

Een Zandbalans voor de Waddenzee

Edwin Elias

Deltares – B&O Kust – Zeegaten – Wadden



Zandbalans Waddenzee

Methode / Winst en verliesposten

Een vergelijk van studies

Westelijke Waddenzee

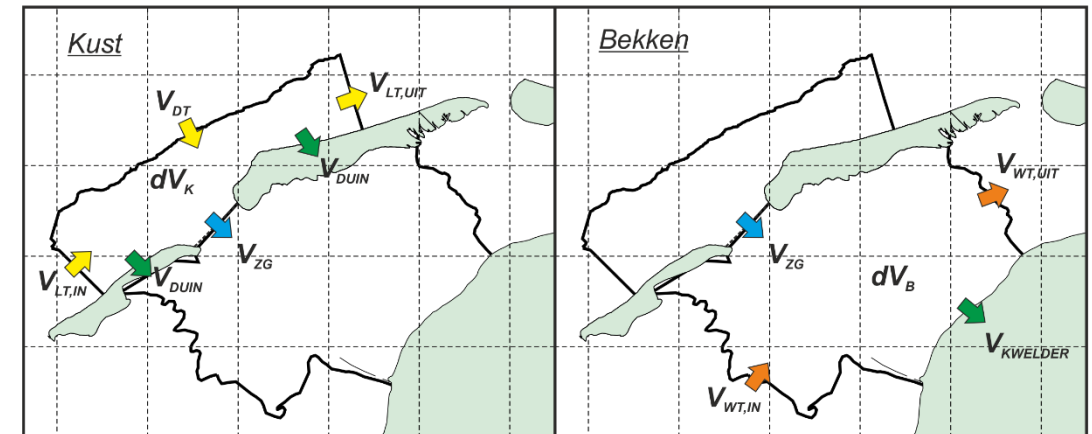
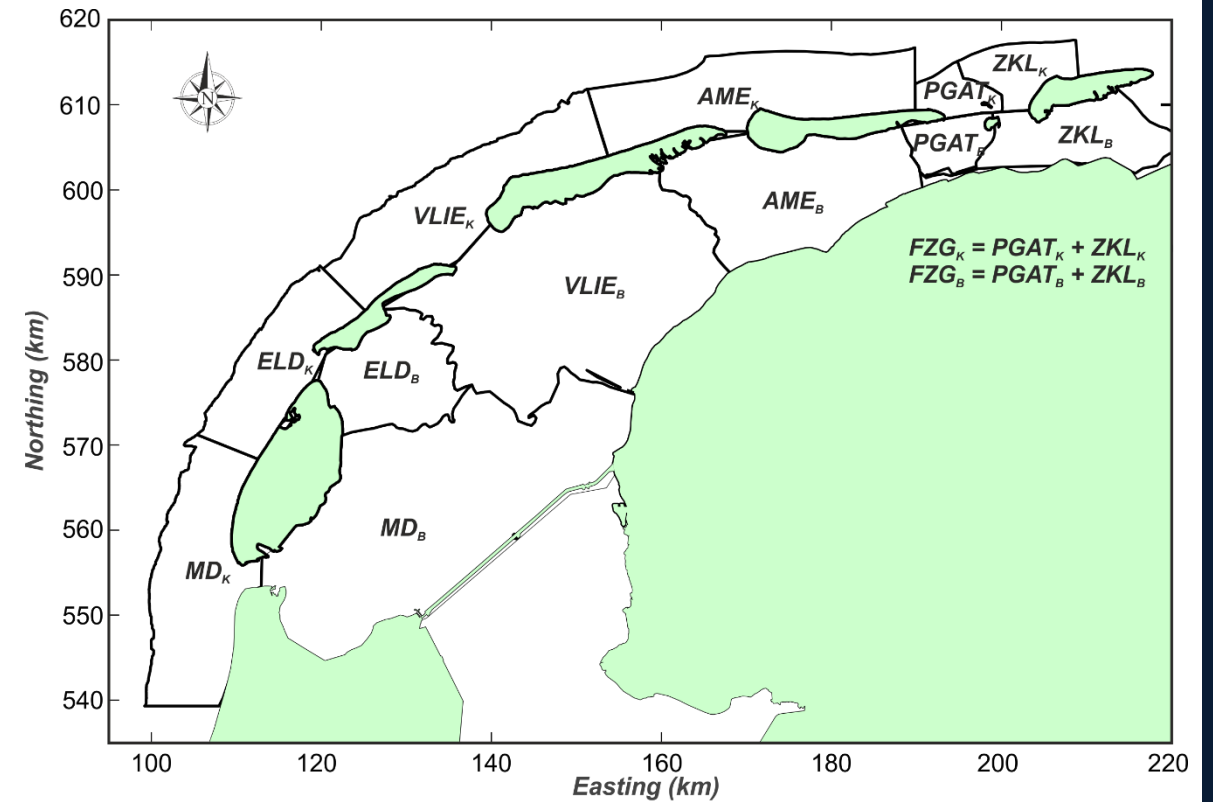
Oostelijke Waddenzee

Conclusie & Discussie



Methode

- Onderverdeling van de Waddenzee in Kombergingsgebieden
- Bepalen van de winst- en verliesposten binnen de kombergingsgebieden
 - Bodemverandering
 - Bodemdaling
 - Baggeren en storten, zand- en schelpenwinning
 - Zandsuppleties
 - Duinverliezen
 - Kwelderverliezen
- Bepalen van de uitwisselingen tussen de verschillende elementen
 - Langs- en dwarstransport
 - Transporten over de wantijen



