

Opslibbing onder zeespiegelstijging

gaan onze kwelders overleven?

Han van Dobben

met belangrijke bijdragen van: Kees Dijkema†, Alma de Groot, Jan Bakker



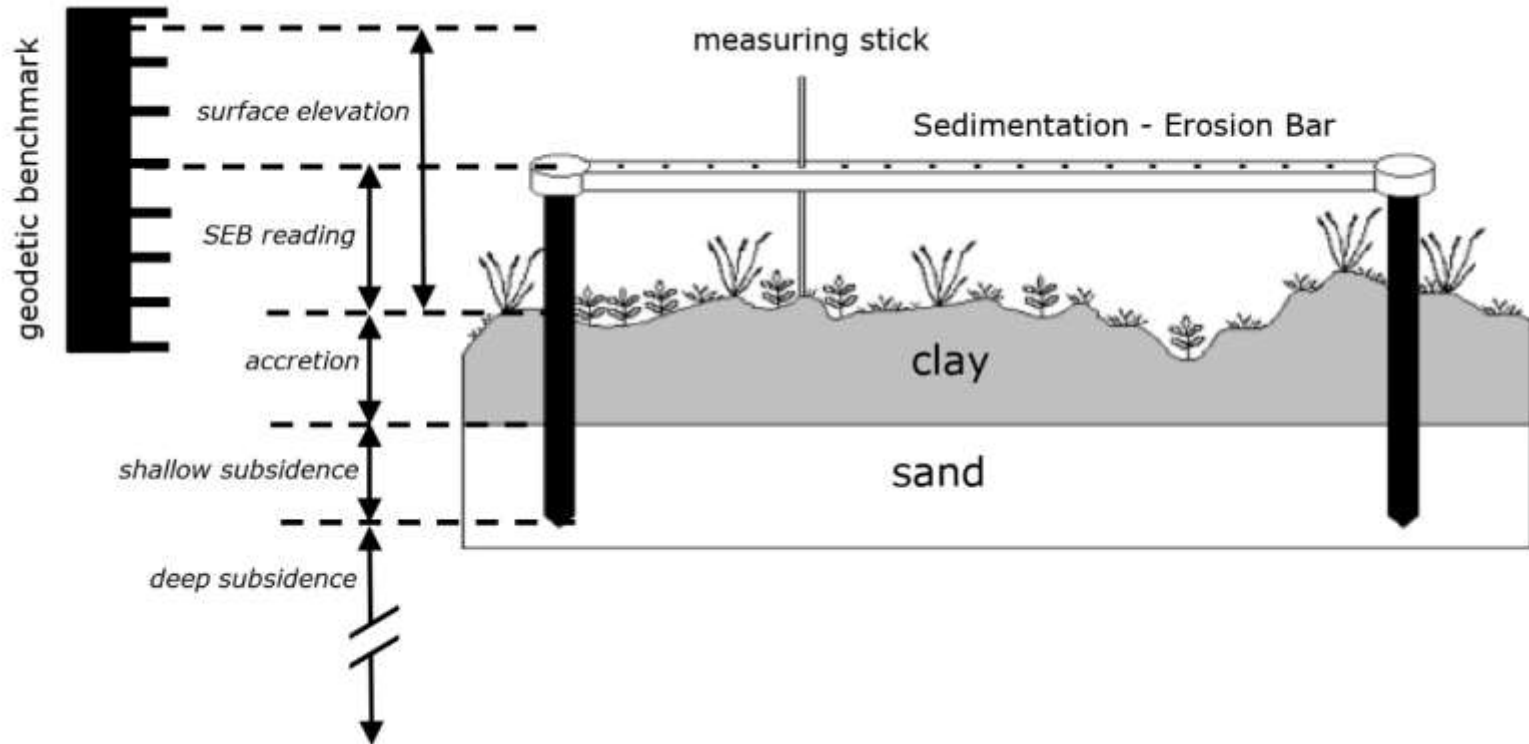
Aanleiding

- Veel SEB data beschikbaar
 - Ameland project
 - Universiteit Groningen (Schier, Skylge)
- Bodemdaling biedt unieke kans effect van ZSS op opslibbing te schatten
 - want bodemdaling is gesimuleerde ZSS
- Zal ZSS (+bodemdaling?) leiden tot verdrinken van de kwelders?

