

Workshop thema 1: Bouwen met slib

Consolidatie van het slib en de invloed van startdichtheid, peilbeheer en vegetatie ontwikkeling

Thijs van Kessel, Marcel Klinge, Koen Princen

Onderzoeksvragen dunslib compartimenten

- **Hoe verloopt de consolidatie in de dunslib compartimenten?**
- **Wat is de invloed van vuldichtheid, korstvorming, zetting en vegetatie ontwikkeling op de consolidatie?**
- Is het materiaal geschikt voor de groei van helofyten?
- Hoe ontwikkelen we op de toplaag een vegetatiemat met voldoende draagkracht?

Opbouw van de workshop

1. Uitleg van het proces van consolidatie
2. Aanpak onderzoek naar consolidatie in de dunslib compartimenten
 - Vullen en inrichten van de compartimenten:
 - Metingen: fysica, hoogte ontwikkeling, invloed van zetting, kortvorming en vegetatie op de hoogte ontwikkeling
3. Resultaten
4. Conclusies
5. Implicaties voor inrichting en beheer
 - Bestaande eilanden
 - Nieuwe eilanden
6. Discussie

Wat is consolidatie en korstvorming? (2-3-4-5)

- 2 aandrijvende krachten:
 - zwaartekracht resulteert in wateroverspanning
 - verdamping resulteert in zuigspanning
- resulteren in uitstroming van water volgens 4 vergelijkingen:

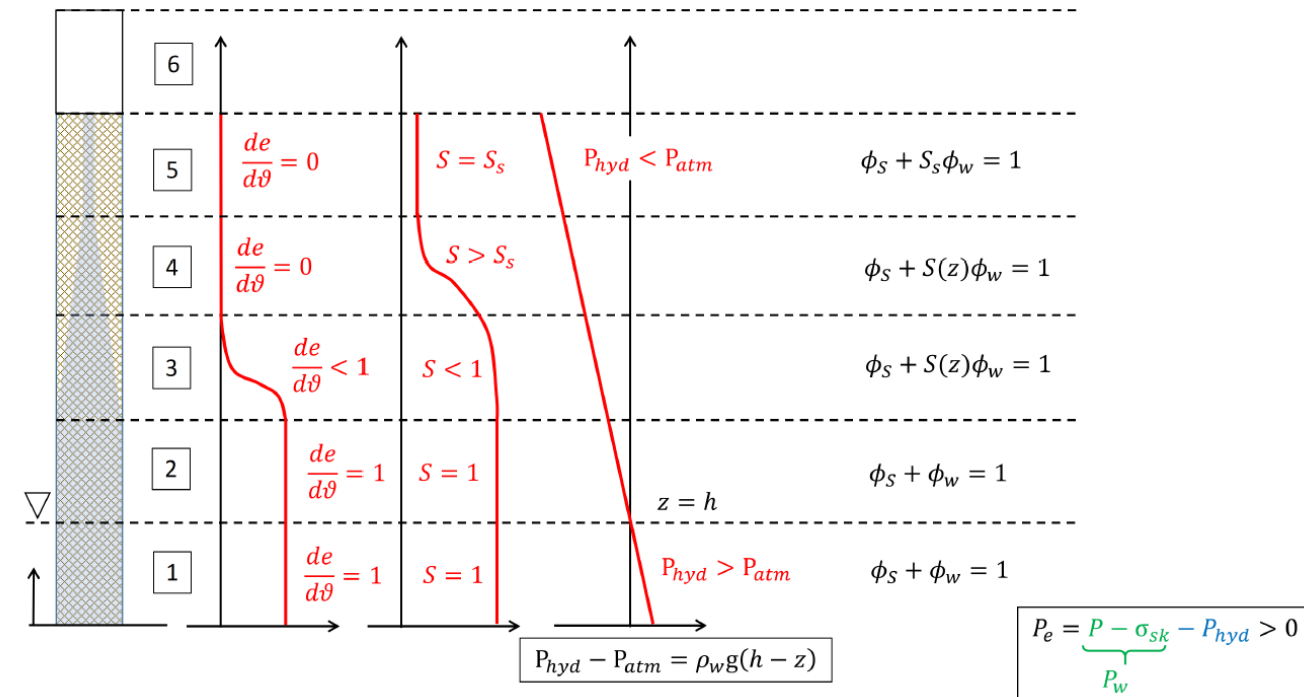
$$(v_{w/lab} - v_{s/lab}) \phi_w = \frac{-K}{g\rho_w} \frac{\partial P_e}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \phi_s}{\partial t} + \frac{\partial (v_{s/lab} \phi_s)}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \phi_w}{\partial t} + \frac{\partial (v_{w/lab} \phi_w)}{\partial z} = 0$$

$$\phi_s + f \phi_w = 1$$

- 3 empirische functies voor eigenschappen slib
 - doorlatendheidsfunctie $k = f(\phi)$
 - waterover- of zuigspanningsfunctie $\sigma_{eff} / P_e = f(\phi)$
 - voor verzadiging: krimpfunctie $de/d\vartheta$