Methode

KUST

$$dV_K = (dV_{SUB} + dV_{SUB_GAS/ZOUT}) + V_{IN} - V_{UIT}$$

met

$$V_{IN} = V_{LT_IN} + V_{DT_IN} + V_{STORTEN} + V_{SUPPELTIES}$$

$$V_{UIT} = V_{ZG} + V_{LT_UIT} + V_{DT_UIT} + V_{DUIN} + V_{BAGGEREN} + V_{ZANDWINNING} + V_{SCHELPEWINNING}$$

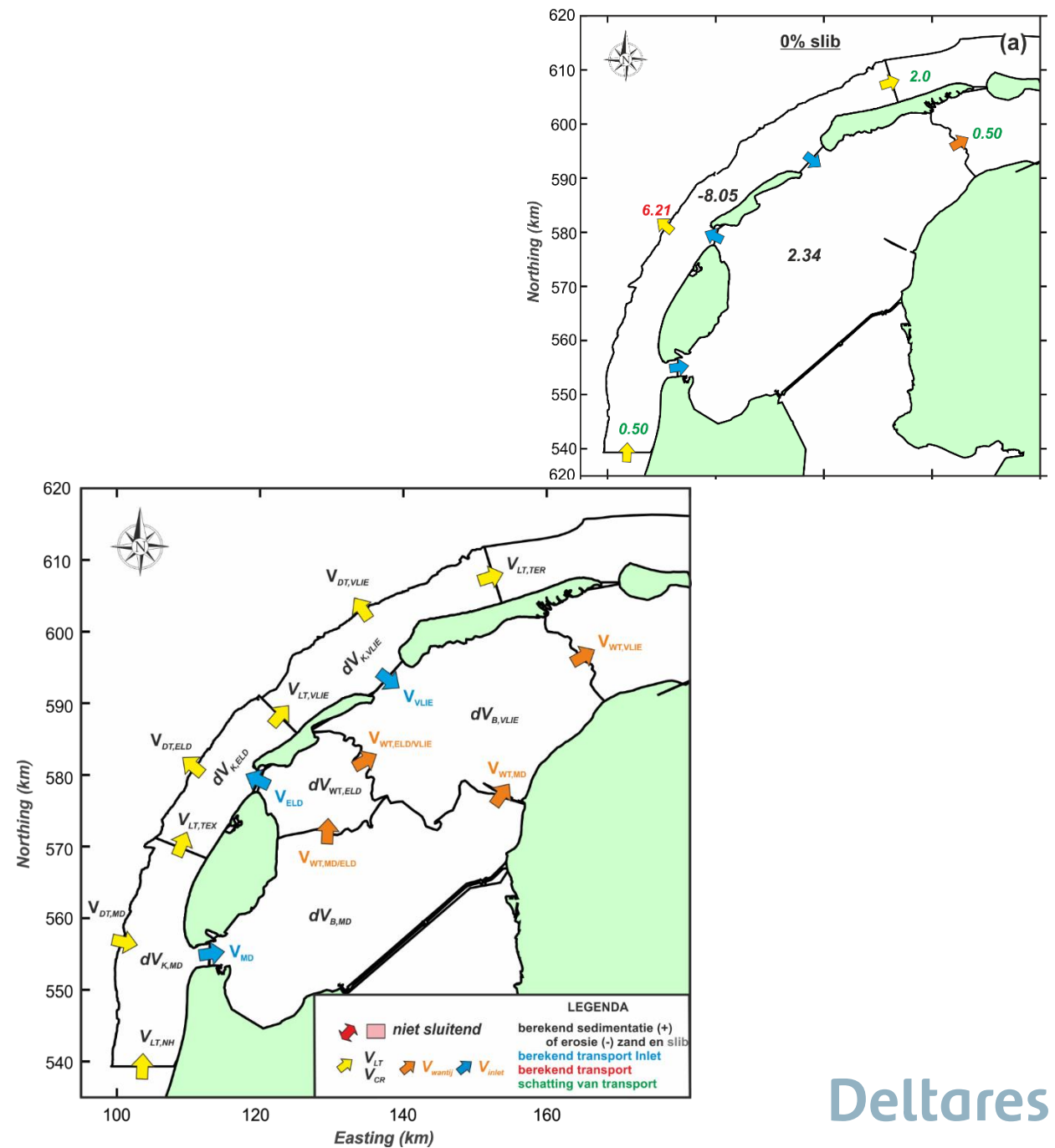
BEKKEN

$$dV_B = (dV_{SUB} + dV_{SUB_GAS/ZOUT}) + V_{IN} - V_{UIT}$$

met

$$V_{IN} = V_{ZG} + V_{WT_IN} + V_{STORTEN}$$

$$V_{UIT} = V_{WT_UIT} + V_{BAGGEREN} + V_{ZANDWINNING} + V_{SCHELPEWINNING} + V_{KWELDER}$$



Methode

KUST

$$dV_K = (dV_{SUB} + dV_{SUB_GAS/ZOUT}) + V_{IN} - V_{UIT}$$

met

$$V_{IN} = V_{LT,IN} + V_{DT,IN} + V_{STORTEN} + V_{SUPPELTIES}$$

$$V_{UIT} = V_{ZG} + V_{LT,UIT} + V_{DT,UIT} + V_{DUIN} + V_{BAGGEREN} + V_{ZANDWINNING} + V_{SCHELPEWINNING}$$

BEKKEN

$$dV_B = (dV_{SUB} + dV_{SUB_GAS/ZOUT}) + V_{IN} - V_{UIT}$$

met

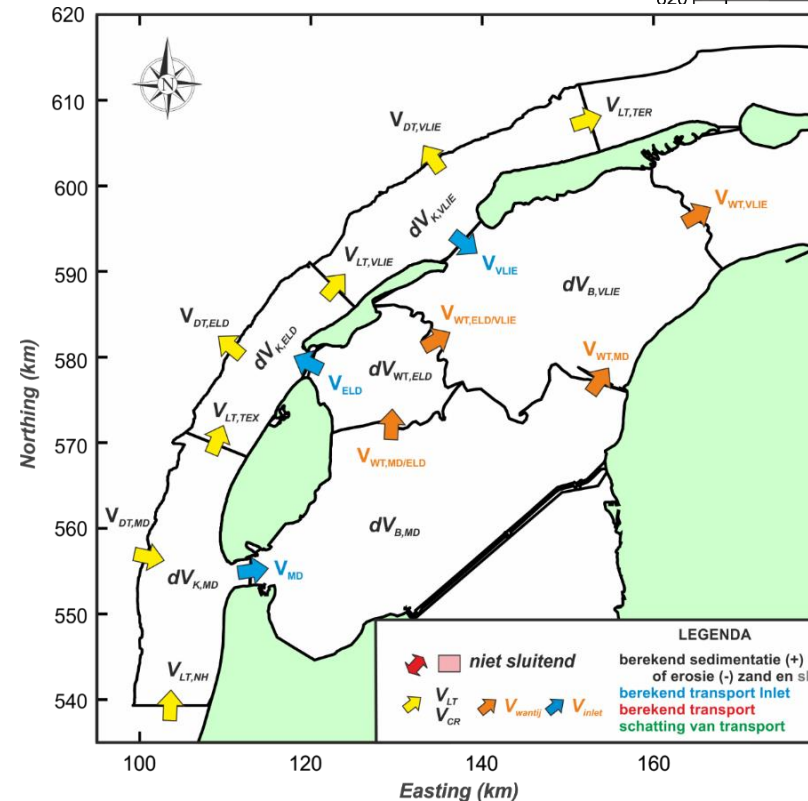
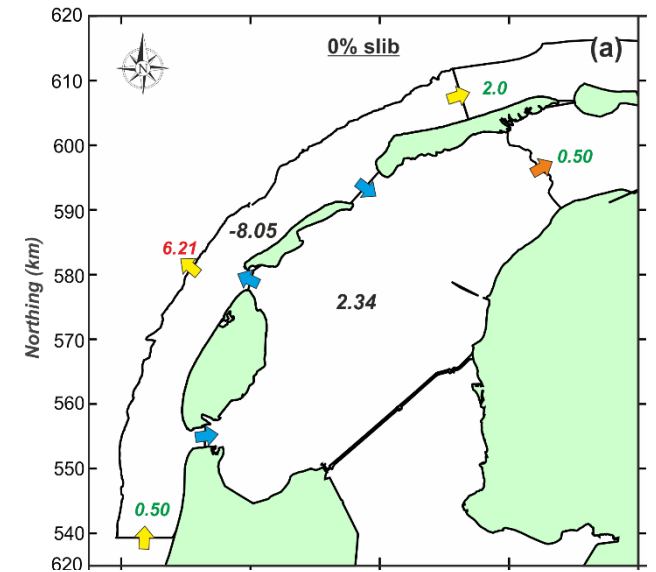
$$V_{IN} = V_{ZG} + V_{WT,IN} + V_{STORTEN}$$

$$V_{UIT} = V_{WT,UIT} + V_{BAGGEREN} + V_{ZANDWINNING} + V_{SCHELPEWINNING} + V_{KWELDER}$$

Schatting – Expert Judgement

Vanuit de data of literatuur bekend

Berekende waarde



Methode

- Onderverdeling van de Waddenzee in Kombergingsgebieden
- Bepalen van de winst- en verliesposten binnen de kombergingsgebieden
 - Bodemverandering
 - Bodemdaling
 - Baggeren en storten, zand- en schelpenwinning
 - Zandsuppleties
 - Duinverliezen
 - Kwelderverliezen
- Bepalen van de uitwisselingen tussen de verschillende elementen
 - Langs- en dwarstransport
 - Transporten over de wantijen

Langetermijntrend : 1933 - 2015

Parameter		MD	ELD	VLIE	AME	PGAT	ZKL
Periode		1933-2015	1933-2015	1933-2015	26/33-2018		
dV _c	Updrif	-0.23	-0.76	-0.17	-0.3	0	0
	Downdrift	-1.26	-0.1	0.22	-0.12	0	-0.63
	ETD	-3.24	0.08	-2.53	0.12	0.28	-0.95
DD	Updrif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Downdrift	0.00	-0.03	0.00	-0.08	0.01	0.00
NOUR	Updrif	0.4	0.36	0.10	0.02	0.00	0.00
	Downdrift	0.29	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00
SUB	Updrif	0.03	0.04	0.02	0.03	0.00	0
	ETD	0.12	0.03	0.14	0.1	0.15	0.12
	Downdrift	0.07	0.02	0.05	0.06	0.00	0.03
DUNE	Updrif	-0.16	-0.15	-0.08	-0.06	0.00	0.00
	Downdrift	-0.14	0.00	-0.11	-0.05	0.00	-0.005
Sc _{in}	schatting	0.50	1.00	1.00	2.00	1.50	-
Sc _{out}	schatting	1.00	1.00	2.00	1.50	-	1.00
Sc _{cross}	schatting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Parameter		MD	ELD	VLIE	AME	PGAT	ZKL
Periode		1933-2015	1933-2015	1933-2015	1925-2018	1926-2012	1926-2012
dV _b		2.75	-0.38	1.62	1.04	0.46	1.26
dd		-0.39	-0.14	-0.26	0.01	-0.04	0
sub		0.39	0.09	0.42	0.18	0.07	0.08
dV _{add}	kwelder	0.00	0.00	0.00	0.04*	0.05	0.06
Sb _{in}	Wantij1	0.00	max 0.25	max 1.5	max 0.5	max 0.5	max 0.5
Sb _{out}	Wantij2	max 1.5	max 0.25	max 0.5	max 0.5	max 0.5	max 0.5

Methode

- Onderverdeling van de Waddenzee in Kombergingsgebieden
- Bepalen van de winst- en verliesposten binnen de kombergingsgebieden
 - Bodemverandering
 - Bodemdaling
 - Baggeren en storten, zand- en schelpenwinning
 - Zandsuppleties
 - Duinverliezen
 - Kwelderverliezen
- Bepalen van de uitwisselingen tussen de verschillende elementen
 - Langs- en dwarstransport
 - Transporten over de wantijen

Langetermijntrend : 1933 - 2015

Parameter		MD	ELD	VLIE	AME	PGAT	ZKL
Periode		1933-2015	1933-2015	1933-2015	26/33-2018		
dV _c	Updrif	-0.23	-0.76	-0.17	-0.3	0	0
	Downdrift	-1.26	-0.1	0.22	-0.12	0	-0.63
	ETD	-3.24	0.08	-2.53	0.12	0.28	-0.95
DD	Updrif	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Downdrift	0.00	-0.03	0.00	-0.08	0.01	0.00
NOUR	Updrif	0.4	0.36	0.10	0.02	0.00	0.00
	Downdrift	0.29	0.00	0.00	0.41	0.00	0.00
SUB	Updrif	0.03	0.04	0.02	0.03	0.00	0
	ETD	0.12	0.03	0.14	0.1	0.15	0.12
	Downdrift	0.07	0.02	0.05	0.06	0.00	0.03
DUNE	Updrif	-0.16	-0.15	-0.08	-0.06	0.00	0.00
	Downdrift	-0.14	0.00	-0.11	-0.05	0.00	-0.005
Sc _{in}	schatting	0.50	1.00	1.00	2.00	1.50	-
Sc _{out}	schatting	1.00	1.00	2.00	1.50	-	1.00
Sc _{cross}	schatting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

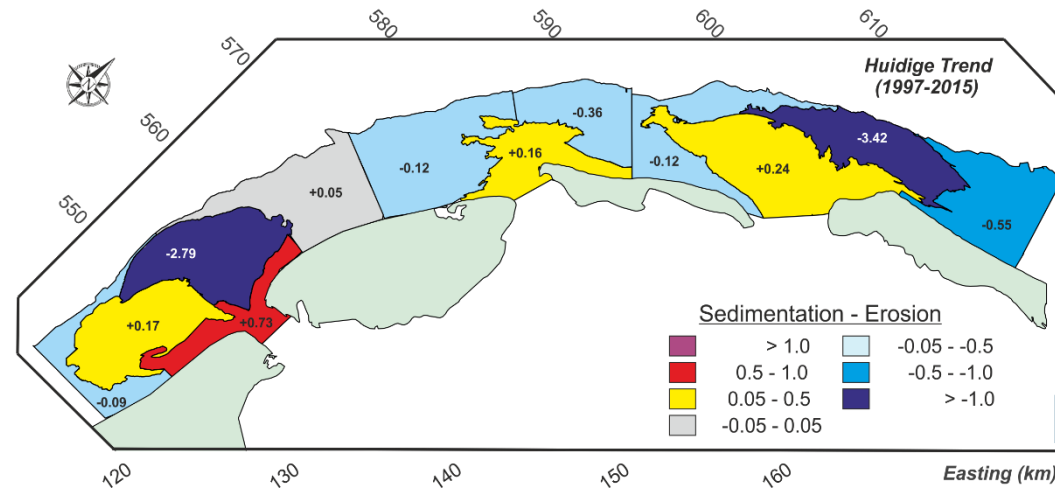
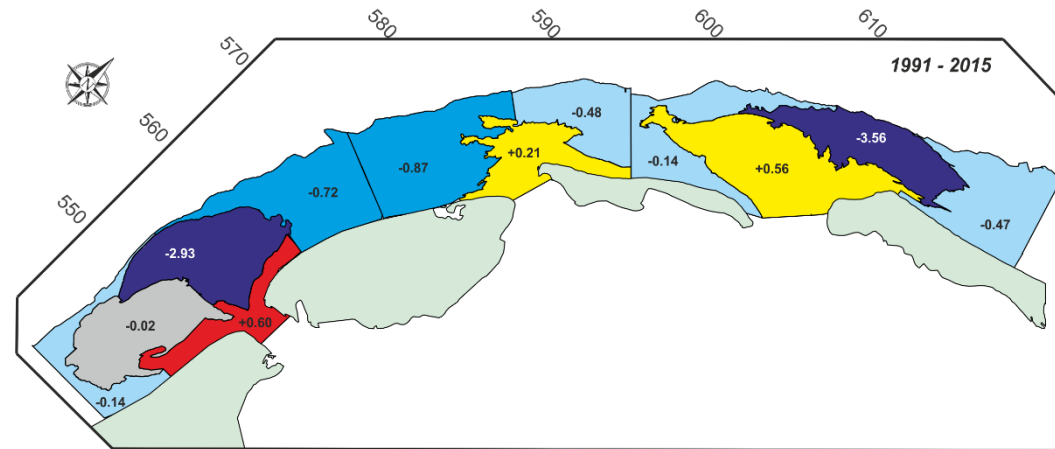
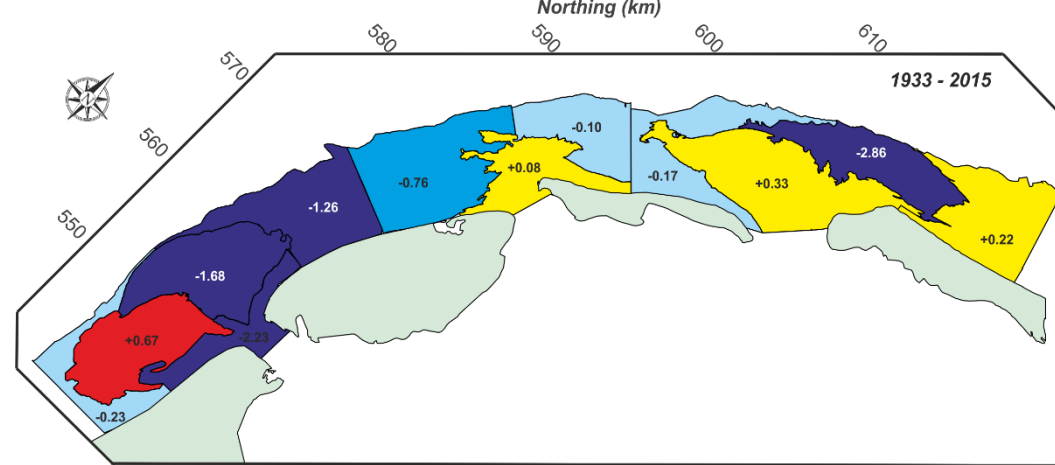
Parameter		MD	ELD	VLIE	AME	PGAT	ZKL
Periode		1933-2015	1933-2015	1933-2015	1925-2018	1926-2012	1926-2012
dV _b		2.75	-0.38	1.62	1.04	0.46	1.26
dd		-0.39	-0.14	-0.26	0.01	-0.04	0
sub		0.39	0.09	0.42	0.18	0.07	0.08
dV _{add}	kwelder	0.00	0.00	0.00	0.04*	0.05	0.06
Sb _{in}	Wantij1	0.00	max 0.25	max 1.5	max 0.5	max 0.5	max 0.5
Sb _{out}	Wantij2	max 1.5	max 0.25	max 0.5	max 0.5	max 0.5	max 0.5

