



Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat -RIKZ

## Effectiviteit van vooroeversuppleties langs de Waddenkust

Aanzet tot ontwerprichtlijnen  
voor het ontwerp van  
vooroeversuppleties

A1539

30 november 2005

Opdrachtgever **Rijkswaterstaat – RIKZ**

Titel **Effectiviteit van vooroeversuppleties langs de Waddenkust**

In dit rapport wordt verslag gedaan van een eerste evaluatie van zes vooroeversuppleties, namelijk die van Callantsoog-2001, Molengat –2003, De Koog-2002, Vlieland-2002, Terschelling-1993 en Ameland-1998.

De evaluatie betrof het analyseren van de beschikbare dieptegegevens en het op basis daarvan vaststellen van de belangrijkste effecten van de suppleties.

Centraal in de beschouwingen stond de vraag in welke mate de verschillende vooroeversuppleties hebben bijgedragen aan het zandvolume in de zogenaamde BKL-rekenschijf.

Na de gegevensanalyse is geprobeerd om een fysische verklaring te vinden voor de belangrijkste bevindingen. Daarbij bleek vooral de dynamiek van de voor de kust liggende brekerbanken cruciaal, alsmede de manier waarop deze door de aangebrachte suppletie werd beïnvloed.

Op basis van enkele hypothesen zijn vervolgens suggesties gedaan voor het ontwerpen van toekomstige vooroeversuppleties. In een later stadium zullen deze suggesties, tezamen met de suggesties van andere evaluaties, uitmonden in ontwerprichtlijnen.

Referenties      Offerte : A1539Le01 d.d. 18 juli 2005  
Overeenkomst nr. RKZ-1599 (brief RIKZ/2005/05873 dd 17 augustus 2005)

Rev.	Auteur	Datum	Bijzonderh.	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
0	RS	30 sept 05	Zoals besproken tijdens workshop		RS
1	RS	10 nov 05	exclusief samenvatting	HS	RS
2	Steijn <i>RS</i>	30 nov 05	definitief	Steetzel <i>RS</i>	Steijn <i>RS</i>

Document Specificaties	Inhoud	Status
Rapport nummer: A1539R1r2 Sleutelwoorden: morfologie, kustonderhoud, vooroever, suppleties, kustlijn, basiskustlijn, Project nummer: A1539	tekst pagina's : 89 tabellen : 26 figuren : 136 appendices : 1	<input type="checkbox"/> voorlopig <input type="checkbox"/> concept <input checked="" type="checkbox"/> eindrapport

## Samenvatting

Het Nederlandse kustlijnhandhavingsbeleid is er op gericht om structurele erosie langs de Noordzeekust, door middel van zandsuppleties, tegen te gaan. Een deel van de uitgevoerde suppleties zijn zogenaamde vooroeversuppleties. Het zand wordt dan niet op het strand, maar op de nabije vooroever geplaatst. De verwachting daarbij is dat een deel van het suppletiezand door natuurlijke zandtransportprocessen naar het strand toe zal worden verplaatst.

In het kader van het programma "SLA Kustlijn zorg" wordt bij Rijkswaterstaat - RIKZ momenteel gewerkt aan een groot aantal produkten die bijdragen aan een efficiënt en uitlegbaar beheer van de Nederlandse kust. Eén van de onderdelen is een onderzoek naar de effectiviteit van vooroeversuppleties bij het beheer van de kustzone.

### Doel en onderzoeksvragen

Het doel van het hier gerapporteerde onderzoek is het geven van een aanzet tot richtlijnen voor het ontwerp van onderwatersuppleties. Daartoe zijn de volgende zes reeds uitgevoerde vooroeversuppleties geanalyseerd:

1. Callantsoog (2001)
2. Texel – zuidwest (2003)
3. Texel – De Koog (2002)
4. Vlieland (2001)
5. Terschelling (1993)
6. Ameland (1998)

De doelstelling is vertaald in de volgende vier onderzoeksvragen:

1. Wat is het effect van de vooroeversuppleties op de ligging van de MKL. Wordt een overschrijding van de BKL door uitvoering van een vooroeversuppletie voorkomen of verholpen? Tevens: wat is het effect van de suppletie op andere kustlijnparameters, zoals bijvoorbeeld strandbreedte en positie van de duinvoet?
2. Wanneer begint de suppletie te werken en wanneer is de suppletie (vermoedelijk) uitgewerkt? Hoe verloopt de ontwikkeling van de suppletie ruimtelijk gezien en hoe verloopt het in de tijd?
3. Zijn er overeenkomsten in de wijze waarop het kuststelsel reageert op de onderzochte suppleties? Welke fysische processen liggen waarschijnlijk ten grondslag aan de waargenomen reactie van het systeem?
4. Welke lessen kunnen worden getrokken ten behoeve van toekomstig uit te voeren vooroeversuppleties? Welke van deze lessen zijn locatie-specifiek en welke zijn generiek?

In paragraaf 6.2 van het rapport zijn de antwoorden op deze onderzoeksvragen samengebracht. In de voorliggende samenvatting wordt iets uitgebreider op de resultaten van het onderzoek ingegaan.

### Effectiviteit (hoofdstuk 2)

Voor dat uitspraken kunnen worden gedaan over de effectiviteit van een vooroeversuppletie moet eerst duidelijk zijn wat hieronder precies wordt verstaan. In principe zijn verschillende definities mogelijk.

In dit rapport (paragraaf 2.2) is als definitie gebruikt:

*"De effectiviteit van een suppletie is het percentage van het aanlegvolume van de suppletie dat bijdraagt aan het zandvolume in de BKL-zone".*



In onderstaande tabel zijn de belangrijkste bevindingen van de analyse van deze dieptegegevens samengevat.

Aspect	Callantsoog	ZW-Texel	De Koog	Vlieland	Terschelling	Ameland
Suppletievolume (Mm <sup>3</sup> ) (gepeild)	1,15	1,04	4,77	0,83	2,18	1,85
Gemidd. suppletie-intensiteit (m <sup>3</sup> /m)	383	480	795	360	484	230
Brekerbank aanwezig	Ja (1)	nee	Ja (1)	Ja (westen) nee (oosten)	Ja (2-3)	Ja (2)
Geul voor de kust	nee	ja	nee	Ja (oosten)	nee	nee
Migratie bank vóór suppletie	Landwaarts (0 –10 m/j)	-	Landwaarts (0 – 25 m/j)	westen: 0-10 m/j	Zeewaarts (10 m/j)	Wisselend
Migratie bank ná suppletie	Landwaarts (10 –100 m/j)	-	Landwaarts (20-60 m/j)	Wisselend	Wisselend / landwaarts	Wisselend
Invloed aangrenzende kustvakken	Nauwelijks (150 m naar noorden)	Nauwelijks (100 m naar weerszijden)	Nauwelijks	Migratie oostelijke geulwand iets beperkt	Oostwaarts (na 7 jaar)	Beperkt oostwaarts
"Invangen" van zand	Nee	Nee (zandverlies door muistroom)	Nee	Ja, in centrale overgangsgebied	Ja, maar proces onduidelijk	Mogelijk
Natuurlijke MKL-fluctuaties	10-40 m/j	10-20 m/j	5-20 m/j	10-30 m/j	20-40 m/j	10-30 m/j
Maximale MKL verplaatsing door suppletie	50 m	50-70 m	80 – 150 m	30-60 m	30-80m	20 – 70 m
Verhouding natuurlijke en maximale MKL-verplaatsing	3	4	10	3	2	2
Bodemvariaties in suppletievak (verticaal) - winter	20-25 cm/maand	10 cm/maand	20-25 cm/maand	Niet bepaald	10-20 cm/maand	10-20 cm/maand
Bodemvariaties in suppletievak (verticaal) - zomer	3 - 8 cm/maand	2-5 cm/maand	3 - 8 cm/maand	Niet bepaald	3-8 cm/maand	3-8 cm/maand
Effectiviteit 1 <sup>o</sup> jaar (ongecorrigeerd)	10-30%	50 %	0-10%	0-10% westen 50-80% oosten	20-80%	-50-0% koppen 0-50% midden
Effectiviteitsverloop	Neemt af	Onbekend (1 jaar)	Neemt toe	afname (west) toename (oost)	Gestage toename tot 7 <sup>o</sup> jaar	Neemt toe en na 3 jaar weer af
Nieuwe ingrepen	Nood-suppletie na 2 jaar	Bestorting en strand-suppletie	Niet nodig	nee	nee	nee

Uit de analyse van de dieptegegevens bleek geen eenduidige bodemontwikkeling. De natuurlijke dynamiek van de kustzone is dermate groot dat de aangebrachte vooroeversuppleties daar maar weinig verandering in teweeg brachten. Deze dynamiek betrof niet alleen de beweelijkheid van de brekerbanken, maar ook (en daar waarschijnlijk aan gerelateerd) het berekende MKL-zandvolume.

#### **Synthese (hoofdstuk 4)**

##### *Doel en effectiviteit van de vooroeversuppletie*

De aldus berekende effectiviteit van de verschillende suppleties blijkt aanzienlijk te verschillen. Niet alleen van suppletie tot suppletie, maar ook binnen de grenzen van het gesuppleerde kustvak. Uit de berekende effectiviteitslijnen is geen eenduidige relatie af te leiden tussen de geometrische kenmerken van de vooroeversuppletie en de gevonden effectiviteit.

##### *Verplaatsing brekerbanken*

Met uitzondering van de suppletie in het Molengat (ZW-Texel) en de oostelijke helft van de suppletie op Vlieland-oost, lagen er één of meerdere brekerbanken voor de kust. Het beeld van de morfologische veranderingen na aanleg van de vooroeversuppletie was min of meer hetzelfde. De eerste brekerbank migreerde naar de kust en schoof daarmee al dan niet de voorliggende trog voor zich uit.

Met name daar waar strandhoofden aanwezig waren leidde dit tot een versmalling van het strand.

Zodra de eerste brekerbank de kust dicht genoeg was genaderd, werd de bank in bovenaanzicht instabiel en verdween de trog uit de kustprofielen. Vanaf dat moment nam het MKL-zandvolume toe, alsmede de strandbreedte. Voor het mogelijk daar voor verantwoordelijke fysisch mechanisme is een hypothese opgesteld.

In de onderzochte kustvakken is sprake van relatief grote bruto transporten in zowel dwars- als langsrichting van de kust. De morfologische dynamiek, die vooral zichtbaar is in de beweeglijkheid van de brekerbanken, is het resultaat van het netto zandtransport (en de ruimtelijke verschillen daarin). Het netto transport is meestal maar een fractie van het bruto transport, zodat kleine veranderingen in de bruto transportcapaciteit relatief grote effecten kunnen hebben op de (kleinschalige) morfologie.

Het landwaarts opschuiven van de brekerbank (geïnitieerd door de aangebrachte vooroeversuppletie) betekent dat het bruto zeewaarts gerichte zandtransport op de kruin van de brekerbank iets afneemt. Stel dat de hogere golfcondities meer bijdragen aan het zeewaarts gerichte dwarstransport op de kruin van de brekerbank dan de lagere golven. En stel dat vooral de golfvoortplanting van de hogere golven door de aangebrachte vooroeversuppletie wordt beïnvloed (de lagere golven lopen er als het ware ongestoord overheen). Dan zal het bruto zeewaarts gerichte dwarstransport op de brekerbank afnemen. Per saldo neemt dan het landwaarts gerichte netto dwarstransport toe, hetgeen zal resulteren in een landwaartse migratie van de kruin van de bank.

##### *Bermvorming*

De vooroeversuppleties zijn aangelegd als een min of meer vlak "plateau" op een bepaalde diepte. In alle gevallen ontstond op dit "plateau" een berm. De hoogte van deze berm hing onder andere af van het totale suppletievolume en ook van de diepte waarop deze werd aangelegd. Ook de korrelgrootte van het suppletiezand speelt

vermoedelijk een rol. Als grof suppletiezand wordt gebruikt kan een hogere berm ontstaan (suppletie Molengat).

Als er tussen deze berm en de kust geen brekerbank ligt (zoals bij de suppletie in het Molengat), dan kan de berm een nadelig effect hebben op de strandbreedte. Dit kan nog worden versterkt als er in het betreffende kustvak strandhoofden aanwezig zijn die de doorstroming in langsrichting van de kust verder beperken.

Als er wel een brekerbank tussen de berm en de kust ligt (zoals bij alle andere vooroeversuppleties), dan is het effect van een berm op de strandbreedte minder groot. Het voordeel van een hoge berm is dat er een groter gedeelte van het suppletiezand bijdraagt aan het MKL-zandvolume. Dit is alleen een rekentechnische winst, omdat het niet per definitie leidt tot een toename van het zandvolume dicht onder de kust.

Waarschijnlijk heeft een berm een filterende werking op de golfcondities. Daardoor kan een grotere berm mogelijk ook een grotere verandering teweeg brengen in het netto dwarstransport op de eerste brekerbank. Het vermoeden bestaat dat een hogere berm de landwaartse migratiesnelheid van de eerste brekerbank doet toenemen. Daardoor komt de brekerbank eerder op een punt dat het instabiel wordt, zodat het MKL-zandvolume eerder kan toenemen. Of deze hypothese klopt zal in een nader onderzoek moeten worden onderzocht.

Mocht de hypothese kloppen, dan is dit nog geen pleidooi voor grote vooroeversuppleties (in  $m^3/m$ ). Een te grote berm voor de kust kan immers ook werken als een "kustparallele dam". De invloed op de golfvoortplanting kan dan zo groot worden dat de langtransportcapaciteit afneemt en er per saldo zand wordt "ingevangen". Dat kan dan weer leiden tot versterkte erosie in het benedenstroomse kustvak.

#### *Beïnvloeding naastliggende kustvakken*

Voor geen van de suppleties kon worden vastgesteld dat er een significante beïnvloeding heeft plaatsgevonden van het zandvolume in de naastliggende kustvakken. Soms was er wel sprake van een verandering in bijvoorbeeld het MKL-zandvolume van een naastgelegen vak, maar die verandering paste in de langjarige bandbreedte. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de aangebrachte vooroeversuppleties geen van allen een zodanige invloed hebben gehad op de golfvoortplanting dat daardoor de langtransportcapaciteit voor de kust afnam. Daardoor werd geen zand "ingevangen", en ontstond er ook geen "benedenstroomse" (extra) erosie.

#### **Aanzet tot ontwerprichtlijnen (hoofdstuk 5)**

Ontwerprichtlijnen relateren geometrische kenmerken van de vooroeversuppletie aan bepaalde fysische kenmerken van de omgeving. Ze kunnen ook betrekking hebben op uitvoeringsaspecten. Ontwerprichtlijnen moeten rekening houden met het doel van een specifieke suppletie.

Het is niet mogelijk gebleken om op basis van de uitgevoerde evaluaties ontwerprichtlijnen op te stellen. Wel kunnen een aantal lessen worden getrokken die van pas komen bij het ontwerpen van vooroeversuppleties. Dat is wezenlijk anders dan een ontwerprichtlijn, want daar kan alleen sprake van zijn als de fysica voldoende is doorwrochten en in het veld is geverifieerd. Uit het onderzoek komen de volgende lessen naar voren:

- De suppletie-intentsiteit moet groot genoeg zijn om een merkbaar effect te hebben, maar niet zo groot dat er teveel (dat wil zeggen: op kleine schaal onvoorspelbare) verstoring van de natuurlijke kustprocessen plaatsvindt. Als maat daarvoor wordt hier gehanteerd: het quotiënt tussen de maximale MKL-bijdrage van de suppletie (m/j) en de bandbreedte waarbinnen de natuurlijke MKL-verplaatsingen plaatsvinden (ook in m/j). Om het effect van vooroeversuppleties op het MKL-zandvolume redelijkerwijs te kunnen vaststellen zou deze maat (op raai-niveau) groter moeten zijn dan 3 à 5 en bij voorkeur niet veel groter dan 10 à 15.
- Bij voorkeur moeten de korrelkarakteristieken van het suppletiemateriaal niet te veel afwijken van het van nature aanwezige sediment.
- Voor kustvakken met één brekerbank verdient het aanbeveling om voorafgaande aan het ontwerp de afstand van de brekerbank tot de waterlijn vast te stellen. Als deze afstand klein is, dan kan de vooroeversuppletie aan de buitenzijde van de bank worden geplaatst. Vermoedelijk wordt de bank (in bovenaanzicht) dan snel instabiel en kan de MKL op die locatie spoedig zeewaarts opschuiven. Als voornoemde afstand groter is, dan bestaat het gevaar dat eerst een opschuivende trog tot lokale problemen leidt. Om dat te voorkomen zou de vooroeversuppletie aan de landwaartse zijde van de brekerbank kunnen worden aangebracht (bijvoorbeeld via rainbowen). In bovenaanzicht van het te suppleren kustvak kan dan langs sommige kustsecties aan de landzijde en langs andere kustsecties aan de zeezijde van de brekerbank worden gesuppleerd. Dit hangt dan onder andere af van de hoek die de brekerbanken ten opzichte van de waterlijn maken. Er is nog geen kwantitatieve maat voor de afstand waarbij dan wel aan de landwaartse zijde, dan wel aan de zeewaartse zijde, het beste kan worden gesuppleerd. Dat vereist nader onderzoek.
- In situaties met strandhoofden moet niet te dicht onder de kust worden gesuppleerd. Het gevaar is dat dan de strandbreedte sterk afneemt en er ondermijning van de koppen van de strandhoofden kan optreden.
- Langs kustvakken zonder brekerbanken zou beter enig reliëf kunnen worden aangebracht in de suppletie. Liever een aantal "bobbels", al dan niet doorlopend tot aan de waterlijn, dan een langgerekt onderwater plateau. Deze suggestie kan ook gelden voor een kust met één brekerbank, hoewel de afwezigheid van reliëf niet per sé negatief hoeft uit te pakken. Dat hangt namelijk sterk af van het primaire doel van de betreffende suppletie.

### Slotbeschouwing

Het onderzoek brengt twee verschillende redeneerlijnen naar voren: een technische en een beleidsmatige.

Ten eerste de technische redeneerlijn. Uit de analyse van de gegevens blijkt in grote lijn dat de morfologische effecten van de uitgevoerde vooroeversuppleties, gering zijn ten opzichte van de natuurlijke dynamiek. Dat komt enerzijds omdat de morfologische veranderingen in de brandingszone relatief groot zijn ten opzichte van de aangebrachte suppletie. Anderzijds komt het door de relatief korte evaluatieperiode. Desondanks konden enkele observaties worden gedaan, vooral met betrekking tot de beweeglijkheid van de brekerbanken. Die hebben geresulteerd in suggesties voor het ontwerp van toekomstige onderwatersuppleties. Om deze suggesties beter te kunnen onderbouwen is vervolgonderzoek nodig.



Ten tweede heeft het onderzoek laten zien dat het berekenen van effectiviteit in termen van "MKL-zandvolume" niet tot eenduidige conclusies leidt. Een grote vooroeversuppletie waarop zich snel een berm vormt die boven de MKL-ondergrens uitgroeit, "scoort" bijvoorbeeld een hoog percentage, terwijl het zandvolume vlak onder de waterlijn sterk kan afnemen. Dat heeft te maken met het feit dat de MKL wordt berekend tussen vaste horizontale grenzen. Nader beleidsmatig onderzoek naar de voordelen en de nadelen van het huidige toetsingsinstrument (de BKL-systematiek) is in dit kader aan te bevelen.

In plaats van de gehanteerde definitie over effectiviteit (dat wil zeggen "MKL-effectiviteit") zou het wellicht beter zijn om te spreken over de effecten van een vooroeversuppletie. Of over de doelmatigheid van een suppletie, maar dan altijd in relatie tot het doel zelf. Dit laatste impliceert dat van iedere suppletie van tevoren het te bereiken doel duidelijk moet zijn. Pas dan kunnen naderhand de effecten van de suppletie op waarde worden gededd.





# Inhoud

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding .....	1
1.1	Aanleiding tot het onderzoek	1
1.2	Doel, onderzoeksvragen en uitgangspunten	1
1.3	Aanpak en leeswijzer	2
2	Definities .....	5
2.1	Verschillende typen suppleties	5
2.2	Effectiviteit	6
2.2.1	Inleiding	6
2.2.2	Berekening van MKL	7
2.2.3	Jarkus of detaillodingen?	8
2.2.4	Verticale of horizontale begrenzingen?	8
2.2.5	Eerste uitwerking van de definitie	9
2.2.6	Aggregeren of niet?	9
2.2.7	Effectiviteitslijn en levensduur	10
2.2.8	Corrigeren voor autonome ontwikkeling	11
2.2.9	Kanttekeningen	14
2.3	Definitie kustlijnparameters	15
3	Analyse dieptegegevens.....	16
3.1	Inleiding	16
3.2	Suppletie Callantsoog 2001	16
3.2.1	Typering van het kustvak	16
3.2.2	Recente erosiegeschiedenis omgeving Callantsoog	17
3.2.3	Beschrijving van de te evalueren suppletie	20
3.2.4	Beschikbare lodingen	20
3.2.5	Sedimentatie – erosie	21
3.2.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	22
3.2.7	Profielveranderingen	24
3.2.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	25
3.3	Suppletie Molengat 2003	28
3.3.1	Typering van het kustvak	28
3.3.2	Recente erosiegeschiedenis	29
3.3.3	Beschrijving van de te evalueren suppletie	30
3.3.4	Beschikbare lodingen	31
3.3.5	Sedimentatie - erosie	31
3.3.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	32
3.3.7	Profielveranderingen	33
3.3.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	33
3.3.9	Vergelijking met conclusies uit eerdere evaluatie	34



3.4	Suppletie De Koog 2002	36
3.4.1	Typering van het kustvak	36
3.4.2	Recente erosiegeschiedenis	37
3.4.3	Beschrijving van de te evalueren suppletie	38
3.4.4	Beschikbare lodingen	38
3.4.5	Sedimentatie - erosie	39
3.4.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	40
3.4.7	Profielveranderingen	41
3.4.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	42
3.5	Suppletie Vlieland-oost 2001	42
3.5.1	Typering van het kustvak	42
3.5.2	Recente erosiegeschiedenis	43
3.5.3	Beschrijving van de te evalueren suppletie	44
3.5.4	Beschikbare lodingen	45
3.5.5	Sedimentatie - erosie	45
3.5.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	46
3.5.7	Profielveranderingen	47
3.5.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	48
3.6	Suppletie Terschelling 1993	49
3.6.1	Typering van het kustvak	49
3.6.2	Recente erosiegeschiedenis	50
3.6.3	Beschrijving van de te evalueren suppletie	51
3.6.4	Beschikbare lodingen	51
3.6.5	Sedimentatie - erosie	52
3.6.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	53
3.6.7	Profielveranderingen	54
3.6.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	54
3.6.9	Conclusies uit eerdere evaluaties	55
3.7	Suppletie Ameland-midden 1998	57
3.7.1	Typering van het kustvak	57
3.7.2	Recente erosiegeschiedenis	59
3.7.3	Beschrijving van de aangebrachte suppletie	60
3.7.4	Beschikbare lodingen	61
3.7.5	Sedimentatie - erosie	61
3.7.6	Ontwikkelingen kustlijnparameters	62
3.7.7	Profielveranderingen	63
3.7.8	De effectiviteit van de vooroeversuppletie	63
3.8	Overzichtstabel	64
4	Synthese .....	66
4.1	Inleiding	66
4.2	Analyse hydrodynamische condities	66
4.3	Nadere beschouwing	68
4.3.1	Callantsoog 2001	68
4.3.2	Molengat 2001	71
4.3.3	De Koog 2002	74
4.3.4	Vlieland-oost 2001	75
4.3.5	Terschelling 1993	76
4.3.6	Ameland-midden 1998	78
4.4	Overeenkomsten en verschillen	79



5	Aanzet tot ontwerprichtlijnen.....	82
5.1	Ontwerpoverwegingen	82
5.2	Lessen en overwegingen	83
6	Conclusies en aanbevelingen.....	88
6.1	Conclusies	88
6.2	Aanbevelingen	91

Referenties

Figuren (die niet tussen de tekst zijn opgenomen)

Bijlage A Verslag van expert meeting

## Lijst van tabellen

Alle tabellen zijn tussen de tekst opgenomen.

- 2.1 Vliegtuigopnames Jarkus-bestand (vanaf 2000)
  - 3.1 Geschatte kustlijnachteruitgang door de eeuwen heen (in m) – Noord-Holland
  - 3.2 Overzicht uitgevoerde suppleties Callantsoog
  - 3.3 Karakteristieken van de suppletie Callantsoog 2001
  - 3.4 Overzicht beschikbare lodingen Callantsoog
  - 3.5 effectiviteit op vakniveau – twee en drie jaar na de suppletie
  - 3.6 Overzicht uitgevoerde suppleties zuidwest Texel
  - 3.7 Karakteristieken van de suppletie Molengat 2003
  - 3.8 Overzicht beschikbare lodingen zuidwest Texel
  - 3.9 Vakgemiddelde volumeverandering “BKL-vakken” D tot en met G
  - 3.10 Overzicht uitgevoerde suppleties omgeving De Koog
  - 3.11 Karakteristieken van de suppletie De koog 2002
  - 3.12 Overzicht beschikbare lodingen Texel – De Koog
  - 3.13 Overzicht uitgevoerde suppleties omgeving Vlieland - oost
  - 3.14 Karakteristieken van de suppletie Vlieland -oost
  - 3.15 Overzicht beschikbare lodingen Vlieland - oost
  - 3.16 Overzicht uitgevoerde suppleties Terschelling
  - 3.17 Karakteristieken van de suppletie Terschelling 1993
  - 3.18 Overzicht beschikbare lodingen - Terschelling
  - 3.19 Overzicht uitgevoerde suppleties Ameland
  - 3.20 Karakteristieken van de suppletie Ameland 1998
  - 3.21 Overzicht beschikbare lodingen Ameland
  - 3.22 Overzicht met bevindingen per vooroeversuppletie
  
- 4.1 Jaarlijkse golfenergieflux station ELD
- 4.2 Richting van de inkomende golfenergie per jaar en per seizoen
  
- 5.1 Overzicht mogelijke ontwerpparameters

## Lijst van figuren

\* Deze figuren zijn tussen de tekst opgenomen. De overige figuren zijn achterin opgenomen

### 1.1\* Stroomschema studie-aanpak

2.1\* Schematische weergave van verschillende types suppletie

2.2\* Principe van de berekening van de MKL

2.3\* Fictief tijdsverloop van de effectiviteit van twee types suppletie

2.4\* Voorbeeldberekening van een ongecorrigeerd effectiviteitsverloop

2.5\* Voorbeeldberekening van een gecorrigeerd effectiviteitsverloop

### Callantsoog

3.1 De kustlijn ter hoogte van Callantsoog

3.2 Time stacks Noord-Holland – raai RSP 9,68 km

3.3 idem – raai RSP 13,20 km

3.4 idem – raai RSP 15,03 km

3.5 Berekende MKL-posities voor Noord-Holland raai RSP 9,68 km

3.6 idem – raai RSP 13,20 km

3.7 idem – raai RSP 15,03 km

3.8 Bodemligging kustvak Callantsoog vòòr de suppletie (juni 2001)

3.9 Bodemligging kustvak Callantsoog direct na de suppletie (december 2001)

3.10 Opeenvolgende verschilkaarten kustvak Callantsoog – periode voor de suppletie, halverwege de suppletie en na de suppletie

3.11 Verschilkaart kustvak Callantsoog – maart 2001 – februari 2003

3.12 Verschilkaart kustvak Callantsoog – maart 2001 – oktober 2004

3.13 Verschilkaart kustvak Callantsoog – eerste winterperiode na de suppletie (3,5 maand)

3.14 Verschilkaart kustvak Callantsoog – eerste zomerperiode na de suppletie (6 maanden)

3.15 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –8 m

3.16a Zandvolume NAP +3 m / NAP –8 m in de twee aangrenzende kustvakken

3.16b Zandvolume NAP +3 m / NAP –4,7 m in vier kustvakken

3.17 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 13,20 km

3.18 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 11,97 km

3.19 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 11,08 km

3.20 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 12,58 km

3.21 Effectiviteit in het eerste jaar na aanleg – vooroeversuppletie Callantsoog (2001)

3.22 Effectiviteit in het tweede jaar na aanleg – vooroeversuppletie Callantsoog (2001)

3.23 Effectiviteit in het derde jaar na aanleg – vooroeversuppletie Callantsoog (2001)

3.24 Berekende effectiviteitslijnen voor Callantsoog (voor vier raaien)

### Texel - Molengat

3.25\* Bliksemgrafieken van de GHW-lijn van zuidwest Texel

3.26 Time stacks zuidwest Texel– raai RSP 9,00 km

3.27 idem – raai RSP 10,53 km

3.28 idem – raai RSP 12,10 km

3.29 Berekende MKL-posities voor Noord-Holland raai RSP 9 km

3.30 idem– raai RSP 10,53 km

3.31 idem– raai RSP 12,10 km

3.32 Bodemligging kustvak zuidwest Texel vòòr de suppletie (maart 2003)

- 3.33 Verschilkaart kustvak zuidwest Texel – eerste winterperiode na de suppletie (6 maand)
- 3.34 Verschilkaart kustvak zuidwest Texel – eerste zomerperiode na de suppletie (6 maanden)
- 3.35 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –7 m
- 3.36 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 9,15 km
- 3.37 Kustprofielen op basis van vaklodingen – raai RSP 11,08 km
- 3.38 Idem - periode vanaf 1986
- 3.39 Effectiviteit in het eerste jaar na aanleg – vooroeversuppletie zuidwest Texel (2004)
- 3.40 Idem – tweede jaar na aanleg (2005)
- 3.41 Berekende effectiviteitslijnen voor ZW-Texel (voor vier raaien)

#### Texel - De Koog

- 3.42\* De kust van Texel
- 3.43 Time stacks kustvak De Koog – raai RSP 16,64 km
- 3.44 idem – raai RSP 20,11 km
- 3.45 idem – raai RSP 23,40 km
- 3.46 Berekende MKL-posities kustvak De Koog - raai RSP 16,64 km
- 3.47 idem – raai RSP 20,11 km
- 3.48 idem – raai RSP 23,40 km
- 3.49 Bodemligging kustvak Texel - De Koog vòòr de suppletie (februari 2002)
- 3.50 Verschilkaart bodemligging vòòr en na de suppletie 2002
- 3.51 Verschilkaart bodemligging voorafgaand aan suppletie 2002 (maart 2001 – februari 2002)
- 3.52 Verschilkaart kustvak De Koog – eerste winterperiode na de suppletie (3,5 maanden)
- 3.53 Verschilkaart kustvak De Koog – eerste zomerperiode na de suppletie (6,5 maanden)
- 3.54 Verschilkaart kustvak De Koog – tweede winterperiode na de suppletie (4,5 maanden)
- 3.55 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –7 m
- 3.56a Zandvolume NAP +3 m / NAP –7 m in de twee aangrenzende kustvakken
- 3.56b Zandvolume NAP +3 m / NAP –4,9 m in vier kustvakken
- 3.57 Kustprofielen op basis van vaklodingen Texel – raai RSP 16,64 km
- 3.58 Idem – raai RSP 17,93 km
- 3.59 Idem – raai RSP 20,11 km
- 3.60 Idem – raai RSP 23,40 km
- 3.61 Effectiviteit in het eerste jaar na aanleg (2003)
- 3.62 Effectiviteit in het tweede jaar na aanleg (2004)
- 3.63 Effectiviteit in het derde jaar na aanleg (2005)
- 3.64 Berekende effectiviteitslijnen voor De Koog (voor vier raaien)

#### Oost-Vlieland

- 3.65 De kust van Oost-Vlieland met voorliggende buitendelta
- 3.66 Time stacks kustvak Vlieland oost – raai RSP 46,45 km
- 3.67 idem – raai RSP 48,44 km
- 3.68 idem – raai RSP 49,33 km
- 3.69 Berekende MKL-posities kustvak Vlieland oost - raai RSP 46,45 km
- 3.70 idem – raai RSP 48,44 km
- 3.71 Bodemligging kustvak Vlieland – oost vòòr de suppletie (april 2001)
- 3.72 Bodemligging kustvak Vlieland – oost na de suppletie (augustus 2001)

- 3.73 Verschilkaart bodemligging vòòr en na de suppletie (april – augustus 2001)
- 3.74 Bodemligging kustvak Vlieland – oost drie jaar na de suppletie (oktober 2004)
- 3.75 Verschilkaart bodemligging voor en drie jaar na de suppletie (april 2001 – oktober 2004)
- 3.76 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –8 m
- 3.77 Zandvolume NAP +3 m / NAP –5,2 m in vier kustvakken
- 3.78 Kustprofielen op basis van vaklodingen Vlieland – raai RSP 46,45 km
- 3.79 Idem – raai RSP 48,08km
- 3.80 Idem – raai RSP 48,80 km
- 3.81 Effectiviteit in het tweede jaar na aanleg – vooroeversuppletie Vlieland oost
- 3.82 Effectiviteit in het derde jaar na aanleg – vooroeversuppletie Vlieland oost
- 3.83 Berekende effectiviteitslijnen voor Vlieland-Oost (voor vier raaien)

### Terschelling

- 3.84 Time stacks kustvak Terschelling – raai RSP 15 km
- 3.85 idem – raai RSP 17 km
- 3.86 Berekende MKL-posities kustvak Terschelling - raai RSP 12 km
- 3.87 idem – raai RSP 15 km
- 3.88 idem – raai RSP 18 km
- 3.89 idem – raai RSP 20 km
- 3.90 Bodemligging kustvak Terschelling vòòr de suppletie (februari 1993)
- 3.91 Bodemligging kustvak Terschelling na de suppletie (november 1993)
- 3.92 Verschilkaart bodemligging vòòr en na de suppletie (feb.– november 1993)
- 3.93 Bodemligging kustvak Terschelling elf jaar na de suppletie (juli 2004)
- 3.94 Verschilkaart bodemligging vòòr en elf jaar na de suppletie (februari 1993 – juli 2004)
- 3.95 Verschilkaart kustvak Terschelling – eerste winterperiode na de suppletie (4 maand)
- 3.96 Verschilkaart kustvak Terschelling – eerste zomerperiode na de suppletie (3 maanden)
- 3.97 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –8 m
- 3.98 Zandvolume NAP +3 m / NAP –5,2 m in vier kustvakken
- 3.99 Kustprofielen op basis van vaklodingen Terschelling – raai RSP 13 km
- 3.100 idem – raai RSP 15 km
- 3.101 idem – raai RSP 18 km
- 3.102 Effectiviteit in het eerste jaar na aanleg – vooroeversuppletie Terschelling (1994)
- 3.103 Effectiviteit in het tweede jaar na aanleg – vooroeversuppletie Terschelling (1994)
- 3.104 Ongecorrigeerde effectiviteitslijnen 1<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup>, 9<sup>e</sup> en 11<sup>e</sup> jaar na aanleg
- 3.105 Berekende effectiviteitslijnen voor Terschelling (voor vier raaien)

### Ameland

- 3.106\*Jaarlijkse verplaatsing van de gemeten kustlijn van Ameland
- 3.107 Time stacks kustvak Ameland – raai RSP 12 km
- 3.108 idem – raai RSP 17 km
- 3.109 idem – raai RSP 22 km
- 3.110 Berekende MKL-posities kustvak Ameland - raai RSP 12 km
- 3.111 idem – raai RSP 15 km
- 3.112 idem – raai RSP 18 km
- 3.113 idem – raai RSP 22 km
- 3.114 Bodemligging kustvak Ameland vòòr de suppletie (april 1998)
- 3.115 Verschilkaart bodemligging vòòr en na de suppletie (april – november 1998)



- 3.116 Verschilkaart bodemligging vòòr en zes jaar na de suppletie (april 1998 – juni 2004)
- 3.117 Bodemligging kustvak Ameland zes jaar na de suppletie (juni 2004)
- 3.118 Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m /NAP –7 m
- 3.119 Zandvolume NAP +2,2 m / NAP –4.4 m in vier kustvakken
- 3.120 Kustprofielen op basis van vaklodingen Ameland – raai RSP 15 km
- 3.121 idem – raai RSP 18 km
- 3.122 Effectiviteit in het eerste jaar na aanleg – vooroeversuppletie Ameland (1998)
- 3.123 Effectiviteit in het derde jaar na aanleg – vooroeversuppletie Ameland (1998)
- 3.124 Effectiviteit in het vijfde jaar na aanleg – vooroeversuppletie Ameland (1998)
- 3.125 Ongecorrigeerde effectiviteitslijnen eerste zes jaar na aanleg
- 3.126 Berekende effectiviteitslijnen voor Ameland (voor vier raaien)
  
- 4.1\* Schets van mogelijke veranderingen in het dwarstransport
- 4.2\* Conceptueel zandtransportmodel vooroeversuppletie ZW-Texel
- 4.3\* Schets van mogelijke veranderingen in het dwarstransport bij twee banken
- 4.4 Bodemligging kustvak Ameland na de suppletie (november 1998)



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding tot het onderzoek

In het kader van het Nederlandse kustlijnhandhavingsbeleid wordt jaarlijks zand langs eroderende delen van de kust gesuppleerd. Dit zand wordt van dieper water op de Noordzee weggehaald en gedeponeerd op kustvakken waar de actuele kustlijn een bepaalde norm (de "BasisKustLijn": BKL) dreigt te overschrijden.

Sinds 1995 is het uitgangspunt bij de suppleties: 'op de vooroever waar mogelijk, op het strand waar het moet'. De voordelen van suppleren op de vooroever zijn onder meer een lagere prijs per kubieke meter en minder verstoring van andere functies in de kustzone (recreatie). Het nadeel is dat het zand niet direct – volledig – ten goede komt aan de BKL-zone. De verwachting is echter dat door natuurlijke zandtransporten een deel van het gesuppleerde zand op de vooroever alsnog naar de BKL-zone wordt getransporteerd. Een andere mogelijkheid is dat de hydrodynamische condities in de BKL-zone dusdanig worden beïnvloed dat daardoor het zandvolume toeneemt (afname van de "door-transportcapaciteit", ofwel: het "invangen van zand").

In het kader van het programma SLA Kustlijn zorg wordt bij RWS-RIKZ momenteel gewerkt aan een groot aantal producten die bijdragen aan een efficiënter en uniformer beheer van de Nederlandse kust. Eén van de onderdelen is een onderzoek naar de effectiviteit van vooroeversuppleties bij het beheer van de kustzone. Tegen deze achtergrond heeft Rijkswaterstaat aan Alkyon gevraagd een evaluatie uit te voeren van een zestal vooroeversuppleties. Deze suppleties zijn uitgevoerd in het kustvak tussen Callantsoog en Ameland, kortweg aangeduid als de Waddenkust.

## 1.2 Doel, onderzoeksvragen en uitgangspunten

### Doel van het onderzoek

Het uiteindelijke doel van het programma SLA kustlijn zorg is te komen tot een efficiënter en uniformer beheer van de Nederlandse kust. Eén onderdeel hiervan is het opstellen van richtlijnen voor de inzet van vooroeversuppleties. Het doel van het hier gerapporteerde onderzoek is het geven van een aanzet tot dergelijke ontwerprichtlijnen. Pas in een later stadium zullen daadwerkelijke ontwerprichtlijnen worden opgesteld.

Om te komen tot een aanzet voor ontwerprichtlijnen worden een zestal uitgevoerde vooroeversuppleties geanalyseerd.

In eerste instantie wordt aan de hand van een gerichte databewerking antwoord gegeven op een aantal specifieke vragen (het eerste doel van dit onderzoek). Vervolgens wordt door middel van analyses en beschouwingen geprobeerd om de waarnemingen te begrijpen (het tweede doel).