- + 5 zones
- uitkomst model $h(t)$ en h_∞

Beperkingen theorie consolidatie en korstvorming

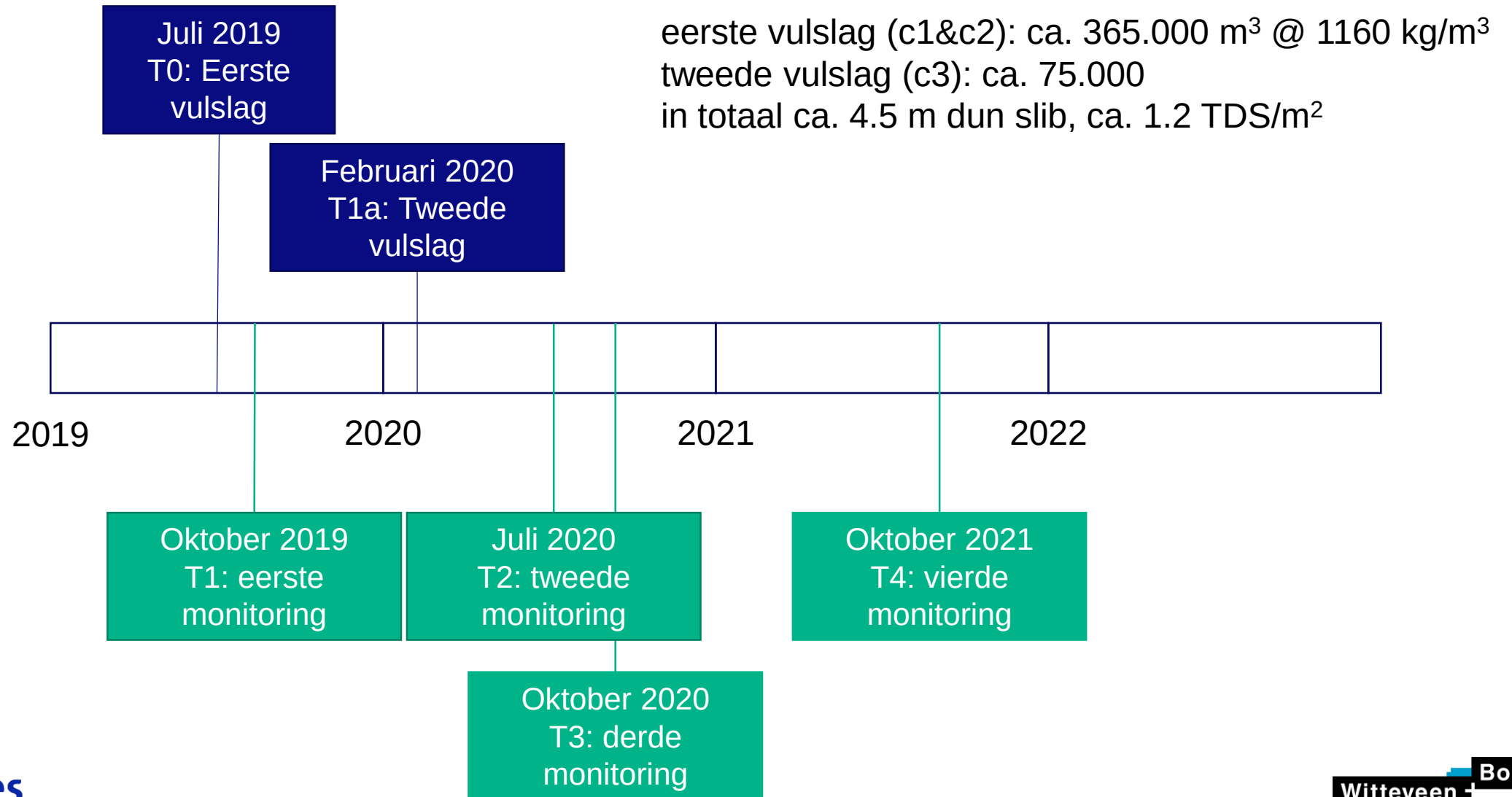
- vergelijkingen exact op de lossen, maar...
 - onzekerheid over eigenschappen slib (variabel)
 - onzekerheid over hoeveelheid slib in profiel
 - onzekerheid over waterpeil en verdamping
 - invloed van vegetatie op eigenschappen en verdamping
 - invloed scheuren in korst op doorlatendheid en korstdikte
 - model 1D, werkelijkheid 3D
 - onzekerheid over zetting ondergrond
- daarom waarnemingen in het veld essentieel

Hoe verloopt de consolidatie in de dunslibcompartimenten?

