen / compensatie

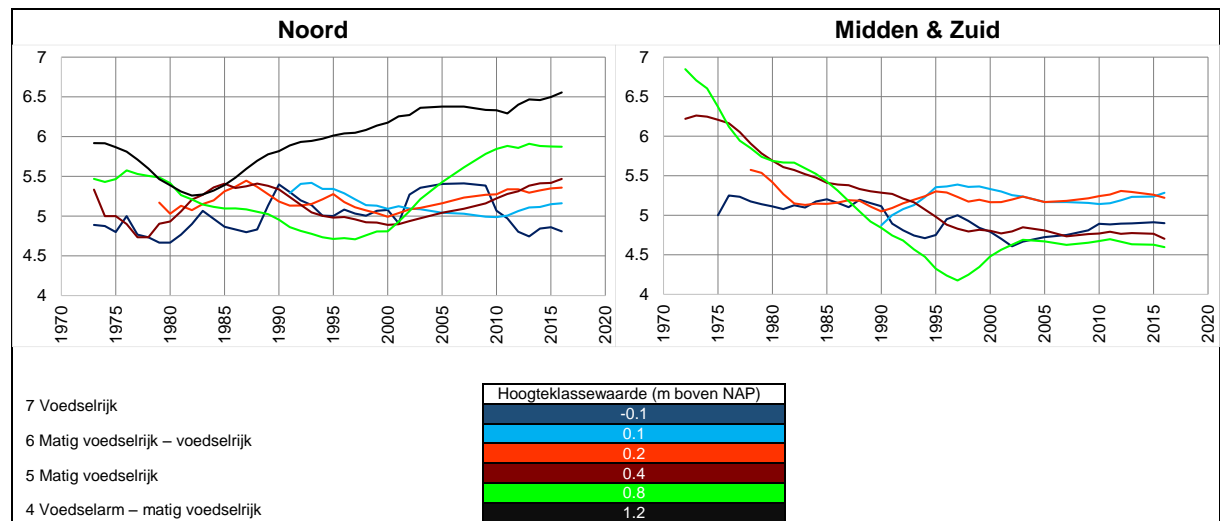
5.1 Opwaaiing beperkt getij? [ST]

- **Maatregel** Reeds voorzien: inlaat sluiten. [RenéB]
Mogelijk dat zo nodig met een oppervlaktewatermodel de opwaaiing / overstroming bij beperkt getij kan worden berekend?
- **Compensatie** Omdat maatregel al is voorzien, is compensatie vooralsnog niet aan de orde.

6 Aanbevelingen

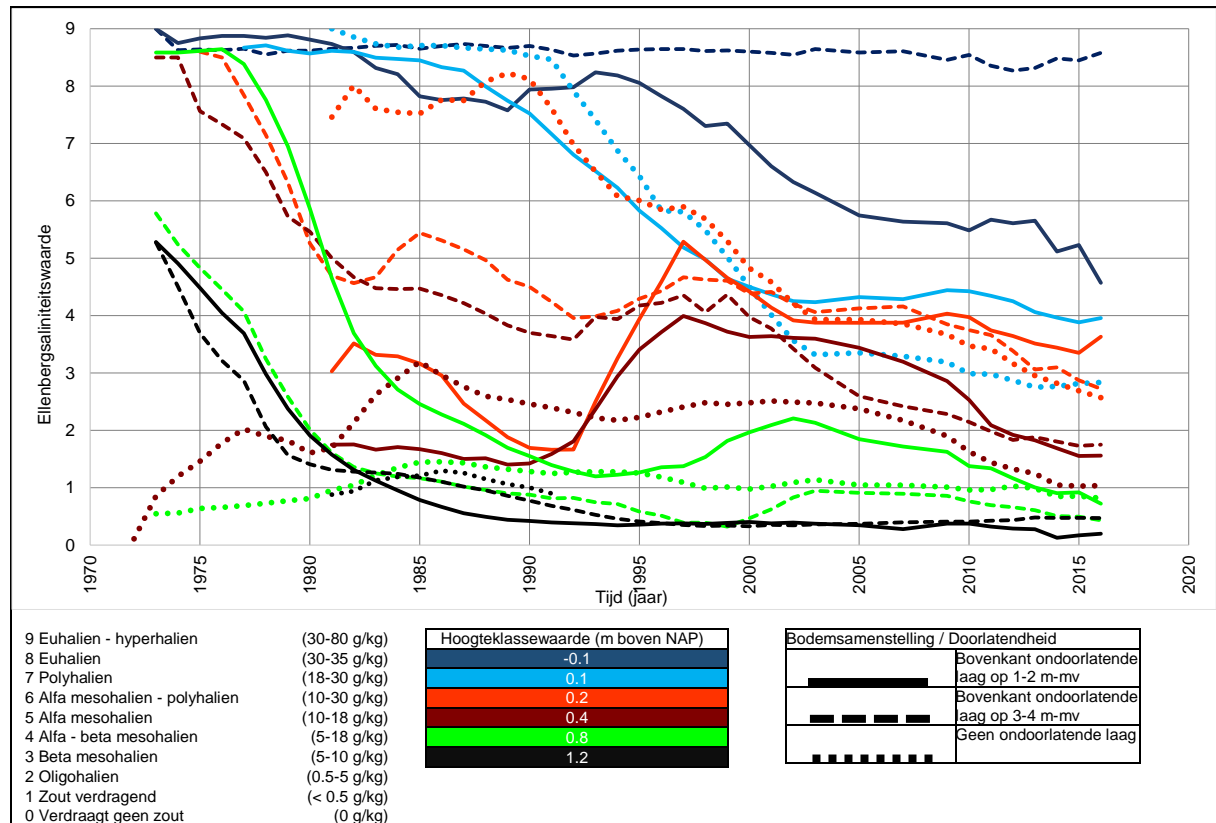
Aanbeveling? [ST]