Tenslotte, wordt op basis van de verkregen inzichten een aanzet gegeven tot ontwerprichtlijnen (*do's* en *dont's*) voor de aanleg van vooroeversuppleties (derde doel)

## Onderzoeksvragen

Om te komen tot de ontwerprichtlijnen voor de inzet van vooroeversuppleties zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

5. Wat is het effect van de vooroeversuppleties op de ligging van de MKL. Wordt een overschrijding van de BKL door middel van een vooroeversuppletie voorkomen of verholpen? Tevens: wat is het effect van de suppletie op andere kustlijnparameters, zoals bijvoorbeeld strandbreedte en positie van de duinvoet?
6. Wanneer begint de suppletie te werken en wanneer is de suppletie (vermoedelijk) uitgewerkt? Hoe verloopt de ontwikkeling van de suppletie ruimtelijk gezien en hoe verloopt het in de tijd?
7. Zijn er overeenkomsten in de wijze waarop het kuststelsel reageert op de onderzochte suppleties? Welke fysische processen liggen waarschijnlijk ten grondslag aan de waargenomen reactie van het systeem?
8. Welke lessen kunnen worden getrokken ten behoeve van toekomstig uit te voeren vooroeversuppleties? Welke van deze lessen zijn locatie-specifiek en welke zijn generiek toepasbaar?

De eerste twee onderzoeksvragen richten zich primair op een analyse van de beschikbare gegevens. Daar volgt een beschrijving uit van het gedrag van de aangebrachte vooroeversuppleties. De derde onderzoeksvraag richt zich meer op het (proberen te) begrijpen van de observaties. De laatste vraag dient het derde doel van het onderzoek, namelijk het geven van een aanzet tot ontwerprichtlijnen.

## Locaties

Voor het onderzoek worden de effecten van zes vooroeversuppleties in kaart gebracht:

7. Callantsoog (2001)
8. Texel – zuidwest (2003)
9. Texel – De Koog (2002)
10. Vlieland (2001)
11. Terschelling (1993)
12. Ameland (1998)

De suppletie bij zuidwest Texel betreft de geulwandsuppletie in het Molengat. De evaluatie van deze suppletie bouwt voort op de eerder uitgevoerde evaluatie (Steijn, 2004).

De suppletie voor de kust van Terschelling is aanvankelijk bedoeld als pilot project. Er zal worden gekeken naar de lessen uit eerder uitgevoerde studies rondom deze suppletie (ook bekend als het Nourtec - experiment).

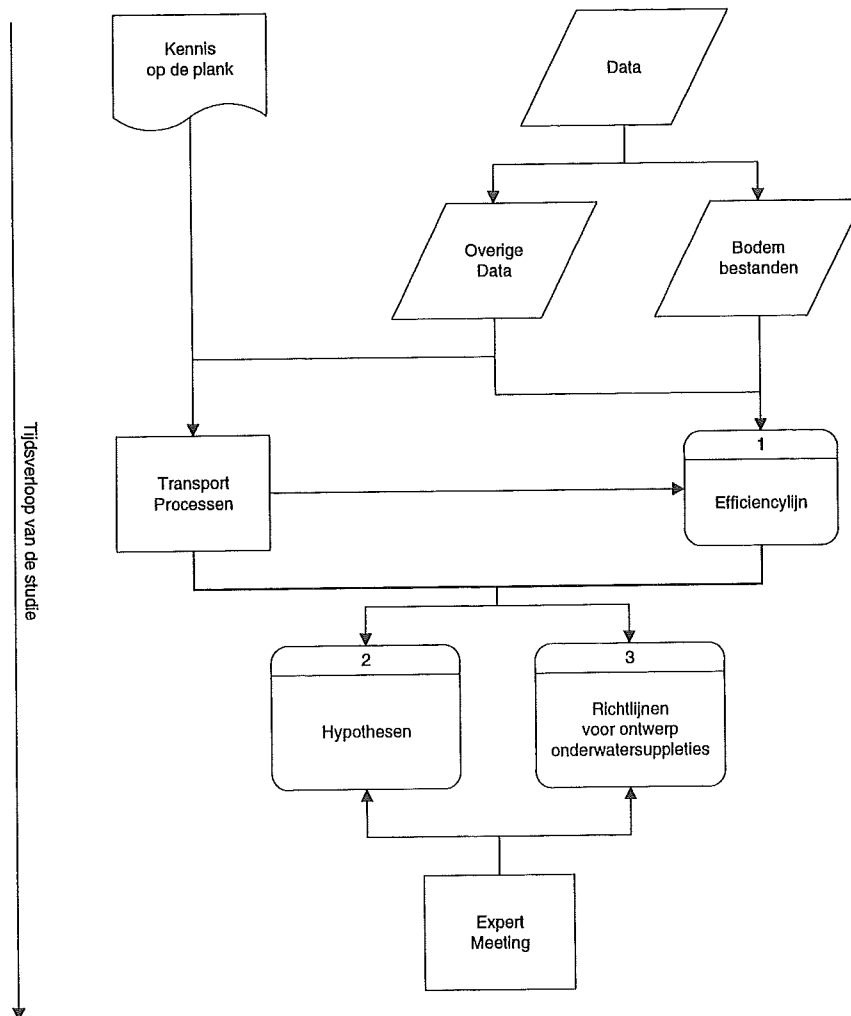
## Niet inbegrepen

Het beschouwen van de kostenefficiëntie van vooroeversuppleties is geen onderdeel van deze studie. De kosten van vooroeversuppleties hangen immers naast zandverlies (waar het in deze studie om gaat) af van uitvoeringsaspecten, inclusief aanbestedingskeuzes (Steijn e.a., 2003).

## 1.3 Aanpak en leeswijzer

De aanpak van het onderzoek laat zich karakteriseren als het "bij elkaar brengen en analyseren van beschikbare informatie". Het logisch combineren van de beschikbare kennis en informatie heeft als voordeel dat er in een relatief kort tijdsbestek een tamelijk compleet beeld ontstaat.

Onderstaand stroomschema (figuur 1.1) weerspiegelt de gevolgde aanpak. De cijfers in de blokken verwijzen naar de drie doelstellingen van het onderzoek zoals hierboven beschreven.



*Figuur 1.1 Stroomschema studie-aanpak*

Het is belangrijk om eerst de vraag te beantwoorden wat effectiviteit van suppleties nu eigenlijk inhoudt. Het antwoord daarop is immers mede richtinggevend voor de wijze waarop de beschikbare gegevens kunnen worden bewerkt. In hoofdstuk 2 wordt hier op ingegaan. Aan de orde komen de verschillende manieren waarop vooroever-suppleties beoordeeld kunnen worden. Er wordt een voorstel gedaan voor het kwantificeren van de effectiviteit van suppleties door middel van zogenaamde effectiviteitslijnen. In hoofdstuk 2 wordt tevens ingegaan op enkele in dit rapport gehanteerde begrippen.

De beschikbare dieptegegevens zijn op verschillende manieren bewerkt en geanalyseerd. De resultaten hiervan staan beschreven in hoofdstuk 3. Het betreft:

- De ontwikkelingen van de kustlijn en kustlijnparameters;
- Het ruimtelijk patroon van sedimentatie en erosie; en
- De veranderingen in de gemeten kustprofielen.

De analyse van de beschikbare gegevens geeft een beeld van de wijze waarop de aangebrachte zandsuppletie in de tijd vervormt. Daaruit volgt een indruk van de effectiviteit van de suppletie voor het handhaven van de kustlijn.

Uit het stroomschema van figuur 1.1 blijkt dat de beschikbare data zijn onderverdeeld in dieptegegevens en "overige gegevens". Tot de overige gegevens behoren bijvoorbeeld de uitkomsten van stroommetingen. Aan de linkerkant in het schema staat "kennis op de plank". Dit verwijst naar de kennis die onder andere in het kader van KUST\*2000 in de afgelopen jaren is opgedaan.

In hoofdstuk 4 wordt per locatie aangegeven welke fysische processen verantwoordelijk worden geacht voor de zandtransporten in de situaties vòòr en na de de vooroeversuppletie.

In het werkproces zijn de resultaten van de data-analyse (hoofdstuk 3) en de identificatie van dominante zandtransportprocessen (hoofdstuk 4) teruggekoppeld op een team van deskundigen, aangeduid met "expert meeting". In bijlage A is het verslag van deze expert meeting opgenomen. Mede op basis van de tijdens de expert meeting gevoerde discussies zijn lessen getrokken over de schijnbare werking van de geëvalueerde suppleties. Het resultaat van deze synthese staat eveneens beschreven in hoofdstuk 4.

Een aanzet tot het opstellen van ontwerprichtlijnen wordt vervolgens gegeven in hoofdstuk 5. Tenslotte worden in hoofdstuk 6 de belangrijkste conclusies en aanbevelingen van het onderzoek samengevat.

## 2 Definities

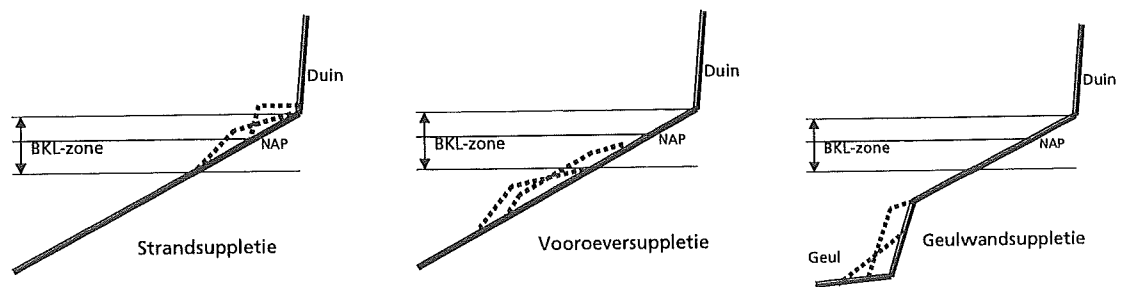
### 2.1 Verschillende typen suppleties

Suppleties die in het kader van de kustlijnhandhaving worden uitgevoerd, kunnen in drie categorieën worden ingedeeld:

- Strandsuppleties (al dan niet in de vorm van een banket tegen de duinen aan);
- Vooroeveroppleties, en
- Geulwandsuppleties.

Voor zover bekend bestaan er geen vastomlijnde definities waarmee kan worden beoordeeld in welke categorie een bepaalde suppletie valt. Globaal gesproken zijn strandsuppleties zandtoevoegingen die louter en alleen in de BKL-zone plaatsvinden. In de praktijk worden strandsuppleties voornamelijk boven laagwater uitgevoerd; dit in verband met de verrekking. Vooroeveroppleties daarentegen kunnen deels zand toevoegen aan de BKL-zone, maar kunnen daar ook volledig buiten liggen (zie onderstaande schetsen). Doorgaans worden vooroeveroppleties uitgevoerd in de (ongestoorde) dieptezone tussen NAP -3 m en NAP -7 m.

Een ander onderscheid tussen strandsuppleties en vooroeveroppleties zit in de uitvoering: strandsuppleties worden vrijwel altijd uitgevoerd met persleidingen, terwijl vooroeveroppleties worden geklapt, gestort via stortkoker, of ge-rainbowed.



Figuur 2.1 Schematische weergave van verschillende types suppletie

Het onderscheid tussen een geulwandsuppletie en een vooroeveroppletie is lastiger te maken. Ook het zand van een geulwandsuppletie zal na aanleg niet volledig ten goede komen aan de BKL-zone. Het onderscheid zit meer in het doel van de suppletie. Bij een vooroeveroppletie is het de bedoeling om de zandvoorraad in de "actieve kustzone" te vergroten. En wel op een zodanige manier dat door natuurlijke zandverplaatsingen uiteindelijk een zeewaartse verschuiving van de MKL resulteert. Bij een geulwandsuppletie gaat het erom dat de landwaartse migratie van een getijgeul wordt beheerst. Ook daarbij is het achterliggende doel te voorkomen dat de BKL op de langere termijn wordt overschreden.

Het verschil tussen een vooroeveroppletie en een geulwandsuppletie kan ook worden aangeduid door middel van het maatgevend (zand-)transportproces ter plaatse van de suppletie. Een vooroeveroppletie ligt voornamelijk in het zogenaamde "golfdomein", waar golfwerking in hoge mate het zandtransport bepaalt. Een geulwandsuppletie ligt meestal grotendeels in het "getijdomein"; dat is de zone waar getijstroming van groot belang is voor het zandtransport. In de praktijk is er overigens geen vaste grens tussen het golfdomein en het getijdomein, zodat voorgaande onderverdeling vooral kwalitatief is.

## 2.2 Effectiviteit

### 2.2.1 Inleiding

De effectiviteit van een suppletie kan op verschillende manieren worden benaderd. Zo kan er bijvoorbeeld worden gekeken naar de mate waarin de strandbreedte toeneemt. Als door een uitgevoerde suppletie de strandbreedte snel (in de tijd) toeneemt, dan zou men kunnen spreken van een effectieve suppletie. Het doel van de suppletie (in dit geval: grotere strandbreedte) wordt dan snel bereikt: de suppletie is *doelmatig*.

Een ander voorbeeld is de mate waarin de structurele erosie in het *actieve deel* van het kustprofiel wordt bestreden. Het doel van suppleties in het kader van de kustlijn­zorg is immers het bestrijden van de structurele erosie. Daarbij gaat het om de totale zandvoorraad in de actieve zone van het kustprofiel. Dat is het gebied waar de zandtransporten "het grootst" zijn en waar de morfologische ontwikkelingen snel verlopen. Meestal wordt daarvoor de dieptezone boven NAP -8 m aangehouden. In principe horen hier ook de duinen zelf bij. Als de zandvoorraad in dit gebied op peil blijft door een uitgevoerde suppletie, dan kan men spreken van een effectieve, een doelmatige, suppletie.

Een derde voorbeeld is de mate waarin de suppletie bijdraagt aan de kustveiligheid. Voor het garanderen van de kustveiligheid van een zandige kust (duinen) is een zekere hoeveelheid zand vereist in de zogenaamde "afslagzone". Dat is ongeveer de zone boven NAP -3 m en inclusief de (voorkant van de) duinen. Als de zandvoorraad in deze dieptezone op peil blijft, dan is de suppletie dus effectief te noemen.

De effectiviteit van een suppletie heeft kortom alles te maken met het doel van die suppletie.

Jaarlijks worden door Rijkswaterstaat zogenaamde Kustlijnkaarten uitgebracht. Daarin staan voor alle Nederlandse kustvakken de posities aangegeven van de basiskustlijn (BKL), de momentane kustlijn (MKL) en de zogenaamde trend (TKL). Deze parameters worden later in dit hoofdstuk toegelicht. De kustlijnkaarten zijn een soort toetsing van de toestand van de kust. Als er sprake is van structurele erosie waarbij een kritische grens wordt overschreden of dreigt te worden overschreden, dan zijn onderhoudssuppleties noodzakelijk om de zandvoorraad in de BKL-zone op peil te houden.

Als we het doel van een suppletie definiëren als het in stand houden van de zandvoorraad in de zogenaamde BKL-zone, dan kan de volgende definitie worden aangehouden:

*"De effectiviteit van een suppletie is het percentage van het aanlegvolume van de suppletie dat bijdraagt aan het zandvolume in de BKL-zone".*

In formulevorm:

$$\text{Effectiviteit} = \frac{\Delta(\text{volume BLK} - \text{zone})}{\text{totale suppletievolumme}} * 100\% \quad (2.1)$$

Hierin is het *totale suppletievolumme* gedefinieerd als het verschil in zandvolume tussen een loding voor en na aanleg van de suppletie (dus hoeveel initieel in het

profiel is aangebracht). In de voorgaande definitie is dus de zandvoorraad van de BKL-zone de maatstaf.

In dit onderzoek zullen we gebruik maken van de laatstgenoemde definitie. Die sluit het beste aan op de systematiek van de Kustlijnkaarten, die weer een belangrijk uitgangspunt vormen bij het vaststellen van het jaarlijkse suppletieschema<sup>1</sup>. Deze keuze heeft uiteraard zijn beperkingen, maar geeft wel de gelegenheid een eerste poging te doen tot het kwantificeren van de effectiviteit van een suppletie. Eventuele neveneffecten van de suppletie op andere beleidsdoelstellingen, zoals bijvoorbeeld het "op peil houden van het kustfundament", of het "handhaven van voldoende strandbreedte", of de "veiligheidshandhaving van het achterland", worden in de bovenstaande definitie dus niet meegenomen. In de evaluatie van de vooroeversuppleties zullen we separaat aan deze (en andere) effecten aandacht besteden. Dat zullen we doen, omdat uit dergelijke neveneffecten ook lessen kunnen volgen die relevant zijn voor toekomstige ontwerprichtlijnen van vooroeversuppleties.

### 2.2.2 Berekening van MKL

Op basis van de dieptegegevens van de jaarlijkse kustmetingen wordt het zandvolume berekend tussen twee van tevoren vastgelegde hoogten (de zogenaamde BKL-rekenschijf). De bovengrens hiervan ligt meestal op NAP +3 m, hetgeen ongeveer overeenkomt met de hoogte van de duinvoet<sup>2</sup>. De ondergrens van de rekenschijf hangt af van de lokale GLW en verschilt van kustvak tot kustvak (feitelijk zelfs van raai tot raai). In de praktijk van de Wadden blijkt dit neer te komen op een ondergrens tussen NAP -4 m en NAP -5 m.

De MKL wordt berekend door het zandvolume van de doorsnede (in m<sup>3</sup>/m) te delen door de schijfhoogte. Omdat de positie van de MKL meestal wordt gerefereerd aan de RSP-lijn, is de dimensie van de MKL dus "meters ten opzichte van RSP".

Het is hier van belang te beseffen dat de MKL wordt berekend tussen vaste *horizontale* grenzen. Als het profiel landwaarts opschuift, maar verder niet vervormt, blijft de zandinhoud van de BKL-zone dus hetzelfde. Dat we dan toch kunnen zien dat de kust achteruitgaat, komt omdat de MKL wordt weergegeven ten opzichte van een vaste horizontale referentie: de RSP-lijn.

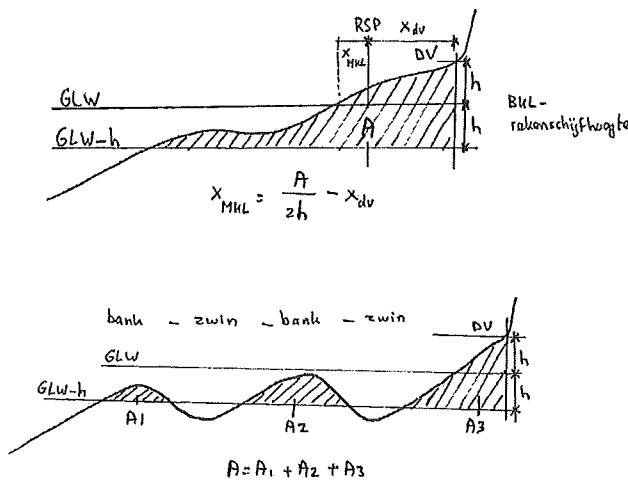
In de berekening van de MKL wordt alleen rekening gehouden met het zandvolume dat tussen de beide horizontale grenzen zit. In het geval van een kustprofiel met brekerbank, wordt het zandvolume van de bank wel meegenomen (het gedeelte dat boven de ondergrens van de rekenschijf zit)<sup>3</sup>. Het gedeelte van het kustprofiel dat onder de ondergrens zit, wordt niet als "negatief zandvolume" meegenomen (het wordt genegeerd). Dit principe staat weergegeven in figuur 2.2.

---

<sup>1</sup> De wijze waarop het jaarlijkse suppletieschema wordt vastgesteld verschilt van regio tot regio (zie Arcadis, 2005). Soms wordt louter gekeken naar de positie van de TKL ten opzichte van de BKL, maar soms ook worden meer observaties meegenomen, zoals zandverlies tot NAP -8 m, autonome kustontwikkeling, behoefte aan grotere strandbreedte, enz.

<sup>2</sup> Voor het kustvak Ameland ligt de duinvoet op NAP +2,2 m (bron: DGW-rapport (R077))

<sup>3</sup> Een uitzondering doet zich voor als er een diepe geul voor de kust ligt.



Figuur 2.2 Principe van de berekening van de MKL

### 2.2.3 Jarkus of detaillodingen?

Jaarlijks worden langs de Nederlandse kust op vaste meetraaien de kustprofielen ingemeten. Tevens worden grote kustvakken regelmatig (3 tot 5 jaarlijks) bemeten (de zogenaamde "vaklodingen"). Deze belangrijke dataset vormt de basis van het Nederlandse kustbeleid.

Daarnaast worden rondom ingrepen vaak gedetailleerde lodingen uitgevoerd. Voor elk van de in dit onderzoek geëvalueerde vooroeversuppleties zijn dergelijke detaillodingen uitgevoerd. Naast het Jarkus-bestand vormt dat de tweede set belangrijke diepte-informatie die in dit onderzoek is gebruikt.

De detaillodingen zijn meestal meerdere keren per jaar uitgevoerd. Daardoor kunnen veranderingen op en rondom de aangebrachte suppletie worden onderzocht als functie van bijvoorbeeld het winter of zomerseizoen. Ook de "punt dichtheid" van deze metingen is vaak groter dan die van de jarkus-metingen, waardoor een analyse op kleine(re) ruimtelijke schaal soms mogelijk is.

Een belangrijk nadeel van de meeste detaillodingen is dat ze onvoldoende ver (of helemaal niet) het strand opgaan. Dat betekent dat ze onvoldoende informatie bevatten om de MKL te kunnen berekenen. Omdat we –zoals hierboven gesteld – bij de definitie van effectiviteit uitgaan van het doel "zeewaarts terugleggen van de MKL", wordt daarvoor dus gebruik gemaakt van het Jarkus-bestand. Het zou goed zijn om voortaan bij detaillodingen van vooroeversuppleties ook het strand tot tenminste de duinvoet mee te nemen.

De detaillodingen zijn in het onderzoek gebruikt om de morfologische effecten van de suppleties te onderzoeken.

### 2.2.4 Verticale of horizontale begrenzingen?

De effectiviteit van een suppletie is de relatieve toename van het zandvolume in de BKL-zone, ten opzichte van de situatie waarbij "al het suppletiezand" zou zijn meegenomen. Het gaat dus om (zand-) volumeveranderingen. Deze worden berekend voor nader te kiezen kuberingsvakken. De grenzen van deze vakken kunnen in principe op twee manieren worden gekozen.

Ten eerste kunnen volumeveranderingen worden berekend in horizontaal vaste vakken. De gekozen vakgrenzen blijven over meerdere peilingen hetzelfde. Omdat de



vakgrenzen vastliggen, wordt deze manier aangeduid als het werken met verticale begrenzingsen.

Ten tweede kunnen volumeveranderingen worden berekend tussen bepaalde dieptes (bijvoorbeeld tussen NAP +3 m en NAP -5 m). Er wordt dan gewerkt met horizontale begrenzingsen. Dit betekent wel dat de grenzen van de kuberingsvakken ruimtelijk gezien niet vastliggen. De kuberingsvakken volgen als het ware de bodemveranderingen. Deze manier van werken leent zich daarom minder goed voor het krijgen van inzicht in de hoeveelheden erosie en sedimentatie in bepaalde gebieden. Wel sluit deze methode aan op de wijze waarop de MKL wordt berekend.

Omdat we bij de definitie van effectiviteit zoveel mogelijk willen aansluiten bij de "MKL-systematiek", kiezen we voor de tweede methode (horizontale vakgrenzen). Dit houdt tevens in dat we bij de uitwerking gebruik (moeten) maken van de Jarkus-lodingen. Die dekken immers het volledige profiel dat nodig is voor de berekening van het zandvolume in de BKL-zone (en veel van de detail-vaklodingen doen dat niet).

### 2.2.5 Eerste uitwerking van de definitie

Stel dat er in een bepaald kustvak een vooroeversuppletie is uitgevoerd. Het jaar voorafgaand aan de suppletie duiden we hier aan met  $t = -1$ ; het eerste jaar erna als  $t=0$ . We onderscheiden nu de volgende stappen die voor alle Jarkus-raaien afzonderlijk kunnen worden uitgevoerd:

1. Bereken het zandvolume in de MKL-rekenshijf op  $t = -1$  en op  $t = 0$ ;
2. Deel dat door de lokaal van toepassing zijnde schijfhoogte.
3. Bereken de absolute verplaatsing van de MKL over de periode  $t = -1$  tot  $t = 0$ . We duiden dit aan met  $\delta_0$  (in m).
4. Bereken het zandvolume  $V$  dat in het dwarsprofiel met de vooroeversuppletie is aangebracht. Daarvoor worden de detail-vaklodingen gebruikt vlak voor en direct na de suppletiewerkzaamheden. De raaien waarover de dwarsprofielen worden gemaakt komen overeen met de Jarkus-raaien.
5. Bereken de "potentiële toename" van het zandvolume in de BKL-zone door bij het zandvolume op  $t = -1$  (stap 1) het zandvolume uit stap 4 op te tellen. Dat geeft dus het zandvolume in de MKL-zone als het volledige suppletievolume zou mogen worden toegerekend ("potentieel zandvolume" op  $t = 0$ ).
6. Deel de zandvolumes weer door de schijfhoogte (stap 2) en bereken de "potentiële" absolute verplaatsing van de MKL over de periode  $t = -1$  tot  $t = 0$ . We duiden dit aan met  $\delta_{pot}$  (in m).
7. Bereken de relatieve bijdrage van de aangebrachte suppletie aan het zandvolume in de BKL-zone:  $(\delta_0 / \delta_{pot}) * 100\%$ . Dit geeft een indruk van de momentane lokale effectiviteit van de aangebrachte suppletie, conform vergelijking (2.1).

Er kan dus alleen een effectiviteit worden berekend voor dat gedeelte van de kust waar de vooroeversuppletie ook daadwerkelijk in het profiel is aangebracht. Aangrenzende kustvakken kunnen weliswaar profiteren van de suppletie, maar dat wordt niet in de hier gekozen effectiviteitsberekening meegenomen.

### 2.2.6 Aggregeren of niet?

De bovenstaande werkwijze kan per raai worden uitgevoerd. Dat heeft als voordeel dat de (vele) bewerkingen kunnen worden geautomatiseerd. Een alternatief zou kunnen

zijn om over wat langere kustvakken te rekenen. De dieptegegevens van meerdere Jarkus-raaien worden dan samengevoegd. Bij een dergelijke aggregatie van gegevens wordt wellicht beter rekening gehouden met het feit dat het suppletiezand niet louter dwars op de kust wordt verplaatst. Suppletiezand op één raai kan (na enige tijd) ten goede komen aan het zandvolume in de BKL-zone van de aangrenzende raai. In een situatie waarbij de zandtransporten langs het kustvak niet uniform zijn, kan dit een rol spelen. Als de zandtransporten uniform zijn, dan maakt het weinig uit of we aggregeren of niet.

Door te aggregeren raken we ook informatie kwijt. Als we bijvoorbeeld zouden uitgaan van kuberingsvakken langs de kust van bijvoorbeeld 1 km, dan kunnen we geen onderscheidende informatie meer geven binnen dat vak. Door op raainiveau de berekeningen uit te voeren, kan het verloop van de effectiviteit in langsricting van de kust worden bepaald.

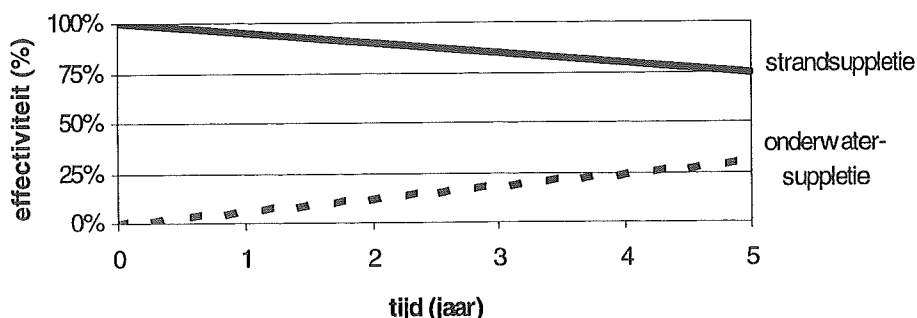
Het is in beginsel mogelijk dat de effectiviteit op één bepaalde raai groter is dan 100 %. Dat houdt dan in dat er zand van aangrenzende raaien heeft bijgedragen aan de betreffende raai. Dat is dan bijvoorbeeld terug te zien in een lagere effectiviteit voor de aangrenzende raaien. Dergelijke informatie komt naar voren door op raainiveau de bewerkingen uit te voeren.

We kiezen ervoor om de effectiviteitsberekeningen op raainiveau uit te voeren.

## 2.2.7 Effectiviteitslijn en levensduur

De effectiviteit van een strandsuppletie is volgens de bovenstaande werkwijze direct na aanleg theoretisch 100%. Het volledige suppletievolume wordt immers in de BKL-zone geplaatst. Na verloop van tijd kan dit volume door natuurlijk zandverlies afnemen. In figuur 2.3 is dit weergegeven met de dalende getrokken lijn. Bij een vooroeverssuppletie die volledig buiten de BKL-zone wordt geplaatst, is de initiële effectiviteit 0%. De verwachting is echter dat na verloop van tijd een deel van het suppletievolume door natuurlijke zandverplaatsingen naar de BKL-zone wordt getransporteerd. De effectiviteit neemt dan toe. In de figuur is dit aangegeven met de stippellijn. Deze lijnen worden hier aangeduid als effectiviteitslijnen.

Voor het kustbeheer zijn deze effectiviteitslijnen van belang. Ze geven immers aan hoe lang een vooroeversuppletie effect heeft. Het is daarmee een maat voor de levensduur van een suppletie. Als bijvoorbeeld de effectiviteit na verloop van tijd weer is afgenomen tot 0%, moet er in beginsel opnieuw worden gesuppleerd.

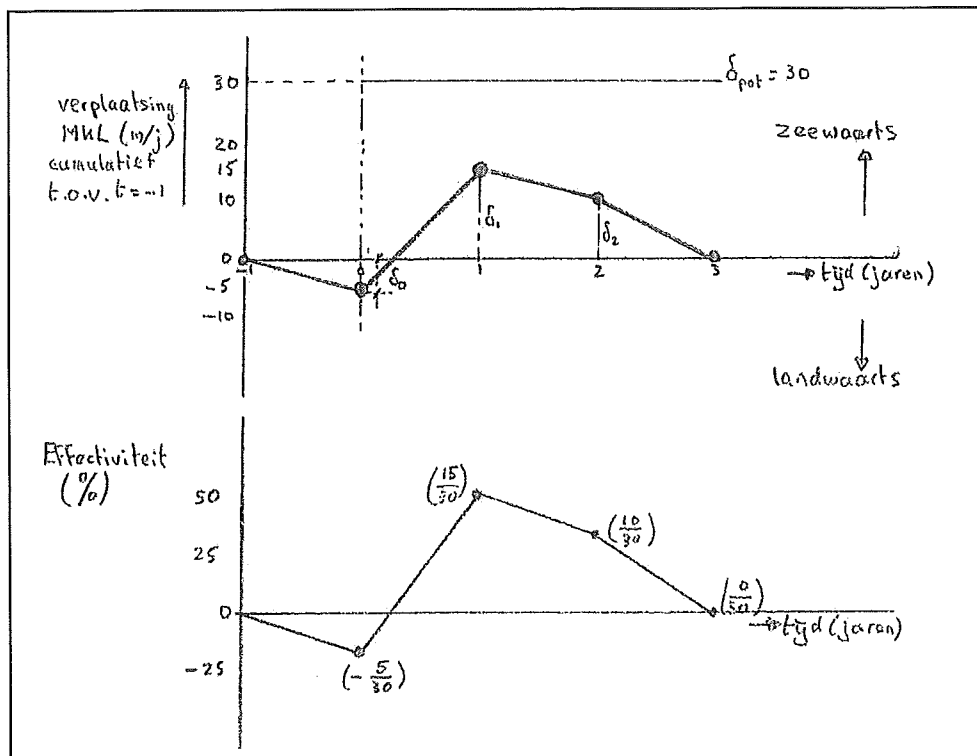


Figuur 2.3 Fictief tijdsverloop van de effectiviteit van twee type suppleties

De werkwijze voor het berekenen van de effectiviteitslijn is grotendeels gelijk aan de eerder beschreven werkwijze. Om de effectiviteit op  $t = n$  te berekenen moeten de volgende stappen worden genomen:

1. Bereken het zandvolume in de MKL-rekenschiif op  $t = n$ ;
2. Deel dat door de lokaal van toepassing zijnde schijfhoogte.
3. Bereken de absolute verplaatsing van de MKL over de periode  $t = -1$  (vlak voor het aanbrengen van de suppletie) tot  $t = n$ . We duiden dit aan met  $\delta_n$  (in m). We rekenen dus cumulatief in de tijd.
4. De waarde van  $\delta_{pot}$  is constant en reeds eerder berekend.
5. Bereken de effectiviteit op  $t = n$  uit:  $(\delta_n / \delta_{pot}) * 100\%$ . Dit is dus de cumulatieve effectiviteit van de aangebrachte suppletie.

In onderstaande figuur 2.4 staat bovenstaande werkwijze schematisch weergegeven.



Figuur 2.4 Voorbeeldberekening van een on gecorrigeerd effectiviteitsverloop

In dit rapport zal veel worden gesproken over een effectiviteitslijn. Dat is het verloop van de effectiviteit voor een bepaald jaar in langsricting van de kust. Het effectiviteitsverloop geeft de veranderingen als functie van de tijd aan.

## 2.2.8 Corrigeren voor autonome ontwikkeling

Het is in beginsel mogelijk dat de effectiviteit negatief is. Als de MKL na uitvoering van de suppletie toch nog landwaarts opschuift dan volgt uit de berekening een negatief percentage. Dat wil nog niet zeggen dat de suppletie averechts heeft gewerkt. Misschien was zonder de suppletie de kustachteruitgang wel sterker geweest. Om dat te kunnen vaststellen moet worden gecorrigeerd voor de autonome verplaatsing van de MKL.

Ieder jaar berekenen medewerkers van de regionale directies een trendlijn door de posities van de MKL van de tien voorafgaande jaren (leidend tot de zogenaamde TKL).

Bij het berekenen van deze trendlijn wordt rekening gehouden met eerder uitgevoerde suppleties.

Bij het vaststellen van de autonome trend zullen we gebruik maken van de trendlijnen zoals deze zijn gepubliceerd in de Kustlijnkaarten. De trends (in m/j) zijn beschikbaar per raai. We nemen daartoe de kustlijnkaarten van het jaar waarin de te evalueren suppletie is uitgevoerd. Die trendlijn geldt immers tot en met 1 januari van dat betreffende jaar en ligt dus "vlak vòòr" de periode van suppleren.

Voor het vaststellen van de trend kan in principe ook langer dan tien jaar worden teruggekeken (zoals bij de berekening van de TKL). Dat we dat niet doen heeft enerzijds een praktische reden (de trends over tien jaar zijn reeds per raai beschikbaar), en anderzijds een inhoudelijke reden. Sommige kustvakken van de Waddeneilanden kennen perioden van afwisselend kustaangroei en kustachteruitgang. Soms zijn er cycli te herkennen die vaak in relatie zijn te brengen met de dynamiek op de aangrenzende buitendelta(s). Als we dan over een te lange tijdsperiode een trend door de MKL berekenen dan zou er in theorie geen erosie kunnen worden gevonden. Aangroei en erosie middelen dan tegen elkaar uit. Dat zou een verkeerd beeld kunnen opleveren van de trend die er is in de periode voorafgaand aan de uitgevoerde suppletie.

Uit een eerste analyse van de trends is gebleken dat er soms grote verschillen tussen naast elkaar gelegen raaien optreden. In sommige gevallen (zoals bijvoorbeeld de "trend98" voor Ameland) is er van raai tot raai afwisselend sprake van een positieve trend (aangroei) en een erosieve trend. Als we dergelijke trends extrapoleren in de tijd, dan ontstaat er een onwaarschijnlijke springerigheid in de resultaten. In werkelijkheid "smeert" de natuur deze trends in kustlangse richting uit. Om deze reden hebben we ervoor gekozen om van de opgegeven trends per raai een lopend gemiddelde te berekenen. Daarbij worden de trends over vijf naast elkaar liggende raaien gemiddeld<sup>4</sup>. De gemiddelde waarde wordt toegekend aan de middelste van deze vijf raaien. Vervolgens schuift de berekening over vijf raaien precies één raai op en wordt een nieuw gemiddelde berekend. Op deze manier kan het hele kustvak worden doorgerekend.

De werkwijze voor het bepalen van de "gecorrigeerde effectiviteitslijnen" staat geschetst in onderstaande figuur 2.5. De volgende stappen worden daarbij onderscheiden:

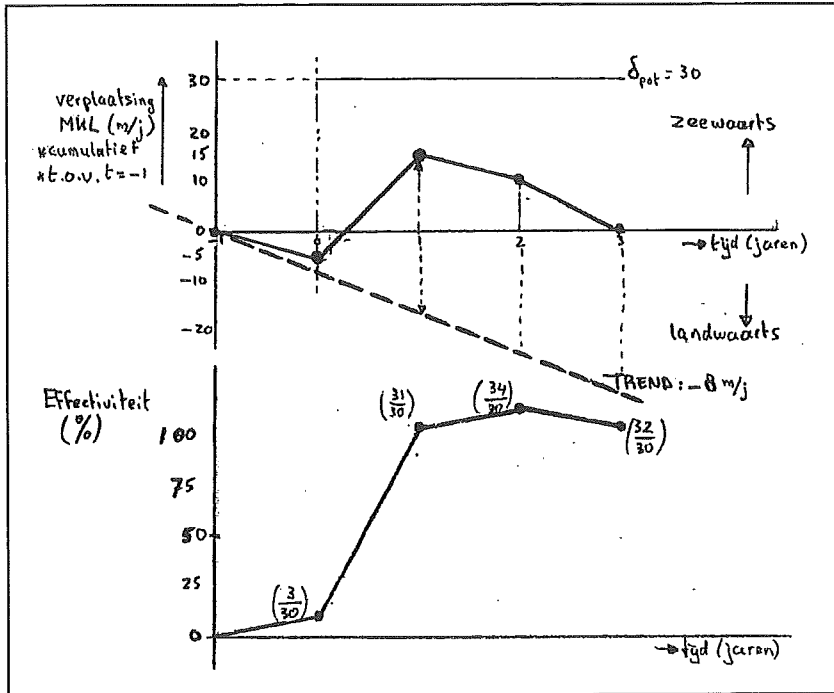
1. Bereken de trend per raai op  $t=-1$  door het lopend gemiddelde over telkens vijf naast elkaar gelegen jarkus-raaien te nemen.
2. Bereken de relatieve landwaartse verplaatsing van de MKL ten opzichte van de situatie op  $t=-1$ , door uit te gaan van de lineaire trend. Dat geeft een  $\delta_{trend}$  op ieder tijdstip.
3. Bereken voor ieder jaar het verschil tussen  $\delta_{trend}$  en de hiervoor berekende  $\delta_{t=0...n}$ . Dit zal doorgaans een positieve waarde opleveren. De suppletie hoeft weliswaar niet (meteen) te resulteren in een landwaartse verplaatsing van de MKL (dat kan

---

<sup>4</sup> De keuze van vijf raaien is op zich arbitrair, maar wel te verdedigen. Drie raaien geeft een middeling over een kustvaklengte van circa 600 – 750 m (de onderlinge raai-afstand varieert van 200 - 250 m). Dat lijkt wat weinig, waardoor nog steeds een wat springerig verloop in de resultaten resulteert. Middelen over zeven raaien geeft een middeling over 1400 – 1750 m, hetgeen mogelijk teveel lokale ontwikkelingen "wegsmeeft". De keuze voor vijf raaien is daarom gevoelsmatig een redelijke tussenweg.

even duren, of de vooroeversuppletie werkt niet naar behoren), maar het zal er niet toe leiden dat de erosie-trend wordt versterkt. Mocht dat onverhoopt wel het geval zijn, dan is sprake van een averechtse werking van de vooroeversuppletie.