- vullen compartimenten
- overzicht metingen in compartimenten
- resultaten



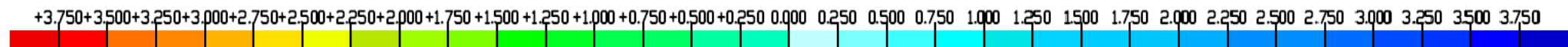
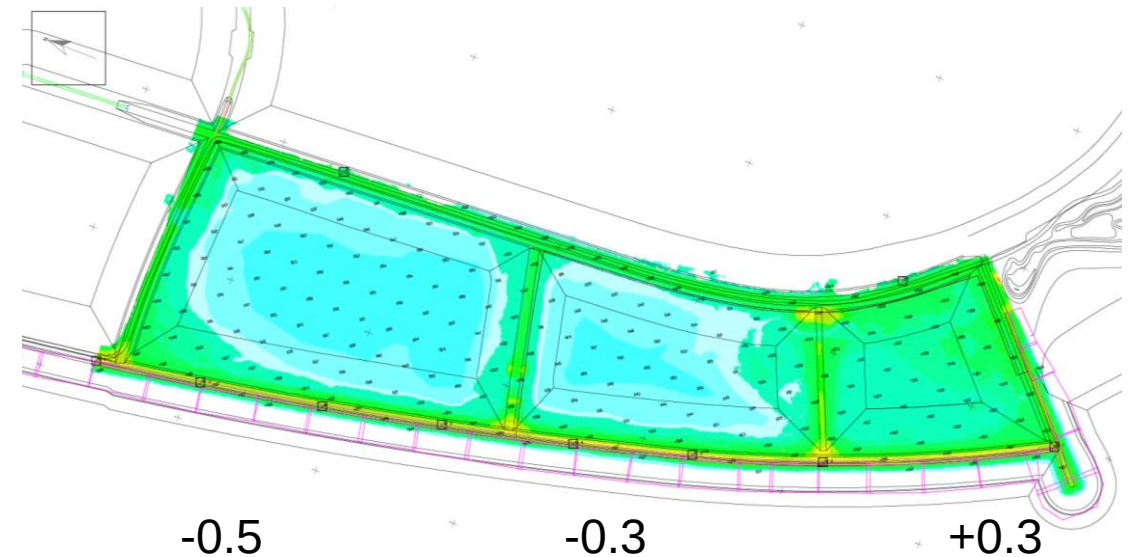
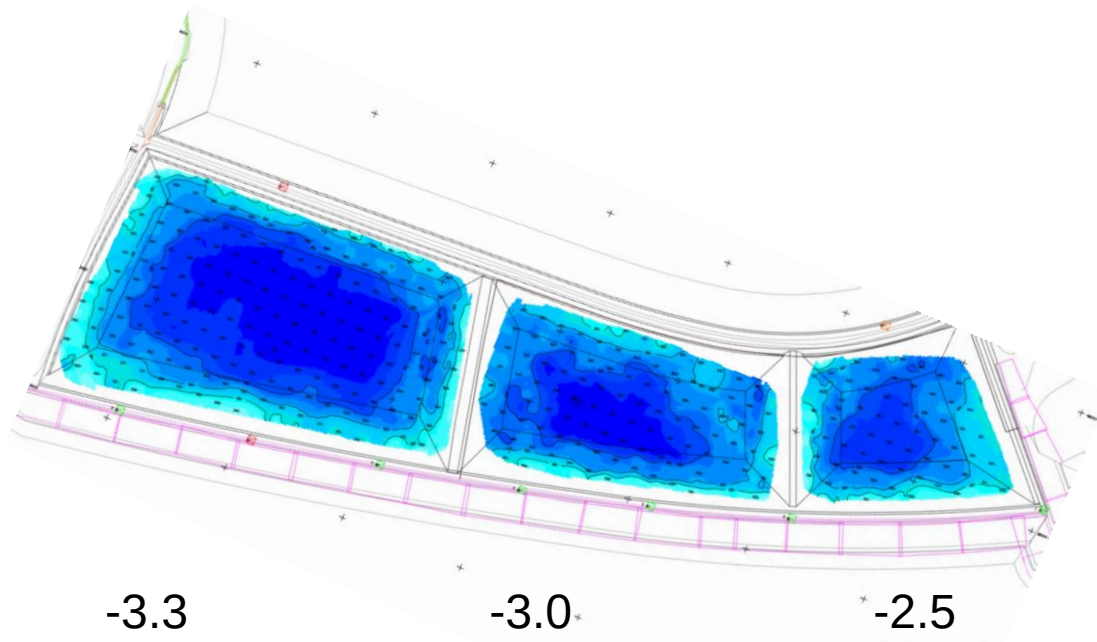
Tijdslijn



Voor vullen (april 2019)

Na vullen (eind 2020)

dikte sliblaag ca. 2.7 m
ca. 250.000 m³ @1300 kg/m³
meer zand en hogere dichtheid in 1^e compartiment

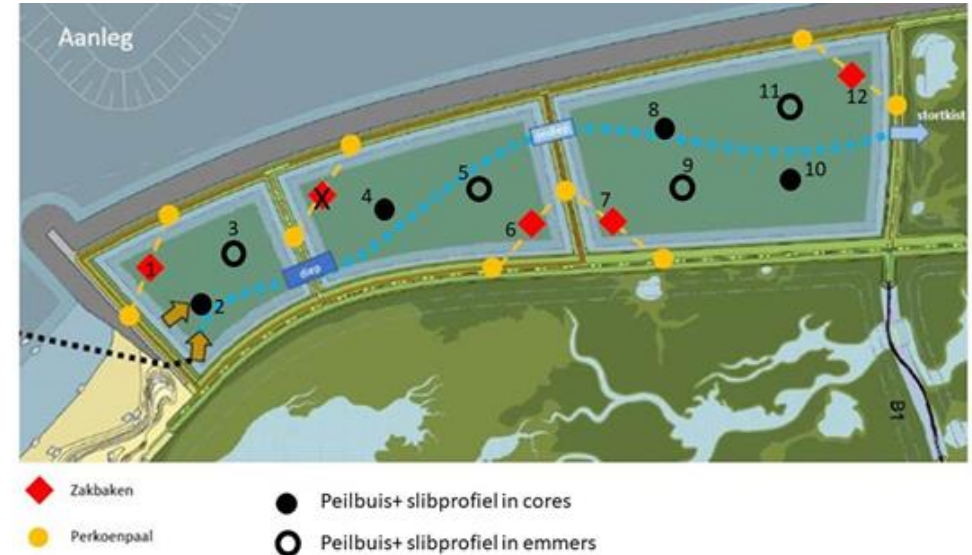


dieptes in m t.o.v. NAP

peil Markermeer -0.4 -0.2 winter, -0.3 -0.1 zomer

Wat hebben we gemeten en waarom? (fysica)

- zetting ondergrond
- niveau sliblaag
- waterstand
- waterspanning in sliblaag
- in-situ sterkte- en dichtheidsprofielen
- bemonstering in 10 profielen met deelmonsters en lab tests:
 - water-, droge stof en organisch gehalte
 - bulkdichtheid
 - Atterbergse grenzen
 - korrelgrootteverdeling
 - samenstelling poriewater m.b.t. nutriënten



Doel: invloed van initiële laagdikte, dichtheid, samenstelling, waterstand en vegetatie op consolidatie en de ontwikkeling van dichtheid en sterkte in de tijd.