Data (1)

- Twee bronnen:
- SEB metingen Kees, Alma
 - twee transecten Ameland (NLR, Hon), totaal 35 SEBs
- SEB metingen div. projecten en studenten RUG
 - 6 sites Schier (45 SEBs), 2 sites Skylge (5 SEBs)
- Lengte waarnemingsperiode: NLR 20 j, Hon 17 j, Schier 10 - 16 j, Skylge 14 j
- Meest 1 meting / jaar
 - soms > 1 maar dan maar 1 gebruikt, liefst in de herfst
 - soms < 1, data > 2 jaar uit elkaar niet gebruikt

Schema van SEB



- aantal gaten per SEB varieert, meestal 17



Data (2)

- Waterstanden: meetstations RWS Nes, Wierumergronden, Schiermonnikoog
 - 10 min intervallen over 1995 - 2012
- Weergegevens: KNMI stations Hoorn (Skylge), Lauwersoog
 - dagwaarden neerslag, verdamping
- Locatie SEB: gedigitaliseerd uit luchtfoto's
 - afstand tot kreek of kwelderrand, lengte kreek
- Leeftijd kwelders: div. bronnen (oude pub's + lufo's)
 - (= aantal jaren sinds begroeid)
 - beschouwd als schatter voor de dikte van de kleilaag

Zeespiegelstijging

- Meeste huidige schattingen $0.15 - 0.30 \text{ cm.j}^{-1}$, neiging tot toename in de laatste decennia
- Gemiddelde over alle hier gebruikte data: $0.25 \pm 0.009 \text{ cm.j}^{-1}$
- Verwachte gemiddelde tot 2150: $0.47 - 0.91 (- 2.39) \text{ cm.j}^{-1}$
 - (bron: IPCC AR6 2021)
- Vier scenario's gebruikt: 0.2, 0.4, 0.8, en lineair toenemend van 0.2 tot 0.8 cm.y^{-1} , over 100 j
 - bron: TNO, KNMI 2014
 - veronderstellen alleen stijging van gemiddeld zeeniveau!
 - en niet van de frequentieverdeling van niveau's

Data analyse

- Effectvariabele: opslibbing over periode (8) - 10 - 16 - (24) maanden
 - opslibbing = $SEB(t) \text{ min } SEB(t-1)$
- Predictorvariabelen over dezelfde periode bepaald:
 - zeespiegel (uitleg volgt)
 - nuttige neerslag gesommeerd over de 10 dagen voor de meting
 - kortste afstand tot dichtsbijzijnde kreek (of kwelderrand)
 - lengte van die kreek tot punt dichtstbij SEB
 - leeftijd van de kwelder (als proxy voor dikte van de kleilaag)
 - begraasd (ja/nee)
 - 'transect' (0/1) (test op onbekende maar wel relevante variabelen)
- Totaal # records: 1116
 - na verwijderen klein aantal onbetrouwbare waarnemingen

Zeespiegel predictoren (1)

- **Probleem 1: de zeespiegel varieert voortdurend**
 - en je weet niet bij voorbaat welke maat relevant is
 - oplossing: gebruik 4 maten

characteristic	definition	method of computation	unit
flooding frequency	N times that plot is flooded (irrespective of the duration of each flooding)	(number of times that sea level at gauge changes from < level of plot to > level of plot) / (length of time interval)	year ⁻¹
flooding duration	fraction of time that plot is flooded	(number of 10 min periods where sea level > level of plot) / (total number of 10 min periods)	-
overall mean water depth	water depth at plot averaged over complete observation interval	(sum of water depths per 10 min period) / (number of 10 min periods)	cm
mean water depth during flooding	water depth at plot averaged over period that plot is actually flooded	(mean water depth) / (flooding duration)	cm

Zeespiegel predictoren (2)

- Probleem 2: waterniveau bij een SEB hoeft niet gelijk te zijn aan waterniveau op een meetstation
 - oplossing: werk met een aantal vaste of variabele verschillen meetstation *min* SEB
 - vast: station *min* SEB = -5, 0, 5, 10, 15 cm
 - variabel: 35 cm/km afvlakking op de kwelder, 4 cm/km opzet in de krekken
- Deze oplossingen gecombineerd leveren $6 \times 4 = 24$ predictoren voor zeespiegelregime
 - en die zijn onderling behoorlijk gecorreleerd!
- Waterniveaus komen altijd van het meetstation in de komberging waar een SEB ligt