Aanbevolen wordt om niet / beperkt ¹ in te grijpen voor behoud van de autonome ontwikkeling en de waardevolle vegetatie.

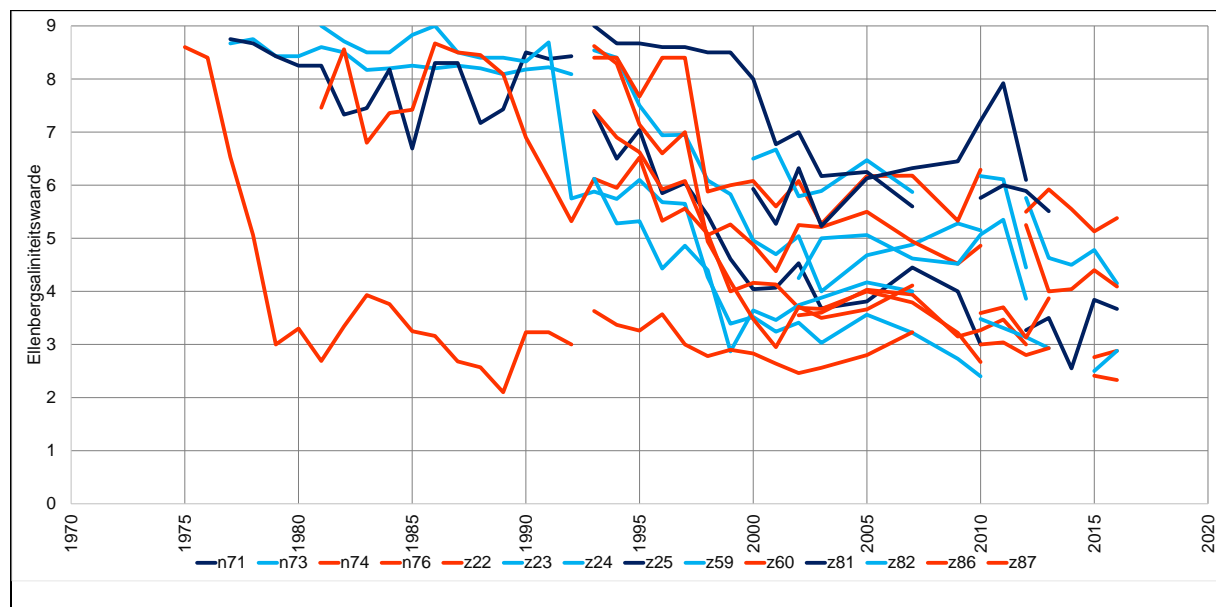


Figuur 1: Voortschrijdende gemiddelden van Ellenbergvoedselrijkdomswaarden per deelgebied per hoogteklaasewaarde per PQ versus tijd voor deelgebieden binnen Slikken van Flakkee. De periode voor het voortschrijdend gemiddelde is vijf jaar en de gemiddelden zijn toegewezen aan het centrale jaar.

¹ Zoals bij beperkt getij waarbij Peil_{max} gelijk blijft.



Figuur 2: Voortschrijdende gemiddelden van Ellenbergsaliniteitswaarden per deelgebied per hoogteklaas per PQ versus tijd voor Slikken van Flakkee. Voortschrijdende gemiddelden zoals in **Figuur 1**.



Figuur 3: Ellenbergsaliniteitswaarden versus tijd voor geselecteerde PQ's in Slikken van Flakkee. Betreft PQ's waarvoor waarde in of sinds 2005 hoger is geworden of is gestabiliseerd. Legenda zoals in **Figuur 2**.

4. Referenties

- Weiden MJJvd, Haperen AMMv, Wassen MJ, Kanters T (In preparation) Ecohydrogeochemistry of Slikken van Flakkee, a Former Tidal Wetland in The Netherlands.
- Weiden Mvd, Bassotto D, Haperen Av (2020) Geochemie van het voormalige getijdegebied Slikken van Flakkee, Chemische analyses van bodemmonsters voor kwantificeren ecohydrogeochemische processen sinds droogvallen. Copernicus Instituut, Universiteit Utrecht. 87. COPI/2020/20.058/MvdW/MW/HIJ.
- Wetsteijn LPMJ (2011) Grevelingenmeer: meer kwetsbaar? Een beschrijving van de ecologische ontwikkelingen voor de periode 1999 t/m 2008-2010 in vergelijking met de periode 1990 t/m 1998. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Waterdienst (RWS, WD). Lelystad. 163.