Jip-en-Janneke: **Hoeveel slib hebben we nodig en hoe lang duurt het?**

Wat hebben we gemeten en waarom? (invloed van vegetatie op consolidatie)

2018: Kas-experiment

2020-heden: Empirisch onderzoek hoogte ontwikkeling wel/niet begroeide delen (nog niet afgerond)

Kas-experiment:

- Hoogte-ontwikkeling van slib in bakken onder gecontroleerde condities in een kas
- Onderscheid in onbegroeide bakken en bakken met verschillende soorten vegetatie (riet, lisdodde)



Riet



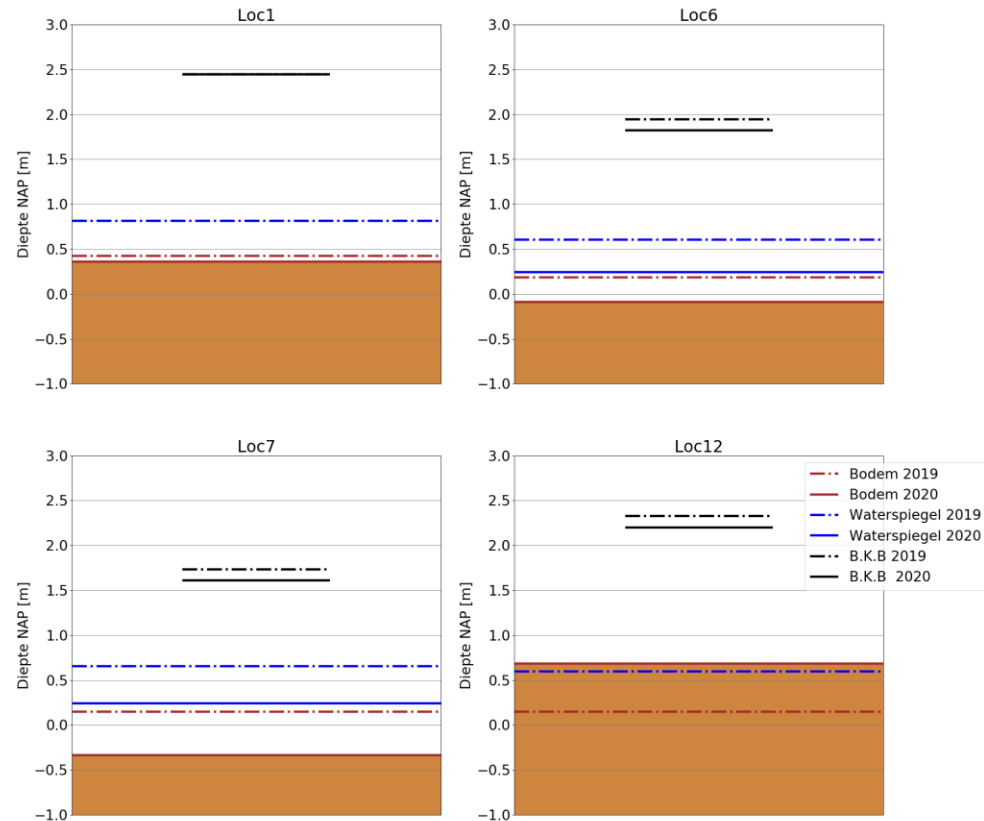
Lisdodde



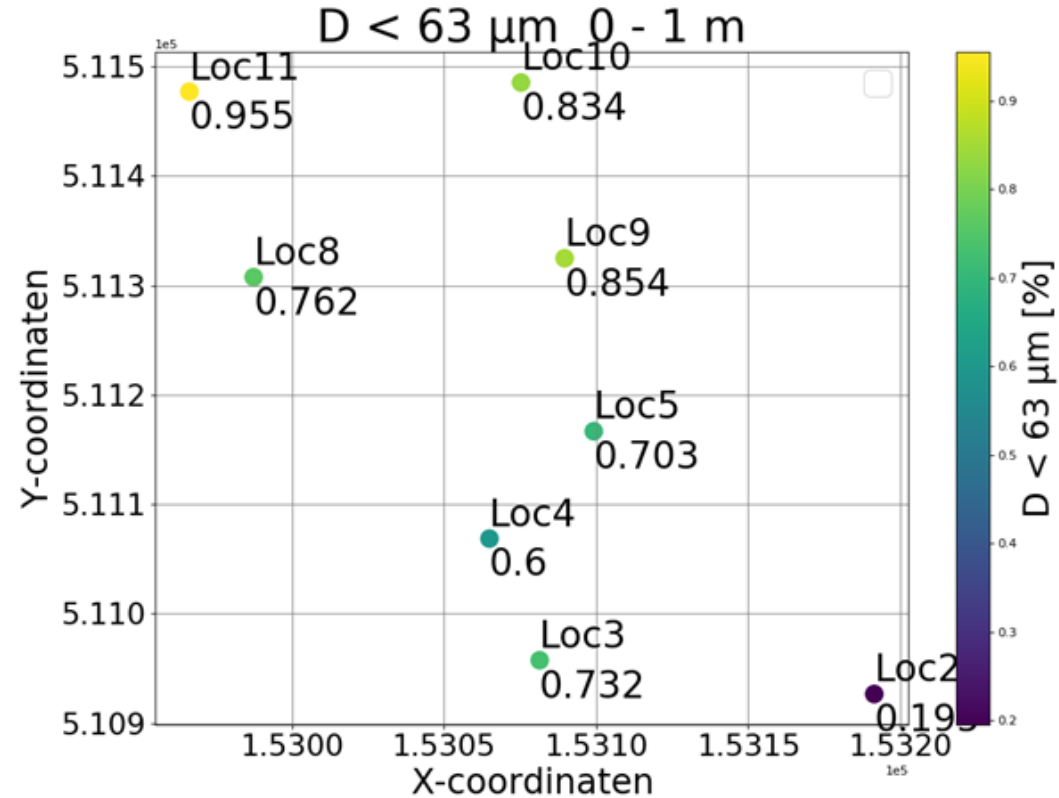
Onbegroeid

Vergelijking hoogte 2019 – 2020

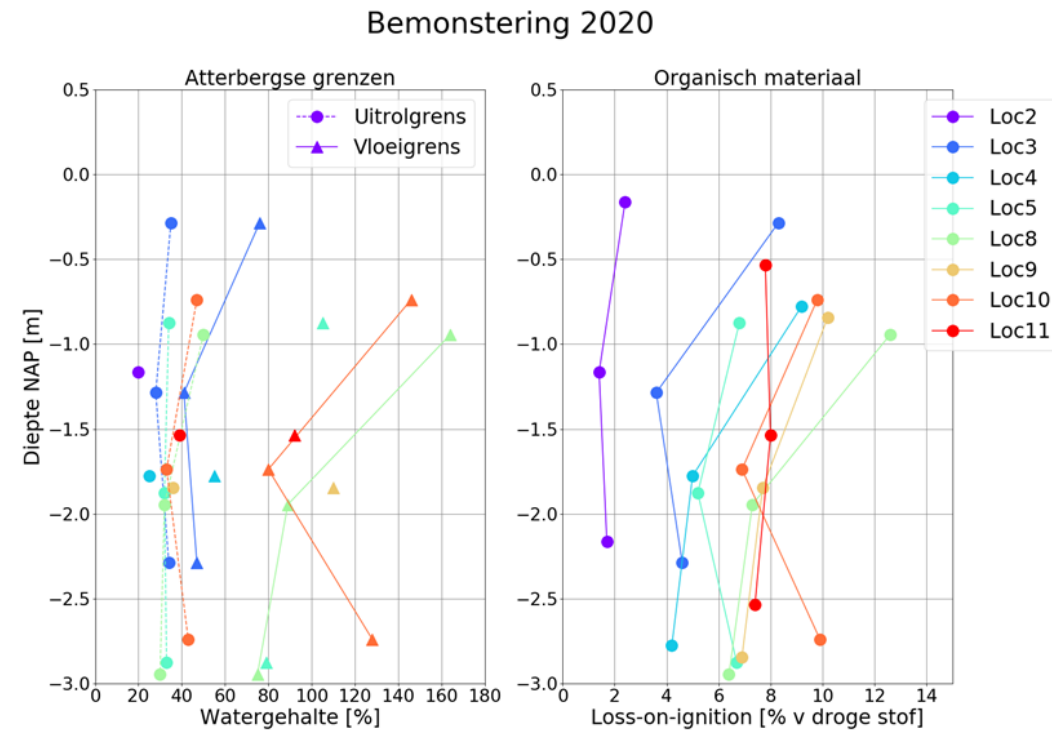
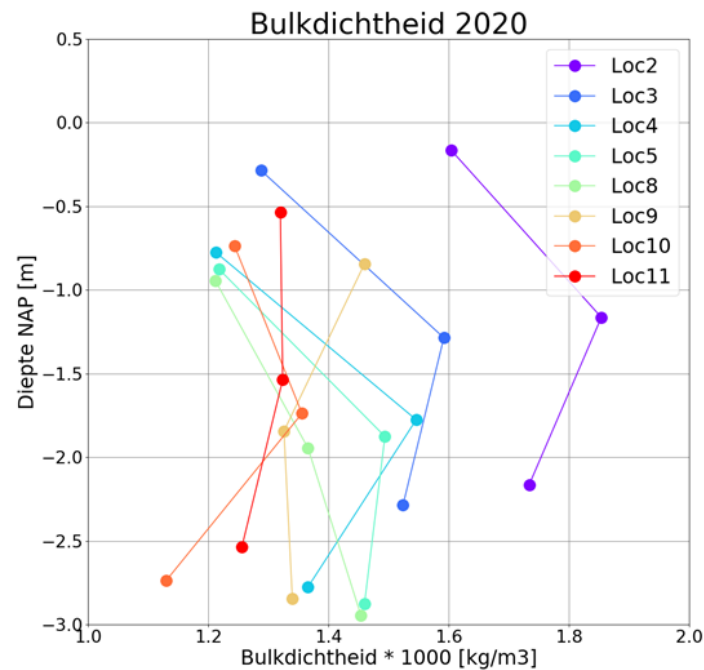
Zakbaken