Modelselectie

■ Regressievergelijking met 20 termen

- 12 288 modellen mogelijk
- voor /achterwaartse selectie werkt niet door de sterke onderlinge correlatie van de predictoren
- er zijn heel veel modellen met \sim gelijk %VV (max. 35%)
- pseudo-replicatie in de data (SEBs / transecten)

■ Oplossing: 2 stap procedure

- voorselectie met multiple regressie van modellen met alle termen $p < 0.05$ en $VIF < 2$
- levert 1297 modellen, neem van die de 100 met hoogste %VV
- verdere selectie op basis van REML met 3 variantie-componenten: 'transect', SEB, data
- AIC als maat voor goodness-of-fit

AIC = Akaike's Information Criterion

- AIC levert de waarschijnlijkheid dat een bepaald model (uit een gegeven set) 'de' werkelijkheid representeert; of dat een bepaalde term van dat model deel uitmaakt
- Nadere beschouwing van de modellen met de hoogste AIC tot een gesommeerde waarde van 0.96
 - 13 modellen
- Voorspellingen met deze 13 modellen kunnen beschouwd worden als een 96% betrouwbaarheidsinterval

De beste predictoren voor opslibbing

Predictor	Akaike weight	Sign of regr coeff
Constant	1	-
Distance to creek	1	+ ^a
Creek length	1	-
Precipitation X age	0.994	+
Autocompaction	0.015	-
Grazing	0.008	-
Precipitation	0.006	+

Akaike gewicht per term gesommeerd over de 100 beste modellen

= de waarschijnlijkheid dat deze term in het model zit dat 'de' werkelijkheid representeert

overige ↑ zeespiegel ↓

Ampl / att cor (cm)	-5	0	5	10	15	loc.dep	SUM
frequency	0.003	0.002	0.001	0	0	0.001	0.007
duration	0.104	0.045	0.017	0.003	0	0.133	0.302
Overall depth	0.151	0.115	0.077	0.031	0.025	0.29	0.69
Flooding depth	0.258	0.162	0.095	0.034	0.016	0.421	0.986
SUM	0.516	0.325	0.19	0.069	0.042	0.845	1.986

Conclusie uit de regressieberekeningen

- Intercept (\sim tijdsonafhankelijke autocompactie), afstand tot de kreek, kreek Lengte en neerslag zijn heel belangrijk
 - neerslag bepaalt zwel / krimp van de kleilaag
- Tijdsafhankelijke autocompactie en begrazing zijn minder belangrijk
- $\Sigma(\text{AIC})$ overvloeding ≈ 2 dus het 'echte' model bevat waarschijnlijk 2 termen voor overvloeding
- De meest waarschijnlijke hiervan zijn gem. niveau tijdens storm en overall gem. niveau
- De eerste staat voor storm intensiteit, de tweede (mede) voor storm frequentie

Voorspellingsmodel

- Bepaalt opslibbing op basis van de regressievergelijking
- Maak opzoektabel met overvloedingskarakteristieken voor $Z = 70 - 190 \text{ cm} + \text{NAP}$ (interval 0.1 cm)
 - op basis van Wierumergronden 1994 - 2012
 - ≈ 1 maancyclus van 18.6 jaar
- Zeven 'representatieve' startcondities (uitleg volgt)
- Haal de opslibbing voor de start Z uit de opzoektabel
 - $Z(\text{jaar } 2) = Z(\text{jaar } 1) + \text{opslibbing} [- \text{ZSS}]$
 - $\text{Leeftijd}(\text{jaar } 2) = \text{Leeftijd}(\text{jaar } 1) + 1$
 - herhaal deze stappen
 - stop na 100 jaar of als Z de grenzen 70 - 190 cm overschrijdt