Bodemverandering

- Westelijke Waddenzee – Kust
zie uitwerking Elias 2018.

Kust polygoon	Trends [Mm ³ /jaar]		
	LT 1933 - 2015	MT 1991 - 2015	HT 1997 - 2015
MD	-4.73	-3.21	-1.93
ELD	-0.78	-1.14	-0.32
Vlie	-2.48	-3.61	-3.85
Totaal	-7.99	-7.96	-6.10

- zie In deze studie kleine afwijkingen door iets andere periode van analyse.



Bodemverandering

- Westelijke Waddenzee – Kust

zie uitwerking Elias 2018.

Kust polygoon	Trends [Mm^3 /jaar]		
	LT	MT	HT
	1933 - 2015	1991 - 2015	1997 - 2015
MD	-4.73	-3.21	-1.93
ELD	-0.78	-1.14	-0.32
Vlie	-2.48	-3.61	-3.85
Totaal	-7.99	-7.96	-6.10

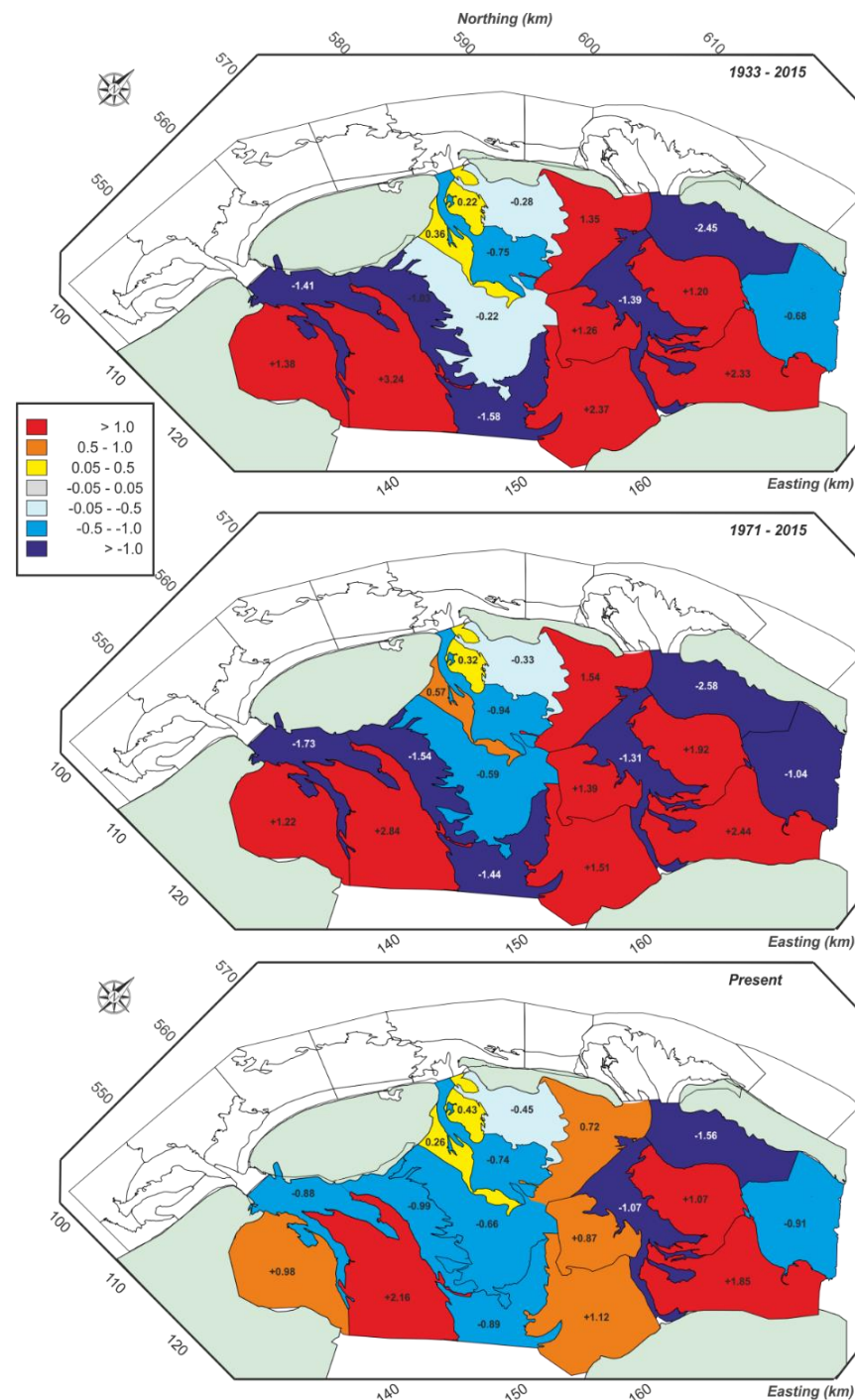
- zie In deze studie kleine afwijkingen door iets andere periode van analyse.

- Westelijke Waddenzee - Bekken

zie uitwerking Elias 2018; detail uitwerking.

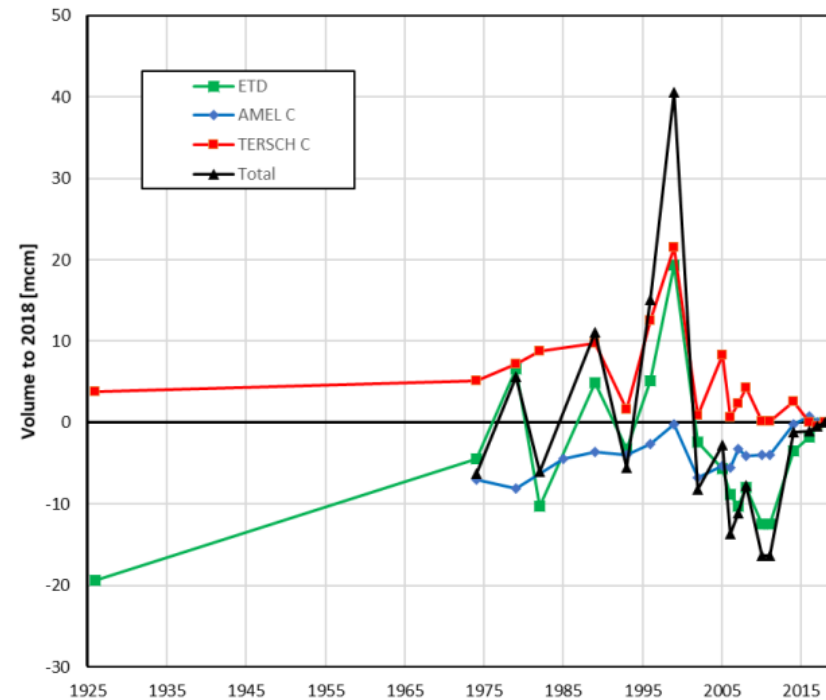
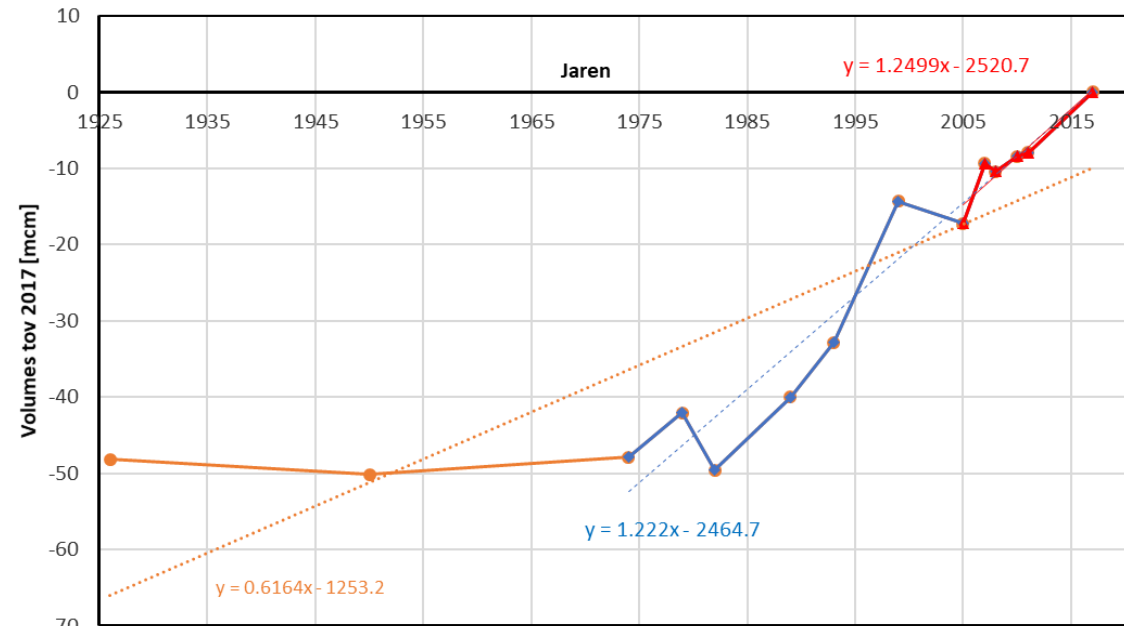
Bekken polygoon	Trends [Mm^3 /jaar]		
	LT	MT	HT
	1933 - 2015	1971 - 2015	1991 - 2015
MD	2.75	0.27	0.84
ELD	-0.38	-0.27	-0.41
Vlie	1.62	2.36	0.97
Totaal	3.98	2.35	1.40

We gebruiken slechts een fractie van de informatie beschikbaar.