Resultaten: ruimtelijke gradiënt in samenstelling

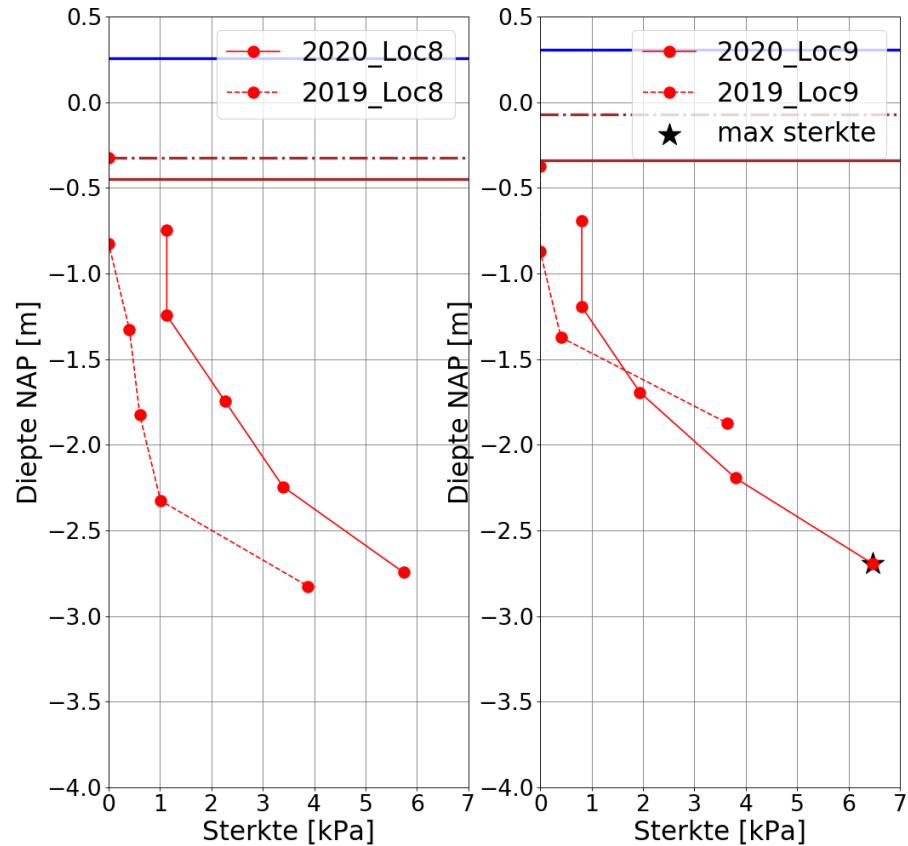


Eigenschappen van het slib

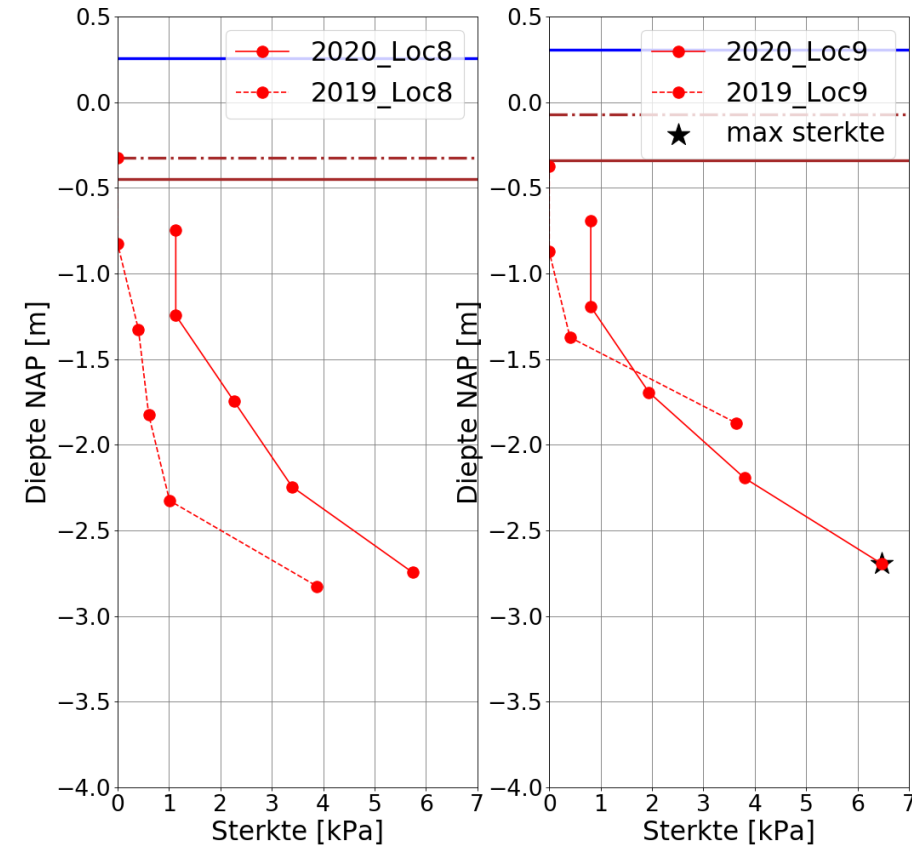


Vergelijking sterkte 2019 - 2020

Vane meting vak 2

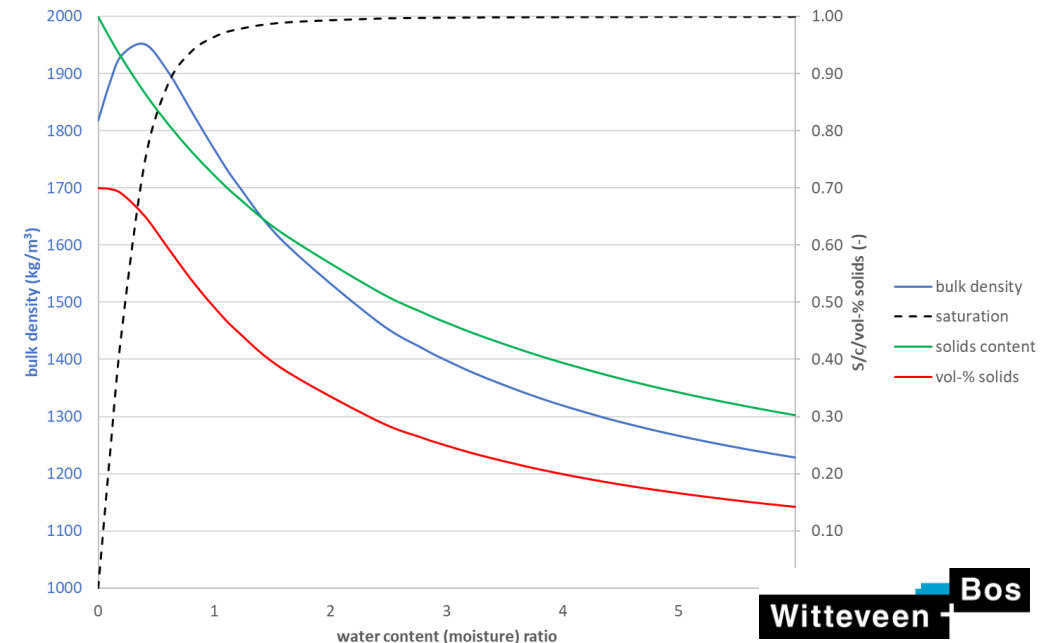


Vane meting vak 3



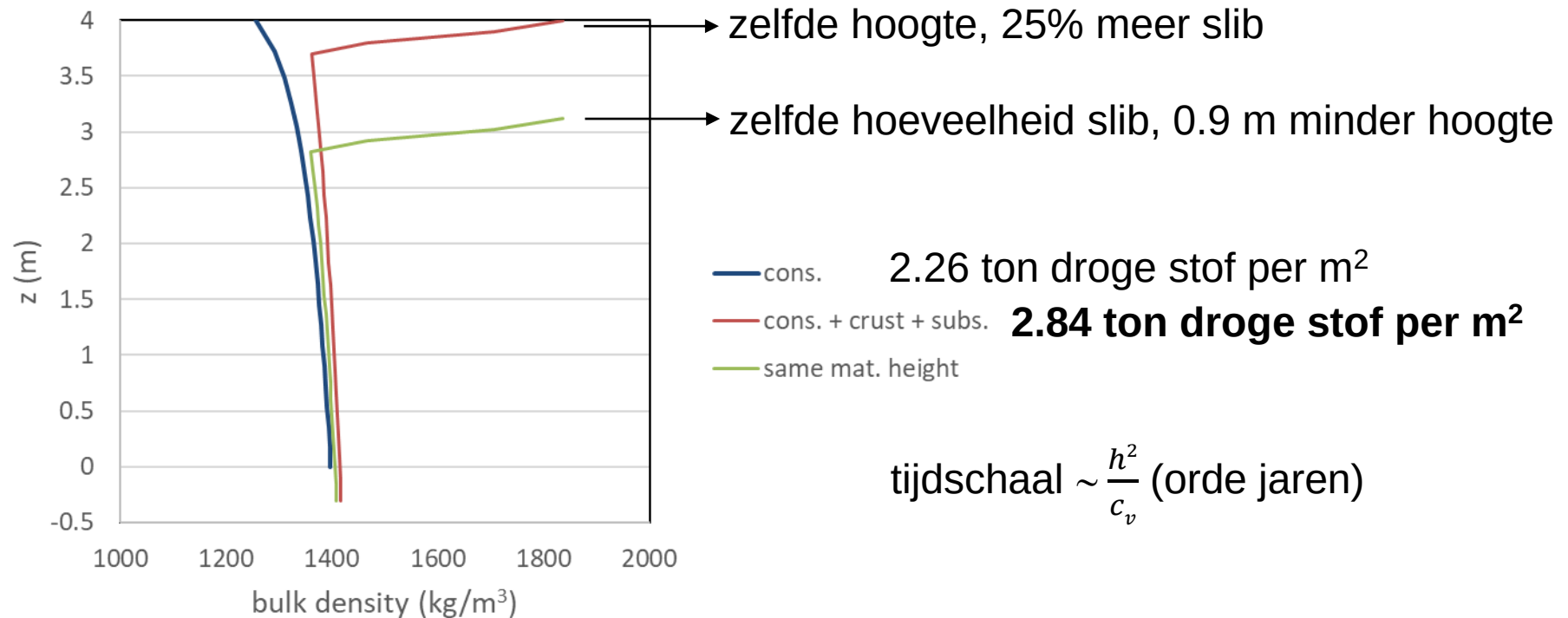
Hoe veel en hoe lang consolidatie – de antwoorden

- alleen consolidatie (onder water):
 - massafractie sediment 0.4 tot 0.6, volumefractie 0.2 tot 0.35 (bij start 0.1, dus >50% volumeverlies)
 - hoe lang: meerdere jaren?
- met korstvorming en zetting ondergrond is meer slib nodig vanwege:
 - de hogere dichtheid van de korst (volumefractie tot ca. 0.6, dus 2x zoveel als onder water)
 - het grotere gewicht van de korst boven water ($\Delta\rho$ 1.6 i.p.v. 0.4 ton/m³)
 - zetting ondergrond compartimenten ca. 0.15 m (elders 0.3)
- een groot verschil!
- disclaimer: nog niet alle metingen geanalyseerd



Hoeveel slib is nodig om een stabiele bodem van 4 meter dik te krijgen?

- 25% meer slib nodig vanwege 30 cm korst en 30 cm zetting!
- 30 cm korst kost 60 cm hoogte omdat het 2x zoveel slib bevat (-30 cm) en de bovenbelasting vergroot (-30 cm)



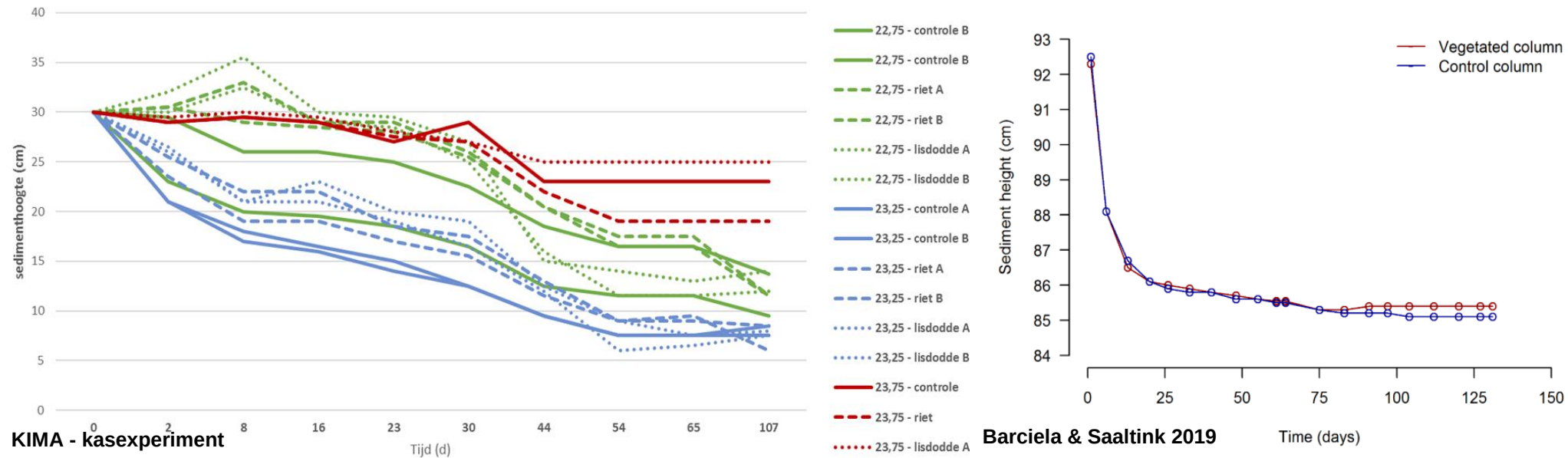
Hoeveel dun slib is nodig om een stabiele laag van 4 meter dik te krijgen?