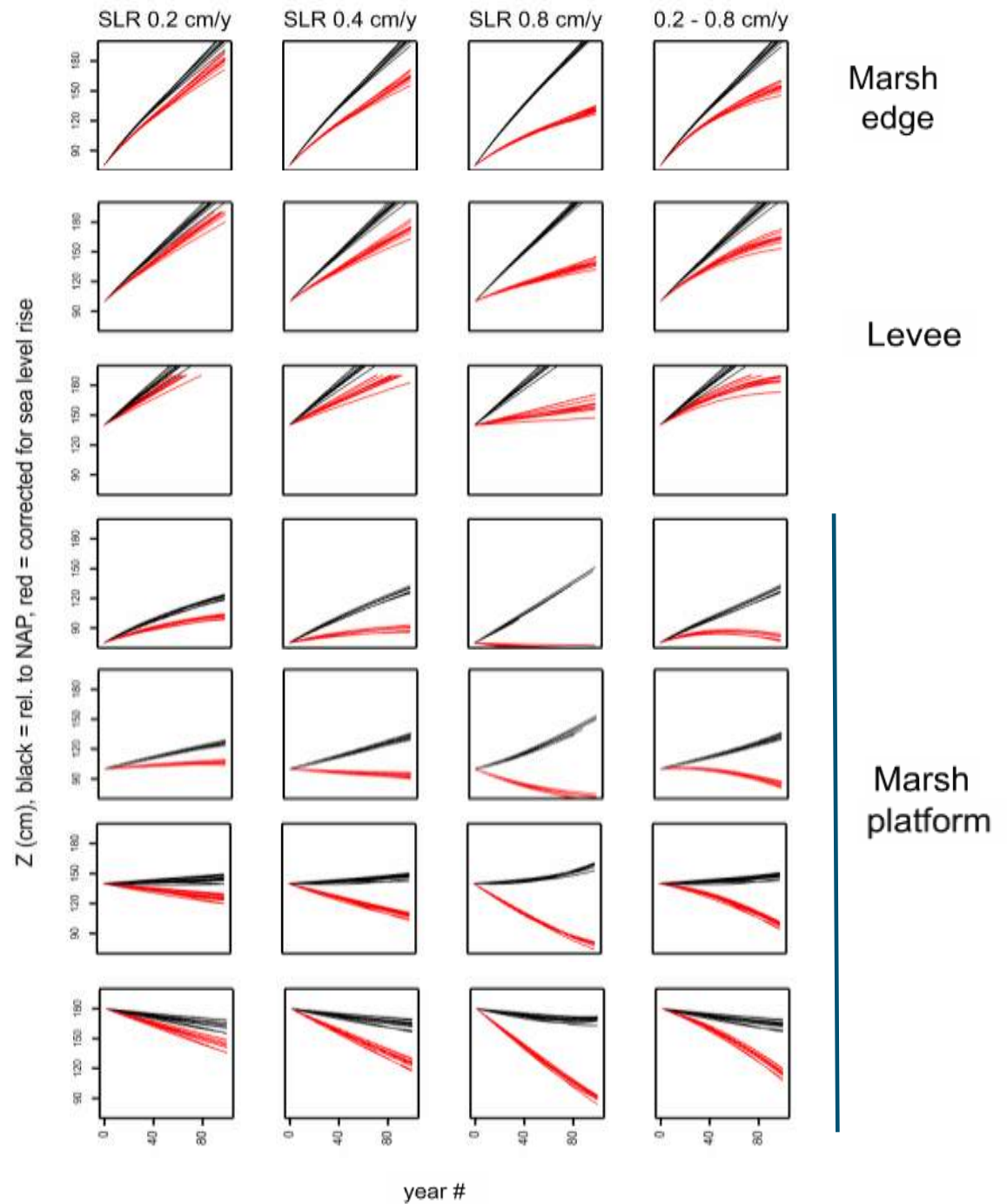
Start instellingen

Location	Initial elevation (cm +NAP)	Initial age (y)	Distance to creek (m)	Creek length (m)
Marsh edge	75	0	1	0
Levee (low)	100	20	1	200
Levee (high)	140	60	1	500
Marsh platform, increasing elevation	70	0	250	0
	100	20	250	200
	140	60	250	500
	180	100	250	1000