Bodemverandering

- Oostelijke Waddenzee
- Een duidelijk probleem in de trends
 - Bekken; is de stabilisatie in de periode 1925-1975 realistisch?
 - Geen effect op de huidige trend alleen voor de lange termijn
- Kust; grote fluctuaties in de data. Hoe gaan we daar met om?
- Nieuwe methode van trendlijnbepaling.

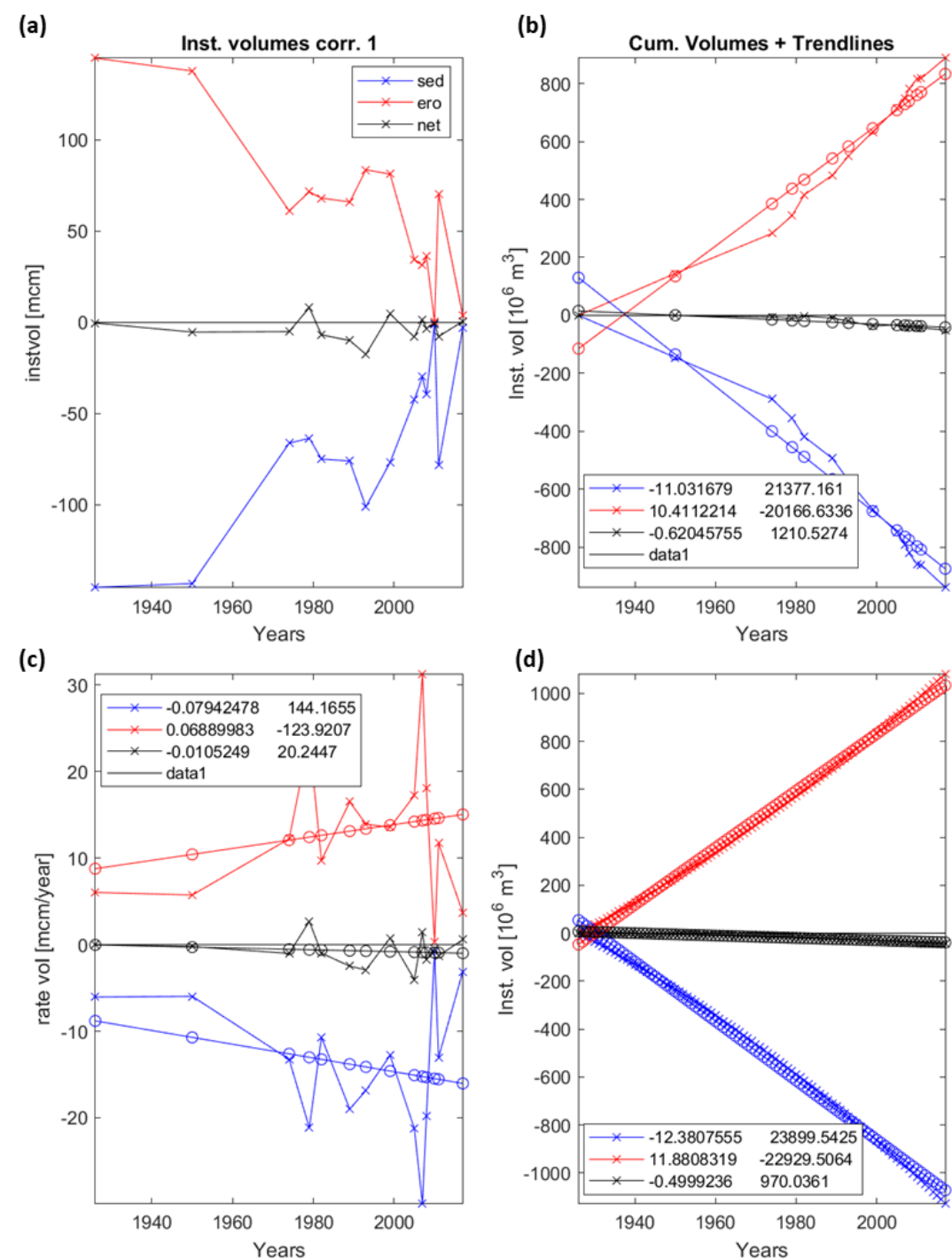


Bodemverandering

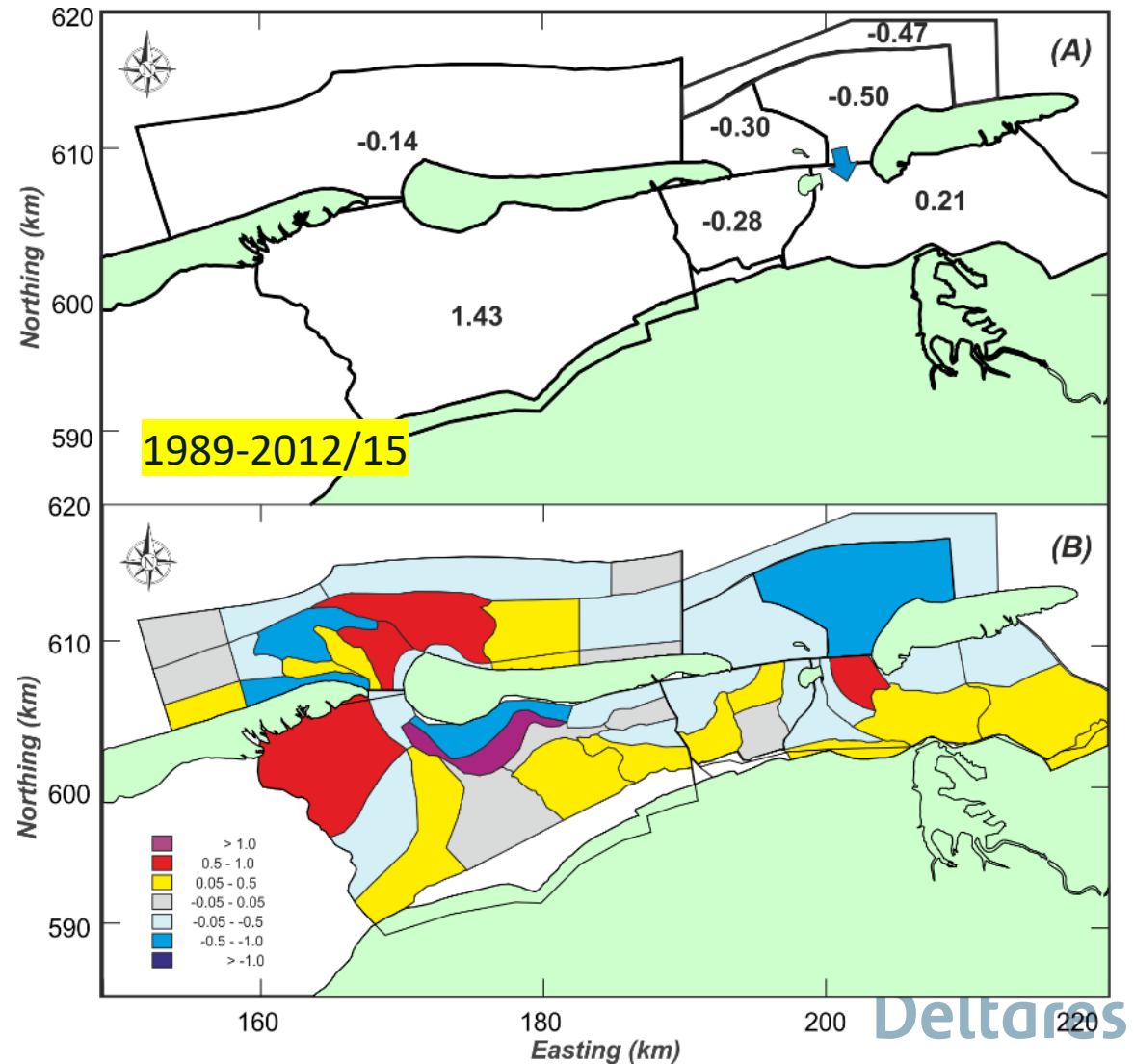
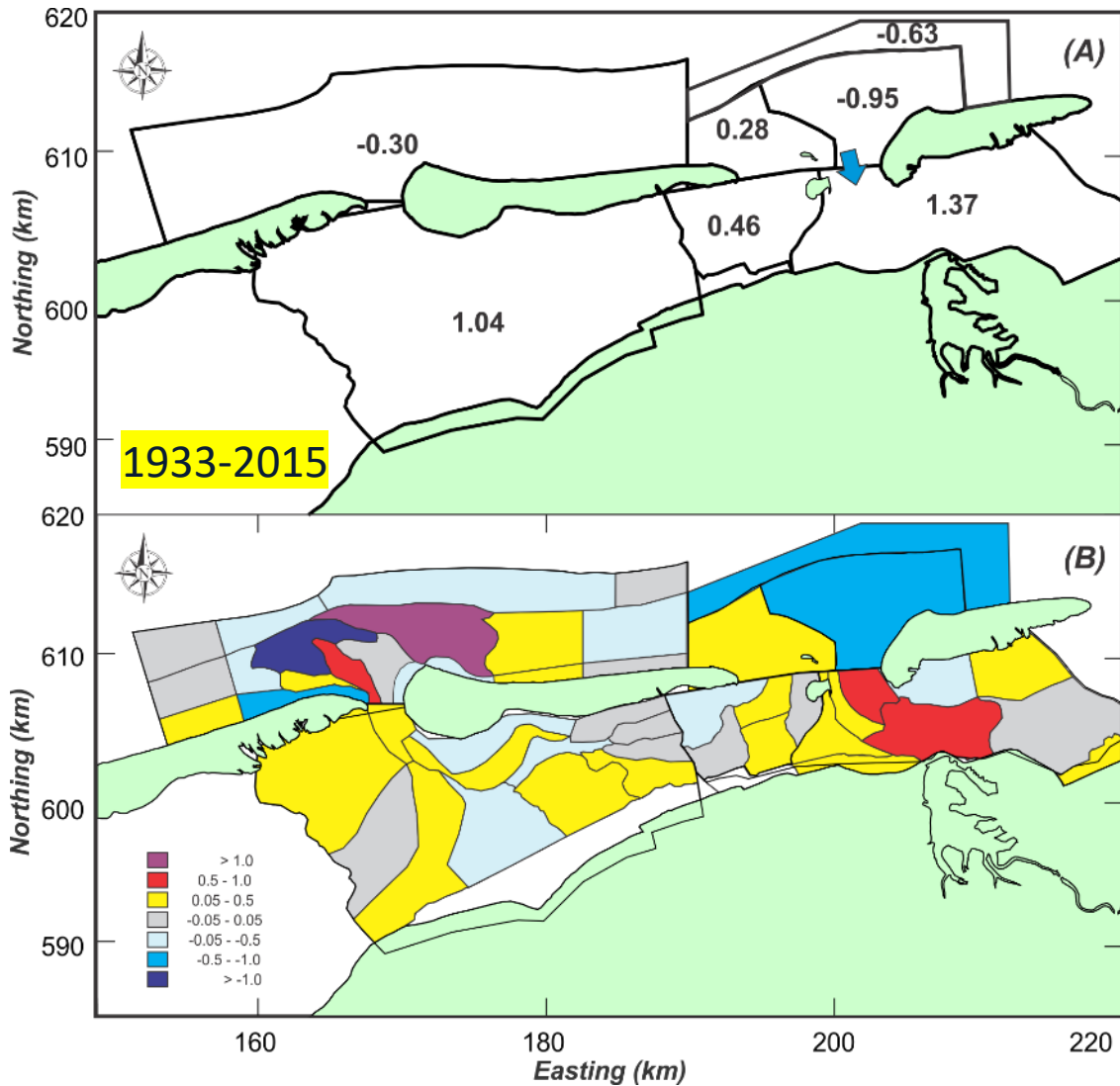
- Oostelijke Waddenzee
- Een duidelijk probleem in de trends
- Andere methode van trendlijnbevestiging
 - Gebruiken instantané volumes (a)
 - Bereken de cumulatief, netto en bruto veranderingen (b)
 - Bereken de “rates” en trends (c)
 - Bereken de bruto en netto van de trend van de rates (d)
- Herhaal maar nu met correctie voor uitschieters.