4. De waarde van  $\delta_{pot}$  is constant en reeds eerder berekend.
5. Bereken de gecorrigeerde effectiviteit op  $t = n$  uit:  $(\delta_n - \delta_{trend, t=n}) / \delta_{pot} * 100\%$ . Ook dit is dus een cumulatieve grootheid.



Figuur 2.5 Voorbeeldberekening van een gecorrigeerd effectiviteitsverloop

Het over meerdere jaren doorzetten van een negatieve trend is voor veel kustvakken niet realistisch. De berekeningsmethode resulteert dan in een "te positief" beeld van de gecorrigeerde effectiviteit.

Voor de analyse van de effectiviteit van de vooroeversuppletie is de gecorrigeerde effectiviteitslijn wellicht het meest illustratief. Het voorbeeld in figuur 2.6 laat zien dat de vooroeversuppletie uit het voorbeeld ook na drie jaar nog erg effectief is (107 %). In plaats van een geprognostiseerde achteruitgang van de MKL met 32 m (4 jaren van 8 m/j), ligt de MKL nog op de positie van vlak voor de suppletie. Als vervolgens de oorspronkelijke trend zich handhaaft, dan is het volledige zandvolume uit de vooroeversuppletie (blijvend) ten goede gekomen aan de BKL-zone.

Voor een beschouwing van de levensduur van de suppletie is de ongecorrigeerde effectiviteitslijn van meer belang. In het voorbeeld van de figuren 2.4 en 2.5, is na drie jaar de MKL weer terug op de oorspronkelijke positie (op  $t=-1$ ). Als dat destijds aanleiding was om tot uitvoering van de vooroeversuppletie over te gaan, dan is dat moment mogelijk na drie jaar opnieuw bereikt. Hierbij geldt als kanttekening dat er niet op basis van een MKL tot uitvoering van suppleties wordt besloten, maar (in principe) op basis van de TKL. Dat betekent dat de levensduur in strikte zin anders kan zijn dan het moment waarop de ongecorrigeerde effectiviteit tot nul procent is afgenomen.

## 2.2.9 Kanttekeningen

Op de hierboven voorgestelde werkwijze voor het berekenen van de effectiviteit van een vooroeversuppletie, is het een en ander af te dingen. Er zijn immers keuzes gemaakt die ook anders ingevuld hadden kunnen worden. De belangrijkste keuze die we hier hebben gemaakt is het relateren van de effectiviteit aan het MKL-zandvolume. Daarmee sluit de gemaakte keuze wel aan bij de methodiek van de Kustlijnkaarten. Aan de andere kant wordt niet volledig recht gedaan aan het oorspronkelijke doel van suppleties in het algemeen, namelijk het tegengaan van structurele erosie.

De volgende kanttekeningen worden geplaatst bij de hier uitgewerkte berekeningsmethode. Ten eerste hangt de effectiviteit sterk af van de grootte van de suppletie. Bij een gelijke effectiviteit (in procenten) geeft een grote vooroeversuppletie meer zand in de BKL-zone dan een kleine suppletie. Dat betekent dat de MKL (en de daarvan afhankelijke TKL) verder zeewaarts van de BKL komt te liggen. Voor een beschouwing over levensduur van een vooroeversuppletie is het dus niet afdoende om alleen naar de effectiviteitslijn te kijken.

Ten tweede werkt de methode alleen voor de raaien in het suppletievak en niet voor de aangrenzende kustvakken. Er kan immers alleen een effectiviteit worden berekend als er in het dwarsprofiel initieel een suppletie is aangebracht (want berekening op raai-niveau). Bij enkel van de vooroeversuppleties hebben we om deze reden aanvullend de effectiviteit berekend op vakniveau, inclusief aangrenzende kustvakken. In dit benadering wordt de verandering van de zandinhoud van een kustvak gerelateerd aan het suppletievolume. De methode is verder identiek aan hetgeen hiervoor is beschreven, maar het is een bewerking op vakniveau.

Een derde kanttekening betreft het corrigeren voor de autonome ontwikkeling door middel van de in de Kustlijnkaarten gepubliceerde trends. In sommige gevallen is deze trend slechts gebaseerd op enkele jaren. Het is twijfelachtig of deze autonome ontwikkeling zou zijn opgetreden als er geen suppletie was uitgevoerd. Twijfelachtiger misschien nog is de vraag of dit als "achtergrondtrend" aanwezig blijft in een situatie met suppletie.

Tenslotte is er nog een kanttekening te plaatsen ten aanzien van de beschikbare Jarkusgegevens. Na 2000 zijn de strandopnames (het gedeelte van het kustprofiel dat boven ongeveer GLW ligt), niet meer overal jaarlijks, maar twee-jaarlijks ingemeten. Als er een jaar wordt "overgeslagen", dan staan in het Jarkus-bestand voor het hogere deel de gegevens van het laatst gemeten jaar. Als het zandvolume van het hogere deel van het kustprofiel niet te veel verandert, is dit geen bezwaar. Maar als dat wel zo zou zijn, dan ontstaat er een hiaat in de beschikbare informatie. Uit een analyse van de opnamejaren komt het volgende beeld naar voren (tabel 2.1):

Kustvak	Na 1999 opnames in
Callantsoog	2000, 2001, 2003, 2004
ZW-Texel	2000, 2001, 2003, 2004
Texel-De Koog	2000, 2001, 2003, 2004
Vlieland-Oost	2000, 2001, 2002, 2004
Terschelling	2000, 2002, 2004
Ameland	2000, 2002, 2004

Tabel 2.1 Vliegtuigopnames Jarkusbestand (vanaf 2000)

Feitelijk ontbreken er dus maar een paar jaar: 2003 voor de kustvakken Terschelling en Ameland en 2002 voor de andere zes kustvakken. Het zou goed zijn om de vliegtuigopnames weer net als vòòr 2000 ieder jaar uit te voeren.

## 2.3 Definitie kustlijnparameters

In deze studie wordt naast effectiviteit ook (summier) ingegaan op de gevolgen van de vooroeversuppleties op enkele andere kustlijnparameters. Omdat deze parameters in het volgende hoofdstuk aan bod komen worden ze hieronder kort gedefinieerd:

- Duinvoet: de meest zeewaarts gelegen doorsnijding van een kustprofiel met het horizontale vlak op NAP + 3 m (bij Ameland is dat NAP +2,2 m).
- MHW: de meest zeewaarts gelegen doorsnijding van een profiel met het vlak dat de hoogte van het gemiddelde hoogwater aangeeft. De exacte hoogte verschilt per gebied (van raai tot raai). Voor de hoogte is gebruik gemaakt van waarden aangeleverd door Rijkswaterstaat-RIKZ.
- MLW: de meest landwaarts gelegen doorsnijding van een profiel met het vlak dat de hoogte van het gemiddelde laagwater aangeeft. De exacte hoogte verschilt per gebied. Voor de hoogte is gebruik gemaakt van waarden aangeleverd door RWS-RIKZ.
- Droge strandbreedte: de horizontale afstand tussen de Duinvoet en de MHW.
- Natte strandbreedte: de horizontale afstand tussen de Duinvoet en de MLW.
- BKL-zone: deel van het profiel dat in verticale zin wordt begrensd door twee horizontale vlakken. Aan de bovenzijde is dit het vlak door de Duinvoet; aan de onderzijde is dit het vlak op een langs de kust variërende hoogte, afhankelijk van het gemiddeld laagwater (GLW). De hoogte is gelijk aan:  $\text{NAP} + 3 \text{ m} - 2 \times (\text{NAP} + 3 \text{ m} - \text{GLW})$ .
- MKL-oppervlakte: het zandvolume per strekkende meter kustlengte van het kustprofiel in de BKL-zone ( $\text{m}^3/\text{m}$ ). Aan de landwaartse zijde wordt het gebied waarbinnen het zandvolume wordt berekend, begrensd door een verticaal vlak dat voor alle kustprofielen voldoende ver in de duinen ligt. Figuur 2.2 toont het principe van de berekening van het MKL-oppervlak.
- MKL: de afstand ten opzichte van de RSP-lijn die wordt berekend door het MKL-areaal te delen door de hoogte van de BKL-zone. Voor alle beschikbare Jarkus raaien kunnen de MKL-posities worden berekend. Daarbij wordt gewerkt volgens de berekeningsmethode uit de Nota "De Basiskustlijn" van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1991). Het verloop van de positie van de MKL in de tijd geeft een beeld van de kustachteruitgang. In het kustlijnhandhavingsbeleid wordt overigens aan een enkele MKL-positie geen waarde gehecht. In plaats daarvan wordt een TKL berekend uit een tijdserie van tien achtereenvolgende MKL-posities.
- N<X>-oppervlak: het volume binnen het profiel begrensd door een horizontaal vlak op NAP + 3 m (duinvoet) en een horizontaal vlak op NAP - <X> m. De waarde van <X> kan hierin verschillen.
- N<X>: de afstand ten opzichte van de RSP-lijn volgend uit bovenstaand N<X>-oppervlak te delen door de betreffende schijfhoogte (namelijk:  $3 \text{ m} + \langle X \rangle \text{ m}$ ).

De bovenstaande parameters worden relevant zodra de vooroeversuppleties op meer effecten worden beschouwd dan louter het MKL-zandvolume. Zo zegt bijvoorbeeld het zandvolume in de zone NAP -8 m en de duinvoet, iets over de grootschaliger zandbalans. De droge strandbreedte zegt weer iets over de mogelijkheden voor bijvoorbeeld recreatie. Hoewel de effectiviteit in dit rapport dus primair wordt benaderd vanuit de benadering van de BKL-systematiek, zullen we ook naar neveneffecten kijken.

## 3 Analyse dieptegegevens

### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt voor elk van de zes vooroeversuppleties (paragraaf 1.2) een bewerking gepresenteerd van de beschikbare (diepte-)gegevens. Het gaat daarbij nog niet om het zoeken van verklaringen (hoofdstuk 4), maar om het in kaart brengen van de effecten.

De bewerking van de gegevens is er daarnaast op gericht om de effectiviteit te berekenen volgens de definitie uit hoofdstuk 2.

De zes vooroeversuppleties worden in afzonderlijke paragrafen gepresenteerd. Daarbij wordt telkens de volgende volgorde aangehouden:

- Een kustmorfologische typering van het betreffende kustvak;
- Een beschrijving van de recente erosiegeschiedenis, inclusief een overzicht van de uitgevoerde suppleties en het verloop van de MKL;
- Een beschrijving van de te evalueren vooroeversuppletie;
- Een overzicht van de lodingen die voor dit onderzoek beschikbaar zijn;
- Het ruimtelijk beeld van sedimentatie en erosie na uitvoering van de vooroeversuppletie;
- Veranderingen in enkele kustlijnparameters zoals beschreven in paragraaf 2.3;
- De veranderingen in het kustprofiel;
- De effectiviteitslijnen volgens de methode uit paragraaf 2.2

Bij de vooroeversuppleties van ZW-Texel (Molengat) en Terschelling wordt tevens een vergelijking gemaakt met eerder uitgevoerde evaluaties.

### 3.2 Suppletie Callantsoog 2001

#### 3.2.1 Typering van het kustvak

Het nagenoeg rechte kustvak van Callantsoog ligt ongeveer tussen RSP 10 km en RSP 14 km (figuur 3.1). Het kustvak maakt onderdeel uit van de gesloten Hollandse kustboog. Deze kustboog is aan de noordzijde begrensd door het Zeegat van Texel. Volgens Elias e.a. (2005) ligt het kustvak van Callantsoog nog net buiten de invloedssfeer van de buitendelta van het zeegat.

Het karakter van de Hollandse kust was lange tijd wezenlijk anders dan nu het geval is. De kust werd meermalen onderbroken door kleinere en grotere zeegaten en het achterliggende gebied bestond tot enkele eeuwen geleden hoofdzakelijk uit regelmatig overstromende moerassen. Vanaf de dertiende en de veertiende eeuw heeft de mens geprobeerd in te grijpen in de natuurlijke kustvormende processen. In eerste instantie werden de kleinere zeegaten gedicht door het aanleggen van stuifdijken en het stabiliseren van duinen door middel van beplanting. Op deze manier zijn de voormalige zeegaten "Het Zijpe" en "Het Heersdiep", beide gelegen tussen Den Helder en Bergen aan Zee, al in de vijftiende en zestiende eeuw gedicht. Later, in de negentiende eeuw zijn strandhoofden aangelegd, die tot doel hadden om de achteruitgang van de kust te beperken.

Ten noorden van Castricum kampt de kust al eeuwen met structurele erosie. De grootte van de zandverliezen neemt in noordwaartse richting toe. Een belangrijk deel van het



zandverlies is ten goede gekomen aan de zandbalans van de Waddenzee (via het Zeegat van Texel) en aan het doorgaande zandtransport langs de Waddeneilanden. Na de uitbouw van de havenhoofden van IJmuiden, werd de zandaanvoer vanuit het zuiden gehinderd door de blokkering van het noordwaarts gerichte zandtransport.

In Van Rijn (1995) wordt, op basis van het werk van Schoorl (1990) en Ligendag (1990), een schatting gegeven van de kustlijnachteruitgang door de eeuwen heen. Uit tabel 3.1 blijkt de grote erosie in de zeventiende en achttiende eeuw.

Locatie	17e eeuw	18e eeuw	19e eeuw	20e eeuw	1600-1990
Callantsoog (RSP 13 km)	250	150	80	70	550
Petten (RSP 23 km)	400	300	100	100	900
Egmond (RSP 38 km)	150	100	30	0	280

Tabel 3.1 Geschatte kustlijnachteruitgang door de eeuwen heen (in m) – Noord-Holland

De historische ontwikkelingen hebben ertoe geleid dat de duinen bij Callantsoog relatief smal zijn. Op de langere termijn kan hierdoor een veiligheidsprobleem voor het achterland ontstaan.

Voor de kust liggen series strandhoofden. Deze strekken zich uit vanaf de Helderse Zeewering (RSP 2 km) naar het zuiden uit tot voorbij de Hondsbossche Zeewering (RSP 26 km: Camperduin). De onderlinge afstand tussen de strandhoofden varieert globaal van 100 tot 400 m. Ter hoogte van Callantsoog is dit ongeveer 250 m. In zeewaartse richting lopen de meeste strandhoofden door tot iets onder de GLW-lijn.

Langs de kust komen brekerbanken voor, zoals we later in deze paragraaf zullen zien. Verder naar het noorden toe komen geen brekerbanken meer voor. Het kustprofiel wordt daar mede bepaald door de dynamiek van de buitendelta van het Zeegat van Texel (geulen voor de kust: Nieuwe Schulpengat en Nieuwe Landsdiep; banken: Fransche Bankje en Bollen van Kijkduin).

### 3.2.2 Recente erosiegeschiedenis omgeving Callantsoog

Ten zuiden van RSP 7 km treden de laatste jaren alleen nog kleine wijzigingen op in de ligging van de kustlijn. Dit uit zich in afwisselende periodes van erosie en sedimentatie, die vermoedelijk verband houden met de beweeglijkheid van de brekerbanken.

#### Suppleties

Na de eerste Kustnota (1991) is de kustlijnachteruitgang bestreden met suppleties. Tabel 3.2 geeft een totaaloverzicht van de suppleties voor de kust van Noord-Holland tussen Petten (RSP 21 km) en Julianadorp (RSP 8 km). Uit de tabel blijkt dat het beschouwde kustvak zeer regelmatig is gesuppleerd.

De weergegeven zandvolumes bij de vooroeversuppleties zijn vermoedelijk gebaseerd op metingen in het beun van de desbetreffende hoppers (dit is niet precies bekend). De hoeveelheden van de strandsuppleties zijn waarschijnlijk gebaseerd op inpeilingen en uitpeilingen.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1976	Duinverzwaring	12,98 – 13,75	342.000	441
1979	Duinverzwaring	11,15 – 12,80	470.000	285
1986	Strandsuppletie	10,83 – 13,73	1.242.000	428
1986	Duinverzwaring	11,75 – 12,05	78.000	260
1987	Duinverzwaring	14,70 – 17,84	155.000	49
1987	Strandsuppletie	13,76 – 18,10	1.695.000	390
1991	Strandsuppletie	11,00 – 14,00	538.000	179
1991	Strandsuppletie	18,00 – 20,18	371.000	170
1995	Strandsuppletie	16,24 – 17,60	307.000	226
1995	Strandsuppletie	18,80 – 20,40	362.000	226
1996	Strandsuppletie	10,10 – 12,13	459.000	217
1996	Strandsuppletie	12,20 – 14,10	460.000	242
1998	Strandsuppletie	19,25 – 20,50	229.000	183
1999	Strandsuppletie	10,01 – 14,00	144.000	36
2000	Strandsuppletie	16,26 – 16,88	120.000	194
<b>2001</b>	<b>Vooroeveroppletie</b>	<b>11,08 – 14,01</b>	<b>1.500.000</b>	<b>512</b>
2002	Strandsuppletie	18,27 – 20,35	500.000	241
2003	(nood-)Strandsuppletie	<u>11,10 – 13,75</u>	438.000	165
2003	Vooroeveroppletie	<u>10,00 – 16,00</u>	2.573.000	429
2003	(nood-)Strandsuppletie	19,83 – 20,58	230.000	307
2003	(nood-)vooroeversuppl.	9,13 – 9,43	12.000	41
2004	Strandsuppletie	<u>11,10 – 13,74</u>	217.000	82
2004	Strandsuppletie	19,83 – 20,58	99.000	132

Tabel 3.2 Overzicht uitgevoerde suppleties Callantssoog

De suppletie die in vet staat weergegeven is de vooroeveroppletie die in dit onderzoek centraal staat. Na die vooroeveroppletie zijn in het betreffende kustvak nieuwe suppleties zijn uitgevoerd; deze zijn in de tabel onderstreept. Dit bemoeilijkt de evaluatie aanzienlijk omdat de tijdsperiode waarover de eerste vooroeveroppletie bestudeerd kon worden los van de invloed van nieuwe suppleties, relatief kort is geweest (2 jaar).

#### “Time stacks”

Een “time stack” is een figuur waarin alle beschikbare profielopnames van één vaste meetraai als functie van de tijd worden gegeven. De profielen in de figuren zijn verticaal boven elkaar geplaatst. Daarbij is de y-as verschuiving equidistant van jaar tot jaar. Een grotere onderlinge afstand impliceert dat er één of meerdere opnames ontbreken.

Omdat de Jarkus lodingen telkens op vaste raaien worden genomen kunnen eenvoudig dergelijke time stacks worden gemaakt. Ze geven een indruk van de variaties in het kustprofiel en de “snelheid” waarmee dit plaatsvindt.

In de figuren 3.2 tot en met 3.4 staan de time stacks voor de volgende drie Jarkus raaien:

- RSP 9,68 km (circa 1,5 km ten noorden van de suppletie),
- RSP 13,20 km (ongeveer in het midden van de suppletie)
- RSP 15,03 km (1 km ten zuiden van de suppletie).

In deze figuren is ook de positie van de BKL aangegeven, alsmede de tijdsafhankelijke positie van de MKL.

### Verloop MKL-posities

In de figuren 3.5 tot en met 3.7 staan de berekende posities van de MKL voor Jarkus-raaien: 9,68 km, 13,20 km en 15,03 km. In deze figuren hebben we met verticale strepen aangegeven wanneer op de betreffende raai een suppletie is uitgevoerd. Dat kan zowel een duinverzwaring, een strandsuppletie of een vooroeversuppletie zijn geweest. De lengte van de streep geeft aan hoe groot de suppletie was (rechteras in m<sup>3</sup>/m). De grootte van de suppletie is berekend door het totale suppletievolume te delen door de lengte van het suppletievak (de laatste kolom in tabel 3.1).

Vooraf ter hoogte van Callantsoog is zeer frequent gesuppleerd, zoals blijkt uit figuur 3.6. Het zal daarom niet eenvoudig zijn om de exclusieve bijdrage van de vooroeversuppletie uit 2001 uit de gegevens te destilleren.

In de figuren staat tevens de positie van de BKL op de betreffende raai weergegeven. In de meeste gevallen ligt deze lijn landwaarts van de berekende MKL-posities (in de figuren ligt de lijn er dan "onder"). Op sommige locaties langs de Nederlandse kust is de positie van de BKL in 2001 aangepast (zie bijvoorbeeld figuur 3.5 en figuur 3.7).

De berekende posities van de MKL staan in de figuren aangegeven met de open ruitjes. Vanaf 1995 staan er tevens gesloten ruitjes in de figuren weergegeven. Die geven de positie weer van de TKL van dat betreffende jaar. Wij hebben deze posities overgenomen uit de (sinds 1995) gepubliceerde Kustlijnkaarten van Rijkswaterstaat. In de figuren is ook nog de trendlijn te zien op basis waarvan de TKL is vastgesteld (de Trend). Dit zijn de dunne grijze lijntjes telkens links van de TKL-posities.

Het berekenen van de TKL is een lastige opgave waarbij met uitgevoerde suppleties, migratie van zandgolven en eventueel andere morfologische ontwikkelingen rekening moet worden gehouden. Zodra er sprake is (geweest) van een onderwatersuppletie is het vrijwel ondoenlijk om daar goed voor te kunnen corrigeren. Daarvoor is immers inzicht nodig in de effectiviteit van de onderwatersuppletie en dat inzicht is er nog niet. In die zin is het een gunstige bijkomstigheid dat we naar de eerst uitgevoerde onderwatersuppleties kijken. De door Rijkswaterstaat gepubliceerde posities van de TKL en de daarbij horende Trend, zijn de best-beschikbare schattingen van de autonome kustlijnontwikkeling.

De TKL volgt de veranderingen in de MKL, maar dan minder extreem en vertraagd in de tijd. Dit is bijvoorbeeld te zien in figuur 3.5, waar de TKL pas na 2001 een landwaartse trend laat zien (de MKL vertoont hier een landwaartse trend vanaf 1999).

De jaarlijkse verplaatsing van de MKL bedraagt minder dan 10 m (met enkele uitzonderingen). Voor de meer noordelijke profielen blijkt dat er maar weinig erosie heeft plaatsgevonden. Hier is dan ook niet of nauwelijks gesuppleerd. Ter hoogte van Callantsoog is dat anders. Dankzij de vele suppleties is de MKL hier min of meer op dezelfde plaats gebleven (nabij of zelfs landwaarts van de BKL: zie figuur 3.6). De omvangrijke suppletie uit 1976 betrof een duinversterking. Het zand uit die suppletie heeft dus niet bijgedragen aan de zandvoorraad in de MKL-rekenschip. Ten zuiden van Callantsoog laat de MKL vanaf 1965 een afwisselend beeld zien van kustachteruitgang en -vooruitgang (figuur 3.7).

De strandsuppletie uit 1987 heeft de MKL ongeveer 35 m zeewaarts verlegd. Over en schijfhoogte van circa 8 m betekent dit dat van de 390 m<sup>3</sup>/m suppletiezand gemiddeld 280 m<sup>3</sup>/m (want: 35 m \* 8 m) is terecht gekomen. Dit rekenvoorbeeld laat zien dat ook van een strandsuppletie een gedeelte van het aangebrachte zand buiten de MKL-rekenshijf terecht kan komen (bijvoorbeeld boven het niveau van de duinvoet). Na 1987 is sprake van een achteruitgang van de MKL, totdat in 2003 wederom een suppletie (in dit geval een vooroeversuppletie) is aangebracht.

### 3.2.3 Beschrijving van de te evalueren suppletie

De te onderzoeken suppletie is in de periode juni - oktober 2001 aangelegd tussen RSP 11,08 km en RSP 14,08 km. De grootte van de suppletie bedroeg circa 1,5 Mm<sup>3</sup>. In onderstaande tabel zijn de karakteristieken van de suppletie samengevat.

Locatie	Tussen RSP 11,08 km en RSP 14,08 km
Hoeveelheid	1,5 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 1,15 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 383 m <sup>3</sup> /m (op basis van gepeild volume)
Aanlegdiepte	Diepte-zone van NAP -3 m tot NAP -6 m is op NAP -3 m gebracht
Zand	D <sub>50</sub> = 220 µm
Wingebied	Onbekend
Uitvoering	Van juni tot en met oktober 2001
Strandhoofden	Totaal 11 ter hoogte van het suppletievak; koppenlijn vermoedelijk op NAP -1,5 m (LW).

Tabel 3.3 Karakteristieken van de suppletie Callantsoog 2001

Het zand is gestort en *ge-rainbowed* om ook het hogere deel van de vooroever te kunnen suppleren. Het zand had een korreldiameter van omstreeks D<sub>50</sub> = 220 µm (opgave Rijkswaterstaat).

Het verschil tussen het zandvolume in beunkuubs en gepeilde kuubs is te verklaren uit zandverliezen tijdens de uitvoeringsfase en klink van het suppletiezand in situ. Het aanwezige suppletievolume blijkt 74% te bedragen van de aangevoerde hoeveelheid zand. Dit verschil lijkt plausibel en komt overeen met de percentages die voor de andere suppleties zijn gevonden (met uitzondering van die voor Terschelling: zie paragraaf 3.6.3).

De vooroeversuppletie is aangelegd zeewaarts van een bank tot een diepte van circa 6 m onder NAP. Door de suppletie is de bank aan de zeezijde verbreed over een hoogte tot circa NAP - 3 m (zie verder paragrafen 3.2.5 en 3.2.6).

De werkzaamheden begonnen in het midden van het suppletievak en gingen vervolgens twee kanten uit naar de beide uiteinden van het vak.

Er zijn geen bijzonderheden bekend van de uitvoering zelf. Deze is, naar verluidt, probleemloos verlopen.

Scheepswrakken komen niet voor in het suppletievak.

### 3.2.4 Beschikbare lodingen

In onderstaande tabel 3.4 staat een overzicht van de lodingen die voor dit onderzoek ter beschikking zijn gesteld:

Datum meting	Soort meting	bestandsnaam
29-03-01	Monitoring	ca200103
26-06-01	Monitoring	ca200106
05-07-01	JARKUS	ca01
06-12-01	Monitoring	ca200111
20-03-02	Monitoring	ca200203
13-09-02	Monitoring	ca200209
13-02-03	Monitoring	ca200302
28-05-03	JARKUS	ca03
31-03-04	JARKUS	ca04
30-09-04	Monitoring	ca200410

Tabel 3.4 Overzicht van beschikbare lodingen - Callantsoog

### 3.2.5 Sedimentatie – erosie

De figuren 3.8 en 3.9 (afkomstig van Rijkswaterstaat) tonen de bodemligging vlak voor en direct na de suppletiewerkzaamheden. In deze figuren is een aantal genummerde vakken te zien. De veranderingen in het zandvolume binnen deze (vaste) vakken is uitgerekend. De suppletie is volledig uitgevoerd in vak 5.

Van alle beschikbare lodingen zijn verschilplots gemaakt. Dat is zowel gedaan ten opzichte van de "oudste" opname als tussen twee opeenvolgende opnames. In figuur 3.10 worden ter illustratie drie verschilplots gegeven (telkens ten opzichte van de eerste opname van 29 maart 2001). De "groen" gekleurde gebieden zijn gebieden waar nauwelijks verticale bodemveranderingen zijn opgetreden in de beschouwde periode (minder dan 10 cm). Geel tot rood-gekleurde gebieden zijn gebieden waar de bodem omhoog is gekomen, terwijl de blauw-gekleurde gebieden juist dieper zijn geworden.

De onderste verschilplot in figuur 3.10 toont de bodemveranderingen in de periode tot 26 juni 2001. De suppletiewerkzaamheden zijn dan nog niet gestart. De bodemveranderingen geven dus de natuurlijke bodemveranderingen in het gebied aan (voor de desbetreffende periode). De bodemveranderingen in deze voorjaarsperiode zijn gering en spelen zich vooral dicht onder de kust af (bij de randen van de brekerbanken). De middelste verschilplot laat zien hoe de suppletiewerkzaamheden halverwege de uitvoeringsperiode zijn gevorderd. Duidelijk is te zien dat men vanuit het midden is begonnen met suppleren.

De bovenste verschilplot, tenslotte, laat het eindresultaat zien van de suppletiewerkzaamheden. Naast de duidelijke bodemverhoging in het suppletievak (vak 5) is goed te zien hoe ook elders langs de kust de bodemligging is veranderd.

Figuur 3.11 laat op dezelfde wijze de bodemveranderingen zien in de periode tussen 29 maart 2001 en 13 februari 2003. Dat is ongeveer twee winterseizoenen en één zomerseizoen na gereedkomen van de vooroeveroppletie. Omdat er nog steeds sprake is van verondieping in het suppletievak (vak 5), ziet het er naar uit dat een belangrijk deel van het suppletiezand hier in 2003 nog aanwezig was.

De aangebrachte suppletie is met ongeveer 200 m naar het noorden opgeschoven (vak 2). Het zuidelijk uiteinde van de suppletie lijkt in dezelfde periode met ongeveer 50 m naar het noorden te zijn opgeschoven. De vorm van het aangebrachte suppletievolume is dus iets (150 m) langer geworden en marginaal noordwaarts verplaatst.

De bodemveranderingen ten zuiden van het suppletievak lijken over deze periode bezien niet veel af te wijken van hetgeen er ook vlak voor uitvoering van de suppletie zichtbaar was. Op een ruimtelijke schaal van honderden meters wisselen verdieping en verondieping elkaar af, zonder dat één van beide het totaalbeeld domineert. In vak 1 (ten noorden van het suppletievak) overheerst erosie. Dat geldt vooral voor de diepere vooroever.

In de lodingen na 13 februari 2003 zit ook het effect verwerkt van de andere uitgevoerde suppleties (tabel 3.2). Die figuren geven dus niet het exclusieve effect aan van de hier te evalueren vooroever-suppletie. Figuur 3.12 laat de verschilplot zien van de eerste en de laatste (1 oktober 2004) loding. In deze figuur is de strandsuppletie te herkennen (vak 7), maar ook de 2003 - vooroever-suppletie.

### Seizoenseffect

Verschilkaarten die de ontwikkeling van de bodemverandering aangeven van loding tot opvolgende loding, geven een indruk van mogelijke seizoenseffecten. Figuur 3.13 toont de bodemveranderingen in de eerste winter na aanleg van de suppletie; figuur 3.14 doet dit voor de eerste daar op volgende zomerperiode. In grote lijnen komt het patroon van erosie en sedimentatie overeen. In beide perioden is sprake van een verdieping van de bodem in het zeewaartse deel van het suppletievak (vak 5) en een (bijna even grote) verondieping in het landwaartse deel van het suppletievak. Dit lijkt er op te duiden dat het zand van de suppletie in zijn geheel landwaarts is opgeschoven. Deze landwaartse verschuiving heeft een kleine noordwaartse component, waardoor ook in vak 2 sedimentatie zichtbaar is. In de figuur is deze ontwikkeling aangegeven met de pijltjes. Het valt op dat deze verschuiving vrijwel uniform langs de kust plaatsvindt.

Het verschil tussen de winter en de zomerperiode uit zich vooral in de intensiteit waarmee de bodemveranderingen zich voordoen. De tijdsspanne waar figuur 3.13 op is gebaseerd bedraagt slechts 3,5 maand; in figuur 3.14 is dat bijna 6 maanden. Typische verticale bodemveranderingen in de winterperiode zijn 20 – 25 cm/maand. Voor de zomerperiode is dat 3 - 8 cm/maand. Dit verschil kan verklaard worden uit het verschil in golfenergie in de winter- en zomermaanden (paragraaf 4.2). Hieruit volgt de suggestie dat golven een belangrijke invloed hebben op de zandverplaatsingen in het gebied.

### 3.2.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

In hoofdstuk 2 is aangegeven dat we in deze studie voornamelijk kijken naar het effect van de suppletie op het MKL-zandvolume. Dat specifieke effect is door ons getalsmatig uitgewerkt in wat we hebben aangeduid als de "effectiviteit" (zie verder paragraaf 3.2.8).

#### De positie van enkele dieptelijnen

De positie van de duinvoet kan vrij sterk van jaar tot jaar verschillen (tot orde 10 m). Dit houdt vermoedelijk ook verband met de wat arbitraire hoogte van de duinvoet (NAP +3m), die kennelijk sterk kan fluctueren. In het kustvak waar de suppletie is uitgevoerd (het "suppletievak") laat de duinvoet een relatief stabiele positie zien van circa 95 m landwaarts van de RSP-lijn.

De positie van de duinvoet in het kustvak ten noorden van het suppletievak liet over de periode 1985 – 2001 een gestage zeewaartse verplaatsing zien van in totaal 35 m (ruim 2 m/j). Deze trend stopt vrij abrupt direct na de vooroever-suppletie uit 2001, waarna de positie van de duinvoet min of meer constant blijft. Een verklaring hiervoor hebben we

niet. Het is denkbaar dat de duinvoet zoals hier gedefinieerd (een doorsnede op NAP +3 m) een wat ongelukkige maat is om morfologische veranderingen mee te duiden.

Bekijken we de posities van de "MHW" en de "MLW", dan valt ook hier de grote jaarlijkse variaties op. Het betreft hier overigens geen echte getij-waterstanden, maar vaste profielhoogtes (MHW = NAP +0,64 m en MLW = -0,84 m).

In de bovenste grafiek van figuur 3.15 staat het verloop van de gemiddelde positie van de MLW in het suppletievak (tussen RSP 11,08 km en RSP 14,01 km). Een duidelijke trend is niet zichtbaar of het moet een licht zeewaartse verplaatsing zijn. Hoewel het bijna wegvalt in de natuurlijke variaties, lijkt het erop dat na 2001 (en vooral na 2003) de positie van MLW zeewaarts opschuift. Een dergelijk beeld is ook geconstateerd bij de positie van MLW voor de aangrenzende kustvakken alsmede voor de positie van de MHW.

### Verandering van strandbreedte

Met de jaarlijkse schommelingen in de (over het kustvak gemiddelde) posities van de duinvoet, MHW en MLW, varieerde ook de droge en de natte strandbreedte. De middelste grafiek in figuur 3.15 laat het verloop zien van de natte strandbreedte (feitelijk de afstand tussen de duinvoet en MLW) gemiddeld over het suppletievak. Sinds 1965 is sprake van een minimale strandverbreding, met de kanttekening dat de jaarlijkse variaties een orde groter zijn. Het beeld uit deze grafiek geldt min of meer ook voor de natte strandbreedte en voor de aanliggende kustvakken (van elk ongeveer 1 km lengte). Vooral na 2003 blijkt de strandbreedte volgens de grafiek in figuur 3.15 sterk toe te nemen. Op de schaal van de gehele tijdsperiode zijn de veranderingen echter nog niet opvallend.

### Verandering van zandvolumes

De onderste grafiek in figuur 3.15 laat de veranderingen zien in het, over het suppletievak gemiddelde, zand-"volume" tussen de dieptelijnen NAP +3 m en NAP -8 m. De dimensie is in de grafiek [ $m^2$ ], omdat gedeeld is door de lengte van het suppletievak. Daardoor worden de getallen (die ook voor andere kustvakken beschikbaar zijn) onafhankelijk van de beschouwde kustvaklengte.

De grafiek laat zien dat sinds 1965 sprake is van een geleidelijke toename van het zandvolume met ongeveer  $15 m^2/j$  (namelijk  $600 m^3/m$  in 40 jaar tijd). Dit vindt voornamelijk plaats in de periode dat strandsuppleties zijn uitgevoerd, dus vanaf 1986. Uit de gegevens van tabel 3.2 blijkt dat in de periode 1986-2000 in totaal  $1102 m^3/m$  suppletiezand in het suppletievak is toegevoegd. Als dat er allemaal was blijven liggen en er verder geen andere morfologische veranderingen hadden voorgedaan, dan zou een toename van  $73 m^2/j$  te verwachten zijn geweest (namelijk  $1102 m^3/m / 15$  jaar). De grafiek laat wel een duidelijk toename van het zandvolume zien in de periode na 2001. Dit is te verklaren aan de hand van de relatief grote suppletievolumes die in de vooroeversuppleties zijn verwerkt. In totaal is in de periode 2001 – 2004 maar liefst  $1188 m^3/m$  gemiddeld in het suppletievak aangebracht. Dat is dus meer dan de 15 daar aan voorafgaande jaren. Het is dus niet verwonderlijk dat het zandvolume in die korte periode sterk is toegenomen.

In figuur 3.16a staan de veranderingen in het gemiddelde zandvolume (weer in  $m^3/m$ ) voor een circa 1 km lang kustvak ten noorden (bovenste grafiek) en ten zuiden van het suppletievak (onderste grafiek). Ook hier is sprake van een geleidelijke toename van het zandvolume, waarbij de grote jaarlijkse fluctuaties voor het zuidelijke kustvak opvallen.

Ook hier valt op dat het zandvolume na 2003 sterk toeneemt. Dat is vooral het gevolg van de vooroeversuppletie uit 2003, die ook in deze beide kustvakken ligt.

### Veranderingen in het MKL-zandvolume

In figuur 3.16b staan voor vier kustvakken de veranderingen aangegeven in het zandvolume tussen NAP +3 m en de ondergrens van de BKL-zone. De ondergrens verschilt van kustvak tot kustvak maar ligt ongeveer op NAP -4,7 m. Het zijn de over het kustvak gemiddelde veranderingen (volgens de "fixed boundary" methode). Het globale beeld wijkt weinig af van het beeld uit figuur 3.16a. Het directe effect van de 2001-vooroeversuppletie op het zandvolume boven ongeveer NAP -4,7 m is beperkt. (N.b.: de neerwaartse piek in 2002 bij het kustvak tussen RSP 12,58 km en RSP 14,01 km lijkt het gevolg van een meetfout.) Pas na 2003 is sprake van een grote toename van het zandvolume in de vier deelvakken.

Uit de gegevens blijkt evenmin dat de 2001-vooroeversuppletie veel invloed heeft gehad op het langstransport langs de kust. Het langstransport ter plaatse van Callantssoog bedraagt ongeveer 300.000 – 400.000 m<sup>3</sup>/j (Van Rijn, 1995). Als de vooroeversuppletie daadwerkelijk een deel van de golfenergie zou dissiperen, dan zou in de "luwte" ervan mogelijk een reductie in de langstransportcapaciteit resulteren. Het vanuit het zuiden aangevoerde langstransport kan dan onvoldoende worden doorgetransporteerd, waardoor resulterend een deel van het zand achterblijft. Als dit zou zijn opgetreden, dan zou in het "benedenstroomse" kustvak zandverlies moeten plaatsvinden (want: minder aanvoer bij gelijkblijvende afvoer). Omdat dit niet wordt teruggevonden in de zandvolumes van de verschillende deelvakken, lijkt het erop dat dit geen significant effect is geweest. Het kan zijn dat de vooroeversuppletie op relatief te diep water is aangelegd om veel invloed te hebben gehad op de golfcondities die zich in de eerste jaren na de suppletie hebben voorgedaan.

### 3.2.7 Profielveranderingen

De figuren 3.17 tot en met 3.19 tonen de kustprofielen voor de raaien 13,20 km (het zuidelijk deel van het suppletievak), 11,97 km (het noordelijk deel van het suppletievak), en 11,08 km (direct ten noorden van het suppletievak). De profielen zijn gebaseerd op de gegevens uit de beschikbare vaklodingen (tabel 3.4). In de figuren is tevens het Jarkus-profiel weergegeven voor 1996 (5 jaar voorafgaand aan de suppletie). De dikke zwarte lijn geeft het profiel weer vòòr uitvoering van de suppletie.

In de vijf jaar voorafgaand aan de suppletie is op sommige locaties de kruin van de brekerbank met tientallen meters landwaarts opgeschoven. Er zijn grote verschillen over relatief korte afstanden. Zo is bijvoorbeeld de brekerbank op RSP 11,08 km met circa 80 m landwaarts opgeschoven (figuur 3.19: dunne grijze lijn en dikke zwarte lijn), terwijl dit nihil is op RSP 11,97 km (figuur 18). De natuurlijke bodemveranderingen variëren dus sterk op een kleine ruimtelijke schaal. Deze dynamiek is gekoppeld aan de dynamiek van de brekerbanken.