Volgende plaatje: simulatie met de parameters van de 13 modellen met de hoogste AIC, tot $\Sigma(\text{AIC}) = 0.96$

toV NAP

toV NAP + ZSS



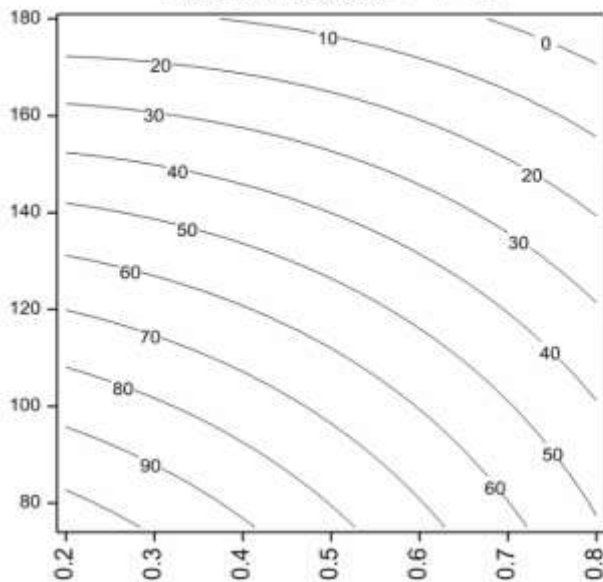
Conclusies uit de modelberekeningen

- Effect van de scenario's is groot in vergelijking met de modelonzekerheid
- Effect van de positie op de kwelder is heel groot
- Kwelders zullen onder de gebruikte scenario's de komende 100 jaar overleven
- Dicht bij de kwelderrand of bij kreken altijd netto opslibbing, zelfs onder het ongunstigste scenario
- Op grote afstand van de kwelderrand overheerst inklinking

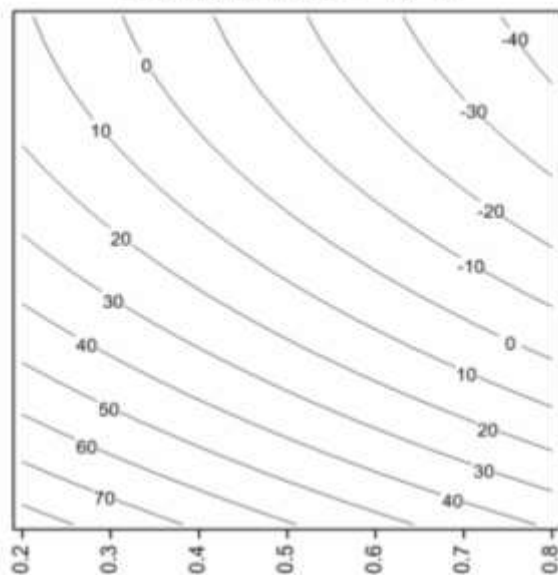
Is er een 'kritische' ZSS?

- Waarboven kwelders op den duur verdrinken
- Mogelijke criteria:
 1. plantengroei blijft mogelijk ($Z > 70 \text{ cm} + \text{NAP}$) over X jaar
 2. netto opslibbing $> \text{ZSS}$ bij $70 \text{ cm} + \text{NAP}$
 3. netto opslibbing $> \text{ZSS}$ over de hele kwelder
- Verband netto (= ZSS gecorrigeerde) opslibbing, ZSS en positie op de kwelder (volgt hierna)
- Bij definitie 1 en 2: $\sim 0.8 \text{ cm.j}^{-1}$
- bij definitie 3: $\sim 0.2 \text{ cm.j}^{-1}$
- Literatuur: $0.2 - 1.0 \text{ cm.j}^{-1}$