Tabel B.5: Een overzicht van de trendwaarden voor de lange termijn voor methode A – E (kustzone Ameland).

Polygoon	Lange termijn trends (1926/1948 – 2018)					Beste Schatting
	(A) netto	(B) bruto	(C) bruto+TR	(D) bruto+corr	(E) bruto+TR+corr	
1	0	-	-	-	-	0
2	-0.07	-0.13	-0.16	-0.15	-0.16	-0.15
3	-0.19	-0.09	-0.06	-0.48	-0.35	-0.35
4	0	-	-	-0.01	-0.02	0.00



Samenvatting Trends Oostelijke Waddenzee



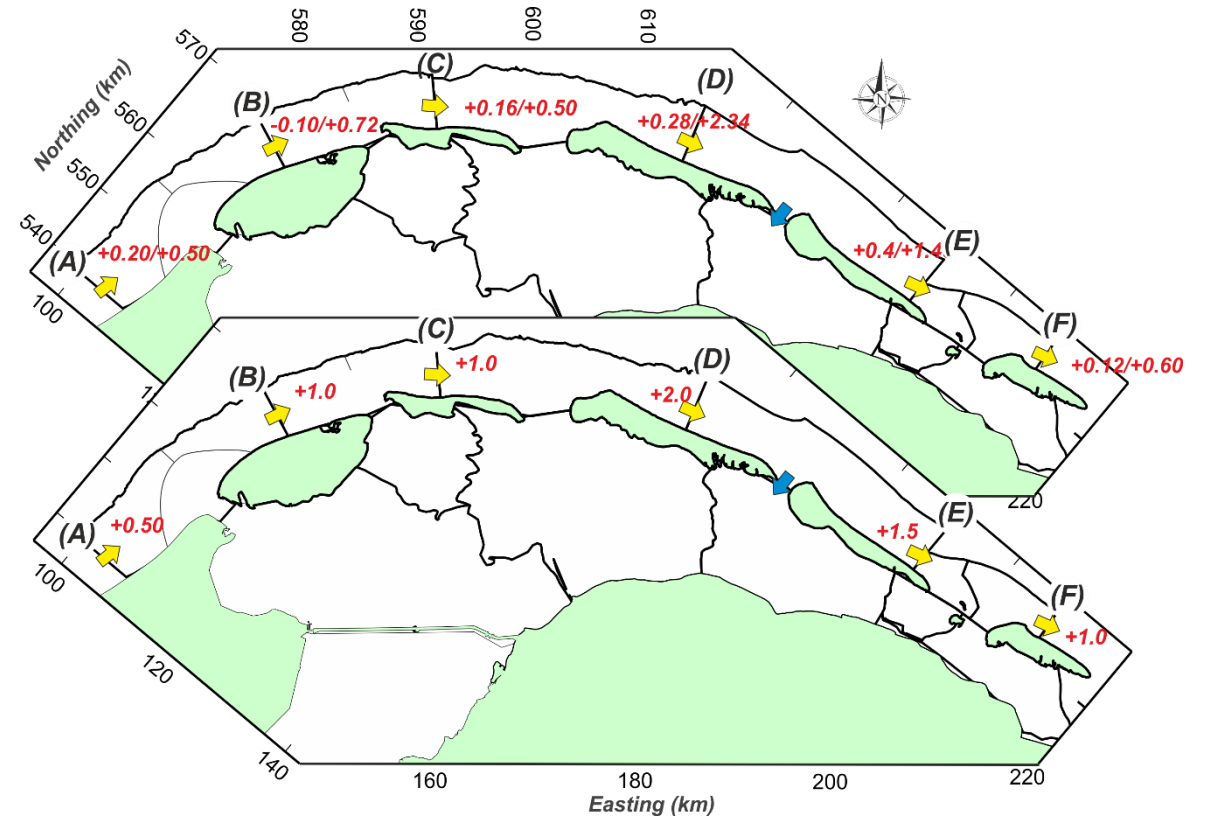
Methode

- Onderverdeling van de Waddenzee in Kombergingsgebieden
- Bepalen van de winst- en verliesposten binnen de kombergingsgebieden
 - Bodemverandering
 - Bodemdaling
 - Baggeren en storten, zand- en schelpenwinning
 - Zandsuppleties
 - Duinverliezen
 - Kwelderverliezen
- Bepalen van de uitwisselingen tussen de verschillende elementen
 - Langs- en dwarstransport
 - Transporten over de wantijen

<i>Volume in Mm³</i>		<i>1935-2019</i>	<i>1990-2019</i>	<i>2000-2019</i>	<i>2010-2019</i>
Texel	Noord-Holland	34.16	30.24	27.52	12.85
	Texel	24.76	24.76	19.97	11.01
Eierlandse Gat	Texel	30.55	21.59	12.88	2.20
	Vlieland				
Vlie	Vlieland	8.34	7.87	5.46	2.64
	Terschelling	0	0	0	0
Ameland	Terschelling	0	0	0	0
	Ameland	34.79	32.29	25.37	18.09
Friesche Zeegat	Ameland*	0	0	0	0
	Schiermonnikoog	0	0	0	0
<i>Trend in Mm³/jaar</i>		<i>1935-2019</i>	<i>1990-2019</i>	<i>2000-2019</i>	<i>2010-2019</i>
Texel	Noord-Holland	0.41	1.04	1.45	1.43
	Texel	0.29	0.85	1.05	1.22
Eierlandse Gat	Texel	0.36	0.74	0.68	0.24
	Vlieland	0.00	0.00	0.00	0.00
Vlie	Vlieland	0.10	0.27	0.29	0.29
	Terschelling	0.00	0.00	0.00	0.00
Ameland	Terschelling	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ameland	0.41	1.11	1.34	2.01
Friesche Zeegat	Ameland	0.00	0.00	0.00	0.00
	Schiermonnikoog	0.00	0.00	0.00	0.00