De vooroeversuppletie is tegen de zeewaartse flank van de brekerbank geplaatst. De veranderingen in de kustprofielen laten zien dat de kruin van de brekerbank daarna landwaarts is opgeschoven (zie pijl in figuur 3.17). Dit landwaarts opschuiven leidt vervolgens tot het mede landwaarts opschuiven van de trog die tussen het strand en de brekerbank ligt. Het gevolg daarvan is weer een (beperkte) erosie van het kustprofiel



onder de waterlijn (figuur 3.17). Dit beeld varieert weliswaar van raai tot raai, maar in grote lijnen zien we dit beeld terugkomen in het hele suppletievak.

Uit de figuren is tenslotte ook het effect te zien van de grote vooroeversuppletie uit 2003. In het dwarsprofiel is deze vooroeversuppletie tegen de zeewaartse flank van de eerdere (geërodeerde) vooroeversuppletie aangezet. Ook nu blijkt dat de kruin van de oorspronkelijk aanwezige brekerbank verder landwaarts opschuift. Op sommige plaatsen is de bank al bijna tot de waterlijn opgeschoven. Dat heeft als voordeel dat het profiel vlak voor de waterlijn ook niet meer verdiept (zie figuur 3.20 waar de kustprofielen voor RSP 12,58 km staan weergegeven). Zodra de brekerbank hoger in het profiel komt te liggen (2004) neemt de natte strandbreedte snel toe. Dit is niet alleen veroorzaakt door de vooroeversuppletie uit 2003. De profielontwikkelingen lieten zien dat de vooroeversuppletie uit 2001 ook al tot een versterkt landwaartse verplaatsing van de banken leidde. Het heeft echter enkele jaren geduurd voordat de voor het strand gelegen trog uit het profiel verdween.

### Samenvattend

Uit de analyse van de dieptegegevens komt het volgende globale beeld naar voren:

1. Dat de natuurlijke dynamiek in de vooroever groot is en het gevolg van de beweeglijkheid van de brekerbank(-en).
2. Dat de 2001-vooroeversuppletie heeft geleid tot een landwaartse verplaatsing van de brekerbank;
3. Dat deze verplaatsing nagenoeg uniform plaatsvond langs het hele suppletievak;
4. Dat daarbij alleen een kleine verschuiving in noordwaartse richting optrad;
5. Dat met het landwaarts opschuiven van de brekerbank ook de voor het strand gelegen trog mee opschoof;
6. Dat daardoor aanvankelijk geen verbreding van het natte strand optrad;
7. Dat dit beeld aanzienlijk van raai tot raai verschilt, vermoedelijk als gevolg van 1.

### 3.2.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

In paragraaf 2.2 is een methode beschreven voor het uitrekenen van de effectiviteit van een vooroeversuppletie. Benadrukt wordt dat daarbij de bijdrage van de suppletie aan het MKL-zandvolume centraal staat. Voor iedere Jarkusraai en voor ieder jaar vanaf gereedkomen van de suppletie, is de effectiviteit van de suppletie uitgerekend. Door de resultaten per jaar in een soort "bovenaanzicht" te geven, ontstaat een beeld van de kustlangse variatie in de berekende effectiviteit. De resultaten hiervan staan weergegeven in de figuren 3.21 tot en met 3.23.

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

Het in het profiel aangetroffen suppletievolume bedraagt in totaal 1.145.000 m<sup>3</sup>. Als we dit volume gelijkmatig verdelen over het suppletievak (m<sup>3</sup>/m) en die hoeveelheid vervolgens delen door de BKL-schijfhoogte (m), dan resulteert een horizontale verschuiving (m). Dit is de vakgemiddelde potentiële verschuiving van de MKL als al het suppletiezand in de berekening van de MKL zou "meedoen". Dit blijkt ongeveer 50 m te zijn (de roze lijn in het onderste gedeelte van figuur 3.21).

Het suppletievolume kan per Jarkus-raai worden berekend door de profielen van de vaklodingen van elkaar af te trekken (de oppervlak van het geacreerde gedeelte in figuur 3.17). Deze "lokale suppletie-intensiteit" is eveneens gedeeld door de BKL-schijfhoogte. Dat geeft dan de lokale potentiële verschuiving van de MKL. De verdeling

hiervan langs de kust, geeft aan of er gelijkmatig is gesuppleerd of niet. In de onderste grafiek van figuur 3.21 is het resultaat van deze bewerking weergegeven met de donkerblauwe lijn. Geconcludeerd kan worden dat er inderdaad gelijkmatig is gesuppleerd, met uitzondering van de beide kopse uiteinden van het suppletievak. Daar neemt over een afstand van enkele honderden meters (twee jarkus-raaien) het suppletievolume toe van nihil tot ongeveer de vakgemiddelde hoeveelheid.

De bovenste (linker) grafiek in figuur 3.21 geeft de berekende effectiviteit voor het eerste jaar na de suppletie. Hierbij zijn dus de Jarkus-gegevens gebruikt voor de jaren 2001 en 2002. In de grafiek staan zowel de ongecorrigeerde effectiviteit (blauw) als de gecorrigeerde effectiviteit (groen). De gecorrigeerde lijn ligt overal hoger dan de ongecorrigeerde lijn. Dit betekent dat overal de Trend2001 landwaarts is (erosie).

Afgezien van de beide kopse kanten van de suppletie, bedraagt de ongecorrigeerde effectiviteit ongeveer 20%. Gecorrigeerd is dat ongeveer 30%.

Ter hoogte van het noordelijk uiteinde van de suppletie is de effectiviteit meer dan 100%. Deze waarde is mede zo groot omdat het referentievolume (het potentieel beschikbare zand op die locatie) zo klein is. Dit doet zich slechts op één raai voor.

Op één raai (12,97 km) blijkt dat in het eerste jaar na aanleg, de gecorrigeerde effectiviteit negatief is (-20%). Dat zou een averechtse werking van de suppletie impliceren. Het zandvolume in de BKL-zone is dan sterker afgenomen dan op basis van de Trend2001 zou worden verwacht. Vanwege de grote dynamiek die in de kustprofielen is aangetroffen (van jaar tot jaar en van raai tot raai), moet aan deze constatering niet al te veel waarde worden toegekend.

De figuren 3.22 en 3.23 tonen de resultaten voor de jaren 2003 en 2004 (de Jarkus-gegevens voor 2005 waren voor dit kustvak niet tijdig beschikbaar).

In 2003 blijkt de ongecorrigeerde effectiviteit voor het centrale deel van het kustvak tot nul te zijn gereduceerd. Rekening houdend met de Trend2001 is er overigens nog wel een (gering) positief effect waarneembaar.

De berekende effectiviteit ligt in 2004 veel hoger, maar dat komt hoofdzakelijk door de strandsuppletie uit 2003 en door de in 2003 uitgevoerde vooroeveraanplant (waarvan een deel van het zand direct ten goede kwam aan het MKL-zandvolume). We hebben in onze berekeningen niet gecorrigeerd voor deze suppleties, omdat niet bekend is welke effectiviteit de 2003-voorplant nu feitelijk heeft gehad.

### Effectiviteitslijnen

Om de veranderingen in de berekende effectiviteit als functie van de tijd beter te kunnen illustreren zijn voor de raaien 11,97 km, 12,58 km en 13,2 de berekende effectiviteitslijnen gegeven (conform de voorbeelden uit hoofdstuk 2). Het betreft hier dus de berekende effectiviteit op raai-niveau (zie figuur 3.24).

De correctie op de 2003-suppleties hebben zowel betrekking op de strandsuppletie als op de vooroeveraanplant. In de berekeningen is het volume zand van de strandsuppletie voor 100% meegenomen en het volume zand van de 2003-voorplant voor 20%. Deze 20% is geschat op basis van de eerder geconstateerde effectiviteit van gemiddeld 20% van de 2001 voorplant.

### Effectiviteit op vakniveau

Om inzicht te kunnen krijgen in de veranderingen in de zandbalans op grotere schaal zouden berekeningen op vakniveau kunnen worden uitgevoerd. De te volgen aanpak is overeenkomstig de bewerkingen op raai-niveau:

1. Bereken het aangebrachte suppletievolume. Hieruit volgt de potentiële toename van het MKL-zandvolume:  $V_{pot}$ .
2. Bereken de veranderingen in het zandvolume – cumulatief ten opzichte van het jaar voorafgaande aan de suppletie – in de MKL-rekenshijf. Dit geeft een volume in het jaar  $\langle n \rangle$  na aanleg ter grootte van  $V_{\langle n \rangle}$ .
3. De effectiviteit volgt nu uit het quotiënt  $V_{\langle n \rangle} / V_{pot}$  (\*100%).

De bewerkingen op vakniveau vereisen bodembestanden die tot en met de duinvoet doorlopen. Helaas bleek dat de ons ter beschikking gestelde bodembestanden niet altijd tot en met de duinvoet doorliepen. Ook in de Jarkus-bestanden (niet op raainiveau, maar geïnterpoleerd tot vaklodingen), was niet altijd de koppeling meegenomen met de vliegtuigmetingen van het strand. Sinds 2000 wordt niet meer ieder jaar het strand ingemeten, zodat er hiaten in de databestanden ontstaan. Dit is een onwenselijke situatie, zeker als er slechts enkele jaren beschikbaar zijn voor het uitvoeren van de evaluaties.

Alleen voor de situatie 2 jaar na de vooroeversuppletie was een volledige dataset beschikbaar. Daar is de bovenstaande rekenmethodiek voor toegepast. Om te kunnen corrigeren voor een autonome trend is de verandering in het MKL-zandvolume berekend over de periode 1999-2000 (de meest recente, gevulde databestanden). Daaruit komt het volgende beeld naar voren:

- Suppletievak (van 11,08 km tot 14,01 km): afname met 40.000 m<sup>3</sup>/j;
- Vak "zuid" (van 14,01 km tot 14,83 km): afname met 70.000 m<sup>3</sup>/j;
- Vak "noord" (van 11,08 km tot 10,00 km): toename met 20.000 m<sup>3</sup>/j.

De resultaten van de berekeningen staan samengevat in tabel 3.5. Het suppletievolume is 1,15 Mm<sup>3</sup>.

Jaar na suppletie	Verandering MKL- zandvolume (Mm <sup>3</sup> )				Effectiviteit suppletievak	Effectiviteit Totaal
	Ongecorrigeerd					
	Noord	suppletievak	zuid	totaal		
2	-0,07	0,11	-0,03	0,02	10%	1%
3	0,05	0,65	0,02	0,72	57%	63%
	Gecorrigeerd (met trend 1999-2000)					
2	-0,11	0,19	0,11	0,18	16%	16%
3	-0,02	0,76	0,23	0,98	66%	85%

Tabel 3.5 effectiviteit op vakniveau twee en drie jaar na de suppletie

De berekende effectiviteit drie jaar na de suppletie is vertekend door de aanleg van nieuwe suppleties in 2003 die deels ook plaatsvonden in de vakken Noord en Zuid.

De effectiviteit van de 2001-suppletie blijkt op vakniveau na twee jaar slechts 10 % te zijn. Gecorrigeerd voor de trend uit 1999-2000 is dat 16%, hetgeen nog steeds een laag percentage is. De effectiviteit van de suppletie op een groter kustvak (dus inclusief de twee aangrenzende kustvakken) is nog kleiner (zie tabel 3.5). Na twee jaar is in het totale kustvak nauwelijks meer een absolute toename van het MKL-zandvolume (+1%). Dat verandert pas in het derde jaar na aanleg, maar daar zit het effect van de 2003

suppleties bij in. Geconcludeerd kan worden dat de 2001 vooroeversuppletie van Callantsoog in termen van MKL-zandvolume weinig effectief is geweest.

### 3.3 Suppletie Molengat 2003

#### 3.3.1 Typering van het kustvak

De kust van ZW-Texel en het Molengat maken onderdeel uit van een groter morfologisch systeem: het Zeegat van Texel. Elias (2003) heeft naar de verschillende tijd- en ruimteschalen in dit gebied gekeken. Voor de buitendelta concludeert hij dat de gebieden ten noorden en ten zuiden van de Noorderhaaks als aparte deelsystemen mogen worden beschouwd. De bijbehorende tijdschaal bedraagt decennia tot een eeuw. Omdat suppleties in het kader van kustlijnhandhaving zich richten op een termijn van jaren, kunnen we in onze morfologische evaluatie en analyse volstaan met het gebied ten noorden van de Noorderhaaks.

Ten noorden van de Noorderhaaks strekt zich een langgerekte ondiepte in noordwaartse richting uit. Karakteristieke diepten zijn NAP – 4m tot NAP – 6m. Deze ondiepte, die soms wordt aangeduid als de "noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks", flankeert het langs de kust gelegen getijgeul "Molengat".

Het Molengat loopt vlak onder de kust en heeft een overwegend NNW-ZZO geulas oriëntatie. De maximale diepte bedraagt circa NAP –21 m; de lengte bedraagt circa 6 km. Een karakteristieke maat voor de breedte (gemeten tussen de tegenoverliggende NAP –5 m dieptelijnen) is 600 m. Het getijvolume door het Molengat bedraagt ruim 200 miljoen m<sup>3</sup> (Steijn, 2003).

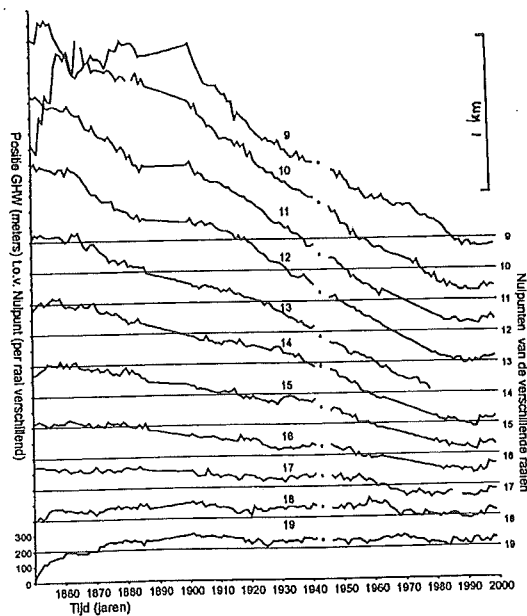
Het Molengat is weliswaar betond, maar de meeste schepen, voornamelijk visserskotters, gebruiken de vaarweg niet meer. Er wordt geen minimale vaardiepte onderhouden. Aan de noordkant van de geul ligt een drempel, min of meer ter hoogte van RSP 9,5 – RSP 10,5 km. De diepte is hier ongeveer NAP –7 m.

#### De zuidwestkust van Texel

Tot de zuidwestkust van Texel wordt hier gerekend het kustvak tussen RSP 9 km en RSP 18 km. De strandvlakte De Hors (ten zuiden van RSP 9 km), hoort hier dus niet bij. Dit komt mede omdat voor de strandvlakte geen BKL is vastgesteld en hier dus geen kustlijnhandavingsbeleid van toepassing is.

Voor de kust van Texel ligt een brekerbank die zuidwaarts doorloopt tot ongeveer RSP 13 km. Uit Jarkus-gegevens blijkt dat deze brekerbank in de jaren zestig en zeventig veel verder naar het zuiden toe doorliep (ongeveer tot RSP 10,5 km). Sinds halverwege de jaren tachtig veranderde het golfklimaat langs de kust van ZW-Texel ten gevolge van het noordwaarts uitbouwen van de Noorderhaaks (dat weer een reactie was op het veranderende geulenpatroon op de buitendelta, met name het Westgat). Mogelijk is dit de oorzaak geweest voor het naderhand verdwijnen van de brekerbank in het kustvak RSP 10,5 km – RSP 13 km.

Langs de zuidwestkust van Texel zijn strandhoofden aanwezig op een onderlinge afstand van ongeveer 500 meter. Deze zijn over een periode van enkele tientallen jaren aangelegd, waarbij men van noord naar zuid uitbouwde. Het meest zuidelijke strandhoofd ligt ter hoogte van RSP 9 km (aangelegd in de jaren tachtig – exact jaartal bij ons onbekend).



Figuur 3.25 Bliksemgrafieken van de GHW-lijn van zuidwest Texel

Een bondige beschrijving van de erosie van de kustlijn van zuidwest Texel wordt gegeven in Cleveringa (2001). Sinds eind negentiende eeuw is de achteruitgang van de GHW-lijn van zuidwest Texel erg groot. Dit wordt geïllustreerd door de bliksemgrafieken in figuur 3.25. Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat de positie van de GHW-lijn ter hoogte van RSP 9 tot en met 12 km circa 1300 meter (!) landwaarts is opgeschoven. Over een periode van ongeveer 130 jaar geeft dit een gemiddelde kustachteruitgang van 10 m/j.

### 3.3.2 Recente erosiegeschiedenis

#### Suppleties zuidwestkust van Texel

Na de eerste Kustnota (1991) is de kustlijnachteruitgang bestreden met suppleties. Tabel 3.6 geeft hiervan de details voor de zuidwestkust van Texel (voor het gebied ongeveer tussen RSP 9 km en RSP 18 km). In "vet" staat de suppletie aangegeven die hier wordt onderzocht.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1993	Strandsuppletie	12,10 – 18,13	2.245.000	372
1994	Strandsuppletie	9,30 – 12,10	761.000	271
1997	Strandsuppletie	10,38 – 11,43	340.000	324
2000	Strandsuppletie	10,01 – 11,90	357.000	189
2000	Strandsuppletie	12,98 – 16,44	701.000	203
<b>2003</b>	<b>Geulwandsuppletie</b>	<b>9,00 – 11,48</b>	<b>1.213.000</b>	<b>490</b>

Tabel 3.6 Overzicht uitgevoerde suppleties zuidwest Texel

### **“Time stacks”**

In de figuren 3.26 tot en met 3.28 staan de time stacks gegeven voor de raaien 9,00 km 10,53 km (ongeveer in het midden van de vooroever-suppletie) en 12,10 km (ongeveer 1 km ten noorden van de vooroever-suppletie). In deze figuren is tevens de positie van de BKL aangegeven en de in de tijd variërende positie van de MKL.

In het kustprofiel voor 2003 (figuur 3.27) is de vooroever-suppletie zichtbaar als de “bult” in het profiel op circa 400 m van de RSP-lijn. Tevens is te zien dat op deze locatie van oudsher geen brekerbanken voorkomen. Er zijn geen belangrijke profielvariaties in de tijd te herkennen.

Verder uit de kust komt wel een ondiepte naderbij (niet zichtbaar in deze time stacks). Dat is de ondiepte die wordt aangeduid als de noordelijke uitlopers van de Noorderhaaks. De landwaartse migratie van deze ondiepte wordt als belangrijke oorzaak gezien voor de erosie in het kustvak (Steijn, 2004).

Uit de profielen in figuur 3.28 is een zeewaartse bankmigratie te herkennen. In de periode 1996 – 2004 schuift de kruin van de bank hier 200 m zeewaarts op.

### **Verloop MKL-posities**

In de figuren 3.29 tot en met 3.31 staan de door ons berekende posities van de MKL voor Jarkus-raaien: 9,00 km, 10,53 km en 12,10 km. In deze figuren is aanvullende informatie opgenomen over de positie van de TKL (de dichte “ruitjes”), de BKL (horizontale streep) en de uitgevoerde suppleties (de verticale strepen). Opgemerkt wordt dat in deze figuren ook de gegevens van de Jarkus-metingen uit 2005 zijn gebruikt.

De natuurlijke neiging tot kustachteruitgang is goed te zien in deze figuren. In de periode 1965 – 1990 is de kust ter hoogte van RSP 9 km met ongeveer 300 meter landwaarts opgeschoven. In deze periode zijn strandhoofden aangelegd om de achteruitgang af te remmen.

Ook ter hoogte van RSP 12 km is deze achteruitgang goed te zien (figuur 3.31). Alleen in het tussenliggende kustvak (ongeveer van RSP 10 km tot RSP 11 km) is de kustachteruitgang niet goed te zien in de MKL-plots. Dat is mede het gevolg van de uitgevoerde suppleties.

Wat tevens opvalt is dat de positie van de MKL volgens de laatste Jarkus-opnames (2004 en 2005) op sommige locaties een sprong zeewaarts maakt (bijvoorbeeld bij RSP 9 km: zie figuur 3.26). Zoals later zal blijken is dit het gevolg van de aangebrachte vooroever-suppletie.

### **3.3.3 Beschrijving van de te evalueren suppletie**

In 2003 is voor de zuidwestkust van Texel in het noordelijk deel van het Molengat een geulwandsuppletie aangebracht met de volgende karakteristieken:

Locatie	Tussen RSP 9 km en RSP 11,48 km
Hoeveelheid	1,21 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 1,04 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 480 m <sup>3</sup> /m (op basis van beuninhoud)
Aanlegdiepte	Diepte-zone van NAP -3 m tot NAP -6 m is op NAP -3 m gebracht
Zand	Grof schelphoudend zand D <sub>50</sub> = 450 µm
Wingebied	Noordzee, L17A
Uitvoering	Van februari 2003 – augustus 2003
Strandhoofden	Totaal 8 in kustlangs traject; koppenlijn op NAP -2 m; afstand tot suppletie orde 30 – 80 m.

Tabel 3.7 Karakteristieken van de suppletie Molengat 2003

Het materiaal is met sleepopperzuigers aangevoerd en ter plekke gedeeltelijk geklapt en grotendeels gerainbowed.

De hoeveelheden in tabel 3.7 zijn gebaseerd op metingen in het beun van de desbetreffende hoppers. Dit wijkt enigszins af van het zandvolume dat volgt uit het verschil tussen inpeiling en uitpeiling. Dat geeft namelijk een suppletievolume van 1,04 Mm<sup>3</sup> uit (dat is 86 % van het aangevoerde volume). Dit verschil wordt veroorzaakt door mogelijk zandverlies tijdens de uitvoeringsfase en inklinking van het zand.

De zandwinlocatie was telkens gebied L17A. Het suppletiezand was relatief grof (D<sub>50</sub> orde 400 – 500 µm) en schelphoudend.

De suppletie is vanuit het midden begonnen. Eerst werd het hoogste gedeelte van het profiel via rainbowen gesuppleerd. Op de diepere stortvakken werd geklapt. In enkele van de stortvakken (elk 50 bij 50 m groot) waren bunkers of scheepswrakken aanwezig. Sommige bunkers steken nog enkele decimeters boven de zeebodem uit, waardoor ze hinderlijk kunnen zijn voor de bewegingen van de sleepopper. Het oorspronkelijke suppletieschema is aangepast omdat ter hoogte van RSP 11,5 km (bij strandhoofd nummer 5) de aanwezigheid van bunkers, het veilig manoeuvreren van de hopper bemoeilijkte.

Een eerste evaluatie van deze suppletie is beschreven in Steijn (2004). Aan het eind van deze paragraaf (3.3.9) wordt op de daarin getrokken conclusies teruggekomen.

### 3.3.4 Beschikbare lodingen

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de beschikbare vaklodingen. Tevens is gebruik gemaakt van het volledige Jarkusbestand.

datum	soort meting	bestandsnaam
08-01-03	Monitoring	zw200301
26-03-03	JARKUS	zw03
04-09-03	Monitoring	zw200309
11-03-04	Monitoring	zw200403
03-09-04	Monitoring	zw200409

Tabel 3.8 Overzicht van beschikbare lodingen – zuidwest Texel

### 3.3.5 Sedimentatie - erosie

Figuur 3.32 toont de bodemgeometrie vlak voor de suppletie. De suppletie is uitgevoerd binnen de contouren van vak 8. Het grote gele "vlak" links in de figuur is de noordelijke uitloper van de Noorderhaaks.

De bodemveranderingen in de eerste winterperiode na de suppletie (september 2003 – maart 2004) zijn te zien in de verschilkaart van figuur 3.33. Figuur 3.34 laat dit zien voor de daaropvolgende eerste zomerperiode (maart 2004 – september 2004).

Het volgende kan uit deze figuren worden afgeleid:

- In het suppletievak (vak 8) overheerst erosie.
- De bodemveranderingen zijn in de winter sterker dan in de zomer. In de winter is dit in de orde van 10 cm/maand (verticaal; in omgeving suppletievak); in de zomer orde enkele cm's per maand.
- In de kustvakken 9 en 10 lijkt ook erosie te overheersen. Er zijn weliswaar gebieden waar sedimentatie is opgetreden, maar langs de waterlijn overheerst vrijwel overal erosie.
- Het noordelijk drempelgebied van het Molengat (vak 7, 4 en 1) wordt ondieper. Dit proces is al jaren gaande en heeft te maken met grootschalige veranderingen in het banken en geulenstelsel ten noorden van de Noorderhaaks.

### 3.3.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

#### De positie van enkele dieptelijnen

In de bovenste grafiek van figuur 3.35 staat het verloop van de, over het suppletievak gemiddelde, positie van MLW (NAP -0,88 m). In de periode 1965 – 2003 is de positie van deze dieptelijn met ruim 300 m landwaarts opgeschoven. De grootste verschuiving trad op in de periode tot 1990. Daarna bleef de landwaartse verplaatsing van de MLW-lijn beperkt tot enkele tientallen meters. Dit is te danken aan de aanleg van de verschillende strandhoofden in dit kustvak.

Het aantal metingen na 2003 is beperkt. Er lijkt sprake te zijn van een geringe (gemiddelde) zeewaartse verplaatsing van de MLW-lijn, maar deze valt binnen de grenzen van de jaarlijkse variaties over de periode na 1990 (zie figuur 3.35). In de kustvakken direct ten noorden en direct ten zuiden van het suppletievak is dit niet wezenlijk anders (hier niet getoond).

#### Verandering van strandbreedte

De veranderingen in de natte strandbreedte (dat is de afstand tussen de positie van de duinvoet en MLW) staan in de middelste grafiek in figuur 3.35.

De jaarlijkse variatie kan oplopen tot meer dan 10 m per jaar.

In de periode 1994-2003 is de strandbreedte met 60 m afgenomen. Na 2003 (het jaar van uitvoering van de vooroeversuppletie) is de gemiddelde strandbreedte weer met 40 m toegenomen. Dit lijkt een eenmalige sprong voorwaarts te zijn geweest, omdat volgens de Jarkus-gegevens uit 2005 de strandbreedte weer iets afneemt.

#### Verandering van zandvolumes

De onderste grafiek in figuur 3.35 laat de veranderingen zien in het, over het suppletievak gemiddelde, zand-“volume” tussen de dieptelijnen NAP +3 m en NAP -7 m. De dimensie is [m<sup>2</sup>], omdat gedeeld is door de lengte van het suppletievak. In het vervolg wordt desondanks gesproken over het zandvolume.

De grafiek laat zien dat sinds 1980 sprake is van een geleidelijke afname van het zandvolume met bijna 60 m<sup>2</sup>/j (namelijk 1400 m<sup>3</sup>/m in 24 jaar tijd). Uit de gegevens van tabel 3.6 blijkt dat in de periode 1994-2000 in totaal 784 m<sup>3</sup>/m suppletiezand in (ongeveer) het suppletievak is toegevoegd. Dit betekent dat er per saldo bijna 2200



$m^3/m$  zand uit het kustvak is afgevoerd. Na 2003 neemt het gemiddelde zandvolume met bijna  $400 m^3/m$  toe. Dit is te vermoedelijk het directe gevolg van de geulwandsuppletie ( $490 m^3/m$ , zie tabel 3.6).

Het zandvolume in de beide aangrenzende kustvakken (hier niet getoond) neemt niet of nauwelijks toe in de eerste jaar na de suppletie. Dit kan het gevolg zijn van de zeer korte periode. Het zal enige tijd (jaren) vergen voordat het zand uit de suppletie in de aangrenzende kustvakken terecht komt.

### 3.3.7 Profielveranderingen

In de figuren 3.36 en 3.37 staan de kustprofielen ter hoogte van de raaien RSP 9,15 km en RSP 11,08 km. Er is goed te zien hoe op de ondiepe vlakke vooroever die na de suppletie aanwezig was, in de eerste winter na de suppletie een berm wordt opgeworpen. In de daaropvolgende zomer verandert er niet veel aan de vorm en positie van deze berm. Volgens mondelinge opgave van medewerkers van Rijkswaterstaat - Dienstkring Texel, is in de afgelopen winterperiode (2004 / 2005) weer een verdere landwaartse verplaatsing van de berm waargenomen.

Ondanks dat de profielveranderingen in de zomerperiode van 2004 niet erg groot waren, is in die periode wel de strandbreedte afgenomen (in detail te zien in figuur 3.36). Ten noorden van RSP 10 km was dit veel minder of helemaal niet het geval. Ter plaatse van RSP 11,08 km bijvoorbeeld is de strandbreedte toegenomen (boven NAP ligt de blauwe lijn "boven" de groene lijn in figuur 3.33).

Op een wat grotere tijd- en ruimtelijke schaal passen de meest recente profielontwikkelingen bij hetgeen onder andere in Steijn (2004) staat beschreven. Zie ter illustratie de profielen in figuur 3.38 (RSP 11,08 km).

### 3.3.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

Op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 3.2.8, staan in de figuren 3.39 en 3.40 de berekende effectiviteitslijnen voor het eerste en het tweede jaar na de suppletie. De onderste figuren laten zien hoe de suppletie in langsrichting van het suppletievak verdeeld is. De suppletie-intensiteit blijkt redelijk gelijkmatig verdeeld te zijn over het suppletievak. Alleen in de zone tussen RSP 11,2 km en RSP 11,5 km is minder gesuppleerd. De aanwezigheid van bunkers maakte het hier onmogelijk om met de hopper dicht onder de kust te komen.

Over het algemeen blijkt de effectiviteit van de suppletie vrij groot te zijn: 50% in het eerste jaar na aanleg. De verklaring hiervoor is dat een groot deel van het suppletiezand reeds tijdens de aanleg in de MKL-rekenschip is aangebracht.

De pieken in figuur 3.35 aan de beide kopse uiteinden van het suppletievak (vooral die in het noorden) worden veroorzaakt door de relatief kleine suppletie-intensiteit. Een geringe (absolute) toename van het zandvolume in de MKL-zone geeft dan ten opzichte van een klein referentievolumen al snel een groot percentage.

De gecorrigeerde effectiviteitslijn ligt overal boven de ongecorrigeerde effectiviteitslijn. Dit betekent dat overal volgens de Trend2003 een negatieve trend aanwezig was (en bij de correctie is gebruikt).

Ter plaatse van RSP 10,5 km is sprake van een negatieve effectiviteit. Zelfs als gecorrigeerd wordt met de Trend2003, resteert een negatief percentage. Dit betekent dat op deze locatie de suppletie "averechts" heeft gewerkt: er zit minder zand in de BKL-rekenschijf dan op basis van de natuurlijke trend zou kunnen worden verwacht. Omdat het hier slechts één raai betreft, is de verwachting dat als gevolg van kust-langse uitvlakking, deze "dip" in het tweede jaar na aanleg zal zijn verdwenen.

#### Effectiviteitslijnen

Voor de raaien 9,30, 10,01, 10,53 en 11,08 worden de berekende effectiviteitslijnen gegeven in figuur 3.41. Omdat er maar twee "punten" zijn valt hier niet goed een bepaalde trend uit te bepalen.

### 3.3.9 Vergelijking met conclusies uit eerdere evaluatie

In (Steijn, 2004) worden de resultaten beschreven van een eerste verkenning van het morfologisch gedrag van de suppletie in het Molengat. Het onderzoek is gebaseerd op gedetailleerde peilingen die vlak voor en direct na uitvoering van de suppletie zijn gedaan, als mede op één peiling ruim een half jaar na oplevering. Voorts is gebruik gemaakt van beschikbare gegevens en gebiedskennis en zijn verkennende berekeningen gemaakt met een morfologisch model van het Zeegat van Texel.

Een belangrijke eerdere constatering was dat de suppletie in het golf-gedomineerde gebied ligt. Het morfologisch gedrag past meer bij dat van een vooroeveroppletie dan bij een geulwandsuppletie. De effecten op het grootschalige patroon van geulen en platen op de buitendelta van het zeegat bleek nihil te zijn. Er is geen reden om deze laatste conclusie te herzien en er zijn ook geen aanwijzingen gevonden dat dit op termijn anders zou uitpakken. De morfologische ontwikkelingen spelen zich af op dezelfde ruimtelijke schaal als de suppletie zelf.

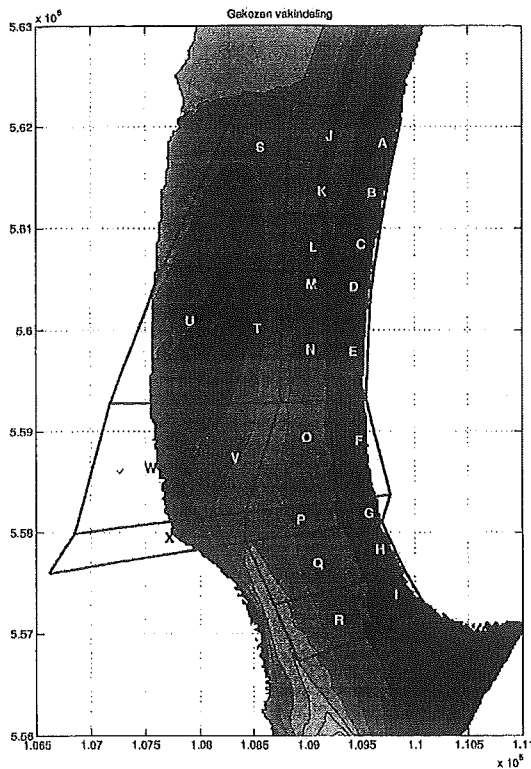
Ten opzichte van de eerder uitgevoerde evaluatie zijn de volgende extra gegevens beschikbaar: Jarkus 2005 en de vaklodging van september 2004.

In Steijn (2004) waren een aantal kuberingsvakken gekozen. De vakken D tot en met G (zie onderstaande figuur) liggen aan de landwaartse kant van de aangebrachte suppletie. De ondergrens van deze vakken ligt ongeveer op de ondergrens van de BKL-zone van vlak vòòr de suppletie (NAP -4,5 m). De grenzen van deze "BKL-vakken" zijn constant gehouden en de veranderingen in het zandvolume zijn berekend (verticale kubering; zie paragraaf 2.3).

Voor de BKL-vakken D tot en met F is een duidelijke trend te zien gaande van noord (D) naar zuid (G). Tabel 3.9 is gebaseerd op tabel 3.6 uit Steijn (2004), maar bevat aanvullend de bewerkte gegevens van de peiling uit september 2004.

In het vak D neemt het zandvolume na de geulwandsuppletie voor beide lodingsintervallen in het eerste jaar toe. Daarna neemt het zandvolume in de periode mrt04 – sept04 weer iets af.

Het zand van de suppletie kwam snel ten goede aan de BKL-zone, waarna de doorgaande eroderende trend weer de overhand nam. Deze afnemende tendens is iets groter dan eerder was voorspeld (figuur 5.5 in Steijn, 2004).



Vak	Vaklengte (m)	Gemiddelde volumeverandering (m <sup>3</sup> /m)			
		Feb03 – aug03	Aug03-mrt04	Mrt04-sept04	Feb03-sept04
D	260	119	35	-22	132
E	1000	45	-14	35	65
F	1000	9	-62	29	-24
G	250	101	-32	-62	7

Tabel 3.9 Vakgemiddelde volumeverandering "BKL-vakken" D - G

In vak E is de toename tijdens de opspuitwerkzaamheden 45 m<sup>3</sup>/m waarna in de eerste winterperiode een afname van 14 m<sup>3</sup>/m optrad. In de daar op volgende zomerperiode echter nam het zandvolume weer toe. Dit laatste was niet verwacht. Wel was gerekend op meer zandtoevoer vanuit de suppletie, maar verwacht werd dat deze zandtoevoer (iets) kleiner zou blijven dan de autonome erosieve trend. Het is overigens niet uit te sluiten dat in de winter van 2004 / 2005 (waar geen gegevens voor beschikbaar waren), wederom sprake is geweest van zandverlies uit vak E.

Vervolgens blijkt in vak F slechts een kleine toename van het zandvolume tijdens de periode van uitvoering van de geulwandsuppletie (gemiddeld 9 m<sup>3</sup>/m). Dit wordt gevolgd door een zeer sterke afname van het zandvolume (62 m<sup>3</sup>/m) in de eerste winterperiode. Daarna is weer sprake van een netto aanvoer van zand (ongeveer dezelfde ontwikkeling als bij vak E).

In vak G tenslotte, is het zandverlies sterk toegenomen. De strandbreedte is erg afgenomen in de omgeving van het meest zuidelijke strandhoofd (nabij RSP 9 km). Dit is nog sterker dan waarop in Steijn (2004) werd geanticiperd.

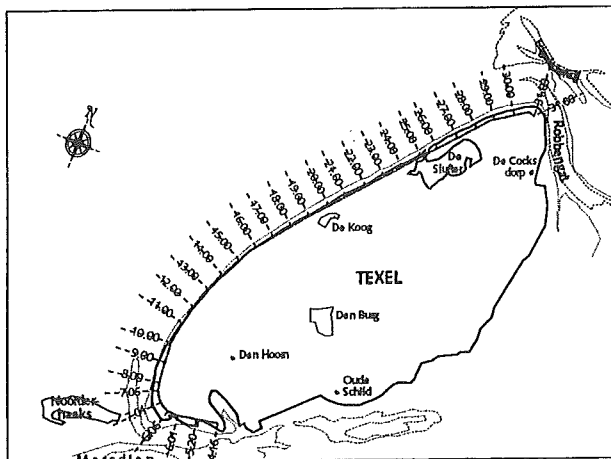
Hoewel op kleiner schaalniveau (tientallen meters) de ontwikkelingen afwijken van hetgeen eerder werd voorspeld, zijn er op basis van de nieuwe gegevens geen afwijkende conclusies te trekken. Het zand uit de geulwandsuppletie heeft weliswaar

een kustwaartse migratie gemaakt, maar per saldo heeft dat niet tot een toename van het zandvolume geleid. Althans volgens de methode van de verticale kubering. Uit Steijn (2004) kwam op basis daarvan een tamelijk negatief beeld naar voren over de effectiviteit van de suppletie. Uitgaande van een horizontale kubering blijkt een ander beeld: veel van het aangebrachte zand doet direct mee aan de berekening van de MKL. De positie van de MKL schuift dus wel degelijk zeewaarts op, waarmee de suppletie in termen van kustlijnhandhaving juist als een succes moet worden gezien. Zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 2 hangt het er dus maar van af waar de suppletie precies op wordt geëvalueerd. In dit kader is het aanbevelenswaardig om voorafgaande aan iedere suppletie een ontwerpplan te maken, inclusief een beschrijving van de te evalueren parameters.

### 3.4 Suppletie De Koog 2002

#### 3.4.1 Typering van het kustvak

Rond 1800 had Texel een min of meer rechte kustlijn. De huidige kust van Texel heeft een bolle vorm, waarbij de "bolling" het grootst is aan de noord- en zuidzijde (zie onderstaande figuur 3.42). Dit veroorzaakt een gradiënt in het golfgedreven langtransport waardoor extra erosie optreedt. Deze erosie wordt nog versterkt door de aantrekkende en dominante vloedstroom langs beide eilandkoppen. Het centrale kustvak voor De Koog, is het minst gekromd en is ook het minst geërodeerd. De kustlijn is ononderbroken met uitzondering van de Slufter op RSP 30,5 km.



Figuur 3.42 De kust van Texel (uit: Groenendijk e.a., 1995)

De kustlijnontwikkeling van het centrale kustvak van Texel kan worden opgesplitst in een lineaire (erosieve) en een fluctuerende trend. De lineaire trend wordt volgens Rakhorst (1989) onder andere veroorzaakt door de effecten van zeespiegelstijging en bodemdaling, met name in de Waddenzee. De fluctuerende trend in het kustlijnverloop wordt veroorzaakt door verhelings van platen met een periode van meer dan een eeuw. De laatste verhelings vond plaats aan het begin van de twintigste eeuw (plaat Onrust). Deze leidde tijdelijk (orde 20 tot 30 jaar) tot enige kustvoortgang, maar dit sloeg daarna om in een kustachteruitgang die tot op heden voortduurt.