Hoeveelheid benodigd slib hangt af van de startdichtheid:

Bulkdichtheid (kg/m ³)	Sedimentconcentratie (kg/m ³)	H (benodigde dikte van de sliblaag in m)
1150	244	11,7
1160	260	10,9
1200	325	8,7
1250	406	7,0
1300	488	5,8

- Hiermee kan ingeschat worden hoeveel slib van welke dichtheid nodig is om een stabiele bodem van de eilanden te realiseren
- Rekening houdend met 30 cm zetting van de ondergrond en een 30 cm dikke korst als leeflaag voor de natuurontwikkeling

Invloed van vegetatie op de consolidatie



- In het kasexperiment (107 dagen) geen verschil in consolidatie tussen wel/niet begroeide bakken
- Bevindingen komen overeen met Barciela&Saaltink (2019): fysische processen domineren in die fase
- Barciela&Saaltink (2019) zagen daarna wel een klein verschil optreden
- We zijn dit momenteel nog aan het onderzoeken in het veld
- Mogelijk speelt een sterke doorworteling van de bodem een rol:



Belangrijkste conclusies

- Het Holocene slib waarmee de dunslib compartimenten gevuld zijn had een dichtheid van ongeveer 1200 kg/m³
- Dit materiaal consolideert voornamelijk onder invloed van de zwaartekracht, verdamping en korstvorming. Vegetatieontwikkeling speelt een ondergeschikte rol.
- Het consolidatieproces stopt wanneer er een dichtheid van circa 2,84 ton droge stof per m² is bereikt (uitgaande van een 4 meter dikke laag en rekening houdend met 30 cm zetting en 30 cm korst). Om die dichtheid (en dus een stabiele bodemhoogte) te bereiken moet er in totaal circa 11 meter slib met de genoemde dichtheid worden ingebracht. Hoe dikker het slib, hoe dunner de benodigde laagdikte.
- Hoe lang het duurt voordat er sprake is van een stabiele sliblaag hangt af van diverse factoren waaronder de dichtheid van het slib, de vul- en bijvulstrategie, de zetting van de ondergrond en het peilbeheer in relatie tot korstvorming. In de dunslib compartimenten is dat zeker nog niet bereikt en zijn naar verwachting nog meerdere vulslagen nodig.

Implicaties voor inrichting en beheer van de eilanden

Naar een stabiele hoogteligging van de eilanden

- Ook de eilanden van de Marker Wadden hebben nog geen stabiele hoogteligging bereikt, het consolidatieproces is nog gaande (rapportage Boskalis). Waarschijnlijk zijn ook hier nog één of meerdere vulslagen nodig voordat een stabiele(re) situatie bereikt wordt.
- Met de kennis die we ontwikkeld hebben (de einddichtheid, de effecten van zetting en korstvorming) moet het mogelijk zijn om in te schatten hoeveel slib er naar verwachting nodig is, zowel voor nieuw aan te leggen eilanden als de bestaande eilanden.
- Een belangrijk aandachtspunt bij het inbrengen van slib is het behoud (bestaande eilanden) en de ontwikkeling (nieuwe eilanden) van een vitale rietvegetatie

Implicaties voor inrichting en beheer van de eilanden

Belangrijk aandachtspunt bij vullen en bijvullen met slib: ontwikkeling en behoud van rietmoeras

- De ontwikkeling van rietmoeras vormt een belangrijke doelstelling voor de Marker Wadden. Zowel de beoogde natuurwaarden als het tegengaan van een wilgendominantie spelen hierbij een rol.
- We denken daarnaast dat het riet ook belangrijk is om de bodem weerstand tegen erosie te laten opbouwen:



- We hebben inmiddels een goede receptuur ontwikkeld om vitaal rietmoeras te ontwikkelen, met een combinatie van entmateriaal (zaad, maaisel en/of wortelstokken), een uitgekiend **peilbeheer** en korstvorming, vraatbescherming en geduld.
- *De vul- en bijvulstrategie van de eilanden kan dus niet los gezien worden van de rietontwikkeling!*

Implicaties voor inrichting en beheer van de eilanden

Ophogen bestaande eilanden:

- Extra vulslagen hoeven niet erg te zijn, zolang de rietvegetatie maar behouden blijft.
- Extra vulslagen kunnen mogelijk zelfs gunstig zijn om dominantie van wilgen tegen te gaan en ook om een extra stevig doorwortelde bodem te krijgen, met optimale weerstand tegen erosie ('spekkoek').
- Voor behoud van rietvegetatie is het belangrijk dat het riet in ieder geval deels overeind blijft staan bij het vullen ('snorkels') of de dekking met slib beperkt blijft tot 10 cm. In dat laatste geval is het van belang dat er direct na vulling droogval optreedt. Dit borgt de toevoer van zuurstof naar de wortels.

Implicaties voor inrichting en beheer van de eilanden

Aanleg nieuwe eilanden: twee scenario's

1. *Eerst laten consolideren onder water*

Je zou het materiaal eerst een aantal jaren onder water kunnen laten consolideren voordat je ze laat droogvallen en er korstvorming en natuurontwikkeling gaat plaatsvinden. Dan zullen ze minder zakken en zijn er minder aanvullende vulslagen nodig. Echter, dan heb je al die tijd ook geen moerasvegetatie ontwikkeling.

2. *Optimale afstemming vuldichtheid en vulhoogte met de rietontwikkeling*

We denken dat het mogelijk is om het vullen en de gewenste rietontwikkeling beter op elkaar af te stemmen en qua hoogte ontwikkeling 'raak te gaan schieten'. Dat wil zeggen:

- de eilanden zodanig vullen (slibdichtheid en hoogte) dat je, rekening houdend met een optimaal peilbeheer voor de vegetatie ontwikkeling, de gewenste eindhoogte bereikt in één of twee vulslagen.

Dit vraagt, naast een goed plan, ook om in-situ monitoring van de ontwikkeling.

Discussie

1. De aanpak van het onderzoek
2. De resultaten
3. De implicaties voor inrichting en beheer