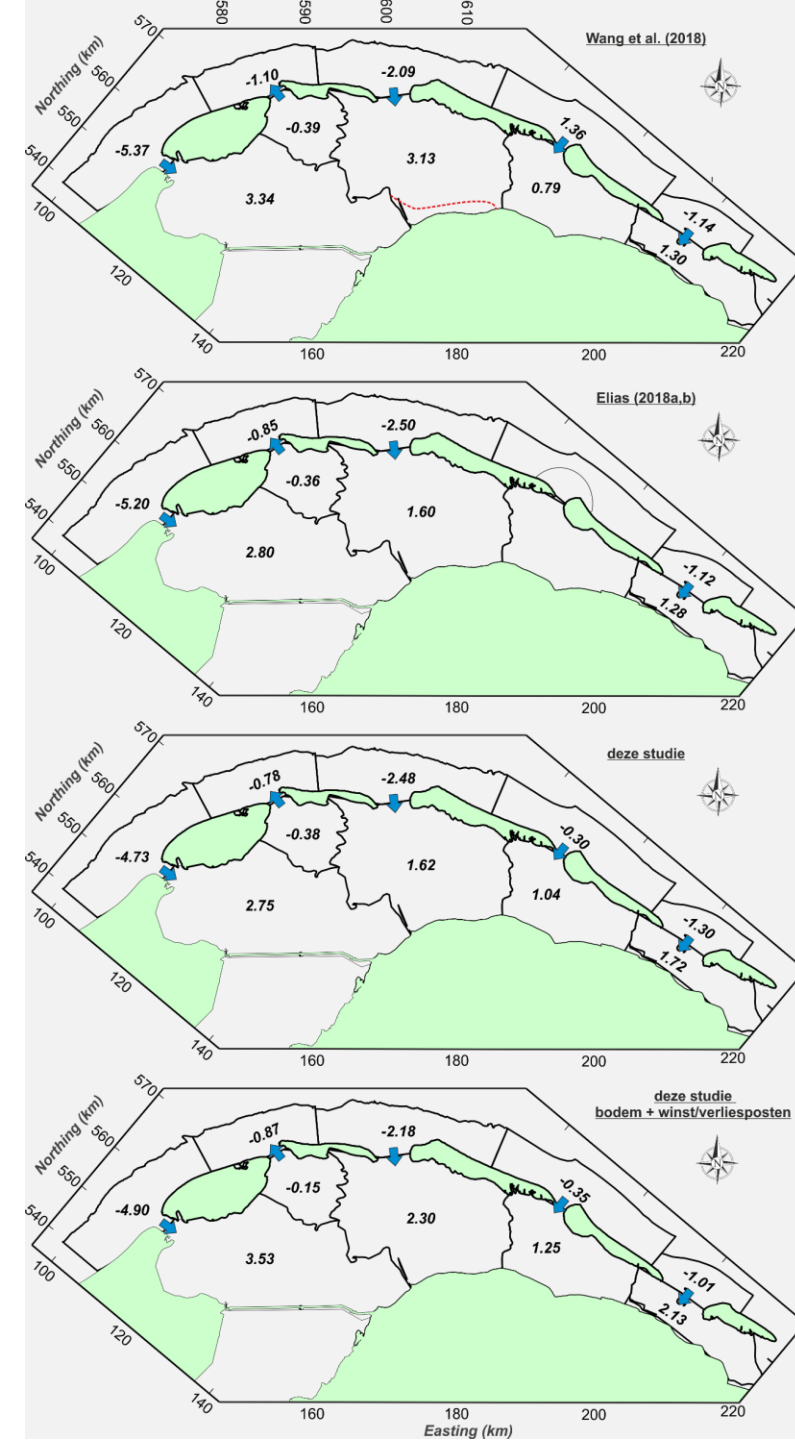
Methode

- Onderverdeling van de Waddenzee in Kombergingsgebieden
- Bepalen van de winst- en verliesposten binnen de kombergingsgebieden
 - Bodemverandering
 - Bodemdaling
 - Baggeren en storten, zand- en schelpenwinning
 - Zandsuppleties
 - Duinverliezen
 - Kwelderverliezen
- Bepalen van de uitwisselingen tussen de verschillende elementen
 - **Langs- en dwarstransport**
 - **Transporten over de wantijen**



Een vergelijking tussen verschillende studies

- Verschillende studies geven andere resultaten; maar wel vergelijkbare inzichten!
- Position Paper Waddenzee (Wang et al. 2018).
- Studies Westelijke Waddenzee & Friesche Zeegat (Elias, 2018).
- Lagere volumeveranderingen in het bekken Westelijke Waddenzee → METHODE.
- Deze studie; “ruwe data” zonder correcties.
- Deze studie; data gecorrigeerd voor ingrepen. Trends over de periode 1933 – 2015.
- Grootste verschil bij Ameland kust, door het niet meenemen van de oude bodems.

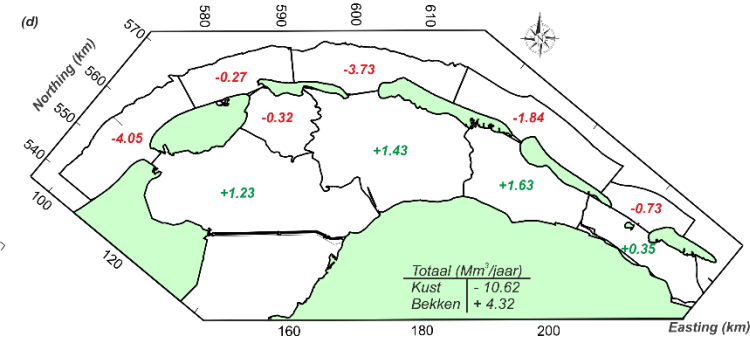
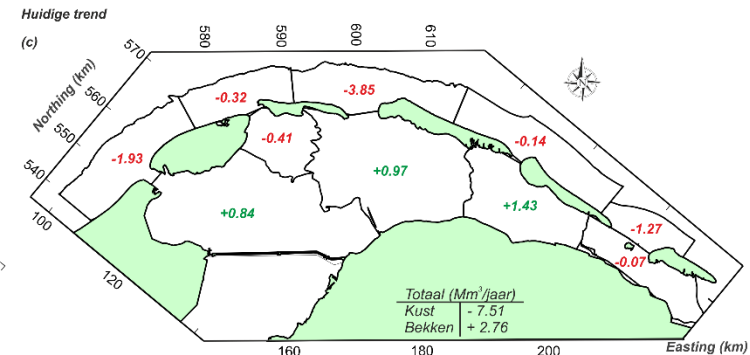
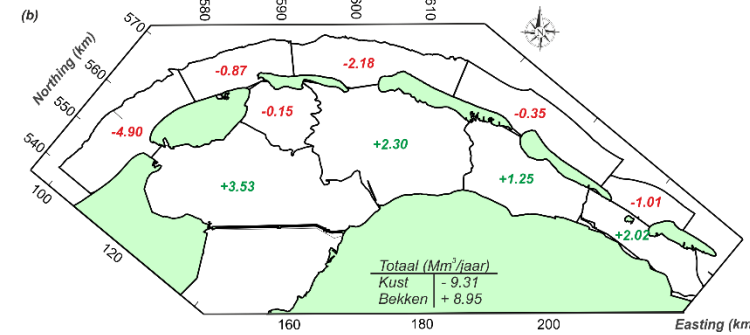
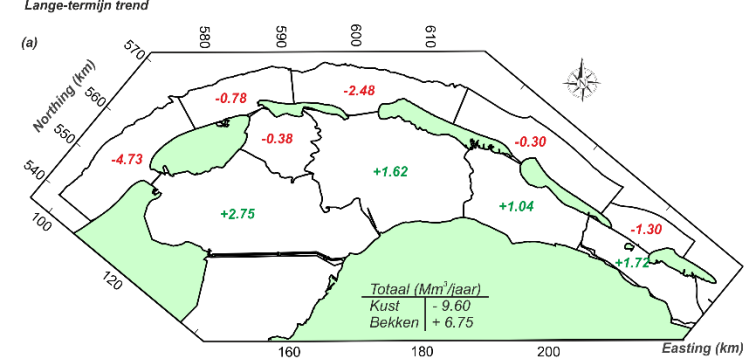


Resultaten

- Een volumebalans voor:
 - a) Langetermijntrend (alleen bodemdata)
 - b) Langetermijntrend incl. winst en verliesposten
 - c) Huidige trend (alleen bodemdata)
 - d) Huidige trend incl. winst en verliesposten

- Langetermijn trends zijn relatief in balans

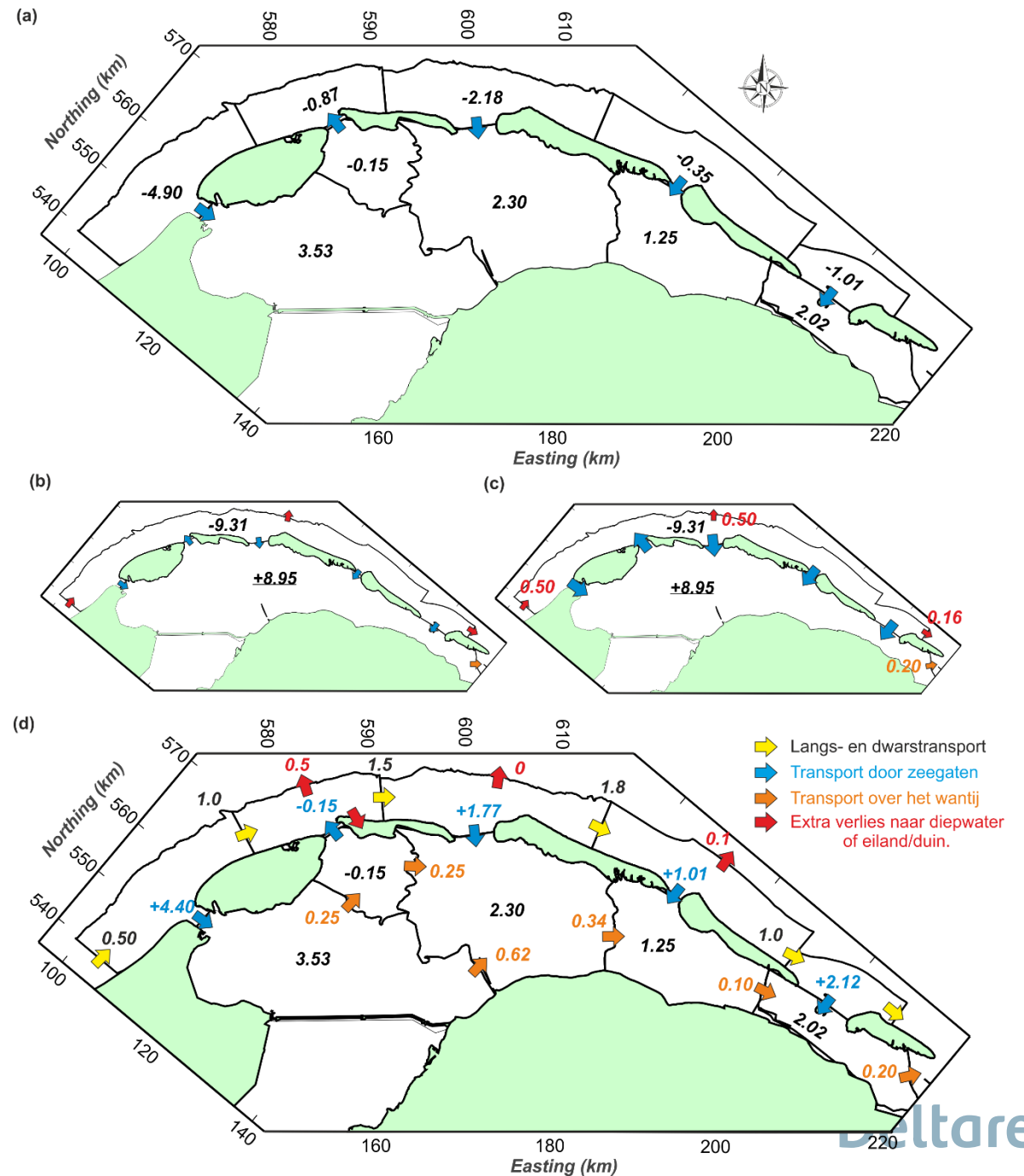
- Groot verschil in Huidige trend tussen erosie van de kustzone en sedimentatie in het bekken



Resultaten

- Langetermijn zandbalansmodel (1933 – 2015):
- Afschatting van de transporten door de zeegaten.