Ten noorden van RSP 17 km komen geen strandhoofden voor.

### 3.4.2 Recente erosiegeschiedenis

#### Suppleties De Koog

Tabel 3.10 geeft een overzicht van de suppleties die voor het centrale deel van de kust van Texel zijn uitgevoerd. De hoeveelheden zijn vermoedelijk de hoeveelheden zoals gemeten in het beun van het schip. Deze veronderstelling is gebaseerd op het feit dat de volumes zijn overgenomen uit een tabel (toegeleverd door Rijkswaterstaat) die voor de onderwatersuppletie van ZW-Texel een volume van 1,2 Mm<sup>3</sup> aangaf (waar uit nadere analyse bleek dat er 0,98 Mm<sup>3</sup> in het profiel was terug te vinden). De te onderzoeken vooroeversuppletie is in deze tabel vet aangegeven.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1984	Strandsuppletie	18,13 – 24,00	3.021.000	515
1991	Strandsuppletie	18,13 – 23,40	2.009.000	381
1993	Strandsuppletie	12,10 – 18,13	2.245.000	372
1996	Strandsuppletie	15,26 – 18,73	1.491.000	430
1996	Strandsuppletie	22,11 – 23,40	493.000	382
1997	Strandsuppletie	18,78 – 20,91	659.000	309
2000	Strandsuppletie	17,03 – 18,33	245.000	189
<b>2002</b>	<b>Vooroeversuppletie</b>	<b>17,00 – 23,00</b>	<b>5.397.000</b>	<b>899</b>
2005	Vooroeversuppletie	14,00 – 17,50	2.600.000	743

Tabel 3.10 Overzicht uitgevoerde suppleties omgeving De Koog

De "ongestoorde" evaluatieperiode bedraagt hier dus drie jaar. Dat is meer dan voor Callantsoog en ZW-Texel (beide 2 jaar), maar nog steeds erg kort voor een goede evaluatie.

#### "Time stacks"

In de figuren 3.43 tot en met 3.45 staan de time stacks voor de volgende Jarkus raaien:

- RSP 16,64 km (direct ten zuiden van de vooroeversuppletie),
- RSP 20,11 km (ongeveer in het midden) en
- RSP 23,40 km (direct ten noorden van de vooroeversuppletie).

De geselecteerde figuren geven een representatief beeld voor het hele kustvak. De figuren tonen de beweeglijkheid van de brekerbank in de dwarsprofielen. Zo laat figuur 3.44 zien hoe de kruin van de brekerbank, in de periode 1989 – 1995 eerst met circa 250 m zeewaarts opschuift en in de periode tot 2004 weer met dezelfde afstand landwaarts terug beweegt. De beweeglijkheid van de brekerbanken is niet uniform in plaats en tijd.

#### Verloop MKL-posities

Voor de bovenstaande raaien zijn in de figuren 3.46 tot en met 3.48 de berekende posities van de MKL gegeven (inclusief de posities van BKL, TKL en de ter plaatse gerealiseerde suppleties).

Over het algemeen blijken de berekende MKL-posities van jaar tot jaar te variëren met maximaal orde 50 m. Deze jaarlijkse variaties werd kleiner na het herhaaldelijk uitvoeren van suppleties (na 1990).

Uit de figuren 3.47 en 3.48 is op te maken dat er van nature een fluctuerende trend in de positie van de MKL plaats had. Een vergelijkbaar beeld werd gevonden voor de andere Jarkus-raaien. Deze variatie in de tijd houdt mogelijk verband met de kust-langse migratie van de schuin op de kust staande brekerbanken. De daarbij horende tijdschaal is van dezelfde orde van grootte (jaren).

Op enkele posities langs de kust is in 2001 de BKL aangepast. Voor raai 20,11 km bijvoorbeeld was dat een landwaartse verschuiving met circa 12 m (zie figuur 3.47).

Het directe effect van de uitgevoerde suppleties is terug te zien in de berekende MKL-posities. Telkens na een gerealiseerde strandsuppletie (de verticale strepen in de drie gegeven figuren) schuift de MKL met enkele tientallen meters zeewaarts op. Een dergelijke sprong in de MKL-positie is niet opgetreden direct na de vooroeversuppletie uit 2002 (figuur 3.47). Maar dat komt omdat het grootste deel van het suppletiezand niet direct na aanleg in de BKL-rekenschip zit.

### 3.4.3 Beschrijving van de te evalueren suppletie

De te evalueren suppletie heeft de volgende karakteristieken:

Locatie	Tussen RSP 17 km en RSP 23 km
Hoeveelheid	5,40 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 4,77 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 795 m <sup>3</sup> /m (op basis van gepeild volume)
Aanlegdiepte	Diepte-zone van NAP -6 m tot NAP -9 m is globaal op NAP -5 m gebracht
Zand	Onbekend
Wingebied	Onbekend
Uitvoering	Van maart tot en met november 2002

Tabel 3.11 Karakteristieken van de suppletie De Koog 2002

Het materiaal is met sleepopperzuigers aangevoerd en via rainbowen en klappen ter plaatse aangebracht. De samenstelling van het suppletiezand is ons niet bekend, evenmin of er zich tijdens de uitvoering bijzonderheden hebben voorgedaan.

Het aanwezige suppletievolume is 88 % van de aangevoerde hoeveelheid zand. Dit is een gewoonlijk percentage.

Er komen in en nabij het suppletiegebied enkele scheepswrakken voor. Het is niet bekend in hoeverre deze wrakken invloed hebben (gehad) op de uitvoering van de vooroeversuppletie en op de morfologische ontwikkeling van de kust.

### 3.4.4 Beschikbare lodingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de beschikbare lodingen:

datum	soort meting	bestandsnaam
28-03-01	JARKUS	kg01
17-02-02	Monitoring	kg200202
30-07-02	JARKUS	kg02
18-12-02	Monitoring	kg200212
27-03-03	Monitoring	kg200303
27-03-03	JARKUS	kg200303
16-10-03	Monitoring	kg200310
05-03-04	Monitoring	tx200403

Tabel 3.12 Overzicht van beschikbare lodingen – Texel De Koog

### 3.4.5 Sedimentatie - erosie

De bodemligging vlak voor de vooroeversuppletie uit 2002 wordt getoond in figuur 3.49. De vooroeversuppletie is uitgevoerd in de vakken 4, 8 en 9. Langs bijna het gehele kustvak ligt een brekerbank voor de kust.

De omvang van de vooroeversuppletie is goed zichtbaar in figuur 3.50. Hierin staat het verschil in bodemligging tussen de "inpeiling" en de "uitpeiling" van de suppletie. Het rood-gekleurde gebied in de vakken 4, 8 en 9 geeft de suppletie weer. De figuur laat ook zien dat er gedurende de aanlegperiode hoofdzakelijk erosie heeft plaatsgevonden in een smalle strook landwaarts van het suppletievak. Direct daar weer achter is een smalle strook verondieping te zien. De langgerekte structuren houden, zoals later uit de profielen duidelijke blijkt) verband met het landwaarts opschuiven van de brekerbank. Het is opvallend dat dit vrij uniform langs het kustvak heeft plaatsgevonden.

Dat het kustvak aan erosie onderhevig was blijkt goed uit de bodemveranderingen van het jaar voorafgaande aan de vooroeversuppletie (zie figuur 3.51). Afgezien van sedimentatie – erosie die verband houdt met de beweging van de brekerbank voor de kust, is het beeld overwegend erosief. Hierbij moet worden aangetekend dat de figuur het resultaat is van het verschil tussen (slechts) twee peilingen. Het is bekend dat soms een peiling onnauwkeurig is, als gevolg van een niet correcte verticale afregeling (onnauwkeuriger dan 20 cm).

In de figuren 3.52 tot en met 3.54 staan de bodemveranderingen van achtereenvolgens: de eerste winterperiode (3,5 maand), de eerste zomerperiode (6,5 maand) en de twee winterperiode (4,5 maand) na aanleg. Zouden we de bodemveranderingen van het eerste jaar na aanleg nemen (figuur 3.52 en figuur 3.53 tezamen), dan volgt daar een minder sterke erosie uit (dan in figuur 3.50). Dit geeft aan dat inderdaad sprake kan zijn van een significante (verticale) onnauwkeurigheid in de resultaten. Het algemene beeld is dat er in de wintermaanden meer gebeurt dan in de zomermaanden (globaal twee tot vier keer zoveel).

De waargenomen bodemveranderingen kenmerken zich door langgerekte structuren, waarbij dwars op de kust verdieping en verondieping elkaar afwisselen. Zeewaarts van de suppletie en ook elders op wat dieper water, zijn de bodemveranderingen kleiner en minder gestructureerd.

### 3.4.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

#### De positie van enkele dieptelijnen

In de bovenste grafiek van figuur 3.55 staat het verloop van de, over het suppletievak gemiddelde, positie van MLW (NAP  $-0,97$  m). In de periode 1965 – 2002 is de positie van deze dieptelijn met circa 40 m landwaarts opgeschoven (bijna 1 m/j). Op deze kleine landwaartse trend zijn grote variaties zichtbaar. Verplaatsingen in de orde van 20 m/j hebben zich voorgedaan. Dit beeld wijkt niet af voor de positie van bijvoorbeeld NAP  $+3$  m (duinvoet) of NAP  $+0,71$  m (MHW).

Na 2002 schuift de positie van de MLW zeewaarts op. De veranderingen vallen echter binnen de variaties die eerder plaatsvonden. In de kustvakken direct ten noorden en direct ten zuiden van het suppletievak is dit niet wezenlijk anders (hier niet getoond).

#### Verandering van strandbreedte

De veranderingen in de natte strandbreedte (dat is de afstand tussen de positie van de NAP  $+3$  m hoogtelijn en MLW) staan in de middelste grafiek in figuur 3.55. Let op dat hier is gemiddeld over het hele betreffende kustvak.

Er is sprake van een afnemende trend van orde 0,3 m/j. De jaarlijkse fluctuaties kunnen oplopen tot meer dan 10 m per jaar. Na 2002 neemt de strandbreedte sterk toe met maximaal bijna 20 m om in de laatste peiling (2005) weer iets af te nemen. De toename van de strandbreedte past echter in het patroon van sterk variabele strandbreedtes over de periode vanaf 1965. Dit geldt niet alleen voor het suppletievak, maar ook voor de kustvakken ten noorden en ten zuiden van het suppletievak.

#### Verandering van zandvolumes

De onderste grafiek in figuur 3.55 laat de veranderingen zien in het, over het suppletievak gemiddelde, zandvolume tussen de dieptelijnen NAP  $+3$  m en NAP  $-7$  m. Er is sprake van een structurele erosie, hoewel de jaarlijkse variaties erg groot zijn. Na 2002 neemt het zandvolume sprongsgewijs toe als gevolg van de uitgevoerde vooroeversuppletie. De toename is bijna  $500 \text{ m}^2$ . Als we NAP  $-8$  m als ondergrens hadden genomen dan was de toename zelfs  $620 \text{ m}^2$  (die figuur is niet opgenomen, omdat het slechts gegevens vanaf 1986 laat zien). Uitgaande van de  $620 \text{ m}^2$  en de een kustvaklengte van 6 km, is hier een zandvolume van  $3,7 \text{ Mm}^3$  mee gemoeid. Omdat het suppletie zelf  $4,77 \text{ Mm}^3$  bedroeg (tabel 3.11), is er dus ongeveer  $1 \text{ Mm}^3$  uit het kustvak afgevoerd.

De onderste grafiek in figuur 3.55 laat verder zien dat direct na 2002 het zandvolume weer geleidelijk afneemt, volgens bijna dezelfde trendlijn als van voor 2002. Dit kan toeval zijn, omdat de meetperiode na 2002 nog maar kort is.

In figuur 3.56a staat het verloop van het zandvolume in de twee aangrenzende kustvakken: een circa 800 m lang kustvak ten zuiden van het suppletievak (RSP 16,04 km tot en met RSP 16,84 km) en een circa 800 m lang kustvak ten noorden ervan (RSP 23,2 km tot en met RSP 24 km). Het betreft het zandvolume tussen NAP  $+3$  m en NAP  $-7$  m. In het noordelijke kustvak is de tendens een afname van het zandvolume van circa  $10 \text{ m}^3/\text{m}$  per jaar, met de kanttekening dat dit zich in veel sterkere mate voordeed in de periode 1985 – 1990. In het zuidelijk kustvak is de afname van het zandvolume veel minder groot. De situatie na 2002 is niet wezenlijk anders: de veranderingen passen in het grotere plaatje.



### Veranderingen in het zandvolume in de MKL-rekenschijf

In figuur 3.56b staan voor vier kustvakken de veranderingen aangegeven in het zandvolume tussen NAP +3 m en de ondergrens van de BKL-zone. De ondergrens verschilt van kustvak tot kustvak maar ligt ongeveer op NAP -5 m. Het zijn de over het kustvak gemiddelde veranderingen (volgens de "fixed boundary" methode). Het directe effect van de vooroeversuppletie op het zandvolume boven ongeveer NAP -5 m is te zien in de beide suppletievakken (de onderste twee grafieken). Daar neemt het zandvolume direct na de suppletie toe. In de beide aangrenzende kustvakken daarentegen neemt het zandvolume na 2002 juist af. Of dit het gevolg is van de aanwezigheid van de suppletie valt niet te zeggen, omdat de veranderingen nog wel passen in het langjarig patroon van variabele zandvolumes.

### 3.4.7 Profielveranderingen

De profielen voor raai RSP 16,64 km (0,5 km ten zuiden van het suppletievak) staan in figuur 3.57. De dynamiek in het kustprofiel lijkt vooral bepaald te worden door de beweeglijkheid van de brekerbanken. In het suppletiejaar 2002 is het zandvolume in de zone tot ongeveer 500 m zeewaarts van de RSP-lijn duidelijk afgenomen (de rode lijn ligt bijna overal onder de zwarte lijn). Dit is ook terug te zien in de landwaartse verplaatsing van de MKL van 2001 naar 2002 in figuur 3.46.

Figuren 3.58 en 3.59 tonen de kustprofielen in het suppletievak voor de raaien RSP 17,93 km (zuidelijk deel suppletievak) en RSP 20,11 km (centraal in het suppletievak). De andere profielen in het suppletievak geven geen wezenlijk ander beeld. De aangebrachte suppletie is duidelijk in de beide figuren te herkennen (op circa 1000 m van de RSP-lijn). Aan de zeewaartse kant van de suppletie wordt in de eerste maanden na aanleg een 1 meter hoge berm opgeworpen. De breedte van de suppletie neemt daarbij af (erosie van de vooroever van het aangebrachte suppletiezand). De hoogte van het circa 100 meter brede "bermpje" blijft vervolgens nagenoeg hetzelfde (NAP -4 m). Het zandvolume van dit "bermpje draagt bij aan het MKL-zandvolume.

De profielontwikkeling tussen het strand en de vooroeversuppletie wordt bepaald door de beweeglijkheid van de aanwezige brekerbank en trog. De brekerbank waar de suppletie feitelijk "tegenaan" was gelegd, schuift in landwaartse richting op. Aanvankelijk schoof hiermee ook de tussen het strand en de brekerbank gelegen trog mee op. Naarmate de horizontale afstand tussen de brekerbank en het strand afnam, werd ook de diepte van de trog kleiner. Ter hoogte van raai 17,93 km is in de opname van mei 2004, deze trog zelfs geheel uit het profiel verdwenen.

Het algemene beeld dat uit alle profielen naar voren komt is dat de reeds aanwezige brekerbank landwaarts verplaatst. De brekerbank en de ervoor gelegen trog, dempen qua amplitude uit naarmate ze dichterbij het strand naderen. Het zandvolume van de vooroeversuppletie neemt weliswaar af, maar de "berm" op de zeewaartse rand van de suppletie, blijft aanwezig.

In figuur 3.60 tenslotte, staan de gemeten kustprofielen voor raai RSP 23,40 km (enkele honderden meters ten noorden van het suppletievak). De brekerbank vertoont een lichte neiging tot zeewaartse migratie, maar groot zijn de profielveranderingen niet. Het is opvallend dat zo dicht bij de vooroeversuppletie het effect op de kustprofielen vrijwel niet waarneembaar is. De beïnvloeding van de kustmorfologie naar het noorden toe lijkt dus klein te zijn.

### 3.4.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

Op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 3.2.8, staan in de figuren 3.61, 3.62 en 3.63 de berekende effectiviteit voor het eerste, het tweede en het derde jaar na de suppletie.

Uit de onderste grafieken blijkt dat de suppletie-intensiteit redelijk gelijkmatig verdeeld is over het suppletievak. Alleen in de zone tussen RSP 18 km en RSP 19,5 km is meer gesuppleerd.

De effectiviteit van de suppletie – in termen van MKL-zandvolume - blijkt vrij gering te zijn. Afgezien van variaties van raai tot raai, blijkt er vrijwel geen zand van de vooroeversuppletie in het eerste jaar na aanleg al bij te dragen aan het MKL-zandvolume. In het derde jaar is dat iets verbeterd en zien we dat de effectiviteit is toegenomen van nihil naar 0 – 20 %. Eén van de oorzaken van deze geringe effectiviteit is het gegeven dat er relatief veel zand is aangebracht. Er moet dan wel een aanzienlijke toename van het MKL-zandvolume optreden, om een hoog percentage te krijgen.

Aan de beide kopse kanten van het suppletievak zien we dat de effectiviteit in het eerste jaar ongeveer 20 % is en dat dit in het tweede jaar verder is toegenomen tot 30 – 50%. Voor een deel kan dit worden toegeschreven aan de lagere suppletie-intensiteit ter plaatse. Immers: als de "potentieel" beschikbare hoeveelheid zand klein is, dan neemt de effectiviteit relatief sneller toe bij een vaste toename van het zandvolume in de MKL-zone. Een gevolg van de gekozen rekenmethode dus (zie kanttekeningen in paragraaf 2.2).

De gecorrigeerde effectiviteit ligt afwisselend boven en onder de ongecorrigeerde effectiviteit. Dit betekent dat de aangehouden "Trend2002" afwisselend een landwaartse en een zeeewaartse trend laat zien. Deze ruimtelijke variatie in de trend houdt vermoedelijk verband met de migratie van de brekerbanken langs de kust. Het over meerdere jaren extrapoleren van een dergelijke trend is niet realistisch, omdat de trends als het ware meebewegen met de migratie van de banken. Omdat in dit onderzoek slechts een periode van drie jaar kan worden overzien, is deze beperking hier vermoedelijk geen probleem.

#### Effectiviteitslijnen

De berekende effectiviteitslijnen voor de raaien 17,93 km, 19,12 km, 20,11 km en 21,11 km staan in figuur 3.64. De vier grafieken tonen de grote variatie in langsrichting van de kust. Om die reden is het verstandiger om naar de lijnen uit de figuren 3.61 tot en met 3.63 te kijken.

## 3.5 Suppletie Vlieland-oost 2001

### 3.5.1 Typering van het kustvak

Net als de andere waddeneilanden is de kustlijnontwikkeling van Vlieland in hoge mate afhankelijk van de morfologische interacties (zanduitwisseling) met de beide aangrenzende zeegaten. In het westen is dat het Eijerlandse Gat; in het oosten Het Vlie.

Kijken we naar de geulontwikkeling in het Vlie door de eeuwen heen, dan valt de aanwezigheid van de getijgeul Zuiderstortemelk op. Deze getijgeul ligt pal onder de oostkust van Vlieland (figuur 3.65). In de 18<sup>e</sup> tot en met 20<sup>e</sup> eeuw trad langs de hele Noordzeekust van Vlieland erosie op (hetgeen onder andere leidde tot het verdwijnen van het dorp West-Vlieland). Langs de hele kust van Vlieland (met uitzondering van de Vliehors) zijn mede daarom vele strandhoofden aangelegd.

De interactie tussen de kust van Oost-Vlieland en de buitendelta van Het Vlie, wordt bepaald door de aanwezigheid van de Zuiderstortemelk. De strandhoofden hebben de kust gefixeerd. In de periode na 1988 zijn in de kustprofielen ter hoogte van RSP 46 km de contouren zichtbaar van een mogelijk nieuwe getijgeul, vlak onder de kust van Oost-Vlieland. Deze geul is vanuit het westen gaan insnoeren in de rand van de buitendelta en wordt door middel van een zandrug gescheiden van de Zuiderstortemelk zelf. In paragraaf 3.5.7 wordt hier op teruggekomen.

Omdat de tijdschaal die gemeoid is met geulaanpassingen in het Vlie tamelijk groot is (meerdere tientallen jaren), zullen naar verwachting ook de morfologische veranderingen in en rondom het Zuiderstortemelk lang duren. Dit betekent dat ook de mogelijke vorming van een nieuwe vloodschaar voor de oostkust van Vlieland (het "Nieuwe Zuiderstortemelk") vermoedelijk wel lang zal duren. Tevens betekent dit dat de evaluatie van de vooroeversuppletie geen rekening hoeft te houden met deze autonome ontwikkelingen.

### 3.5.2 Recente erosiegeschiedenis

#### Suppleties zuidwestkust van Vlieland-Oost

Tabel 3.13 geeft een overzicht van de in dit kustvak uitgevoerde suppleties. Ten opzichte van de voorgaande kustvakken is er hier relatief weinig gesuppleerd. De aanwezigheid van de strandhoofden hebben kennelijk voldoende effect gehad op de van oudsher sterke kustachteruitgang. De in deze studie te evalueren vooroeversuppletie is in de tabel vet aangegeven.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1997	Strandsuppletie	46,72 – 48,44	280.000	163
2001	Strandsuppletie	48,90 – 50,10	500.000	417
<b>2001</b>	<b>Vooroeversuppletie</b>	<b>46,20 – 48,50</b>	<b>1.000.000</b>	<b>435</b>
2005	Vooroeversuppletie	48,80 – 50,00	1.000.000	833

Tabel 3.13 Overzicht uitgevoerde suppleties Vlieland-Oost

#### "Time stacks"

In de figuren 3.66 en 3.67 staan de time stacks voor Jarkus raaien 46,45 km en 48,44 km. Voor de kust van Vlieland komen brekerbanken voor, maar deze verdwijnen uit de kustprofielen naarmate we dichter naar het Vlie opschuiven. In figuur 3.66 (RSP 46,45 km) zijn ze nog net wel zichtbaar; in figuur 3.67 (RSP 48,44 km) niet meer.

De profielen laten geen duidelijke geulontwikkeling zien over de eerste 800 m vanaf de RSP-lijn. Wel is in figuur 3.67 te zien hoe dat het kustprofiel op ongeveer 600 m van de RSP-lijn dieper wordt. Dit is de landwaartse flank van de nieuwe geul waarvan in paragraaf 3.5.1 sprake was (Nieuwe Zuiderstortemelk). Het lijkt er op dat de landwaartse begrenzing van deze geul (de plaats waar het kustprofiel met een "knik" dieper wordt),

landwaarts opschuift. Een dergelijke ontwikkeling is niet zichtbaar in de kustprofielen verder naar het westen toe. Zo is het bijvoorbeeld niet meer te zien in de profielen voor raai 46,45 km (figuur 3.66).

De aanwezigheid van de (oude) geul Zuiderstortemelk is te zien in de kustprofielen ten oosten van RSP 48,50 km. Ter illustratie hiervan toont figuur 3.68 de profielen voor raai 49,33 km. De stapeling van profielen laat zien hoe hier het Zuiderstortemelk in de periode vanaf 1985 landwaarts opschuift en van vorm verandert (breder, ondieper).

Uit de gepresenteerde figuren volgt dat er geen sprake is van een uniform kustvak. Van west naar oost is een toenemende invloed merkbaar van de dynamiek op de buitendelta van het Vlie.

### Verloop MKL-posities

Op vergelijkbare wijze als voor de andere kustvakken zijn de berekende posities van de MKL weergegeven in figuur 3.69 (raai 46,45 km) en figuur 3.70 (raai 48,44 km).

Uit de analyse van de ligging van de MKL tussen 1965 en 2004 blijkt dat er geen duidelijke trend aanwezig is. De ligging van de MKL is nagenoeg constant. Wel zijn er van jaar tot jaar grote variaties (verschuivingen van 40 m of meer in één jaar komen meerdere malen voor).

In het gebied waar ook de vooroeversuppletie is aangebracht, is alleen in 1997 een kleine strandsuppletie uitgevoerd tussen raai 46,72 en 48,44 (orde 160 m<sup>3</sup>/m).

De positie van de MKL schuift in 2004 langs sommige delen van het suppletievak zeewaarts op. Ter hoogte van RSP 46,45 km is dit zelfs bijna 100 m (zie figuur 3.69). Daar staat tegenover dat in datzelfde jaar (2003-2004) de MKL ter hoogte van RSP 47 km juist met 40 m landwaarts is opgeschoven (geen figuur van opgenomen). Er is dus sprake van een grote ruimtelijke variatie in de momentane verplaatsing van de MKL.

### 3.5.3 Beschrijving van de te evalueren suppletie

De te evalueren suppletie heeft de volgende karakteristieken:

Locatie	Tussen RSP 46,20 km en RSP 48,50 km
Hoeveelheid	1,00 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 0,83 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 360 m <sup>3</sup> /m (op basis van gepeild zandvolume)
Aanlegdiepte	Diepte-zone van NAP -5 m tot NAP -6 m is globaal op NAP -4,5 m gebracht; langs de geul Zuiderstortemelk is sprake van een geulwandsuppletie
Zand	zand 250 – 500 µm
Wingebied	Onbekend
Uitvoering	Van april tot en met augustus 2001
Strandhoofden	Totaal 11 in kustlangs traject; koppenlijn vermoedelijk op NAP -2 m (LW).

Tabel 3.14 Karakteristieken van de suppletie Vlieland-Oost 2001

Het materiaal is met één sleephopperzuiger aangevoerd en via rainbowen (hoger gelegen deel van het profiel) en klappen aangebracht. De korrelgrootte varieert tussen 250 µm en 500 µm. Het is niet bekend of dit een maat is voor de variatie in D<sub>50</sub> (hetgeen we wel vermoeden), of dat het een maat is voor de gradatie van het suppletiezand.

Het aanwezige suppletievolume is 83 % van de aangevoerde hoeveelheid zand.

Er komt in het suppletiegebied volgens opgave van Rijkswaterstaat, één scheepswrak voor. Deze heeft geen invloed gehad op de uitvoering van de suppletie en speelt waarschijnlijk ook geen rol bij de morfologische ontwikkelingen van het gebied.

### 3.5.4 Beschikbare lodingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de beschikbare lodingen voor Vlieland-Oost:

datum	soort meting	bestandsnaam
06-03-01	JARKUS	vl01
02-04-01	Monitoring	vl200104
21-08-01	Monitoring	vl200108
18-06-02	JARKUS	vl02
05-08-02	JARKUS	vl02
16-04-03	Monitoring	vl200304
15-09-03	Monitoring	vl200309
28-07-04	Monitoring	vl200407
01-10-04	Monitoring	vl200410

Tabel 3.15 Overzicht van beschikbare lodingen – Vlieland-oost

### 3.5.5 Sedimentatie - erosie

De morfologie van vlak voor de suppletie wordt getoond in figuur 3.71. De vooroeversuppletie is uitgevoerd in de vakken 66, 80, 75, 90, 98 en 111. Vooral vak 66 ligt in het verdiepte deel van de vooroever dat aangeduid wordt met het Nieuwe Zuiderstortemelk. Deze vloedgeul voor de kust van Vlieland kan op lange termijn een deel van de functie van het Zuiderstortemelk overnemen.

De morfologie vertoont een vrij grote variatie langs het suppletievak. In het westen ligt een tamelijk normaal kustprofiel, inclusief brekerbank en geleidelijk aflopende vooroever. In het oosten is de invloed van het zeegat De Vlie zichtbaar. Dit is te zien aan de structuur van de vloedgeul met zeewaarts aangrenzende ondiepte en drempel (direct ten oosten van vak 36). Tussen beide zones in ligt een overgangsg gebied.

De uitgevoerde vooroeversuppletie dekt ieder van de drie geschetste deelgebieden. Het wijkt hierin ook af van de andere vooroeversuppleties die in kustlangse richting veel minder morfologische variatie te zien geven.

Figuur 3.72 toont de morfologie direct na de suppletie. In vergelijking met de voorgaande figuur is nu goed te zien dat de eerder aanwezige verdieping in vak 98 grotendeels is opgevuld. Dit blijkt ook uit figuur 3.73 waar de verschilkaart wordt getoond van de inpeiling en de uitpeiling (februari – augustus 2001). Hierin is goed te zien dat vooral de vakken 66 en 98 met suppletiezand zijn opgevuld.

De bodemligging volgens de laatst bekende opname is te zien in figuur 3.74 (oktober 2004; 3 jaar na de suppletie). Uit een analyse van de beschikbare lodingen van de tussenliggende periode (2001- 2004), blijkt dat de morfologische ontwikkeling gedurende deze drie jaar geleidelijk heeft plaatsgevonden. Een opvallende verandering is het zeewaarts verplaatsen van de brekerbank die van oudsher naar het westen toe aanwezig was (zie figuur 3.71). Naast een zeewaartse migratie is de bank ook langer

geworden. Drie jaar na de suppletie loopt de bank in een vloeiende boog door naar de zeewaartse rand van de aangebrachte suppletie (zie figuur 3.74). Dit blijkt ook uit de verschilkaart van de opnames uit februari 2001 (vòòr de suppletie) en oktober 2004 (zie figuur 3.75). Op deze verschilkaart zijn een aantal belangwekkende ontwikkelingen te zien. Ten eerste is de verondieping in de vakken 131 en 98 (doorlopend tot vak 80) goed te zien. Dit houdt verband met de veranderingen in de ligging en de vorm van de bank, zoals hiervoor aangegeven. Deze bank ligt precies in het gebied waar voorheen juist een verdiept gedeelte in het kustprofiel zat (zie de ligging van deze vakken in figuur 3.74). Wat verder opvalt is de verdieping in het gebied tussen het strand en de hiervoor aangehaalde bank. In een langgerekte strook is verdieping waarneembaar vlak voor de kust van Oost-Vlieland (vakken 134, 111, 115 en 75 in figuur 3.75).

Overall in het getoonde gebied zijn de morfologische veranderingen groot. Dit geeft aan dat de vooroeversuppletie is uitgevoerd in een gebied dat op een veel grotere ruimtelijke schaal "in beweging" is.

Tenslotte valt de sterke sedimentatie in vak 76 op (zie figuur 3.75). Hier heeft zich kennelijk veel zand afgezet dat voorheen niet kon worden afgezet. Mogelijk heeft de eerder genoemde ontwikkeling van de langgerekte brekerbank hier mee te maken. Het is niet ondenkbaar dat hierdoor de vloedstroom iets verder uit de kust is komen te liggen, waardoor juist in vak 76 de transportcapaciteit is afgenomen. Op deze hypothese zal in hoofdstuk 4 worden teruggekomen.

### 3.5.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

#### De positie van enkele dieptelijnen

In de bovenste grafiek van figuur 3.76 staat het verloop van de, over het suppletievak gemiddelde, positie van MLW (NAP  $-1,08$  m). In de periode 1965 – 2002 is de positie van deze dieptelijn met circa 20 m landwaarts opgeschoven (0,5 m/j). Op deze kleine landwaartse trend zijn grote variaties zichtbaar (tot 20 m/j). Dit beeld wijkt niet af voor de positie van bijvoorbeeld NAP +3 m (duinvoet) of de MHW-lijn (NAP  $+0,78$  m).

Na 2002 schuift de positie van de MLW zeewaarts op. Desondanks valt deze verplaatsing nog binnen de variaties die eerder plaatsvonden. Dat deze zeewaartse verplaatsing toch gerelateerd zal zijn aan de uitgevoerde suppletie volgt uit de constatering dat in de aangrenzende kustvakken vrijwel geen verandering is waargenomen in de positie van de MLW-lijn (hier niet getoond).

#### Verandering van strandbreedte

De veranderingen in de natte strandbreedte staan weergegeven in de middelste grafiek in figuur 3.76 (gemiddeld over het suppletievak). Er is sprake van een nagenoeg constante waarde van bijna 150 m. De jaarlijkse verschillen kunnen echter groot zijn (tot orde 20 m).

Na 2001 (het jaar van de vooroeversuppletie) neemt de strandbreedte iets toe maar de mate waarin dat gebeurt valt binnen de marges van de langjarige variaties. Deze conclusie geldt ook voor de ligging van de MHW-lijn (NAP  $+0,78$  m) en, zij het minder duidelijk, voor de positie van NAP +3m (hier verder niet getoond).

### Verandering van zandvolumes

De onderste grafiek in figuur 3.76 laat de veranderingen zien in het, over het suppletievak gemiddelde, zandvolume tussen de dieptelijnen NAP +3 m en NAP -8 m. Door de jaren heen is geen duidelijke trend aanwezig. Wel is de bandbreedte waarbinnen de grootte van het zandvolume zich bevindt vrij groot (circa 10 % onder en 10% boven het gemiddelde).

Na aanleg van de vooroeversuppletie neemt het zandvolume in het eerste jaar af met 380.000 m<sup>3</sup> (namelijk 150 m<sup>3</sup>/m \* 2530 m). Dit komt enkel en alleen door zandverlies in de oostelijke helft van het suppletievak. Tussen RSP 47,35 km en RSP 48,62 km neemt het zandvolume in de schijf NAP+3 m / NAP -8 m, af met 480.000 m<sup>3</sup> in het eerste jaar. In de westelijke helft van het suppletievak was sprake van een toename van het zandvolume met circa 100.000 m<sup>3</sup>/j.

Nog verder naar het oosten toe, in een ongeveer 1 km lang kustvak ten oosten van het suppletievak neemt het zandvolume ook af (ongeveer 50.000 m<sup>3</sup> in het eerste jaar). Daarbij wordt aangetekend dat in het kustvak tussen RSP 48,8 km en RSP 49,33 km vanaf 1994 al sprake is van een sterke afname in het zandvolume (gemiddeld met ruim 100.000 m<sup>3</sup>/j). Na de suppletie is de afname in het zandvolume hier dus iets minder sterk geweest. Mogelijk dat in dit gedeelte van de kust van Oost-Vlieland erosie optreedt als gevolg van het landwaarts opschuiven van het Zuiderstortemelk.

### Veranderingen in het zandvolume in de MKL-rekenshijf

In figuur 3.77 staan voor vier kustvakken de veranderingen aangegeven in het zandvolume tussen NAP +3 m en de ondergrens van de BKL-zone (NAP -5,16 m). Het zijn de over het kustvak gemiddelde veranderingen (volgens de "fixed boundary" methode).

In het kustvak direct ten westen van het suppletievak blijft het zandvolume tussen de dieptelijnen NAP +3m en NAP -5,16 m, vrijwel gelijk na aanleg van de vooroeversuppletie. En dat terwijl de langjarige trend in dit kustvak licht erosief is (orde 3600 m<sup>3</sup>/j over het 540 m lange kustvak). Toch kan niet worden gesproken van een trendbreuk, omdat de veranderingen na 2001 nog goed passen in de jaarlijkse fluctuaties sinds 1965.

In het kustvak ten oosten van de suppletie (ten oosten van RSP 48,8 km) is reeds sinds 1994 sprake van een sterke afname in het zandvolume. Deze tendens lijkt iets minder sterk te zijn geweest in de eerste twee jaar na aanleg van de suppletie, maar in de laatste jaren is het zandverlies weer net zo groot als in de periode 1994-2001 (zie betreffende dalende lijn figuur 3.77). Als er al sprake is geweest van beïnvloeding van de zandbalans in dit kustvak, dan is dat een tijdelijke geweest.

### 3.5.7 Profielveranderingen

Figuur 3.78 toont de gemeten kustprofielen ter hoogte van RSP 46,45 km (de westelijke begrenzing van het suppletievak). Het verschil tussen de dikke zwarte lijn en de dikke rode lijn is de vooroeversuppletie. Door de suppletie is een brede ondiepte ontstaan op NAP -5 m, tussen ongeveer 300 m en 800 m uit de RSP-lijn. Op deze ondiepte vormt zich in het eerste jaar na aanleg, een bank die in hoogte reikt tot NAP -4,5 m (de groene lijn). In het tweede jaar na de suppletie gaat deze ontwikkeling nog verder en heeft zich op 600 m uit de RSP lijn een duidelijke bank gevormd. Tussen deze bank en de kust is een trog-achtige verdieping te zien die tot NAP -6 m reikt (op circa 350 m uit de RSP-lijn). De bank zelf heeft dan een hoogte van NAP -4 m bereikt.

In figuur 3.78 is tevens de ondergrens van de BKL-rekenschijf getekend. Het MKL-zandvolume wordt door de geschetste morfologische verandering gunstig beïnvloed. Door de bankvorming komt er een groter deel van het suppletiezand in de MKL-rekenschijf te liggen. Een verdieping van de trog tot beneden de ondergrens leidt niet tot een verdere afname van het MKL-zandvolume. Dit kan worden gezien als een belangrijke beperking van berekeningsmethode van de MKL. Immers: er kan sprake zijn van een afname van het (echte) zandvolume vlak voor de kust, terwijl de MKL toch zeewaarts opschuift. Dergelijke situaties lijken zich vooral voor te kunnen doen in situaties met een vooroeversuppletie. Het verdient daarom aanbeveling om de toetsingsmethode van het kusthandhavingsbeleid te herzien.

Een andere ontwikkeling van de kustprofielen is te zien in figuur 3.79 (RSP 48,08 km). Deze locatie ligt ongeveer in het midden van de vakken 75 en 76 (figuur 3.74). De vooroeversuppletie ligt zeewaarts van de ondiepte die zich bevond op een afstand van 200 – 550 m uit de RSP-lijn (NAP –3,5 m). Voordat de suppletie werd aangebracht was hier geen brekerbank aanwezig.

Het diepere gedeelte waar de suppletie ook in is aangebracht maakt onderdeel uit van de vloodschaar Nieuwe Zuiderstortemelk. Men zou hier dus ook kunnen spreken van een geulwandsuppletie (vak 66 in figuur 3.74). Het dwarsprofiel van deze geulwandsuppletie vervormt zodanig dat er zowel uitzakking naar onderen plaatsvindt als uitbouw naar boven (zie pijltjes in figuur 3.79).

Het kustprofiel dicht onder de kust komt na de suppletie duidelijk hoger te liggen (zie figuur 3.79). Ter plaatse van ongeveer RSP +250 m, komt de bodem in de eerste twee jaar de suppletie, met gemiddeld 1,5 m omhoog (van NAP –3,5 naar NAP –2 m).

Er zijn nog steeds geen brekerbanken in het profiel zichtbaar.

De hierboven geschetste profielontwikkelingen hebben zich voorgedaan in het hele kustvak tussen RSP 47,72 km en 48,62 km.

Figuur 3.80 toont de profielontwikkelingen direct ten noorden van het suppletievak (RSP 48,8 km). Hierin zijn goed de contouren te zien van de vloodschaar Nieuwe Zuiderstortemelk. De ondiepte rechts scheidt deze geul van de veel grotere getijgeul Zuiderstortemelk.

De positie van de zuidoever van de Nieuwe Zuiderstortemelk schuift langzaam landwaarts op. Dat was ook al zo in de periode 1996 – 2001. De migratiesnelheid is ongeveer 15 m/j. Hierin komt in de periode na de suppletie geen merkbare verandering. Wel is het zo dat de geul ondieper is geworden in de periode 2001- 2004. De maximale diepte van de geul is op deze doorsnede in 2004 echter gelijk aan de maximale diepte in 1996 (NAP –11 m).

Dicht onder de kust is de verdieping die daar in 2001 nog zat, in 2004 bijna opgevuld. Dit kan verband houden met een landwaartse migratie van de brekerbank die hier van oudsher dicht onder de kust voorkomt.