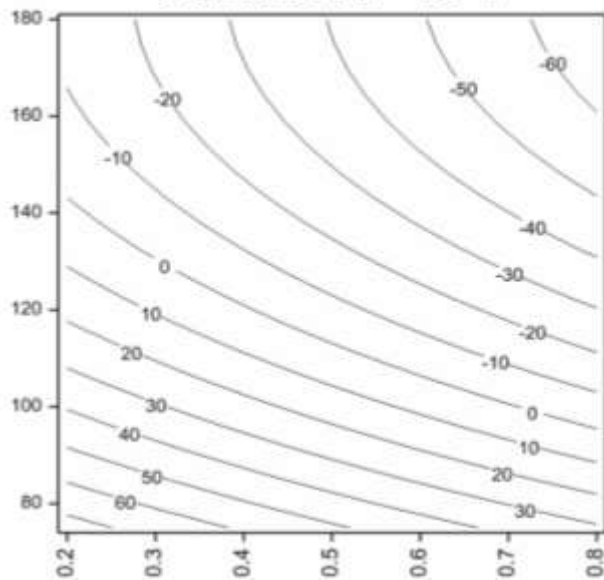
Distance to creek = 1 m



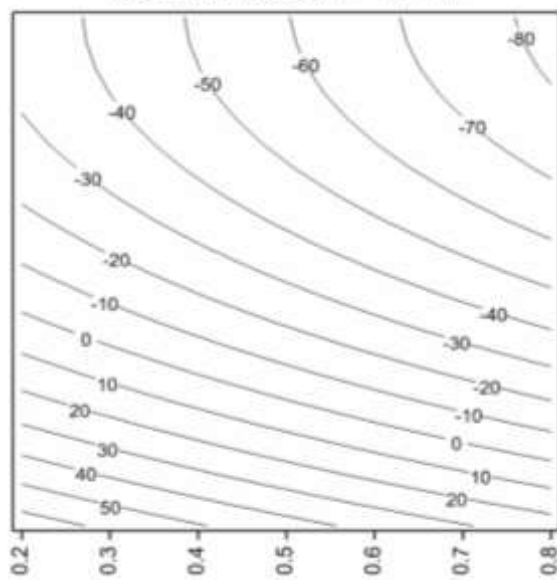
Distance to creek = 10 m



Distance to creek = 20 m



Distance to creek = 50 m



Netto opslibbing (isolijnen) over 100 jaar als functie van initiele Z en ZSS, bij verschillende afstanden tot de kreek

(beste model, initiele leeftijd en kreek lengte afhankelijk initiele Z)

Maar hoe realistisch zijn de scenario's?

- Gebaseerd op IPCC AR5
- Nu hebben we IPCC AR6
- Vergelijking van onze scenarios met AR6 (volgt hierna)
- Conclusie: ook onder ongunstige 'medium confidence' scenarios blijven onze conclusies overeind
 - maar het is dan wel op het randje
 - en onder extreme, 'low confidence' scenarios kan grootschalig verlies van kwelders optreden

IPCC scenarios	measures	confidence level	total SLR (cm)	mean SLR rate (cm y-1)
SSP1-2.6	effective measures, warming <2°	medium confidence	68	0.47
		+MICI, low confidence	74	0.51
		+SEJ, low confidence	84	0.58
SSP5-8.5	no measures, warming >4°	medium confidence	132	0.91
		+MICI, low confidence	348	2.39
		+SEJ, low confidence	179	1.23
Our scenarios				
low			29.1	0.20
mid			58.2	0.40
high			116.4	0.80
increasing			86.4	0.59

- Vet = IPCC > ons (over 145 jaar, of tot 2050)
- MICI = Massive Ice Sheet Instability
 - maar recent onderzoek laat zien dat de waarschijnlijkheid hiervan wellicht groter is dan in AR6 ingeschat
- SEJ = Expert Judgement

Eindconclusies

- Opslibbing vooral tijdens stormen
 - overall gemiddelde: $0.44 \pm 0.0005 \text{ cm.j}^{-1}$ dus $> \text{ZSS}$
 - Skylge $<$ Schier $<$ Ameland
- Lage kwelder (dicht bij de rand of bij kreken) slibt veel sneller op dan hoge kwelder
- Opzet en afvlakking van getijde is niet zo belangrijk
- Voor een goed passend model moet je rekening houden met krimp / zwel voorafgaand aan de meting
- Kwelder kan waarschijnlijk ZSS de komende 100 jaar bijhouden
 - maar niet ZSS + bodemdaling!

Disclaimers

- Effect van begrazing blijkt hier niet groot te zijn, dit in vele andere onderzoeken
 - nader onderzoek met exclosures nodig
- Er is hier gerekend met een volledig statisch landschap, als je overstuiving / duinvorming / veenvorming / vorming van kwelders uit het intergetijdengebied toelaat kan het allemaal anders (en waarschijnlijk gunstiger) worden
- Als de frequentieverdeling van zeeniveaus anders wordt, wordt alles anders
- Als IPCC 'MICI, low confidence' scenarios realistisch blijken kan het allemaal veel ongunstiger worden

Vragen?