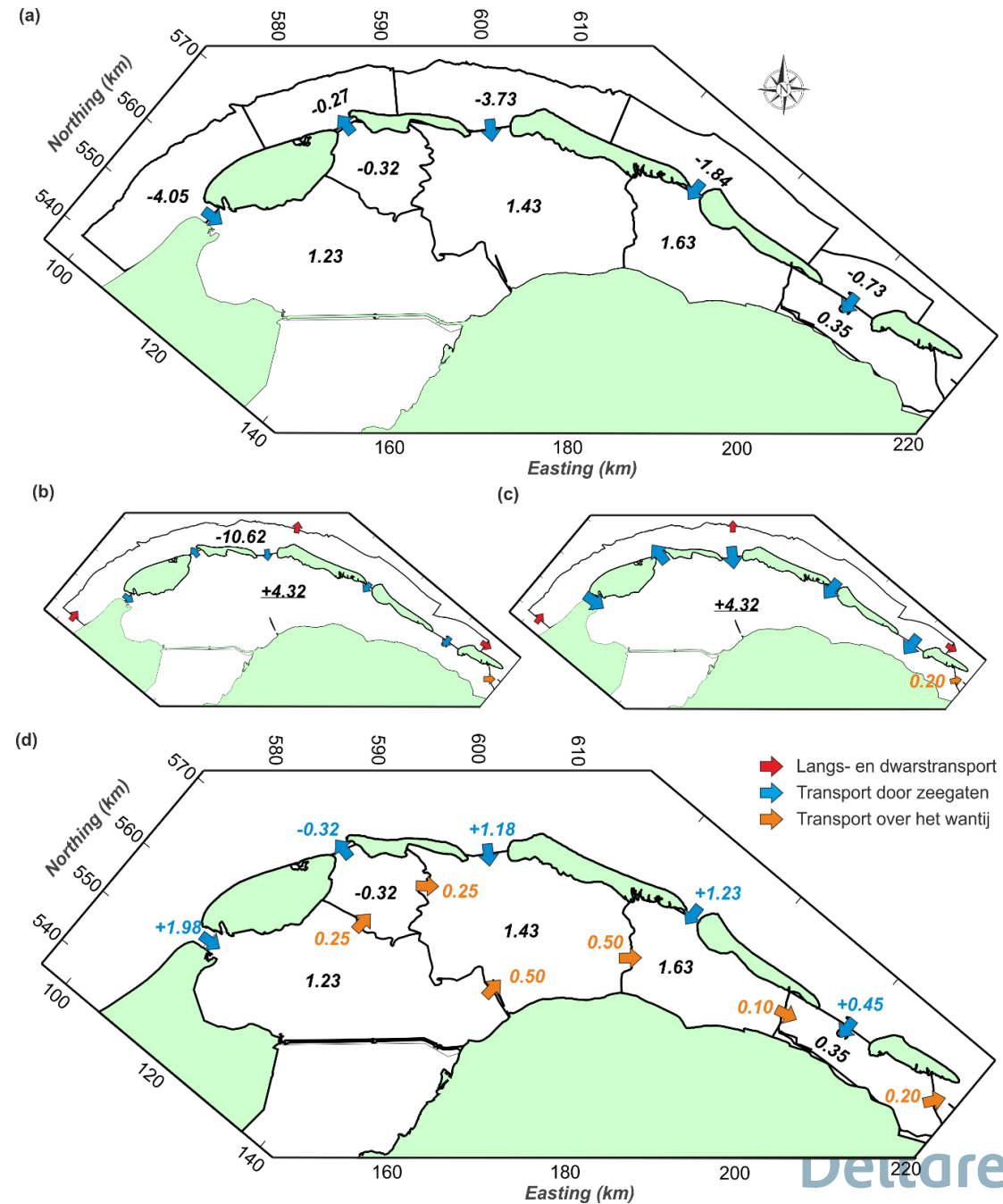
Zeegat	Lange-termijn Trend (Mm ³ /jaar)		
	0	8% slib	20% slib
Marsdiep	4.40	4.40	4.40
Eierlandse Gat	-0.15	-0.15	-0.15
Vlie	1.77	1.29	0.60
Ameland	1.01	0.91	0.76
Friesche Zeegat	2.12	1.96	1.72



Resultaten

- Huidige trend zandbalansmodel (1995 – 2015).
- Afschatting van de transporten door de zeegaten.

Zeegat	Sediment volume [miljoen m ³ /jaar]	Zand volume [miljoen m ³ /jaar]	
		<i>Slib 8%</i>	<i>20%</i>
Texel	+1.98	+1.88	+1.73
Eierlandse Gat	-0.32	-0.29	-0.26
Vlie	+1.18	+1.07	+0.89
Ameland	+1.23	+1.10	+0.90
Friesche Zeegat	+0.45	+0.42	+0.38
Totaal	+4.52	+4.17	+3.66



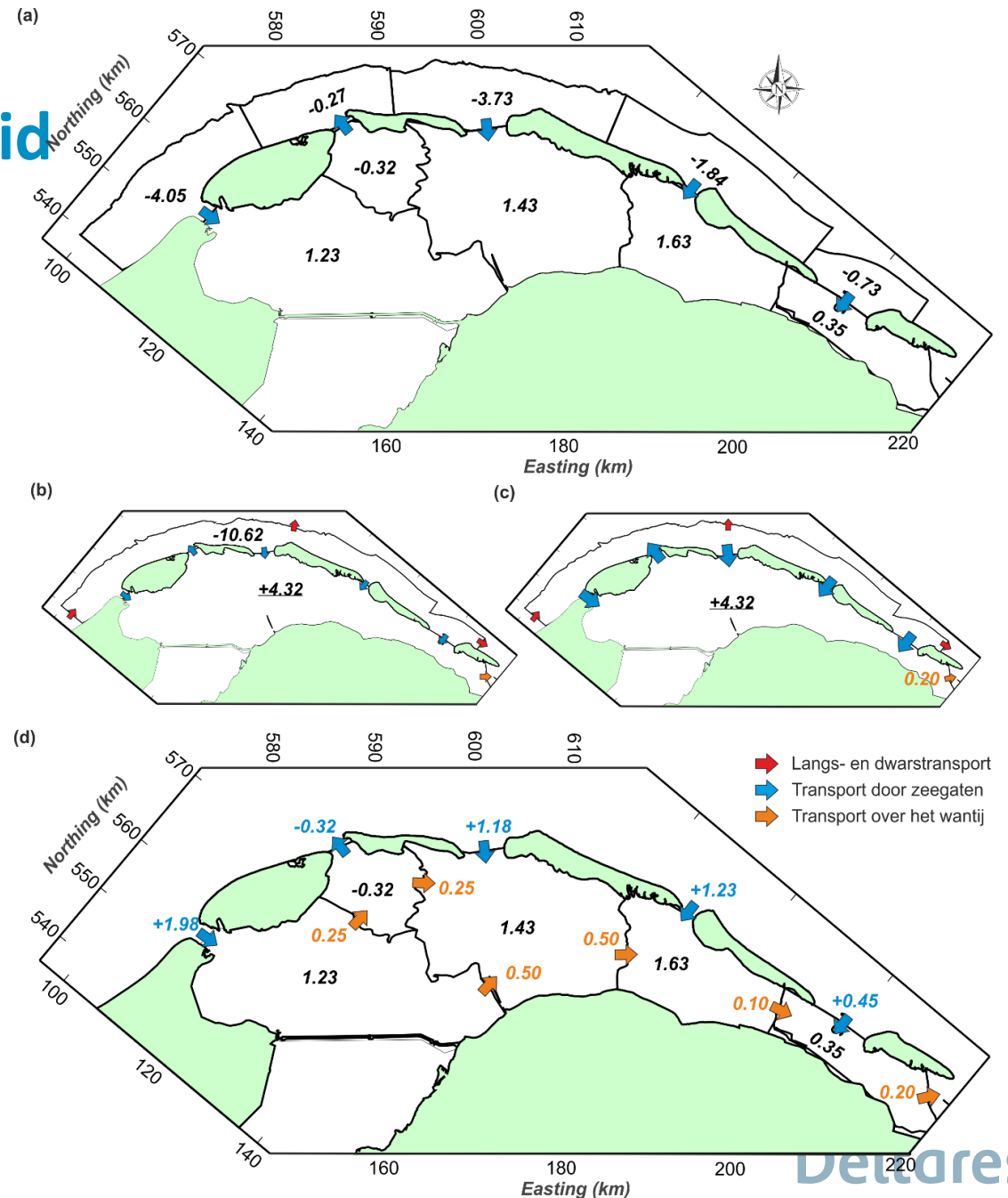
Afschatting van de Nauwkeurigheid

- Afschatting van de verschillende termen in de zandbalans

Parametert	Periode : 1989/91 – 2012/17 ^(b)		
	Mm ³ /jaar	min	max ³
dV_B	2.76	1.84	3.45
V_{DD}	0.04	0	0.10
$V_{KWELDER}$	0.15	0.15	0.40
V_{SUB}	0.89	1.46	2.01
V_{WT_UIT}	0.20	0	0.4

- Bereken het zandbalansmodel voor alle mogelijke combinaties. -> standaard deviatie = bandbreedte vd voorspelling