### 3.5.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

Op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 3.2.8, staan in de figuren 3.81 en 3.82 de effectiviteitslijnen voor het tweede (2003) en het derde jaar (2004). Voor het eerste jaar na aanleg konden geen effectiviteitslijnen op basis van Jarkus worden berekend, omdat er voor dit kustvak geen Jarkus-gegevens zijn van 2002.



Uit de verdeling van de suppletie-intensiteit (de rechter grafiek) blijkt dat deze "golfgewijs" rondom het gemiddelde varieert.

De effectiviteit in het tweede jaar na aanleg is gering in het westen en neemt toe naar het oosten. De berekende (ongecorrigeerde) effectiviteit is 0 – 20 % in het meest westelijke deel van het kustvak (ongeveer de vakken 124 en 138 in figuur 3.74). In het kustvak van RSP 47,5 km tot RSP 48 km neemt de berekende effectiviteit sterk toe tot circa 80%. Pas in het meest noordelijke deel van het suppletievak neemt de effectiviteit weer af.

Deze kust-langse verdeling van de effectiviteit kan niet worden verklaard uit het verloop van de suppletie-intensiteit. De verklaring moet worden gevonden in de daadwerkelijke toename van het MKL-zandvolume in de betreffende kustsecties.

De berekende effectiviteit in het derde jaar na aanleg laat een ander beeld zien. Weliswaar is de effectiviteit ten oosten van RSP 47,5 km zelfs toegenomen, maar in het kustvak ten westen hiervan is sprake van een negatieve effectiviteit. Dit heeft te maken met de erosie in de vakken 115 en 111 (zie figuur 3.75). Weliswaar treedt er in vak 98 sedimentatie op (de eerder aangehaalde bankvorming), maar het zand dat hier boven de ondergrens BKL-rekenschijf is bijgekomen is minder dan het zandvolume dat uit de andere vakken erodeerde. De MKL schuift hier dus landwaarts op. Omdat dit meer is dan op basis van de Trend2002 kan worden verwacht, is ook de gecorrigeerde effectiviteit negatief ter hoogte van RSP 47 km. Of dit echt een lokaal averechtse werking van de suppletie betreft kan worden betwijfeld. Het is immers, gegeven de grote jaarlijkse dynamiek in de MKL, twijfelachtig om de Trend2002 lineair in de tijd door te trekken.

De grote piek in de berekende effectiviteit in het derde jaar na aanleg, ter hoogte van RSP 46,5 km, is het gevolg van een sterke toename in het zandvolume ter plaatse (zie ook de 100 m verplaatsing van de MKL in figuur 3.69). Dit is een lokaal fenomeen, dat vermoedelijk verband houdt met de dynamiek van de brekerbanken voor de kust. Hier wordt in hoofdstuk 4 op teruggekomen.

#### **Effectiviteitslijnen**

De berekende effectiviteitslijnen voor de raaien 46,45 km, 47,18 km, 47,89 km en 48,44 km staan in figuur 3.83. Vanwege de grote variatie van de effectiviteit in kustlangse richting hebben deze grafieken maar weinig waarde.

## **3.6 Suppletie Terschelling 1993**

### **3.6.1 Typering van het kustvak**

De morfologie van de kust van Terschelling hangt af van de morfologische veranderingen op de beide eilandkoppen.

De westkant van Terschelling wordt gevormd door de strandvlakte die ontstond na aanlanding van de Noordvaarder (vanaf de buitendelta van het zeegat Het Vlie). Inmiddels ligt vlak voor de westkust de geul Boomskensdiep, waarvan de morfologie in de laatste twintig jaar belangrijke wijzigingen heeft ondergaan. De geul is korter geworden door verondieping in het meest oostelijke deel van de geul (het voormalige Thomas Smitgat). Ongeveer ter hoogte van RSP 5 km, op de plaats waar de rand van de buitendelta min of meer overgaat in de vooroever van de kust, wordt de kustdynamiek

vooral bepaald door de aanlanding van platen vanaf de buitendelta (de Noordergronden).

Aan de oostkant van Terschelling wordt de morfologie gekenmerkt door afwisselende perioden van uitbouw en afbraak van de strandvlakte Boschplaat. Het is een verschijnsel dat lijkt op een bank die zich bij een eilandkop opbouwt en na verloop van tijd afsplitst. Alleen gebeurt dat afsplitsen niet in één keer (als er een nieuwe geul doorheen breekt), maar wat geleidelijker via erosie van het uiteinde. De geul-plaat interactie hangt sterk samen met de ontwikkelingen van de geulen in de keel en het kombergingsgebied van het zeegat.

### 3.6.2 Recente erosiegeschiedenis

#### Suppleties zuidwestkust van Terschelling

Tabel 3.16 geeft een overzicht van de in dit kustvak uitgevoerde suppleties. Omdat er nauwelijks sprake is geweest van erosie, is het aantal uitgevoerde suppleties minimaal. Alleen de hier te evalueren onderwatersuppletie is uitgevoerd. Dit heeft als voordeel dat er in tegenstelling tot de andere kustvakken geen "vervuiling" van de resultaten door andere suppleties heeft plaatsgevonden.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1993	Vooroeversuppletie	13,70 – 18,10	2.000.000	455

Tabel 3.16 Overzicht uitgevoerde suppleties Terschelling

#### "Time stacks"

In de figuren 3.84 en 3.85 staan de time stacks voor Jarkus raaien 15 km en 17 km. De time stacks voor de andere raaien in het suppletievak geven geen wezenlijk ander beeld. De kust lijkt tamelijk uniform te zijn.

In de profielen zijn brekerbanken te herkennen. In de meeste opnames zijn twee kruinen in de profielen te zien. Vooral de zeewaarts gelegen banken schuiven in het dwarsprofiel zeewaarts op (orde 10 m/j). Ten westen van ongeveer RSP 17,5 km komen drie brekerbanken voor in de meeste profielopnames.

#### Verloop MKL-posities

In de figuren 3.86 tot en met 3.89 worden de berekende MKL-posities gegeven voor de raaien 12 km, 15 km, 18 km en 20 km.

Uit de analyse van de ligging van de MKL tussen 1965 en 2005 blijkt dat in de raaien ten westen van de suppletie (RSP 10 t/m 13,6) er een duidelijk zeewaartse trend in de ligging van de MKL is geweest is tot circa 1995. Daarna is de trend tot stilstand gekomen of zelfs iets landwaarts gericht (figuur 3.86).

In de raaien waartussen de suppletie is uitgevoerd (RSP 13,70 km - 18,10 km), is de ligging van de MKL redelijk stabiel geweest tot 1993. De jaarlijkse variatie was maximaal 50 m zonder duidelijke zeewaartse of landwaartse trend. Na aanleg van de suppletie vertonen alle raaien wel een duidelijke zeewaartse trend, die echter de laatste jaren (sinds 2000) naar het oosten toe, weer wat afvlakt en omdraait (figuur 3.88).

De raaien ten oosten van de suppletie (18,2 t/m 20,2) lieten tot eind jaren 80 een negatieve (landwaartse) trend zien. Na 1990 is deze trend zeewaarts gericht (figuur 3.89).

### 3.6.3 Beschrijving van de te evalueren suppletie

De te evalueren suppletie heeft de volgende karakteristieken:

Locatie	Tussen RSP 13,7 km en RSP 18,2 km
Hoeveelheid	2,00 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 2,18 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 484m <sup>3</sup> /m (op basis van beuninhoud)
Aanlegdiepte	Wisselend. Globaal is NAP -5 m tot (soms) NAP -8 m globaal op NAP -5 m gebracht
Zand	zand D <sub>50</sub> = 200 µm
Wingebied	Onbekend
Uitvoering	Van april tot en met november 1993
Strandhoofden	geen

Tabel 3.17 Karakteristieken van de suppletie Terschelling 1993

Deze suppletie is de enige suppletie waarbij de opgegeven beuninhoud kleiner is dan de hoeveelheid zand die uit de peilingen volgt. Een verklaring hiervoor hebben wij niet. Mogelijk klopt de opgegeven hoeveelheid voor de "beunkuubs" niet. In het vervolg van het onderzoek wordt gebruik gemaakt van de zandhoeveelheden die zijn afgeleid uit de in- en uitpeiling. Als we aannemen dat dit 80% is van hetgeen via de sleepopperzuigers is aangevoerd, dan zou dat betekenen dat de beunkuubs niet 2,00 Mm<sup>3</sup> bedroeg maar 2,73 Mm<sup>3</sup>.

Er liggen in het suppletiegebied, voor zover bekend, geen scheepswrakken of andere harde objecten.

De vooroeversuppletie van Terschelling was een pilotproject om te zien hoe dergelijke suppleties zich zouden gedragen en in hoeverre ze zouden bijdragen aan de kustlijnhandhaving. Er zijn dan ook vele onderzoeksrapporten over dit experiment verschenen. In paragraaf 3.6.9 wordt een vergelijking gemaakt van de hier gepresenteerde resultaten en de conclusies uit de meest recente publicaties over het NOURTEC experiment.

### 3.6.4 Beschikbare lodingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de beschikbare lodingen voor Terschelling:

datum	soort meting	bestandsnaam	datum	soort meting	bestandsnaam
15-02-93	Monitoring	ts199302	22-07-96	Monitoring	ts199607
19-05-93	Monitoring	ts199305	14-12-96	Monitoring	ts199612
17-11-93	Monitoring	ts199311	14-05-97	Monitoring	ts199705
11-01-94	niet compleet	ts94	22-01-98	Monitoring	ts199801
20-04-94	Monitoring	ts199404	21-04-98	JARKUS	ts98
14-06-94	Monitoring	ts199406	27-07-98	Monitoring	ts199807
22-09-94	Monitoring	ts199409	16-03-99	JARKUS	ts99
01-12-94	Monitoring	ts199412	10-05-00	JARKUS	ts00
10-03-95	Monitoring	ts199503	23-05-01	JARKUS	ts01
07-09-95	Monitoring	ts199509	04-06-02	JARKUS	ts02
28-11-95	Monitoring	ts199511	25-03-03	JARKUS	ts03
13-12-95	Monitoring	ts199512	21-07-04	JARKUS	ts04
10-04-96	Monitoring	ts199604			

Tabel 3.18 Overzicht van beschikbare lodingen – Terschelling

### 3.6.5 Sedimentatie - erosie

De bodemligging van het gebied voor de suppletie wordt getoond in figuur 3.90 (opname 15 februari 1993). De vooroeversuppletie is geheel uitgevoerd binnen de contouren van de vakken 11 en 15. De morfologie laat een tamelijk uniform beeld zien met twee lang-gerekte brekerbanken op enige afstand van de waterlijn. De kruinlijn van deze banken loopt vrijwel parallel aan de kust. Ter hoogte van de suppletievakken 11 en 15 is de kruinhoogte van de buitenste brekerbank iets lager. Op details van de kustprofielen zal in paragraaf 3.6.7 nader worden ingegaan.

De morfologie na uitvoering van de suppletie staat in figuur 3.91 (17 november 1993). De verschilbodem is weergegeven in figuur 3.92. In de figuren is duidelijk de aangebrachte suppletie te zien. Tevens blijkt dat de bodemligging op kleine ruimtelijke schaal sterk kan veranderen. In de hele kuststrook zijn verdiepingen en verondiepingen te zien die van dezelfde (verticale) orde van grootte zijn als de aangebrachte suppletie. Deze dynamiek in bodemligging is gekoppeld aan de beweeglijkheid van de brekerbanken. Op de diepere vooroever zeewaarts van de buitenste brekerbank zijn de verticale bodemveranderingen veel kleiner.

Figuur 3.93 laat de bodemligging zien volgens de meest recente vaklodning (juli 2004). De verschilkaart tussen deze bodem en de bodem vòòr de suppletie (februari 1993) is te zien in figuur 3.94. Langs grote delen van de kust bepaalt sedimentatie het beeld. Zeewaartse hiervan is zijn afwisselend verdieping en verondieping te zien. De kustlangse variatie in dit beeld is zeer beperkt en lokaal van aard.

In tegenstelling tot de bodemligging direct na de suppletie is in 2004 geen suppletie meer herkenbaar in de bodemstructuur. Het zand van de suppletie heeft zich verdeeld over het gebied en de morfologische dynamiek lijkt weer op de oorspronkelijke dynamiek.

De seizoensvariaties waren zeker in het begin vrij sterk. De bodemveranderingen in de eerste winter na aanleg worden getoond in figuur 3.95 (4 maanden) ; die van de eerst volgende zomerperiode (3 maanden) in figuur 3.96. Uit deze figuren blijkt dat er in beide perioden in de suppletievakken 11 en 15 verdieping is opgetreden. Deze verdieping was in de winterperiode maximaal orde 20 cm per maand, terwijl dit in de

zomermaanden slechts enkele cm's per maand bedroeg. Uiteraard heeft dit te maken met de grotere golfenergie die in de wintermaanden aanwezig is. In de daarop volgende jaren blijft dit seizoensverschil aanwezig, maar de erosie van de suppletie is dan minder duidelijk. Tevens zijn de morfologische veranderingen in sommige jaren veel groter dan in andere jaren. We hebben hier niet expliciet naar gekeken maar verwachten dat dit te maken heeft met de jaarlijks fluctuatie in golfenergie (paragraaf 4.2).

### 3.6.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

#### De positie van enkele dieptelijnen

In de bovenste grafiek van figuur 3.97 staat het verloop van de positie van MLW (NAP – 1,12 m). Het betreft de gemiddelde positie gemeten over het hele suppletievak. In de periode 1965 – 2002 is de positie van deze dieptelijn nagenoeg constant gebleven. Wel konden er jaarlijkse variaties optreden van enkele tientallen meters. De figuur laat een duidelijke trendbreuk zien vanaf 1993. Gemiddeld verplaatste de MLW-positie met circa 10 m/j zeewaarts. Aan deze ontwikkeling lijkt nog geen einde te zijn gekomen.

#### Verandering van strandbreedte

De veranderingen in de natte strandbreedte staan weergegeven in de middelste grafiek in figuur 3.97 (eveneens de gemiddelde breedte over het hele suppletievak). De natte strandbreedte blijkt in de periode 1965 – 1990 te zijn toegenomen met circa 80 m. Omdat de positie van MLW nagenoeg constant is gebleven wordt deze verbreding volledig verklaard uit een landwaartse verplaatsing van de NAP +3 m lijn (duinvoet: hier niet getoond). De positie van de duinvoet blijft na 1993 ongeveer constant. Na 1993 neemt de natte strandbreedte eveneens toe. Omdat de positie van de duinvoet nauwelijks meer verandert, wordt de strandverbreding na 1993 veroorzaakt door de zeewaartse verplaatsing van de MLW-lijn.

#### Verandering van zandvolumes

De onderste grafiek in figuur 3.97 laat de veranderingen zien in het, over het suppletievak gemiddelde, zandvolume tussen de dieptelijnen NAP +3 m en NAP –8 m. Vanaf 1970 is sprake van een geleidelijke toename van het zandvolume, zij het met verschillen van jaar tot jaar.

Na 1993 neemt het zandvolume sprongsgewijs toe als gevolg van de aangebrachte suppletie. Volgens de grafiek is er 2,2 Mm<sup>3</sup> zand bijgekomen (namelijk 500 m<sup>2</sup> \* vaklengte: 4400 m). Dat is vrijwel precies gelijk aan het suppletievolume (tabel 3.17). De trend na 1993 is ongeveer gelijk aan de trend van voor 1993. Dit betekent dat de "sprong" in het zandvolume dat in 1993 is gemaakt ook tien jaar later nog aanwezig is. Dit kan of betekenen dat het suppletiezand zelf nog aanwezig is, of dat een deel van het suppletiezand is afgevoerd, maar dat er tegelijkertijd door veranderingen in het zandtransport, extra zand is afgezet.

#### Veranderingen in het zandvolume in de MKL-rekenschijf

In figuur 3.98 staan voor vier kustvakken de veranderingen aangegeven in het zandvolume tussen NAP +3 m en de ondergrens van de BKL-zone (NAP –5,24 m). Het zijn de over het kustvak gemiddelde veranderingen (volgens de "fixed boundary" methode).

In alle kustvakken is sinds 1965 sprake van een toename van het zandvolume tussen de genoemde dieptelijnen. Er zijn wel verschillen in absolute grootte en ook van jaar tot

jaar kunnen variaties optreden. In het kustvak ten westen van het suppletievak (grafiek links boven in figuur 3.98) neemt het zandvolume rond 1993 geleidelijk toe met in totaal 340.000 m<sup>3</sup> (namelijk 100 m<sup>2</sup> \* vaklengte: 3400 m). Pas na 1999 neemt dit weer af tot een zandvolume in 2005 dat men op basis van de langjarig trend zou verwachten. Dit kan het gevolg zijn van zandaanvoer vanuit het suppletievak. Erg waarschijnlijk is dit niet, omdat de dominante richting van het langstransport juist naar het oosten is. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn dat de doorvoercapaciteit van het langstransport in het suppletievak iets is afgenomen, waardoor "bovenstreams" zand achterblijft. Een derde mogelijkheid is dat de dynamiek in de brekerbanken dusdanig is beïnvloed dat er meer zand in het westelijke vak achterblijft. Hoewel we dit niet kunnen bewijzen, lijkt deze derde mogelijkheid ons het meest waarschijnlijk. Hier wordt in hoofdstuk 4 op teruggekomen.

### 3.6.7 Profielveranderingen

Figuur 3.99 toont de gemeten kustprofielen voor raai RSP 13 km. Deze locatie ligt iets ten westen van de vooroeversuppletie.

Het momentane kustprofiel hangt af van de beweeglijkheid van de brekerbanken. De meest landwaartse ("eerste") brekerbank is in de periode 1993 – 2004 met circa 200 m zeewaarts opgeschoven. Dit is een doorgaand proces geweest, waarbij alleen van jaar tot jaar (kleine) variaties in de migratiesnelheid optraden.

De buitenste brekerbank is in de periode 1988 – 2004 zelfs met ruim 400 m zeewaarts opgeschoven. Dat vond plaats in de perioden 1988 – 1993 en 1997-2004. In de eerste vier jaar na de vooroeversuppletie (1993 – 1997) was deze zeewaartse verplaatsing kleiner.

De kustprofielen voor raai RSP 15 km staan weergegeven in figuur 3.100. Deze doorsnede ligt min of meer in het midden van het suppletievak. Het effect van de suppletie is te zien op een afstand van 400 tot 900 m uit de RSP-lijn. De bodem is hier door de suppletie opgehoogd van NAP –6 m tot NAP –4,5 m. Een deel van het suppletiezand ligt boven de ondergrens van de BKL-zone en telt dus direct mee in de berekening van het MKL-zandvolume.

Reeds na het eerste jaar na aanleg is de brede ondiepte die door de suppletie is gecreëerd, verdwenen. De groene lijn ligt al weer bijna op het niveau van de dikke zwarte lijn (het profiel bij aanvang van de suppletiewerkzaamheden). Drie jaar later (1997) is er ter plaatse van de stortvakken geen suppletie meer te herkennen.

De kustprofielen voor de meest oostelijk gesuppleerde raai (RSP 18 km) staan weergegeven in figuur 3.101. Ook hier gelden de voorgaande constatering. Het kustprofiel voorafgaand aan de suppletie had hier drie banken (in plaats van twee zoals verder naar het westen toe). Daardoor is minder duidelijk te zien dat het gedeelte van het profiel waar de suppletie is aangebracht dieper is geworden (zoals in figuur 3.100).

### 3.6.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

Op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 3.2.8, staan in de figuren 3.102 en 3.103 de berekende effectiviteit voor het eerste jaar (1994) en het tweede jaar na suppletie (1995).

De suppletie-intensiteit was in het oosten – in termen van MKL-verplaatsingen – bijna twee keer zo groot dan in het westen. Dit heeft gevolgen voor de berekende effectiviteit. Immers: een vaste verplaatsing van de MKL met bijvoorbeeld 10 meter geeft bij een suppletie-intensiteit van 30 m een effectiviteit van 33 % en bij een intensiteit van 100 m slechts een effectiviteit van 10 %. Dit zien we terug in het kustlangse verloop van de berekende effectiviteit. Deze is het grootst rond RSP 14,5 km; precies het gebied met de kleinste suppletie-intensiteit. De kleinste effectiviteit wordt berekend in de zone waar de suppletie-intensiteit het grootst is (nabij RSP 17 km).

De berekende effectiviteit is opvallend groot. In het eerste jaar na aanleg is dit ongecorrigeerd al tussen de 50 en 100 %. Een belangrijke verklaring hiervan is dat een deel van het suppletiezand al direct tijdens de aanleg in de BKL-rekenschijf valt (zie figuur 3.100).

Het verschil tussen de gecorrigeerde en de ongecorrigeerde effectiviteitslijn laat zien dat er in het westelijk deel van de suppletie een zeewaartse trend is gebruikt en in het oostelijk deel een landwaartse trend. De overgang ligt op ongeveer RSP 14,7 km. In de berekening is de "oudst gepubliceerde trend" uit de Kustlijnkaarten gebruikt: die van 1995 (Trend1995). Het kan zijn dat hierin onvoldoende is gecorrigeerd voor het mogelijk directe effect van de vooroeveroppletie (die in 1993 is aangebracht). Het heeft mede daarom weinig zin om de Trend1995 over meerdere jaren op raai-niveau door te trekken.

In figuur 3.104 staan de berekende (ongecorrigeerde) effectiviteitslijnen voor de periode 1 jaar tot 11 jaar na de suppletie. Hier komt ook het beeld uit naar voren dat de effectiviteit vooral groot is geweest in de westelijke helft van de suppletie en in mindere mate in de oostelijke helft. Voor een deel kan dit worden verklaard – zoals hierboven gesteld – uit het verloop van de suppletie-intensiteit langs de kust. Als we dat effect negeren, dan blijkt dat de effectiviteit geleidelijk aan toeneemt van circa 40 % in het eerste jaar na aanleg tot reeds circa 100 % in het vijfde jaar na aanleg. Sinds 2000 is geen duidelijke toename meer te zien in de berekende effectiviteit. Deze ligt dan wel erg hoog (boven de 100%) hetgeen aangeeft dat de MKL in deze periode aanzienlijk zeewaarts moet zijn verplaatst. Dat beeld klopt met de eerder beschreven morfologische ontwikkelingen.

#### Effectiviteitslijnen

De berekende effectiviteitslijnen voor de raaien 14,40 km, 15,40 km, 16,40 km en 17,40 km staan in figuur 3.105. De vier grafieken tonen de grote variatie in langsricting van de kust.

### 3.6.9 Conclusies uit eerdere evaluaties

De vooroeveroppletie van Terschelling is door verschillende onderzoekers bestudeerd. De bevindingen zijn onder andere beschreven in Grunnet, e.a., 2004, 2005a en 2005b. Bij de NOURTEC vooroeveroppletie werd in 1993 zand gestort in de diepte tussen de buitenste en de middelste brandingbank (op een hoogte van -5 tot -7 m NAP). Het sediment heeft zich landwaarts verplaatst en is aan de landzijde van de middelste brandingbank afgezet. Ten oosten van de vooroeveroppletie hebben de drie brandingbanken zich circa 100 m zeewaarts verplaatst na de suppletie. Na de uitvoering van de suppletie vulde de diepte tussen de binnenste en de middelste brandingbank zich snel (binnen een half jaar) op, vermoedelijk met gesuppleerd zand.

Tegelijkertijd nam de diepte tussen de middelste en de buitenste brandingbank, de locatie van de vooroeversuppletie, weer toe.

In de eerste twee jaar na de vooroeversuppletie verplaatste het gesuppleerde sediment zich ongeveer met 400 m per jaar oostwaarts. Na de snelle veranderingen kort na de suppletie, veranderde het systeem in de daaropvolgende zes jaar weer naar de morfologische situatie van voor de vooroeversuppletie. De diepte tussen de binnenste en de middelste brandingbank verdiepte zich weer langzaam en de middelste brandingbank migreerde zeewaarts. Ook de diepte tussen de middelste en de buitenste brandingbank verdiepte zich verder.

De drie brandingbanken kenden voor de suppletie een zeewaartse migratiecyclus. De middelste brandingbank migreerde voor de suppletie met circa 60 - 70 m/jaar in zeewaartse richting. Grunnet en Reussink (2005) concluderen dat deze zeewaartse migratiecyclus van de brandingbanken zes tot zeven jaar is 'bevrozen' door de vooroeversuppletie. Vanaf 1999 / 2000 begon de middelste bank weer zeewaarts te migreren met dezelfde snelheid als voor de vooroeversuppletie.

De vooroeversuppletie heeft de achteruitgang van de GWH-lijn (3 m/jaar) omgezet in een vooruitgang van de GHW-lijn (15 m/jaar) gedurende een periode van 6 jaar na de vooroeversuppletie. Het grootste effect is bereikt in het centrale gedeelte van de suppletie. Het traject waar de suppletie merkbaar effect heeft op de positie van de GHW-lijn verplaatst zich met een snelheid van ongeveer 400 m/jaar in oostelijke richting. In 2000, ongeveer 6 à 7 jaar na de suppletie, boog deze zeewaartse migratie van de GHW-lijn weer om in een landwaartse migratie van circa 3 m/jaar. Dit is weer gelijk aan de situatie voor de suppletie.

Het volumetrisch effect van de vooroeversuppletie op het intergetijdestrand is beschreven door Hoekstra et al (1996), Spanhoff et al. (1997) en Hamm et al. (2002). Uit deze publicaties blijkt dat een aantal trends zich consistent in de eerste 3 à 4 jaar na de vooroeversuppletie hebben voorgedaan:

- In het suppletievak vond erosie plaats.
- De uitbouw van de kust (in m<sup>3</sup>) vond ongeveer twee keer zo snel plaats als waarmee het suppletievolume afnam (er moet dus additioneel sediment zijn aangevoerd).
- Aan het eind van het derde jaar na de suppletie kon ongeveer 40% van de toename van het zandvolume in de "*inner nearshore zone*" worden verklaard uit de zandverliezen uit het suppletievak.

Grunnet et al. (2005a) concluderen dat gedurende de eerste drie jaar circa 50% van het totale suppletievolume zich verplaatste naar de hoger gelegen zone tussen de NAP -4 m en NAP 0 m. Gedurende de daarop volgende 6 jaar (1997-2003) vindt een algehele achteruitgang plaats van het profiel. Dit kwam doordat sediment door langtransport oostwaarts werd getransporteerd.

Gedurende de eerste drie jaar na de vooroeversuppletie was kustgericht transport dominant wat leidde tot een herverdeling van het gesuppleerde sediment binnen het profiel. In de tijd daarna werden langstransporten dominant. Dit leidde tot transport in oostelijke richting van het gesuppleerde sediment met een snelheid van circa 400 m/jaar.

Grunnet et al. (2005) gebruiken twee Delft3D modellen om de invloed van de afzonderlijke processen (getijstrooming, wind en golven) op het gesuppleerde sediment



te onderzoeken. Zij concluderen dat het getij een verwaarloosbare invloed heeft gehad op de morfologische ontwikkelingen van de vooroeversuppletie. Dit komt doordat de stroomsnelheden door het getij hier klein zijn (max. 0,5 m/s).

## 3.7 Suppletie Ameland-midden 1998

### 3.7.1 Typering van het kustvak

De vooroeversuppletie ligt min of meer voor het centrale deel van de Noordzeekust van Ameland (ongeveer tussen RSP 13 km en RSP 21 km). De morfologie van dit kustvak wordt mede bepaald door de morfologische ontwikkelingen van de beide aangrenzende kustvakken. Aan de westzijde is dat de eilandkop die grenst aan het Zeegat van Ameland; aan de oostzijde is dat de strandvlakte de Oerd die grenst aan het Pinkegat (onderdeel van het Friesche Zeegat). Over de morfologische interactie met de aangrenzende zeegaten wordt in een aantal rapporten verhandeld, onder andere: Israel, e.a., 1999, Oost e.a., 2000, Steijn, 2002 en Cleveringa e.a., 2004.

Een belangrijk verschijnsel in dit kustvak is de – over de eeuwen heen - regelmatige aanlanding van grote zandbanken op de noordwestkust van Ameland. De laatste grote aanlanding was die van het Bornrif (circa 1980-1985) met een zandinhoud van circa 20 miljoen m<sup>3</sup>. Dergelijke grote zandbanken kunnen zich vormen omdat de oostflank van de buitendelta nauwelijks door getijgeulen wordt doorsneden en derhalve tamelijk vlak en ondiep is. Op een dergelijke grote ondiepe vlakte kunnen migrerende zandbanken uitgroeien tot één grotere plaat. In tegenstelling tot de aanlanding van zandbanken op bijvoorbeeld de kust van Zuid-Texel, wordt geen getijgeul "vooruit geschoven". Wel kunnen tijdens het aanlandingsproces problemen ontstaan, zoals tijdens de aanlanding van het Bornrif. Toen raakte achter de strandhaak een lagune ingesloten die gedraineerd werd door een meanderend geultje. Dit geultje liep over het strand en bochtte tot aan de duinvoet uit (Israël en Oost, 2001).

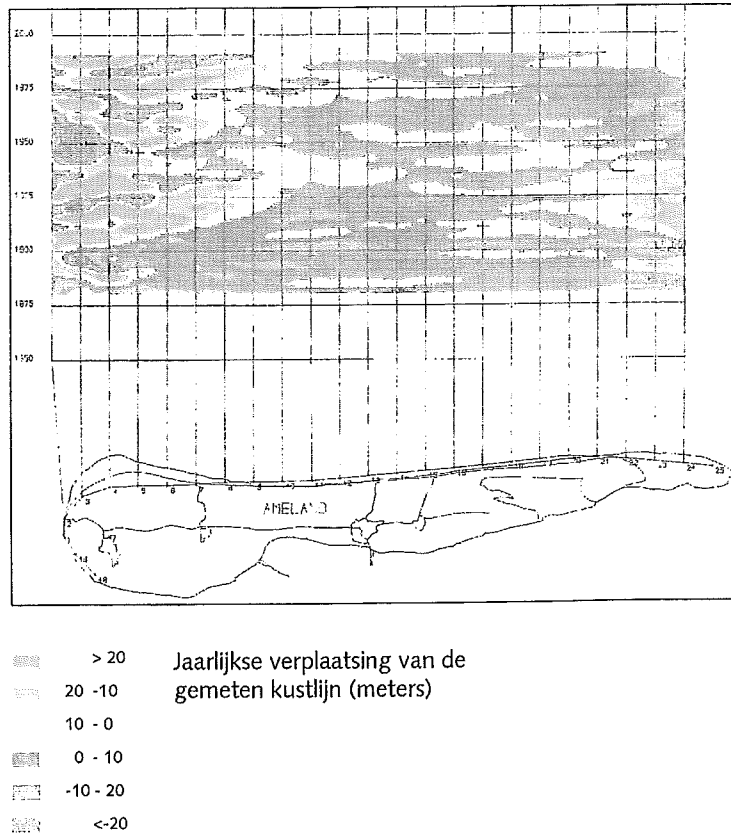
Door de aanlanding van het Bornrif is netto een grote hoeveelheid zand vanaf de buitendelta aangeland op de kust van Ameland. Dit volume zand wordt voor een deel langs de eilandkop de keel van het zeegat in getransporteerd (waar het terecht komt in het Borddiep). Een ander (groter) deel wordt onder invloed van golfgedreven brandingstransport langs de kust naar het oosten toe getransporteerd.

De overheersende transportrichting langs de kust is van west naar oost. De zandbalans van het centrale kustvak (het studiegebied) hangt dus af van de zandtoevoer uit het westen. In die zin is de aanlanding en de kustlangse migratie van het Bornrif een belangrijk aspect.

Aan de oostzijde van Ameland ligt de strandvlakte de Hon. Deze strandvlakte kent perioden van oostwaartse uitbouw en perioden van afbraak. Menselijk ingrijpen (stuifdijken, gaswinning, ed.) heeft invloed gehad op de vorming van deze strandvlakte, maar er is nog steeds een grote dynamiek vooral wat betreft de oostwaartse extensie van de strandvlakte. Meer informatie over de ontwikkeling van de Hon, en de interactie met de achterliggende vloedkom van het Pinkegat is te vinden in ondermeer Oost (1995) en De Vlas e.a. (2005).

In onderstaande figuur (overgenomen uit Oost e.a., 2000, oorspronkelijke referentie IJnsen, 1993) staan de kustlijnverplaatsingen weergegeven over de periode 1880 – 1990. Hieruit blijkt dat de grootste kustlijnverplaatsingen langs de westkust van Ameland zijn

opgetreden. Voor iedere positie langs de kust is sprake van een cyclische voor- en achteruitgang van de kust. Steyaart (1997) geeft aan dat de periode van deze "horizontale zandgolf" circa 50 jaar bedraagt. Dat komt vrijwel overeen met de periode die is gevonden bij de grootschalige cycliciteit in de geulbewegingen op de buitendelta (60 jaar: Israel, e.a., 1999).



Figuur 3.106 Jaarlijkse verplaatsing van de gemeten kustlijn van Ameland

De Kustlijnkaarten van Rijkswaterstaat laten ook zien hoe het Bornrif (aangeland omstreeks 1980-1985) tot kustuitbouw leidde. Deze uitbouw was in 1998 gevorderd tot circa RSP 7 km. In die periode was er nog sprake van een ingesloten lagune, waardoor de toevoer van zand naar de kust van Ameland werd vertraagd. Pas nadat de drainagegeul verzandde (omstreeks 2000) nam de zandtoevoer naar de kust sterk toe. Volgens de meest recente Kustlijnkaarten was de "zandbult" in 2004 gevorderd tot aan RSP 10 km. Het heeft dus nog geen direct effect op het MKL-zandvolume van het gesuppleerde kustvak.

Er zijn geen strandhoofden of andere harde kustverdedigingswerken langs de Noordzeekust van Ameland. Wel zijn er verschillende verdedigingsmaatregelen uitgevoerd in de keel van het Zeegat van Ameland (om de migratie van het Borndiep af te remmen), maar die hebben geen invloed op de zandverplaatsingen langs de Noordzeekust.

Tenslotte zijn er voor de kust van Ameland zogenaamde "zaagtandbanken" aangetroffen (Gordeau, 1999). Deze langgerekte banken komen voor aan de oostzijde van de buitendelta van het Zeegat van Ameland en strekken zich naar het oosten toe uit

tot voor het centrale gedeelte van de kust. De hoogte van deze banken varieert van 1,5 m (langs de oostflank van de buitendelta) tot enkele decimeters verder naar het oosten toe. Typische breedten zijn 100 – 500 m met lengten tussen 0,5 en 2 km. Over de genese en het gedrag van deze bankstructuren is maar weinig bekend. Op basis van het werk van Gordeau (analyses van bodemgegevens) kan worden geconcludeerd dat deze banken geen merkbare invloed zullen hebben op de kustontwikkeling ten oosten van RSP 10 km. Daarom wordt hier verder niet ingegaan op deze bodemvormen.

### 3.7.2 Recente erosiegeschiedenis

#### Suppleties

Zoals uit figuur 3.106 blijkt is er langs de Noordzeekust van Ameland afwisselend sprake van kustaangroei en kusterosie (tijdschaal: tientallen jaren; ruimteschaal: km's). In 1980 is tussen RSP 10 km en RSP 16 km een strandsuppletie met een volume van 2,2 Mm<sup>3</sup> aangebracht. Na de eerste Kustnota (1991) is de kustlijnachteruitgang meer structureel bestreden met suppleties. Tabel 3.19 geeft een totaaloverzicht van de suppleties voor de kust van Ameland. De suppletie die in vet staat weergegeven is de vooroeversuppletie die hieronder wordt geanalyseerd. Alle weergegeven zandvolumes zijn vermoedelijk gebaseerd op metingen in het beun van de desbetreffende hoppers.

Jaar	Type suppletie	Locatie (RSP km)	Hoeveelheid (m <sup>3</sup> )	Gemiddelde intensiteit (m <sup>3</sup> /m)
1980	Strandsuppletie	10,00 – 16,00	2.200.000	365
1990	Duinverzwaring	12,40 – 17,00	930.000	202
1990	Duinverzwaring	13,80 – 15,20	40.000	29
1992	Duinverzwaring	11,50 – 12,80	230.000	177
1992	Strandsuppletie	11,50 – 19,60	1.442.000	178
1994	Strandsuppletie	48,60 – 49,60	190.000	190
1996	Strandsuppletie	7,20 – 11,20	1.555.000	389
1997	Strandsuppletie	1,20 – 3,00	511.000	284
<b>1998</b>	<b>Vooroeversuppletie</b>	<b>13,00 – 21,00</b>	<b>2.500.000</b>	<b>312</b>
2000	Strandsuppletie	1,00 – 2,60	401.000	251
2003	vooroeversuppletie	10,00 – 14,00	1.500.000	375

Tabel 3.19 Overzicht uitgevoerde suppleties Ameland

#### “Time stacks”

In de figuren 3.107 tot en met 3.109 staan de time stacks voor de volgende drie Jarkus raaien:

- RSP 12,00 km (1 km ten westen van de vooroeversuppletie),
- RSP 17,00 km (ongeveer in het midden) en
- RSP 22,00 km (1 km ten oosten van de vooroeversuppletie).

Uit de duinprofielen is goed het effect van de begin jaren negentig uitgevoerde duinverzwaringen te zien.

De profielen laten zien dat er in dit deel van de kust tot aan 1998 sprake is geweest van één of soms twee brekerbanken. Tevens is te zien hoe deze banken gedurende enkele jaren zeewaarts verplaatsen en op circa 400 meter uit de RSP-lijn uit het profiel “verdwijnen”. Dichter onder de waterlijn zijn in de meest recente profielen de

contouren van een brekerbank te zien. Deze banken migreren na 1998 naar de kust toe, dit in tegenstelling tot de periode daarvoor.

### Verloop MKL-posities

Voor alle beschikbare Jarkus raaien zijn de MKL-posities berekend (deze zijn ook weergegeven in de "time stacks"-figuren). In de figuren 3.110 tot en met 3.113 staan de berekende posities van de MKL voor achtereenvolgens raaien 12.00 km, 15.00 km, 18.00 km en 22.00 km.

De positie van de MKL kan sterk van jaar tot jaar fluctueren (tot maximaal orde 40-50 m). Overigens nemen deze jaarlijkse fluctuaties sterk af in het gebied ten oosten van ongeveer RSP 20 km. Waarschijnlijk houden deze fluctuaties verband met de beweeglijkheid van de brekerbanken, die ten oosten van RSP 20 km minder duidelijk in het profiel voorkomen (het kustprofiel komt dan meer onder invloed van het Pinkegat).

Uit de figuren volgt geen eenduidig beeld voor alle Jarkus raaien.

In het kustvak tussen RSP 12 tot RSP 17 km valt vooral de grote jaarlijkse fluctuatie in de ligging van de MKL op. Na de omvangrijke suppletie uit 1980 neemt deze fluctuatie wel enigszins af (maximaal 20 m verschil van jaar tot jaar). Ook is dan een duidelijke landwaartse verplaatsing van de MKL waar te nemen (globaal: 4 m/j).

### 3.7.3 Beschrijving van de aangebrachte suppletie

De te evalueren suppletie heeft de volgende karakteristieken:

Locatie	Tussen RSP 13 km en RSP 21 km
Hoeveelheid	2,50 Mm <sup>3</sup> (beuninhoud); 1,85 Mm <sup>3</sup> (gepeild)
Intensiteit	Gemiddeld 230 m <sup>3</sup> /m (op basis van gepeild volume)
Aanlegdiepte	Globaal op NAP -5m. Er is gestort tussen de eerste en tweede brekerbank
Zand	Onbekend
Wingebied	Onbekend
Uitvoering	Van april tot en met september 1998
Strandhoofden	Geen.

Tabel 3.20 Karakteristieken van de suppletie Ameland 1998

De suppletie is aangebracht met vijf schepen in de periode april – september 1998. De suppletie is aangebracht tussen RSP 13 en 21, van april tot september 1998.

De suppletie is aangelegd vanaf de zijwaartse uiteinden van de suppletie, waarbij telkens stroomopwaarts is gestort (dwz aan de westzijde tijdens hoogwater en aan oostzijde tijdens laagwater). Er is gestort tussen de eerste en de tweede brekerbank, voor zover die in het profiel aanwezig waren. Om in die trog te kunnen komen is eerst een opening gebaggerd in de buitenste brekerbank.

Het aanwezige suppletievolume is 74 % van de aangevoerde hoeveelheid zand. Dit is een gebruikelijk percentage dat ook bij andere suppleties is gevonden.

Het gemiddelde suppletievolume per strekkende meter kustlijn is relatief klein voor een vooroeversuppletie (voor De Koog was dit ruim drie keer zo veel: 795 m<sup>3</sup>/m).

Het suppletievolume is niet evenredig langs het suppletievak verdeeld. In het westen ligt aanzienlijk minder (orde 200 m<sup>3</sup>/m) dan in het oosten (circa 600 m<sup>3</sup>/m). Dit is bewust

gedaan omdat verwacht werd dat zand afkomstig vanaf het Bornrif tot een natuurlijke zandaanwas vanuit het westen zou leiden.

In het suppletiegebied komt, voor zover bekend één scheepswrak voor. Het is niet bekend in hoeverre deze invloed heeft gehad op de uitvoering van de suppletie of op de morfologische ontwikkelingen.

### 3.7.4 Beschikbare lodingen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de beschikbare lodingen voor Ameland:

datum	soort meting	bestandsnaam
31-03-98	Monitoring	am199803
06-04-98	JARKUS	am98
23-11-98	Monitoring	am199811
25-03-99	JARKUS	am99
28-04-99	Monitoring	am199904
24-08-99	Monitoring	am199908
21-03-00	Monitoring	am200003
23-03-00	JARKUS	am200003
28-07-00	Monitoring	am200007
26-04-01	JARKUS	am01
27-03-02	JARKUS	am02
27-03-03	JARKUS	am03
22-06-04	JARKUS	am04

Tabel 3.21 Overzicht van beschikbare lodingen – Ameland

### 3.7.5 Sedimentatie - erosie

De bodemligging vlak vòòr de uitvoering van de vooroeversuppletie is weergegeven in figuur 3.114. Hierin zijn de contouren te zien van enkele brekerbanken die een kleine hoek met de kust maken. Van west naar oost komen ze steeds iets verder uit de kust te liggen.

De onderwatersuppletie is tegen de zeewaartse flank van de buitenste brekerbank aangelegd (vakken 4, 8, 12 en 16).

De verschilkaart in figuur 3.115 laat de bodemveranderingen zien gedurende de uitvoeringsperiode van de suppletie. De sedimentatie in de suppletievakken is goed te zien. Maar ook elders langs de kust zijn in die periode relatief grote bodemvariaties te zien. Deze houden verband met de beweeglijkheid van de brekerbanken voor de kust. Op dieper water (vakken 3, 7, 11 en 15) was de bodemverandering nihil.

Figuur 3.116 laat de verschilkaart zien van de loding vòòr de suppletie en de meest recente loding (juni 2004). Dominant aanwezig is een strook met erosie langs de zuidkant van de suppletievakken. Verder valt op dat de sedimentatie-erosie patronen bestaan uit langgerekte structuren in de kustzone waar de brekerbanken zitten. Er is relatief weinig variatie in dit beeld langs de kust.

De meest recente bodemligging (juni 2004) staat weergegeven in figuur 3.117. In de suppletievakken is de bodem dieper komen te liggen dan in de periode voorafgaande aan de suppletie. Zeewaarts van deze verdiepte strook ligt een "nieuwe" buitenste brekerbank.

Bekijken we de bodemveranderingen in de eerste winterperiode na de suppletie en de eerste zomerperiode na de suppletie, dan blijkt dat de bodemveranderingen vooral in de wintermaanden plaatsvinden. De figuren zijn niet bijgevoegd. Er is geen afwijkende trend ten opzichte van hetgeen bij de andere vooroeversuppleties was waargenomen.

### 3.7.6 Ontwikkelingen kustlijnparameters

#### De positie van enkele dieptelijnen

In de bovenste grafiek van figuur 3.118 staat het verloop van de positie van MLW (NAP – 1,1 m). Het betreft de gemiddelde positie gemeten over het hele suppletievak. In de periode 1965 – 1998 is de positie van deze dieptelijn met ongeveer 25 m landwaarts opgeschoven (0,7 m/j). De jaarlijkse variaties waren soms enkele tientallen meters. De figuur laat geen trendbreuk zien na de vooroeversuppletie uit 1998. De variaties in de ligging passen in het langjarige patroon. Dit geldt ook voor de positie van andere dieptelijnen, zoals de MHW (NAP +0,84 m) en de duinvoet (NAP +2,2m).

#### Verandering van strandbreedte

De veranderingen in de natte strandbreedte staan weergegeven in de middelste grafiek in figuur 3.118 (gemiddeld over het hele suppletievak). De natte strandbreedte neemt langjarig gezien af. Dit komt door de landwaartse verplaatsing van de MLW-lijn; de positie van de duinvoet verandert veel minder. Ook nu is er geen trendbreuk te zien in de periode na 1998. Zelfs de plotselinge afname van de natte strandbreedte na 2003, past nog in de langjarige bandbreedte.

#### Verandering van zandvolumes

In de onderste grafiek in figuur 3.118 staan de veranderingen in het, over het suppletievak gemiddelde, zandvolume tussen de dieptelijnen NAP +3 m en NAP –7 m. Vanaf 1965 is sprake van een geleidelijke toename van het zandvolume (gemiddelde trend 8 m<sup>3</sup>/m/jaar), zij het met grote verschillen van jaar tot jaar. Na 1998 neemt het zandvolume sprongsgewijs toe als gevolg van de aangebrachte suppletie. Volgens de grafiek is er 2 Mm<sup>3</sup> zand bijgekomen (namelijk 250 m<sup>2</sup> \* vaklengte: 8000 m). Dat is vrijwel gelijk aan het suppletievolume (tabel 3.20).

Na 1998 is sprake van een afname van het zandvolume in de genoemde dieptezone. Dit is vooral merkbaar in de periode na 2002. Van een trendbreuk is geen sprake: de veranderingen passen in de langjarige trend.

#### Veranderingen in het zandvolume in de MKL-rekenschijf

In figuur 3.119 staan voor vier kustvakken de veranderingen aangegeven in het zandvolume tussen NAP +2,2 m en de ondergrens van de BKL-zone (NAP –4,44 m). De ondergrens ligt hier minder diep dan in de voorgaande paragrafen omdat de duinvoet hier lager is vastgesteld.

In het 1,8 km lange kustvak ten westen van de suppletie, is het zandvolume door de jaren heen erg wisselend. Desondanks is er geen sprake van structurele erosie in dit kustvak. Na 1998 neemt het zandvolume af. Eerst vrij plotseling en daarna minder snel. Of dit verband houdt met de vooroeversuppletie valt niet te zeggen. De veranderingen zijn te klein om daadwerkelijk van een trendbreuk te kunnen spreken.

In het 1,8 km lange kustvak ten oosten van de suppletie neemt het zandvolume na 1998 juist toe. Pas na 2003 neemt dit weer af.

### 3.7.7 Profielveranderingen

Figuur 3.120 en figuur 3.121 tonen de gemeten kustprofielen voor de raaien RSP 15 km en RSP 18 km. Deze profielen geven globaal een representatief beeld voor de ontwikkelingen in respectievelijk de meest westelijke helft en de meest oostelijke helft van het suppletievak. Dit neemt niet weg dat er van raai tot raai en van opname tot opname grote verschillen in de bodemligging kunnen optreden.

De vooroeversuppletie ligt op 500-100 m uit de RSP-lijn. Gedurende de suppletieperiode zijn elders in het kustprofiel grotere veranderingen opgetreden dan het directe effect van de suppletie. De suppletie-intensiteit ( $m^3/m$ ) is dus klein ten opzichte van de natuurlijke variaties in het kustprofiel.

### 3.7.8 De effectiviteit van de vooroeversuppletie

#### Effectiviteit in bovenaanzicht

De berekende effectiviteitslijnen voor het eerste, het derde en het vijfde jaar na de suppletie staan weergegeven in figuur 3.122 tot en met 3.124.

Uit de verdeling van de suppletie-intensiteit langs de kust is goed te zien hoe deze van west naar oost toeneemt. De grootste suppletie-intensiteit ligt in het kustvak tussen RSP 18 en RSP 19 km.

In het meest westelijke deel van het suppletievak (van RSP 13 tot RSP 14,5 km) is de berekende effectiviteit negatief. Voor raai 13 werd een extreem negatief percentage berekend. De oorzaak hiervan is de zeer geringe suppletiehoeveelheid in het profiel ten opzichte waarvan de effectiviteit wordt berekend. Zelfs een geringe afname van het MKL-zandvolume leidt dat automatisch tot een groot negatief percentage.

Globaal kan men stellen dat in het eerste jaar na de suppletie de effectiviteit in het westelijk deel gering is geweest (percentages variërend van -20 % tot +20 %). In het kustvak tussen RSP 16 km en RSP 18,5 km, daarentegen is de effectiviteit in het eerste jaar reeds rond de 50%. De oorzaak hiervoor is dat er een relatief grote hoeveelheid zand van de vooroeversuppletie "meetelt" bij het berekenen van het MKL-zandvolume.

Het gegeven dat de gecorrigeerde effectiviteitslijn afwisselend boven en onder de ongecorrigeerde lijn ligt, geeft aan dat er afwisselend sprake is van een landwaartse en een zeewaartse trend. Althans, uitgaande van de Trend98. Het is niet realistisch om deze trend lineair in de tijd door te zetten tot aan 2004 aan toe. Daarom is het niet verstandig om conclusies te verbinden aan de veranderingen in de tijd in de gecorrigeerde effectiviteitslijnen.

Figuur 3.125 laat de berekende (ongecorrigeerde) effectiviteitslijnen zien voor alle beschikbare jaren na de suppletie. Het beeld dat hier uit naar voren komt is het volgende:

- De effectiviteit is positief langs grote delen van het suppletievak. Als we de zone tussen RSP 13 km en RSP 14 km buiten beschouwing laten in verband met de geringe suppletie-intensiteit, dan is alleen tussen RSP 19 en RSP 20 km geen positieve effectiviteit berekend. Een verklaring daarvoor is (nog) niet gevonden, maar vermoedelijk heeft dit te maken met de beweeglijkheid van de banken

voor de kust. Daardoor is kennelijk in dit gebied ten opzichte van 1998 geen zand toegevoegd aan de BKL-rekenschijf).

- De effectiviteit neemt toe in de eerste 3 jaar na de suppletie. Vooral in het centrale kustvak tussen RSP 15 km en RSP 17 km zijn percentages van 100 % berekend.
- Vanaf het vierde jaar neemt de effectiviteit geleidelijk weer af. In het zesde jaar na aanleg is alleen tussen RSP 16 km en RSP 17 km nog sprake van een positief effect. Naar het westen toe is dan de effectiviteit ruimschoots naar negatieve waarden omgeslagen. Dit betekent dat er dus ten opzichte van de (geringe) suppletiehoeveelheid relatief veel zand uit de BKL-rekenschijf is verdwenen.

#### **Effectiviteitslijnen**

De berekende effectiviteitslijnen voor de raaien 14,40 km, 15,40 km, 16,40 km en 17,40 km staan in figuur 3.126. De vier grafieken tonen de grote variatie in langsrichting van de kust.

### **3.8 Overzichtstabel**

In tabel 3.22 (zie volgende bladzijde) zijn de belangrijkste bevindingen per suppletie samengevat. We zijn ons er van bewust dat deze tabel nog aanzienlijk is uit te breiden, maar voorlopig beperken we ons tot de in de voorgaande paragrafen beschreven parameters.

Uit de analyse van de dieptegegevens bleek geen eenduidige bodemontwikkeling. De natuurlijke dynamiek van de kustzone is dermate groot dat de aangebrachte vooroeversuppleties daar maar weinig verandering in teweeg brachten. Deze dynamiek betrof niet alleen de beweelijkheid van de brekerbanken, maar ook (en daar waarschijnlijk aan gerelateerd) het berekende MKL-zandvolume.



Aspect	Callantsoog	ZW-Texel	De Koog	Vlieland	Terschelling	Ameland
Suppletievolume (Mm <sup>3</sup> ) (gepeild)	1,15	1,04	4,77	0,83	2,18	1,85
Gemidd. suppletie-intensiteit (m <sup>3</sup> /m)	383	480	795	360	484	230
Brekerbank aanwezig	Ja (1)	nee	Ja (1)	Ja (westen) nee (oosten)	Ja (2-3)	Ja (2)
Geul voor de kust	nee	ja	nee	Ja (oosten)	nee	nee
Migratie bank vóór suppletie	Landwaarts (0 – 10 m/j)	-	Landwaarts (0 – 25 m/j)	westen: 0-10 m/j	Zeewaarts (10 m/j)	Wisselend
Migratie bank ná suppletie	Landwaarts (10 – 100 m/j)	-	Landwaarts (20-60 m/j)	Wisselend	Wisselend / landwaarts	Wisselend
Invloed aangrenzende kustvakken	Nauwelijks (150 m naar noorden)	Nauwelijks (100 m naar weerszijden)	Nauwelijks	Migratie oostelijke geulwand iets beperkt	Oostwaarts (na 7 jaar)	Beperkt oostwaarts
“Invangen” van zand	Nee	Nee (zand-verlies door muistroom)	Nee	Ja, in centrale overgangsgebied	Ja, maar proces onduidelijk	Mogelijk
Natuurlijke MKL-fluctuaties	10-40 m/j	10-20 m/j	5-20 m/j	10-30 m/j	20-40 m/j	10-30 m/j
Maximale MKL verplaatsing door suppletie	50 m	50-70 m	80 – 150 m	30-60 m	30-80m	20 – 70 m
Verhouding natuurlijke en maximale MKL-verplaatsing	3	4	10	3	2	2
Bodemvariaties in suppletievak (verticaal) - winter	20-25 cm/maand	10 cm/maand	20-25 cm/maand	Niet bepaald	10-20 cm/maand	10-20 cm/maand
Bodemvariaties in suppletievak (verticaal) - zomer	3 - 8 cm/maand	2-5 cm/maand	3 - 8 cm/maand	Niet bepaald	3-8 cm/maand	3-8 cm/maand
Effectiviteit 1 <sup>e</sup> jaar (ongecorrigeerd)	10-30%	50 %	0-10%	0-10% westen 50-80% oosten	20-80%	-50-0% koppen 0-50% midden
Effectiviteitsverloop	Neemt af	Onbekend (1 jaar)	Neemt toe	Westen: afname oosten: toename	Gestage toename tot 7 <sup>e</sup> jaar	Neemt toe en na 3 jaar weer af
Nieuwe ingrepen	Noodsuppletie na 2 jaar	Bestorting en strand-suppletie	Niet nodig	nee	nee	nee

Tabel 3.22 Overzicht met bevindingen per vooroeversuppletie

## 4 Synthese

### 4.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is geprobeerd om voor elk van de te evalueren vooroeversuppleties de belangrijkste morfologische ontwikkelingen te schetsen. Tevens is voor elk van de suppleties de effectiviteit uitgerekend volgens de methode zoals beschreven in paragraaf 2.3. Bij die methode is de keuze gemaakt om de effectiviteit van een suppletie te koppelen aan het MKL-zandvolume. De motivatie daarachter was dat het MKL-zandvolume een belangrijke maat is bij de jaarlijkse toetsing van het kusthandhavingsbeleid (vastgelegd in de Kustlijnkaarten). Daar staat tegenover dat voor het ontwikkelen van richtlijnen voor het ontwerp van vooroeversuppleties, naar meer effecten moet worden gekeken, dan louter naar het MKL-zandvolume (zie resultaten expert meeting in Bijlage A).

In het voorliggende hoofdstuk wordt geprobeerd om lessen te trekken uit de verschillende observaties. Daartoe wordt eerst in paragraaf 4.2 kort ingegaan op de hydrodynamische condities die langs de Waddenkust aanwezig zijn. Het bleek immers dat de bodemveranderingen in de winter- en in de zomermaanden en ook van jaar tot jaar soms sterk kunnen verschillen.

In paragraaf 4.3 wordt een aanzet gegeven tot het begrijpen van de waargenomen ontwikkelingen. Dat wordt voor elk van de vooroeversuppleties apart gedaan. Gelet op het verkennende karakter van deze evaluatie zijn de beschouwingen zeker niet uitputtend van karakter. In paragraaf 4.4 worden de beschouwingen samengevat en wordt specifiek ingegaan op de verschillen en de overeenkomsten tussen de suppleties.

### 4.2 Analyse hydrodynamische condities

Hieronder wordt puntsgewijs ingegaan op de hydrodynamische condities langs de Waddenkust.

#### Getij

- De getijrange neemt van het Zeegat van Texel naar de Westereems aanzienlijk toe (van circa 1,3 m tot 2,8 m).
- De voortplantingsrichting van de getijgolf is van West naar Oost.
- Het getij "op zee" is bijna in fase met het getij in de zeegaten. Er is dus sprake van uitstroming door de zeegaten ongeveer gelijktijdig met een west en zuidgaande ebstroming op zee. Dit geldt ook voor de instroming en de noord en oostgaande vloedstroming.
- De lijnen van gelijktijdig HW staan langs de Hollandse kust vrijwel loodrecht op de kust. Naar het oosten toe langs de Waddenkust, maken deze lijnen een steeds scherpere hoek met een denkbeeldige lijn door de eilanden.

#### Wind en golven

- De overheersende windrichting is van ZW naar NO, dus min of meer in de lengterichting van de Waddenzee.
- De richting van de offshore golfenergieflux is ruwweg uit het NW.
- Het totale golfvermogen is het grootst bij Texel (10,8 kW/m) en neemt geleidelijk naar het oosten toe met max 20 % af (daar worden de frequente stormgolven uit het ZW door de kust afgeschermd). Ter indicatie: Langs de golfenergieke kust van

Portugal is het totale golfvermogen ongeveer 50 kW/m; langs de westkust van Ierland is dit zelfs 70 kW/m.

#### Nadere analyse wind en golfklimaat

De beschikbare golfgegevens van meetstation ELD zijn door ons geanalyseerd. Tevens zijn de op internet beschikbare windgegevens (tot en met 2002) geanalyseerd. Doel van deze analyse was om na te gaan of er zich bijzondere variaties in de wind- en golfcondities hebben voorgedaan. Die zouden immers mede kunnen verklaren waarom bepaalde morfologische ontwikkelingen rondom de vooroever-suppleties zich hebben voorgedaan zoals beschreven.

De beschikbare data van wind en golven zijn niet volledig compleet. De jaren 1996, 1997 en 1999 bevatten in de wintermaanden dusdanig weinig data (ongeveer 50% van de totale serie) en onjuiste data, dat voor deze jaren alleen de zomermaanden zijn beschouwd.

In de wintermaanden is er beduidend meer golfenergie gemeten. Golfenergie (in N/m) is evenredig met  $H^2$  (immers:  $E = 1/8 \rho g H^2$ ). Golfenergie plant zich voort met de groepsnelheid ( $c_g$ ) van de golven. Dat geeft een zogenaamde energieflux ( $P = E \cdot c_g$ ), die eenmaal aangekomen aan de kust tot zandverplaatsingen kan leiden. De groepsnelheid van de golven is een functie van (onder andere) de golfperiode. Uitgaande van een standaard Pierson-Moskowitz golfspectrum voor de Noordzee, is de golfperiode gerelateerd aan  $H^{0.5}$ . Zodoende is de golfenergieflux gerelateerd aan  $H^{2.5}$ .

In de onderstaande tabel 4.1 is de berekende energieflux voor de zomer- en wintermaanden gegeven (vectorieel opgeteld voor de golfrichtingen die de kust kunnen bereiken). Uit de tabel volgt dat er gemiddeld gezien in de wintermaanden ruim twee keer zoveel golfenergie aanwezig is dan in de zomermaanden. De gegevens voor 2003 en 2004 ontbreken, omdat die gegevens nog niet in het golfdatabestand van Rijkswaterstaat zijn opgenomen.

Jaar	Energieflux		
	Zomer (N/s)	Winter (N/s)	Verhouding Winter / zomer
1990-2002	151	347	2.3
1990	199	352	1.8
1991	150	332	2.2
1992	147	366	2.5
1993	134	384	2.9
1994	169	416	2.5
1995	216	373	1.7
1996	135	81	0.6
1997	151	241	1.6
1998	203	395	1.9
1999	87	648	7.4
2000	123	425	3.4
2001	213	303	1.4
2002	102	271	2.7

Tabel 4.1 Jaarlijkse golfenergieflux station ELD

De grootte van de energieflex varieert sterk van jaar tot jaar. Opvallend is dat de factor tussen de energie in de zomer- en wintermaanden veel minder varieert. Dit betekent dus dat een milde zomer vaak gepaard gaat met een milde winter. Het jaar 2000 wijkt hier van af. De zomer in dat jaar was relatief mild terwijl de winter juist het meest extreem was van alle beschouwde jaren. In het jaar 2001 is het precies andersom (extreme zomer en milde winter). Het jaar 2002 kan op basis van zowel de zomer- als wintermaanden gezien worden als een zeer rustig jaar.

Ook de richting van de inkomende golfenergie verandert met de seizoenen. In de onderstaande tabel 4.2 is de richting van de energieflex gegeven. In de wintermaanden komt de golfenergie ongeveer 30 graden meer uit westelijke richting.

Jaar	Richting energieflex		
	Zomer (°N)	Winter (°N)	Winter-Zomer (°)
1990-2002	311	282	-28.6
1990	309	275	-33.9
1991	313	279	-34.1
1992	287	290	2.6
1993	322	293	-29.7
1994	310	271	-39.5
1995	325	287	-38.2
1996	323	332	8.6
1997	309	287	-22.1
1998	302	283	-19.9
1999	289	276	-7.7
2000	312	272	-40.0
2001	313	303	-10.2
2002	306	270	-36.3

Tabel 4.2 Richting van de inkomende golfenergie per jaar en per seizoen

Het jaar 1992 wijkt af. In de zomermaanden van dat jaar was de richting van de inkomende golfenergie uit een meer westelijke richting dan gebruikelijk.

Gedurende de wintermaanden is een piek in de inkomende golfenergie te zien bij richtingsector 240 °N. Het jaar 2001 wijkt hier van af. In 2001 komt er relatief weinig energie uit 240 °N, maar juist veel golfenergie uit 330 °N.

Op basis van de overschrijdingscurven voor de gemeten windsnelheden, kunnen de jaren 1990, 1995 en 2000 als extreme jaren worden beschouwd. In deze jaren zijn stormen boven windkracht 9 gemeten. Wat betreft golfenergie is het jaar 2000 ook extreem. De andere twee jaren zijn in termen van golfenergie geen extreme jaren.

## 4.3 Nadere beschouwing

### 4.3.1 Callantsoog 2001

#### Over de vooroeversuppletie

Het precieze doel van de 2001 vooroeversuppletie is niet vastgelegd. Uit de formele toetsing (Kustlijnkaarten 2001) blijkt dat de BKL op enkele raaien werd overschreden.

De vooroeversuppletie uit 2001 zou, indien het suppletiezand volledig zou meetellen bij de MKL-berekening, een zeewaartse MKL-verplaatsing van 50 m geven (rechterplot in figuur 3.21). De autonome jaarlijkse variaties in de MKL-positie zijn enkele tientallen meters per jaar. Dit geeft aan dat het volume van de vooroeversuppletie – in termen van MKL-verplaatsingen – niet groot is ten opzichte van de natuurlijke dynamiek.

De evaluatie van de 2001 –vooroeversuppletie is slechts mogelijk tot 2003, omdat toen nieuwe en grotere suppleties zijn uitgevoerd. Omdat de morfologische effecten van een vooroeversuppletie pas na enkele jaren goed zichtbaar zijn, is deze periode feitelijk te kort om een complete evaluatie uit te kunnen voeren.

### Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen

De meeste veranderingen in de morfologie zijn in het dwarsprofiel opgetreden. De variatie langs de kust was daarbij gering. In essentie komt het er op neer dat de suppletie tegen de buitenkant van de buitenste brekerbank, er toe heeft geleid dat de reeds aanwezige brekerbank kustwaarts migreerde. Met dit landwaarts opschuiven, schoof tevens de voorliggende trog mee. Aanvankelijk leidde dit tot op sommige raaien tot een verdieping van het onderwaterprofiel grenzend aan het strand, maar na twee jaar was dat effect al veel kleiner geworden.

Gemiddeld over het hele suppletievak nam de strandbreedte alleen in de eerste winterperiode af. De middelste grafiek in figuur 3.15 toont een vakgemiddelde afname met circa 5 m na de eerste winterperiode, waarna de strandbreedte alleen maar toenam. Langs de kust komen strandhoofden voor. Tussen sommige van deze strandhoofden nam de strandbreedte in het eerste jaar na de suppletie veel sterker af. Dat heeft mogelijk met de aanwezigheid van de strandhoofden te maken. Door het opschuiven van de trog en de contractie van de langstroom, ontstaat een vrij sterke verdieping ter plaatse van de koppen van de strandhoofden. De bodemhelling neemt dan toe, hetgeen leidt tot zeewaarts zandverlies uit het kribvak en bijgevolg een afname van de strandbreedte. Volgens mondelinge opgave deed dit zich in de praktijk juist voor op die plaatsen waar strandpaviljoens waren gevestigd. Vanzelfsprekend leidde dit tot (boze) berichten in de krant. Dit geeft aan dat bij de evaluatie van suppleties niet alleen naar de grotere schaal zou moeten worden gekeken, maar – afhankelijk van het doel van de evaluatie – ook naar de kleinere schaal.

Er zijn geen morfologische ontwikkelingen aangetroffen die wijzen op sterke kustlangse transportprocessen. Zo zijn er nauwelijks veranderingen in het zandvolume van de aangrenzende kustvakken aangetroffen. Die traden pas op na 2003 en werden veroorzaakt door aanvullende suppleties in die vakken.

Vermoedelijk heeft de vooroeversuppletie maar weinig invloed gehad op de verdeling van de golfdissipatie over het dwarsprofiel. Dit zou nader onderzocht kunnen worden met numeriek modelonderzoek (paragraaf 6.2). Daardoor is de langstransportcapaciteit "achter" de vooroeversuppletie niet of nauwelijks verandert. Bijgevolg werd er geen zand "ingevangen" (dit zou zich kunnen voordoen als de langstransportcapaciteit in de luwte van de suppletie afneemt en kleiner wordt dan de langstransportcapaciteit van het ongestoorde aanvoerende kustvak). Dit heeft mede te maken met de actuele golven die zich hebben voorgedaan. Als er bijvoorbeeld meer stormen waren geweest, dan is het denkbaar dat gegeven de diepte van de vooroeversuppletie (NAP -4,5 m), wel degelijk zand zou zijn "ingevangen".

In de wintermaanden treden gemiddelde bodemveranderingen op van circa 20 cm/maand. In de zomermaanden is dat veel minder, namelijk 5 cm/maand. De grootste

bodemveranderingen treden op ter hoogte van de kruin van de brekerbanken en de dalen van de bijbehorende troggen. Dit geeft aan dat de dynamiek in het kustprofiel voornamelijk bepaald wordt door de beweeglijkheid in de bankstructuur.

### Over de maatgevende zandtransportprocessen

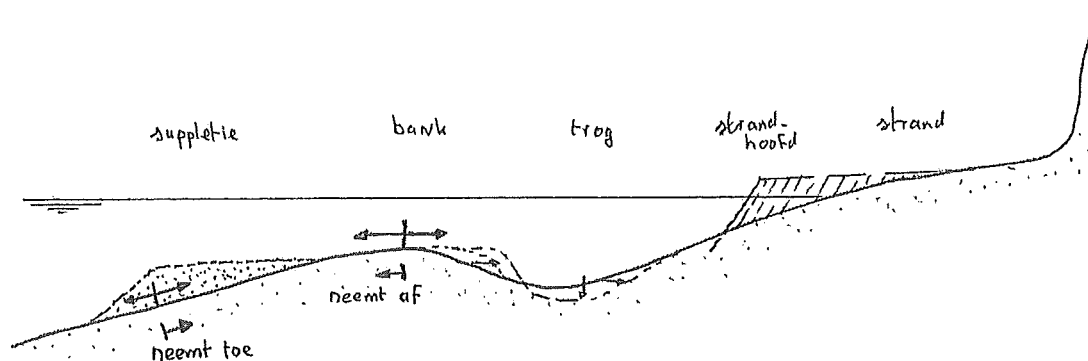
In een natuurlijke omgeving is doorgaans sprake van relatief grote bruto transporten in zowel dwarsrichting als langsrichting van de kust. De morfologische dynamiek, die vooral zichtbaar is in de beweeglijkheid van de brekerbanken, is dan het resultaat van het netto zandtransport (en de ruimtelijke verschillen daarin). In absolute grootte is het netto zandtransport vaak maar een klein deel van de bruto zandtransporten (het "verschil tussen twee grote getallen"). Kleine veranderingen in het bruto zandtransport kan dan relatief grote gevolgen hebben voor de morfologie.

Het hierna volgende moet gezien worden als een hypothese. Het is een poging om te bergrijpen waarom de brekerbank landwaarts opschoof na aanleg van de vooroeversuppletie.

### Hypothese bankdynamiek

Het landwaarts opschuiven van de brekerbank kan het gevolg zijn van het afnemen van het bruto zeewaarts gerichte zandtransport op de kruin van de brekerbank. Dit kan weer veroorzaakt worden door het dissiperen van een deel van de golfenergie op de verhoogde vooroever (daar waar de suppletie is aangebracht).

Voor de hogere golven zullen de aanwezigheid van de suppletie "voelen"; lagere golven lopen er als het ware gewoon overheen. Stel vervolgens dat de hogere golfcondities meer bijdragen aan het zeewaarts gerichte dwarstransport op de kruin van de brekerbank dan de lagere golven. Dan neemt het bruto zeewaarts gerichte dwarstransport dus iets af. En dat terwijl het bruto landwaarts gerichte dwarstransport minder verandert. Per saldo betekent dit dat het netto dwarstransport op de kruin van de brekerbank (meer) landwaarts wordt (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 Schets van mogelijke veranderingen in het dwarstransport

Tegelijkertijd zien we een toename van het landwaarts gerichte dwarstransport ter hoogte van de vooroeversuppletie. Dit leidt tot de vorming van een berm (zie figuur 3.18). Als er veel zand in de vooroeversuppletie zit (in  $m^3/m$ ), dan kan deze berm in het dwarsprofiel de vorm aannemen van een brekerbank. Het zal dan de golfvoortplanting richting kust meer beïnvloeden dan de berm die ontstaat bij een kleiner suppletievolume.

Afgezien van de dwarstransporten spelen ook langstransporten een belangrijke rol. De door golven, getij en mogelijk wind aangedreven langsstroming verdeelt zich over het

dwarsprofiel. In de aanwezigheid van brekerbanken spelen troggen een belangrijke rol bij deze kust-langse stroming. Vanwege de grotere diepte is de wrijvingsweerstand daar namelijk kleiner dan op de banken. Als de kruin van de brekerbank naar de kust toe verplaatst, neemt de breedte van de trog aanvankelijk af. Hierdoor nemen de langssnelheden initieel iets toe, hetgeen leidt tot migratie (richting kust) of verdieping van de trog (bijvoorbeeld als de aanwezigheid van strandhoofden de migratie afremmen). Dit proces is waargenomen bij de geëvalueerde Callantsoog-vooroeversuppletie en leidde uiteindelijk tot de uitvoering van een (nood-) strandsuppletie twee jaar na aanleg.

Als de brekerbank nog verder richting het strand opschuift is er na verloop van tijd geen ruimte meer voor de trog en wordt de situatie instabiel. Tegen die tijd kan het strand flink in breedte zijn afgenomen. De brekerbank valt dan uiteen en er ontstaat een warrig patroon van ondiepten en kleinere troggen (muien).

Voor een goede analyse van de veranderingen in de zanduitwisseling tussen strand en voorliggend trog is veel (fundamenteel) onderzoek nodig. Op een dergelijke kleine ruimtelijke schaal (tientallen meters) is nog niet veel onderzoek gedaan. Mogelijk dat hier het Argus-observatiesysteem bij kan helpen. In het promotieonderzoek van Aarninkhof (2004) is met dit systeem gekeken naar de dynamiek van brekerbanken. Wellicht kan met deze techniek ook worden gekeken naar de dynamiek van de troggen en muien.

#### **Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)**

De effectiviteit van de vooroeversuppletie was vrij gering: 10-20 % in het eerste jaar na aanleg. Dit percentage was bovendien louter het gevolg van het feit dat een deel van de suppletie al direct "meetelde" bij de MKL-berekening. Het is dus niet zo dat het zand van de vooroeversuppletie van de diepere vooroever hoger in het profiel terecht is gekomen. Of dat er door de aanwezigheid van de suppletie zand van elders aangevoerd werd "vastgehouden". Wel veranderde de *vorm* van het kustprofiel, zoals hierboven is aangegeven. Het landwaarts opschuiven van de reeds aanwezige brekerbank leidde dus niet tot meer zandvolume in de BKL-rekenshijf.

### **4.3.2 Molengat 2001**

#### **Over de vooroeversuppletie**

De vooroeversuppletie is aangelegd als uitvloeisel van eerdere studies naar de dynamiek van het Molengat (bijvoorbeeld Steijn, e.a., 2000). Geprobeerd is om door middel van een geulwandsuppletie een slijtlaag aan te brengen tegen het kustwaarts opschuiven van het Molengat. Deze doelstelling is niet vastgelegd in bijvoorbeeld een ontwerpplan.

De vooroeversuppletie uit 2003 zou, indien het suppletiezand volledig zou meetellen bij de MKL-berekening, een zeewaartse MKL-verplaatsing van 60 m geven (tabel 3.22). De autonome jaarlijkse variaties in de MKL-positie zijn maximaal 20 m/j. Dit geeft aan dat het volume van de vooroeversuppletie – in termen van MKL-verplaatsingen – tamelijk groot is ten opzichte van de natuurlijke dynamiek.

De  $D_{50}$  van het suppletiezand was ongeveer twee keer zo groot als het aanwezige zand. Tevens werd het zand relatief hoog in het kustprofiel aangebracht (kruin op NAP -3 m).

Daardoor telde al direct een groot deel van het suppletiezand mee in de MKL-berekening. In dat opzicht wijkt de suppletie maar weinig af van een strandsuppletie.

De periode waarover de evaluatie kan worden uitgevoerd is beperkt tot twee jaar. Dit is weliswaar kort, maar vanwege de grote morfologische effecten die optraden, is dit wel voldoende lang om bepaalde conclusies te kunnen trekken.

#### **Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen**

In de eerste winterperiode na de suppletie werd het suppletiezand tot een vrij hoge (NAP -2 m) berm opgeworpen. Deze berm was langgerekt en vertoonde aanvankelijk geen onderbrekingen.

De afstand tussen de opgeworpen berm en de koppen van de aanwezige strandhoofden was gering (tientallen meters). Ontgronding ter hoogte van deze koppen leidde tot een verdiepte trog vlak voor het strand langs.

In de noordelijke helft van het suppletievak viel de berm na de eerste winterperiode uiteen. In de zuidelijke helft was dat niet het geval. Hier ontstond een langgerekte geul die vlak voor de koppen van de strandhoofden liep.

Gemiddeld over het hele suppletievak nam de strandbreedte één jaar na de suppletie toe (middelste grafiek in figuur 3.35). Maar dat was volledig te danken aan het noordelijke deel tussen RSP 10,33 km en RSP 11,48 km. Naar het zuiden toe nam de strandbreedte juist verder af. De grootste problemen deden zich voor bij het meest zuidelijke uiteinde van het suppletievak (RSP 9 km), waar tevens het meest zuidelijke strandhoofd ligt.

De verdieping ter hoogte van de koppen van de (zuidelijke) strandhoofden was dermate ernstig dat (bijna) noodmaatregelen getroffen hadden moeten worden. Ook de versmalling van het strand en de lokaal opgetreden duinafslag werd als een probleem ervaren. In 2005 werd daarom een duin- en strandsuppletie uitgevoerd.

#### **Over de maatgevende zandtransportprocessen**

De situatie wijkt in dusverre af van de situatie bij Callantsoog dat er hier op het moment van de suppletie geen brekerbank aanwezig was. Toch zijn er wel overeenkomsten. In dwarsrichting nam het landwaarts gerichte dwarstransport ter plaatse van de vooroeversuppletie toe. Mogelijk dat dit versterkt is door het feit dat er relatief grof suppletiezand is gebruikt. Het gevolg hiervan was het ontstaan van de eerdergenoemde berm (zie hypothese bankdynamiek bij paragraaf 4.3.1).

Als gevolg van de berm namen de langsstromingen vlak onder de kust toe. Deze stromingen kunnen worden gegenereerd door getij, onder een hoek inkomende golven en eventueel wind. Ook kan massatransport door brekende golven op de berm bijdragen aan de langsstromingen.

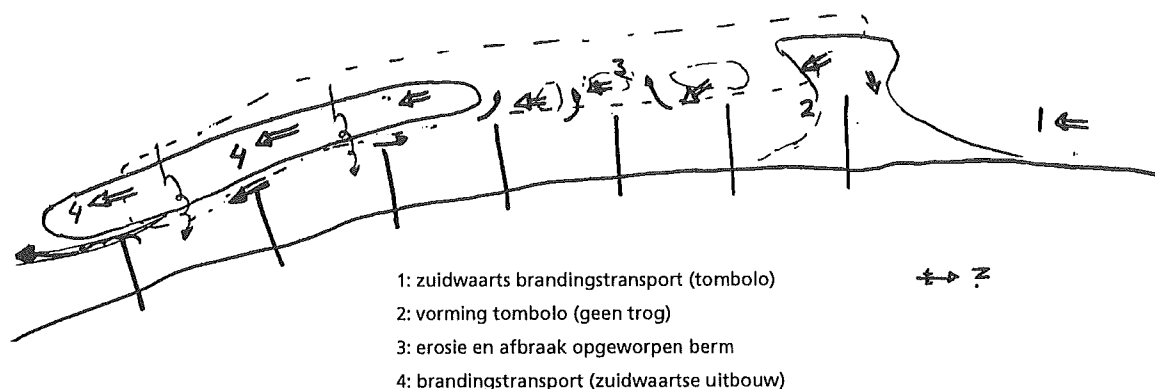
Ter plaatse van de koppen van de strandhoofden trad contractie van de langsstroming op, omdat de afstand tussen de eerder genoemde berm en de koppen gering was. Dit leidde tot verdere erosie ter plaatse van de koppen van de strandhoofden. De aanwezigheid van de strandhoofden heeft vermoedelijk ook de turbulentie doen toenemen (wervelstraten), waardoor de transportcapaciteit in de langsstroming groter werd.

Door de genoemde erosie bij de strandhoofden nam de helling van het natte strand en de voorliggende oever verder toe. Daardoor nam de strandbreedte verder af.



Pas nadat de berm (in het noordelijk deel van de suppletie) uiteen viel, kon het stroombeeld divergeren. Dat leidde tot een geringe toename van het zandvolume boven NAP -1m. In het zuidelijk deel van het kustvak bleef de berm langer in tact en nam de achteruitgang van het strand ter plaatse van het meest zuidelijke strandhoofd ernstige vormen aan. Ook veranderde daar de samenstelling van het oppervlakesediment. Uit (eigen) visuele waarnemingen bleek dat het zand daar grover van samenstelling was (met een aanzienlijke fractie stenen).

De voorgaande beschouwing is geschetst in onderstaande figuur 4.2.



Figuur 4.2 Conceptueel zandtransportmodel vooroeversuppletie ZW-Texel

#### Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)

Uit de evaluatie is gebleken dat de effectiviteit van de suppletie tamelijk groot was (orde 50 % in het eerste jaar: figuur 3.40). Tevens valt op dat er grote ruimtelijke verschillen op raainiveau zijn.