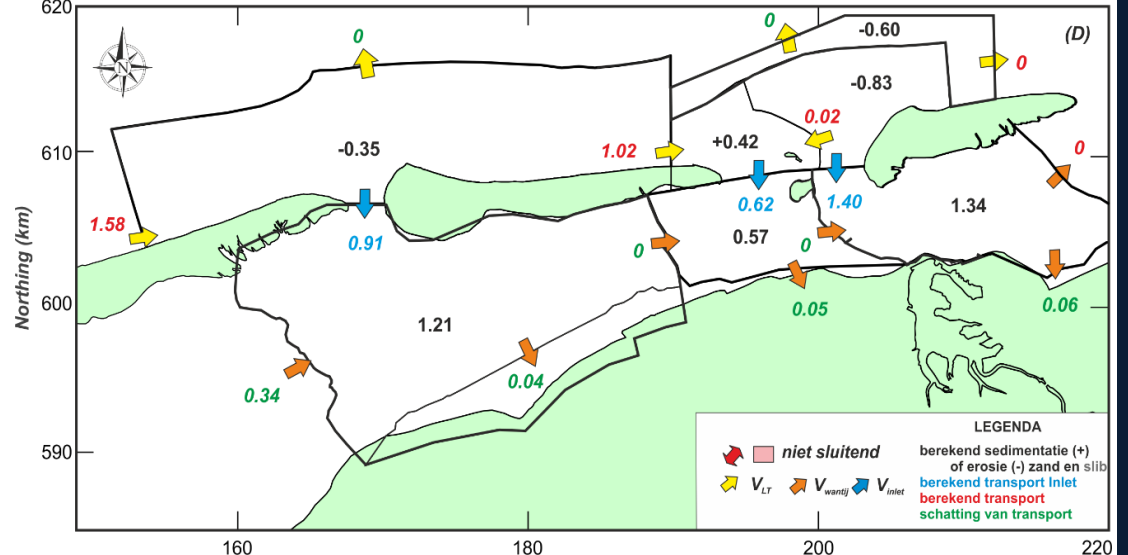
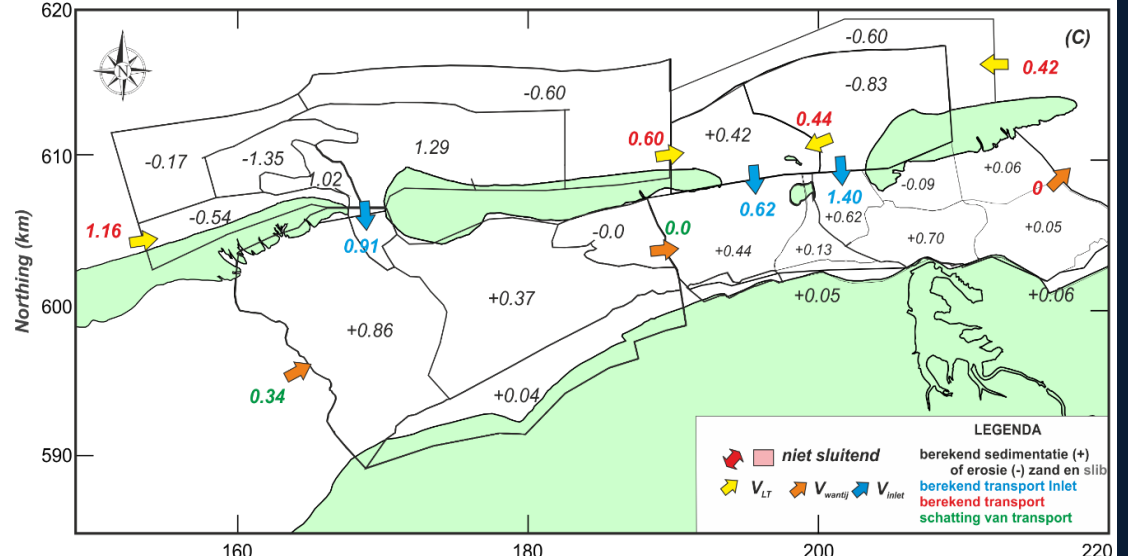
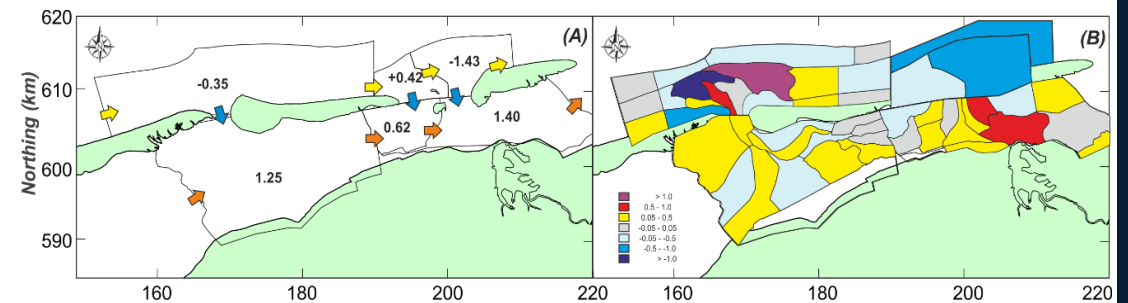
Zeegat	Zand transport [Mm ³ /jaar]		Zand transport [Mm ³ /jaar] 8% slib	
	0% slib			
Texel	+1.98	±0.35	+1.88	±0.34
Eierlandse Gat	-0.32	±0.06	-0.29	±0.05
Vlie	+1.18	±0.21	+1.07	±0.19
Ameland	+1.23	±0.22	+1.10	±0.20
Friesche Zeegat	+0.35	±0.06	+0.42	±0.08
Totaal	+4.44	±0.80	+4.17	±0.75



Resultaten

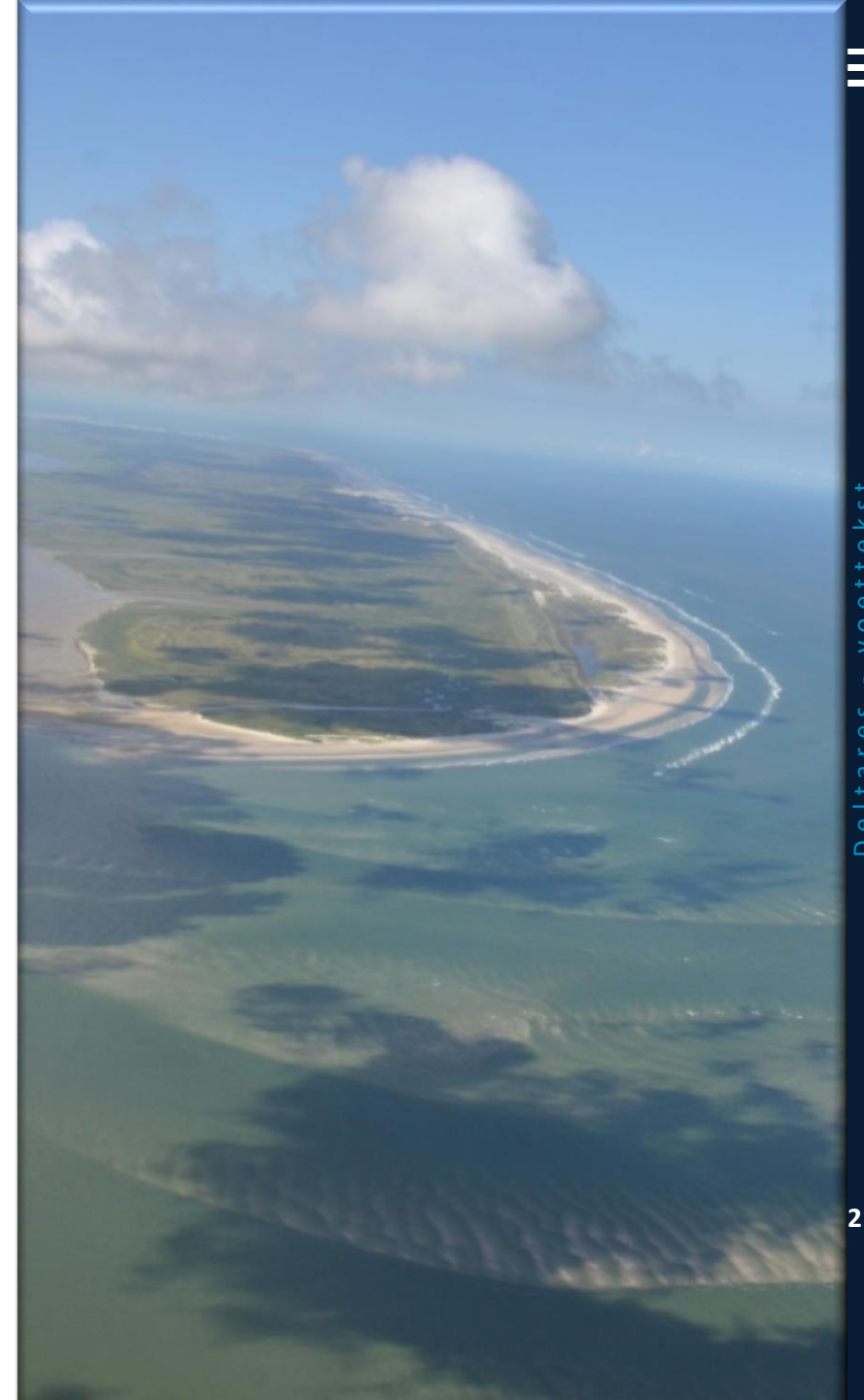
- Er staat nog veel meer informatie in het rapport.
- Detail zandbalans voor de Westelijke en Oostelijke Waddenzee
- Uitwerkingen onder verschillende aannamen

Zeega t	Paramete r	Basis		Variant 1			Variant 2				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$V_{I,TER}$	1,01	1,01	1,50	2,00	3,00	0,50	1,00	1,50	2,00	3,00
	$V_{WT,VLIE}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
AME	$V_{I,AME}$	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	0,71	1,21	1,71	2	2
	$V_{DT,AME}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0,21	1,21
	V_{AME}	1,23	1,23	1,72	2,22	3,22	1,63	1,63	1,63	1,63	1,63
	$V_{WT,AME}$	0,10	0,10	0,59	1,09	2,09	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
PGAT	V_{PGAT}	0,00	-0,20	-0,69	-1,19	-2,19	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10	-0,10
	$V_{I,TEPT}$	1,76	1,50	1,5	1,5	1,5	0,95	1,45	1,5	1,5	1,5
	$V_{DT,PGAT}$	0,00	0,46	0,95	1,45	2,45	0,0	0,0	0,45	0,74	0,74
	$V_{WT,PGAT}$	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
ZKL	V_{ZKL}	0,27	0,47	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
	$V_{I,T,Schier}$	2,08	1,00	1	1	1	1,09	1	1	1	1
	$V_{DT,ZKL}$	0	0,62	0,64	0,64	0,64	0	0,09	0,64	0,64	0,64
	$V_{WT,ZKL}$	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50



Conclusies

- D.m.v trendlijnanalyse kan de langetermijntrend en de huidige ontwikkeling worden geschat.
- Het meenemen van alle winst- en verliesposten in de zandbalans geeft een aanzienlijk verschil met de “klassieke” volumeberekeningen die niet of slechts beperkt zijn gecorrigeerd.
- De gecorrigeerde volumebalans geeft een netto lange-termijn erosie van de kust van 9.3 Mm³/jaar. In het bekken treedt 9.0 Mm³/jaar aan sedimentatie op.
- De huidige trends geven een verlies vanuit de kustzone van 10.6 Mm³/jaar aan zand, terwijl de bekkens met 4.3 Mm³/jaar sedimenteren. Deze grote onbalans tussen erosie (sediment aanbod) en sedimentatie (vraag) kan niet rechtstreeks uit de data worden verklaard.
- Een significante reductie van de aanzandingsnelheid is opgetreden in Marsdiep (van 3.53 Mm³/jaar naar 1.23 Mm³/jaar), in het Vlie (van +2.3 naar + 1.4). De sedimentatie in het bekken van Ameland en in het Friesche Zeegat is juist toegenomen.



Aanbevelingen

- Meer begrip nodig van de Kustverliezen. Deze lijken voor de huidige trends te worden overschat. Mogelijke oorzaken zijn:
 - Het niet correct corrigeren voor suppleties!
 - Onderschatten van de verliezen naar de duinen.
 - Onnauwkeurige trendlijnbevestigingen door onzekerheid in de bodemdata.
- Er is meer onderzoek benodigd naar de langstransporten en transporten over de wantijen. Waarom lijken de kustlangtransporten te worden onderschat op basis van de literatuur?
- Er zit veel meer informatie in de analyse dan tot nu toe gebruikt. Naast de grootschalige balansen zijn ook per deelgebied de balansen berekend. Dit maakt het mogelijk veel beter naar individuele platen / geulen te kijken.
- Verkennen van de onzekerheden en bandbreedtes van de voorspelling. Dat is nog geen triviale zaak.