De effectiviteit in het zuidelijke deel was ook in het tweede jaar na aanleg nog groot (meer dan 50%). Dat komt omdat het suppletiezand nog steeds in de vorm van eerdergenoemde berm aanwezig was en boven de ondergrens van de BKL-zone lag. Dat was dus anders bij de Callantsoog suppletie, want daar lag het merendeel van de berm nog onder de BKL-ondergrens.

In de noordelijke helft nam de effectiviteit in het tweede jaar tot nagenoeg nul af (figuur 3.41). Dat komt omdat het zand van de berm over het kustprofiel werd herverdeeld en daardoor deels onder de BKL-ondergrens terecht kwam. Tevens was hier de doorgaande erosie dermate groot dat de zandtoevoeging door de suppletie teniet werd gedaan.

De voorgaande observaties geven aan dat het beoordelen van een suppletie enkel en alleen in termen van MKL-zandvolumes, tekort schiet. In de beheerspraktijk bleek namelijk dat juist het zuidelijk deel van het suppletievak ongewenste morfologische veranderingen te zien gaf. Het hangt er dus van af waar de suppletie op moeten worden beoordeeld om te kunnen stellen of de suppletie effectief was of niet.

### 4.3.3 De Koog 2002

#### Over de vooroeversuppletie

Het precieze doel van de 2002 vooroeversuppletie is niet vastgelegd. In de toelichting op de toetsing uit 2002 (Kustlijnkaarten 2002) staat aangegeven dat de BKL nergens wordt overschreden of dreigt te worden overschreden (zie bijvoorbeeld figuur 3.47). Omdat er wel sprake was van een licht erosieve trend, kan de vooroeversuppletie ook zijn bedoeld om te anticiperen op mogelijk toekomstige overschrijdingen. Dan heeft men kennelijk verwacht dat de werking van de vooroeversuppletie – in termen van MKL-zandvolume – enkele jaren op zich zou laten wachten.

De vooroeversuppletie zou, indien het suppletiezand volledig zou meetellen bij de MKL-berekening, een zeewaartse MKL-verplaatsing van 100 m geven (rechterplot in figuur 3.63). Dat is veel ten opzichte van de autonome jaarlijkse variaties in de MKL-positie (zie figuur 3.47). Dit geeft aan dat het volume van de vooroeversuppletie – in termen van MKL-verplaatsingen – groot is ten opzichte van de natuurlijke dynamiek.

Voor de evaluatie waren drie jaren beschikbaar. Dat geeft een redelijk beeld. In 2005 is een vooroeversuppletie aangebracht ten zuiden van de 2002-suppletie. In 2006 zal er opnieuw een vooroeversuppletie worden aangebracht, deels overlappend met de 2002-suppletie.

#### Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen

Na uitvoering van de vooroeversuppletie migreerde de kruin van de brekerbank versneld naar de kust. Hierdoor verplaatste ook de tussen het strand en de brekerbank gelegen trog naar de kust toe. Het directe gevolg was een afname van de strandbreedte, maar dat veranderde na het eerste winterseizoen toen de strandbreedte weer toenam.

Het directe effect van de vooroeversuppletie op het zandvolume boven ongeveer NAP –5 m is te zien in de beide suppletievakken (de onderste twee grafieken in figuur 3.56b). Daar neemt het zandvolume direct na de suppletie toe. In de beide aangrenzende kustvakken daarentegen neemt het zandvolume na 2002 juist af. Of dit het gevolg is van de aanwezigheid van de suppletie valt niet te zeggen, omdat de veranderingen nog wel passen in het langjarig patroon van variabele zandvolumes.

Omdat er afgezien van het suppletievolume in het gesuppleerde kustvak nauwelijks zand is bijgekomen, kan geconcludeerd worden dat er geen extra zand is afgezet. Dit geeft aan dat de golfcondities die het langstransport voor de kust hebben bepaald niet of nauwelijks zijn beïnvloed door de aanwezigheid van de suppletie. De relatief grote diepte waarop de suppletie is aangebracht, is daar mede debet aan.

#### Over de maatgevende zandtransportprocessen

Het ziet ernaar uit dat hier dezelfde veranderingen in het zandtransport spelen als geschetst in paragraaf 4.3.1. Het enige opvallende verschil is dat de suppletie op grotere diepte is aangelegd en dat er relatief meer zand aan het dwarsprofiel is toegevoegd. Die verschillen doen echter geen afbreuk aan de processen zoals geschetst in figuur 4.1.

### **Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)**

De effectiviteit van de vooroeversuppletie was gering in het eerste jaar na aanleg (0 – 20 %). In het tweede en derde jaar na aanleg was dit wel iets toegenomen maar nog steeds in beperkte mate en bovendien ruimtelijk zeer verschillend (op raai-niveau). Alleen in het meest noordelijke deel van het suppletievak (ten noorden van RSP 21,5 km) nam de effectiviteit toe tot circa 50%. Juist in dit kustvak was de brekerbank dermate ver landwaarts opgeschoven dat de bank instabiel werd. Dit had mede tot gevolg dat de trog uit het kustprofiel verdween en er meer zand in de MKL-rekenshijf terecht kon komen.

### **4.3.4 Vlieland-oost 2001**

#### **Over de vooroeversuppletie**

Ook het doel van deze vooroeversuppletie staat nergens beschreven. In de toelichting op de toetsing uit 2001 (Kustlijnkaarten 2001) staat aangegeven dat de BKL in vrijwel het gehele kustvak wordt overschreden. Waarschijnlijk was het doel van deze vooroeversuppletie dus gericht op het MKL-zandvolume.

De vooroeversuppletie kent veel variatie in kust-langse richting. Grofweg kan gesteld worden dat in de westelijke helft van het kustvak sprake is van een reguliere vooroeversuppletie. Hier komen van nature ook brekerbanken voor. In de oostelijke helft van het kustvak is eerder sprake van een geulwandsuppletie. Dit is gedaan als slijtlaag voor het landwaarts opschuiven van de Zuiderstortemelk.

In termen van suppletie-intensiteit (in  $m^3/m$ ) was deze vooroeversuppletie niet groot. De potentiële maximale bijdrage aan de positie van de MKL bedraagt orde tientallen meters. Dat is van dezelfde orde van grootte als de natuurlijk variatie in de MKL-positie (figuur 3.70). Bovendien varieert de suppletie-intensiteit sterk over het gesuppleerde kustvak (rechtergrafiek in figuur 3.81).

#### **Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen**

Naar het westen toe lijken de waargenomen bodemveranderingen op hetgeen reeds is beschreven voor de suppleties Callantsoog en De Koog. De dynamiek van de brekerbanken domineert daar het beeld, zowel voor aanleg van de suppletie als na aanleg van de suppletie.

Op de aangebrachte vooroeversuppletie (kruin: NAP -5 m) ontstond een bank (kruin: NAP -4 m), die zich in het eerste jaar richting kust verplaatste. Daarna migreerde de bank zeewaarts of (op sommige locaties) nog verder landwaarts. Uiteindelijk leidde dit tot een nieuwe langgerekte bank, zoals te zien in figuur 3.74 (vak 98).

In de oostelijke helft van het gesuppleerde kustvak neemt de invloed van de getijstrooming op de plaatselijke zandtransporten toe. Dat heeft te maken met de invloed van het nabijgelegen zeeget het Vlie.

De invloed van de suppletie lijkt beperkt tot het voorliggende kustvak. De invloed op de aanpalende kustvakken is klein. Voor het oostelijke kustvak is dat enigszins verrassend. De getijgeul "Nieuwe Zuiderstortemelk" is immers een vloedgeul en verwacht werd dan ook dat een deel van het suppletiezand met de vloedstroom mee naar het oosten zou worden meegenomen.

De profielen in figuur 3.80 laten zien dat alleen in het eerste jaar na aanleg een kleine verplaatsing van de geulwand in zeewaartse richting heeft plaatsgevonden (de groene lijn ligt in de figuur ongeveer 10 m zeewaarts van de dikke rode lijn). In de daaropvolgende jaren echter, migreert de geulwand weer (terug) richting kust, zij het met een afgenomen migratiesnelheid. Er is dus wel enige opbrengst in het benedenstroomse kustvak, maar geen groot effect. Dit heeft mogelijk ook te maken met de relatief kleine suppletie-intensiteit ten opzichte van de natuurlijke zandverplaatsingen.

Uit een analyse van de veranderingen in de zandvolumes van de aangrenzende kustvakken bleek niet dat hier door de vooroeversuppletie een trendbreuk in is opgetreden. Er kan dan ook niet worden aangetoond dat de invloed van de suppletie verder reikt dan het gesuppleerde kustvak zelf. Dit heeft vermoedelijk ook te maken met de geringe suppletie-intensiteit, waardoor eventuele veranderingen wegvallen in de natuurlijke dynamiek.

#### **Over de maatgevende zandtransportprocessen**

In het westelijk deel van het gesuppleerde kustvak lijkt bankdynamiek weer het belangrijkste fenomeen. Voor een mogelijke verklaring wordt verwezen naar de hypothese die dienaangaande is opgenomen in paragraaf 4.3.1 (figuur 4.1).

De zandtransporten in het oostelijk deel van het gesuppleerde kustvak zijn hierboven reeds kort toegelicht. De essentie daarvan is dat de getijstrooming in de getijgeul bepalend is voor het zandtransport op de geulwand. Dit transport vindt hoofdzakelijk plaats in longitudinale richting van de geul, dus parallel aan de kustlijn. Omdat het maar kleine zandhoeveelheden betreft zien we nauwelijks benedenstroomse effecten.

#### **Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)**

Samengevat was de effectiviteit slecht in het westelijk deel (negatief), en goed (> 50%) in het oostelijk deel van het gesuppleerde kustvak.

De slechte effectiviteit in het westelijk deel komt door het ontstaan van een nieuwe langgerekt bank die dermate diep ligt dat het maar zeer weinig bijdraagt aan het MKL-zandvolume. De verdieping die tussen het strand en deze bank ontstond leidde per saldo tot een afname van het MKL-zandvolume. Zoveel minder zelfs dat er ook ten opzichte van de natuurlijke trend sprake is van achteruitgang (een averechtse werking dus). Naar het oosten toe blijkt het zand een gunstige werking te hebben op het MKL-zandvolume, omdat een deel van het zand "omhoog" wordt getransporteerd en dan boven de ondergrens van de BKL-rekenschijf komt.

### **4.3.5 Terschelling 1993**

#### **Over de vooroeversuppletie**

Het oorspronkelijke doel van de suppletie was om ervaring op te doen met een vooroeversuppletie. Het voorkomen van het doorsnijden van de BKL speelde in het geheel niet.

De vooroeversuppletie zou, indien het suppletiezand volledig zou meetellen bij de MKL-berekening, een zeewaartse MKL-verplaatsing van 20 m (in het westen) tot 100 m (in het oosten) geven. Dat is gelijk of iets meer dan de natuurlijke fluctuaties (figuur 3.87). Er is dus noch sprake van een omvangrijke suppletie, noch van een kleine suppletie.

Voor de evaluatie waren meer dan tien jaren beschikbaar. Dat is voldoende lang om conclusies te kunnen trekken.

### Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen

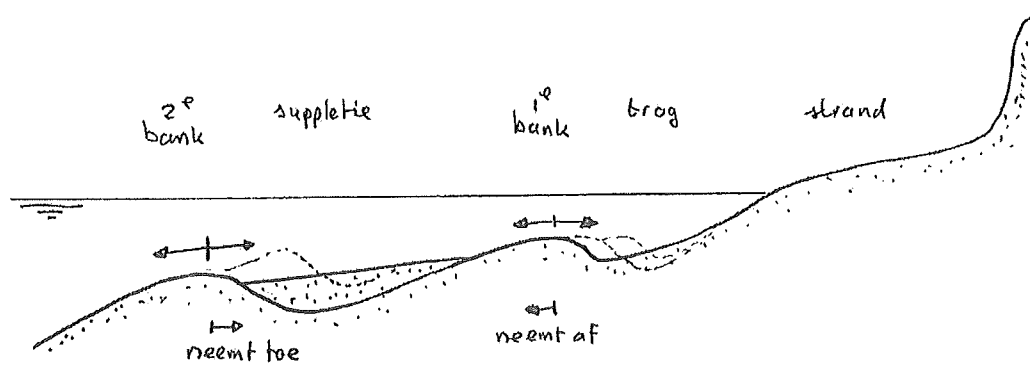
Voor de uitvoering van de vooroever-suppletie was het kustvak van Terschelling in termen van MKL-posities tamelijk stabiel. Er was wel veel variatie in de MKL van jaar tot jaar en van raai tot raai, maar deze dynamiek was wisselend en gekoppeld aan de beweeglijkheid van de brekerbanken.

De bodemveranderingen laten zien dat aanvankelijk de grootste morfologische aanpassingen in het kustprofiel plaatsvonden. Dit uitte zich in sterk veranderlijke posities van brekerbanken en troggen. In het algemeen migreerde de brekerbanken richting kust, waarbij tevens de voorliggende trog opschoof.

Reeds in de eerste jaren na de suppletie is sprake van een positieve zandbalans. Er komt dus meer zand bij dan op basis van de erosie van het suppletiezand zou kunnen worden geconcludeerd. Dit suggereert het "invangen" van kustlangs aangevoerd zand. Het kan echter ook te maken hebben met het feit dat grote delen van het kustvak toch al een zeewaartse trend hadden. Het invangen van zand hoeft dus niet (volledig) veroorzaakt te zijn geweest door een afname van de langtransportcapaciteit "achter" de suppletie. Dat is ook niet erg waarschijnlijk gegeven de beperkte afmetingen van de suppletie en de relatief grote diepte waarop het is aangelegd (NAP -5 m / NAP -7 m). Bovendien was geen sprake van versnelde kusterosie in het kustvak ten oosten van de suppletie.

### Over de maatgevende zandtransportprocessen

Vermoedelijk zijn de processen die hier hebben gespeeld vergelijkbaar met die voor Callantsoog, De Koog en het westelijk deel van Vlieland. In figuur 4.3 is dit geschetst voor de situatie met twee brekerbanken in het profiel.



Figuur 4.3 Schets van mogelijke veranderingen in het dwarstransport bij twee banken

#### *Hypothese bankdynamiek (twee banken)*

Ter plaatse van de eerste brekerbank (gemeten vanuit de kust) neemt het bruto zeewaarts gerichte dwarstransport iets af. Daardoor verandert de balans en neemt het netto kustwaartse zandtransport lokaal toe. Dit leidt tot het (versneld) landwaarts opschuiven van de brekerbank. Ter plaatse van de tweede brekerbank neemt het landwaarts gerichte dwarstransport toe, omdat als gevolg van de aangebrachte suppletie hier meer golfenergie wordt gedissipeerd. Hoe dit precies gaat is niet bekend. Het is een subtiel spel van heen en weer gaande zandverplaatsingen, waarbij kleine - nauwelijks meetbare - effecten relatief grote gevolgen kunnen hebben.

Ook hier geldt weer dat de bank in bovenaanzicht instabiel wordt zodra deze de waterlijn te dicht is genaderd. Dat heeft te maken met het "uitbreken" van de aanwezige langsstroming.

#### **Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)**

De berekende effectiviteit was in het eerste jaar na aanleg reeds hoog. Dat kwam omdat vrij snel na de aanleg, suppletiezand landwaarts verplaatste en boven de ondergrens van de BKL-rekenshijf kwam te liggen. De effectiviteit nam in de eerste zeven jaar na aanleg steeds verder toe, totdat het na het zevende jaar nauwelijks meer toenam (en weer iets afnam).

Het algemene beeld dat naar voren komt is dat het suppletiezand grotendeels dwars op de kust is herverdeeld. Het bankenpatroon veranderde en er kwam daardoor snel meer zand in de BKL-rekenshijf terecht. De natuurlijke zeewaartse trend leidde tot een nog grotere toename van het MKL-zandvolume. Zeven jaar na de aanleg blijkt de dynamiek in het kustprofiel weer grotendeels hetzelfde te zijn als in de situatie voor de suppletie.

### **4.3.6 Ameland-midden 1998**

#### **Over de vooroeversuppletie**

Het precieze doel van de 1998 vooroeversuppletie is niet vastgelegd. In de toelichting op de toetsing uit 1998 (Kustlijnkaarten 2002) staat aangegeven dat de BKL naar verwachting in 2001 op meerdere raaien zal worden overschreden. Tevens gaf men aan dat het vermoedelijk enkele jaren zou duren voordat het zand zou bijdragen aan de MKL-positie. Dit suggereert dat het doel van de suppletie wel degelijk verband houdt met de MKL-positie en dat men meer ervaring wilde opdoen met het principe van de vooroeversuppletie.

In termen van suppletie-intensiteit (in  $m^3/m$ ) was deze vooroeversuppletie niet groot. De potentiële maximale bijdrage aan de positie van de MKL bedraagt orde tientallen meters. Dat is van dezelfde orde van grootte als de natuurlijke variatie in de MKL-positie (tabel 3.22). Bovendien varieert de suppletie-intensiteit sterk over het gesuppleerde kustvak. Naar het westen toe was de suppletie-intensiteit kleiner dan naar het oosten toe (rechtergrafiek in figuur 3.122).

Voor de evaluatie waren vijf jaren beschikbaar. Dat is voldoende voor een evaluatie van de effectiviteit van de suppletie. In 2003 is een tweede vooroeversuppletie in het gebied uitgevoerd.

#### **Over de waargenomen morfologische ontwikkelingen**

Net als bij de andere vooroeversuppleties is deze suppletie de aanjager geweest van snelle aanpassingen in het kustprofiel. De eerste brekerbank migreerde kustwaarts, daarbij de voorliggende trog voor zich uitschuivend. Deze structuur van deze bank viel uiteen nadat de bank de waterlijn te dicht was genaderd. Vervolgens nam op die locaties het MKL-zandvolume toe.

Uit een analyse van de zandvolumes van de aanliggende kustvakken bleek geen langseffect van de suppletie. De mogelijke invloed van de suppletie op de aangrenzende kustvakken valt binnen de bandbreedte van de natuurlijke fluctuaties. Dat heeft mede te maken met de geringe suppletie-intensiteit.

### **Over de maatgevende zandtransportprocessen**

Omdat de maatgevend geachte zandtransportprocessen niet afwijken van hetgeen reeds in paragraaf 4.3.1 staat beschreven, wordt daar naar verwezen. Tevens wordt verwezen naar figuur 4.3.

### **Over de effectiviteit van de suppletie (in termen van MKL-zandvolume)**

De effectiviteit blijkt alleen positief te zijn geweest voor het centrale deel van het suppletievak. Aan de beide kopse uiteinden is de effectiviteit niet groot of zelfs negatief geweest (figuur 3.125). Dit wekt de suggestie alsof de suppletie als een brekerbank heeft gewerkt. De langtransportcapaciteit in de (golf-)luwte van de suppletie neemt af, waardoor het met de brandingstroom aangevoerde zand onvoldoende kan worden doorgetransporteerd. Deze hypothese lijkt echter niet te kloppen. Zo is het net als bij de voorgaande suppleties niet waarschijnlijk dat de aangebrachte "bult" zand veel invloed heeft gehad op de normale golfcondities die het jaarlijkse langtransport bepalen (gemiddelde  $H_s$  van circa 1 – 1,5 m bij een kruin van de suppletie op circa NAP –5 m). Tevens is het zandvolume van de aangrenzende kustvakken (verticale kubering) niet of nauwelijks gereduceerd.

Waarom dan toch juist in het midden van het suppletievak de grootste winst in termen van MKL-zandvolume is opgetreden is niet met zekerheid te zeggen. Misschien is hierbij van belang dat juist in het midden van het gesuppleerde kustvak, de eerste brekerbank het dichtst onder de kust lag (zie bodemligging direct na de suppletie in figuur 4.4). Kennelijk is de bank hier het eerst instabiel geworden met een netto aanwas van het MKL-zandvolume als resultaat. Ten opzichte van het vrij geringe suppletievolume geeft dat dan een relatief grote effectiviteit.

## **4.4 Overeenkomsten en verschillen**

### **Landwaartse verplaatsing van brekerbank**

Met uitzondering van de suppletie in het Molengat en de oostelijke helft van de suppletie op Vlieland-oost, lagen er één of meerdere brandingsruggen (brekerbanken) voor de kust. Het beeld van de morfologische veranderingen na aanleg van de vooroeversuppletie was min of meer hetzelfde. De eerste brekerbank migreerde naar de kust en schoof daarmee al dan niet de voorliggende trog voor zich uit. Met name daar waar strandhoofden aanwezig waren leidde dit tot een versmalling van het strand. Zodra de brekerbank de kust dicht genoeg was genaderd, werd de bank in bovenaanzicht instabiel en verdween de trog uit de kustprofielen. Vanaf dat moment nam het MKL-zandvolume toe, alsmede de strandbreedte. Het proces dat hiervoor mogelijk verantwoordelijk is staat beschreven in paragraaf 4.3.1. In hoofdstuk 5 wordt geprobeerd om uit deze analyse een mogelijke ontwerprichtlijn af te leiden.

### **Beïnvloeding naastliggende kustvakken**

In geen van de suppleties kon worden vastgesteld dat er een significante beïnvloeding heeft plaatsgevonden van het zandvolume in de naastliggende kustvakken. Soms was er wel sprake van een verandering in bijvoorbeeld het MKL-zandvolume van een naastgelegen vak, maar die verandering paste in de langjarige bandbreedte. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de aangebrachte vooroeversuppleties geen van allen een zodanige invloed hebben gehad op de golfvoortplanting dat daardoor de

langtransportcapaciteit voor de kust afnam. Daardoor werd geen zand "ingevangen", en ontstond er ook geen "benedenstroomse" (extra) erosie.

### **Bermvorming**

De vooroeversuppleties zijn aangelegd als een vlak "plateau" op een bepaalde diepte. In alle gevallen ontstond op dit "plateau" een berm. In het dwarsprofiel is dit zichtbaar als een "bult" zand ergens op de vooroeversuppletie (bijvoorbeeld goed zichtbaar in figuur 3.58). De hoogte van deze berm hangt onder andere af van het totale suppletievolume en ook van de diepte waarop deze werd aangelegd. Ook de korrelgrootte van het suppletiezand speelt vermoedelijk een rol. Als grof suppletiezand wordt gebruikt kan een hogere berm ontstaan (suppletie Molengat).

Of een berm nadelig werkt of niet is niet op voorhand te zeggen. Bovendien hangt dat sterk af van het aspect waarop men dat beoordeelt.

Als er tussen deze berm en de kust geen brekerbank ligt (zoals bij de suppletie in het Molengat), dan kan de berm een nadelig effect hebben op de strandbreedte. Dit kan nog worden versterkt als er in het betreffende kustvak strandhoofden aanwezig zijn die de doorstroming in langsrichting van de kust verder beperken.

Als er wel een brekerbank tussen de berm en de kust ligt (zoals bij alle andere vooroeversuppleties), dan is het effect van een berm op de strandbreedte minder groot. Het voordeel van een hoge berm is dat er een groter gedeelte van het suppletiezand bijdraagt aan het MKL-zandvolume. Het zal duidelijk zijn dat dit alleen een rekentechnische winst is, omdat het niet per definitie leidt tot een toename van het zandvolume dicht onder de kust.

Waarschijnlijk heeft een berm een filterende werking op de golfcondities. Daardoor kan een grotere berm mogelijk ook een grotere verandering teweeg brengen in het netto dwarstransport op de eerste brekerbank. Het vermoeden bestaat dat een hogere berm de landwaartse migratiesnelheid van de eerste brekerbank doet toenemen. Daardoor komt de brekerbank eerder op een punt dat het instabiel wordt, zodat het MKL-zandvolume eerder kan toenemen. Of deze hypothese klopt zal in een nader onderzoek moeten worden onderzocht. Mocht de hypothese kloppen, dan is dit nog geen pleidooi voor grote vooroeversuppleties (in  $m^3/m$ ). Een te grote berm voor de kust kan immers ook werken als een "kustparallele dam". De invloed op de golfvoortplanting kan dan zo groot worden dat de langtransportcapaciteit afneemt en er per saldo zand wordt "ingevangen". Dat kan dan weer leiden tot versterkte erosie in de aanliggende kustvakken. Op deze beide aspecten komen we in hoofdstuk 5 terug.

### **Doel en effectiviteit van de vooroeversuppletie**

Van geen van de onderzochte vooroeversuppleties was van tevoren een plan opgesteld. Zonder definitie van de doelen van een suppletie is het lastig om een goede evaluatie uit te voeren. Immers: waar moet de effectiviteit (=doelmatigheid) van de suppletie dan op worden beoordeeld? In deze studie is voor elk van de zes vooroeversuppletie het MKL-zandvolume als leidraad genomen.

De effectiviteit van de verschillende suppleties blijkt aanzienlijk verschillen. Niet alleen van suppletie tot suppletie, maar ook binnen de grenzen van het gesuppleerde kustvak. Uit de berekende effectiviteitslijnen is geen eensluidende relatie af te leiden tussen de geometrische kenmerken van de vooroeversuppletie en de gevonden effectiviteit.





In dit rapport is voor de eerste keer gerekend aan effectiviteit. De ontwikkelde berekeningsmethode sluit aan bij de MKL-berekeningsmethode. Gebleken is dat de methode belangrijke beperkingen heeft. Zo is de effectiviteit afhankelijk van de suppletie-intensiteit. Als die van raai tot raai verschilt, dan geeft dat op zich al een kustlangse variatie in de effectiviteit. Ook worden de berekende percentages erg groot op plaatsen waar maar weinig suppletiezand is aangebracht. Dat komt omdat daar in de berekening van de effectiviteit gedeeld wordt door een relatief klein getal (de noemer in vergelijking 2.1). Zodra de natuurlijke variaties in het MKL-zandvolume groter zijn dan de potentiële bijdrage van de vooroeversuppletie, hebben de berekende effectiviteitspercentages geen waarde meer. Het is dus van belang dat de berekeningsmethode nader wordt uitgewerkt.

## 5 Aanzet tot ontwerprichtlijnen

### 5.1 Ontwerpoverwegingen

#### De rol van ontwerprichtlijnen

Een belangrijk doel van de evaluatie is het ontwikkelen van zogenaamde ontwerprichtlijnen. Dat zijn voorschriften en een lijst "do's en dont's" voor het ontwerpen en uitvoeren van vooroeversuppleties.

Bij het ontwerpen van een suppletie wordt vaak onderscheid gemaakt tussen een morfologisch ontwerp en een besteksontwerp. In het morfologisch ontwerp wordt de hoeveelheid suppletiezand en de verdeling langs de kust vastgesteld. Nadat het morfologisch ontwerp is vastgesteld moet het besteksontwerp worden gemaakt. Daarin worden nadere keuzes gemaakt over de uitvoering van de suppletie. Vaak is de uitvoeringsmethode sturend voor het morfologisch ontwerp. De suppletievakken moeten immers bereikbaar zijn voor de sleehopperzuiger. Of er moeten – zoals bij de vooroeversuppletie van Ameland – aanvullende ingrepen worden uitgevoerd (baggeren toegangseul door buitenste brekerbank).

De richtlijnen waar het in dit hoofdstuk om gaat, hebben in beginsel betrekking op beide type ontwerpen.

In het morfologisch ontwerp staan de doelen van de suppletie centraal. In Arcadis (2005) staat beschreven op welke manieren de keuzes worden gemaakt voor het maken van een morfologisch ontwerp van een suppletie. Dat is zelden eenduidig en bovendien regionaal verschillend. Ondanks de verschillen, spelen twee parameters altijd een belangrijke rol: de mate van erosie en de gewenste herhalingstijd van de suppletie.

Ontwerprichtlijnen moeten rekening houden met het doel van een specifieke suppletie. Dat blijkt ondermeer uit de volgende twee voorbeelden.

Als het doel is om de zandvoorraad van "het kustfundament" op peil te houden, dan is elke kubieke meter van de vooroeversuppletie feitelijk adequaat. Het kustfundament gaat immers veel verder dan de BKL-rekenshijf (namelijk tot NAP –20 m). Het maakt dan in essentie niet uit waar en hoe het zand wordt aangebracht. De enige ontwerprichtlijn die daar dan uit zou volgen is dat het suppletiezand van buiten het kustfundament (beneden NAP –20 m) moet worden aangevoerd.

Als echter het doel van de suppletie is om de veiligheid van het achterland te garanderen, dan moet het zand terecht komen in de "afslagzone" van de kust (dat is het gedeelte van het kustprofiel dat onderdeel uitmaakt van het norm-afslagprofiel). Het zand moet dan ongeveer boven NAP –2 m terecht komen. In de praktijk betekent dit dat gekozen wordt voor een duinvoet- of strandsuppletie (Leidraad Zandige Kust, tabel 6.3), maar wellicht kan ook met hoge vooroeversuppleties aan dit doel tegemoet worden gekomen. De bijbehorende ontwerprichtlijnen zijn er dan op gericht om het zandvolume in de afslagzone te laten toenemen.

In een ontwerp waarin vooral op zandvolume wordt gestuurd zal vaak een grove aanpak worden gevolgd. Als het gaat om specifieke belangen (veiligheid, strandbreedte, enz.), dan is ten aanzien van het ontwerp meer maatwerk (op raainiveau) vereist. Dan moeten er bijvoorbeeld richtlijnen zijn voor de prezieze plaatsing van het zand: tegen de bank aan, in de trog, minder eenvormig, meer bulten, enz.

### Ontwerpparameters

In een wellicht utopische situatie worden de karakteristieken van de suppletie (de zogenaamde *ontwerpparameters*) gerelateerd aan *externe parameters*, zoals bijvoorbeeld de aanwezigheid van brekerbanken. Als de externe parameters dan bekend zijn, volgen uit de ontwerprichtlijnen de getallen voor de ontwerpparameters. Het woord "utopisch" is hierboven gebruikt, omdat het maar de vraag is of het gedrag van een zandsuppletie in een dynamische omgeving als die van de brandingszone, ooit volledig kan worden voorspeld. Desondanks kan daar wel een aanzet toe worden gegeven.

De ontwerpparameters zijn samengevat in onderstaande tabel 5.1.

Ontwerpparameter	Beschrijving	dimensie
Breedte	De breedte gemeten dwars op de kust	m
Hoogte	De laagdikte van de suppletie	m
Lengte	De lengte van de suppletie (kustvaklengte)	m
Volume	Het volume in-situ aangebracht suppletiezand	m <sup>3</sup>
Hellingen	Hellingen in dwarsdoorsnede	-
Verloop kopse zijden	Hellingen in bovenaanzicht	-
Afstand uit de kust	Afstand t.o.v. RSP -lijn	m
Intensiteit (gemid.)	Hoeveelheid suppletiezand per strekkende m kust	m <sup>3</sup> /m
Intensiteit (var.)	Kustlangse variatie in suppletieintensiteit	m <sup>3</sup> /m/m
Vorm kruin	Vorm van de bovenkant van de suppletie	-
Korrelkarakteristieken	D <sub>50</sub> , gradatie, schelphoudendheid, enz.	div.
Wijze van aanbrengen	Keuze stortvakken, in te zetten materieel, volgorde en methode van aanbrengen.	div.

Tabel 5.1 Overzicht mogelijke ontwerpparameters

Voorbeelden van *externe parameters* zijn bijvoorbeeld de actuele geometrie van het kustprofiel op het moment van suppleren, de structuur van de banken in bovenaanzicht, de korrelkarakteristieken, of de te verwachten hydrodynamische condities op die specifieke locatie.

Het is nog niet mogelijk gebleken om op basis van de uitgevoerde evaluatie dergelijke ontwerprichtlijnen op te stellen. Wel kunnen een aantal lessen worden getrokken die van pas kunnen komen bij het ontwerpen van vooroeversuppleties. Dat is wezenlijk anders dan een ontwerprichtlijn, want daar kan alleen sprake van zijn als de fysica voldoende is doorwrochten en in het veld is geverifieerd. De volgende paragraaf moet daarom worden gezien als een eerste aanzet daartoe.

## 5.2 Lessen en overwegingen

### De "instabiliteitsafstand"

In paragraaf 4.3.1 is een hypothese geformuleerd over de werking van een vooroeversuppletie op het dwarstransport en de verplaatsing van de brekerbanken. Het zeewaarts gerichte dwarstransport op de kruin van de (eerste)brekerbank neemt iets af omdat een (klein) deel van de golfenergie op de verhoogde vooroever wordt gedissipeerd. Afhankelijk van de hoogte (en de breedte) van de suppletie, wordt een

deel van het golfspectrum beïnvloed. De verhouding tussen het bruto zeewaarts en het bruto landwaarts dwarstransport verandert daardoor ten gunste van het landwaartse transport. Hierdoor verplaatst de brekerbank (sneller) kustwaarts.

In de meeste kustvakken zijn de brekerbanken tamelijk langgerekt. Als de bank richting kust opschuift, dan schuift ook de voorliggende (langgerekte) trog mee. Dat kan soms tot verdieping van het onderwaterprofiel leiden, hetgeen tevens een versmalling van het strand teweeg brengt. Dit laatste doet zich sneller voor in situaties met strandhoofden.

Nadat de brekerbank voldoende ver het kustprofiel is "opgeschoven", wordt de bank instabiel en valt lokaal uiteen. Voor het MKL-zandvolume heeft dit weinig gevolgen. Maar voor de strandbreedte en het onderwaterprofiel direct onder de waterlijn is dit wel van belang: de strandbreedte neemt dan (tijdelijk) toe.

In het algemeen kan gesteld worden dat het ongewenst is als er een trog richting kust opschuift en daarbij verdiept. Dit deed zich lokaal voor bij de Callantsoog-2001 suppletie en bij de 2003 Molengat suppletie. Bij de laatstgenoemde suppletie ontstond deze trog door de vorming van een berm op de vooroeversuppletie (zie ook hierna). Het deed zich niet voor bij de overige vooroeversuppleties. Met uitzondering van Vlieland-oost waren daar in plaats van één brekerbank, twee brekerbanken in het kustprofiel aanwezig. Mogelijk dat dit een dempende werking heeft gehad op de verplaatsing van de meest landwaarts gelegen trog.

Het instabiel worden van een brekerbank is voor de lokale strandbreedte doorgaans gunstig. Omdat het landwaartse transport dan niet meer wordt onderbroken door een langs- en elders zeewaarts gerichte muistroom, kan er netto zandaanwas van het strand plaatsvinden.

Als we in staat zouden zijn om de afstand waarbij een brekerbank instabiel wordt (hier aangeduid als de "instabiliteitsafstand") te koppelen aan andere fysische parameters, dan kan daar een interessante ontwerprichtlijn uit volgen. Immers: als in een kustvak de brekerbank om en nabij deze afstand ligt van de kust, dan is een vooroeversuppletie gunstig. Als de afstand van de brekerbank tot de kust groter is dan de instabiliteitsafstand, dan bestaat het gevaar dat eerst de aanwezige trog kustwaarts opschuift. Als dat ongewenst is, kan overwogen worden om bijvoorbeeld voorafgaand aan de vooroeversuppletie eerst een strandsuppletie uit te voeren (zodat de afstand waterlijn – brekerbank vanuit het strand wordt verkleind).

Of het voorgaande waar is hangt vooral af van de vraag of de hypothese uit paragraaf 4.3.1 (figuur 4.1) klopt. Maar als het zo is, dan zou een vooroeversuppletie kunnen worden uitgevoerd op het moment dat de brekerbank een "gunstige positie" ten opzichte van de waterlijn heeft. Er zijn dan drie momenten waarop een vooroeversuppletie gepland kan worden:

- Zodra de BKL (bijna) wordt overschreden (Callantsoog);
- Anticiperend op toekomstige overschrijding (Ameland, De Koog);
- Zodra de brekerbanken "gunstig" ligt.

Feitelijk is de derde methode ook een "op de tijd – anticiperende" methode, maar in plaats van een verwachte werkingsduur van een vooroeversuppletie, gaat men dan uit van veldgegevens.

Geconstateerd moet worden dat er op dit moment nog te weinig kennis is van de stabiliteit van brekerbanken om het voorgaande te kunnen kwantificeren. Daarbij speelt

tevens de vraag of het, gezien het hoog-dynamische karakter van muistromen en brekerbanken, überhaupt wel mogelijk is om een dergelijke instabiliteitsafstand te kunnen vaststellen. Het lijkt ons echter van belang om een technisch vervolgonderzoek te starten naar de juistheid van de in paragraaf 4.3.1. beschreven hypothese.

### **Niet te veel en niet te weinig**

De intensiteit van een vooroeversuppletie moet bij voorkeur niet veel kleiner zijn dan de natuurlijke dynamiek. Als dat wel zo is, dan zijn de effecten bijna niet meer te onderscheiden van de natuurlijke dynamiek. In tabel 3.22 is hiervoor als maat geïntroduceerd: het quotiënt tussen de maximale MKL-bijdrage van de suppletie en de natuurlijke MKL-verplaatsingen.

Vanzelfsprekend speelt hierbij het doel van de vooroeversuppletie een belangrijke rol. Als het doel is om de structurele erosie in een zone tot NAP -8 m te compenseren, dan is het van minder belang hoe dit zand zich over het kustprofiel verdeelt. Als het echter gaat om het MKL-zandvolume, en de vooroeversuppletie ligt bijvoorbeeld tegen de buitenste brekerbank aan (onder de BKL-ondergrens), dan is dat wel van belang. In een dergelijke situatie moet het voornoemde quotiënt groot genoeg zijn om enig merkbaar effect te kunnen hebben.

Als de suppletie-intensiteit erg groot is, dan zal het effect op de kustnabije golfcondities ook groter zijn. Bij een voldoende hoge (en brede) vooroeversuppletie neemt de langtransportcapaciteit in de luwte van de suppletie zoveel af, dat er netto aanzanding achter de suppletie kan plaatsvinden (het "invangen" van zand). Dat is weliswaar gunstig voor het zandvolume in het gesuppleerde kustvak, maar waarschijnlijk ongunstig voor het benedenstrooms gelegen kustvak waar erosie kan optreden.

Absolute getallen voor een ideale verhouding "maximale MKL-verplaatsing / natuurlijke MKL-verplaatsingen" zijn niet te geven. Vermoedelijk hangen die ook af van de aanwezigheid van één of meerdere brekerbanken.

De grootste suppletie-intensiteit was aangebracht bij de 2001-vooroeversuppletie voor De Koog. De morfologische effecten waren daar niet ongunstig, hoewel het lang duurde voordat het MKL-zandvolume substantieel toenam. De voornoemde verhouding bedroeg ongeveer 10 (tabel 3.22).

Om het effect van vooroeversuppleties op het MKL-zandvolume redelijkerwijs te kunnen vaststellen zou de suppletie-intensiteit groter moeten zijn dan 3 à 5 en bij voorkeur niet veel groter dan 10 à 15. Deze getallen komen ongeveer overeen met de uitersten van de geëvalueerde vooroeversuppleties.

### **Pas op voor bermvorming**

De 2003-suppletie in het Molengat heeft een nadelige werking gehad op het strand (breedte, korrelsamenstelling). Dit kwam door de vorming van een diepe trog vlak voor de kust. De aanwezigheid van de strandhoofden hebben de situatie verergerd. De trog ontstond na de vorming van een berm (NAP -2 m) op het aangebrachte suppletiezand. Voor het MKL-zandvolume maakte deze ontwikkeling niet veel uit, omdat het suppletiezand boven de BKL-ondergrens was aangebracht. Maar voor de strandbeheerder waren de ontwikkelingen bedreigend.

Een tweetal omstandigheden hebben de berm- en trogvorming versterkt. Ten eerste werd veel grover zand gebruikt dan van nature in het kustprofiel aanwezig. Hierdoor werd het zand in dwarsrichting door de aanwezige golven opgeworpen tot

een smalle, relatief hoge berm. Als fijner zand was gebruikt, is de verwachting dat dit zich meer in de breedte had verdeeld, waardoor het doorstroomprofiel langs de kust minder zou zijn "geknepen".

Ten tweede lagen de koppen van de aanwezige strandhoofden op zeer korte afstand tot de vooroeversuppletie (soms enkele tientallen meters). Ook daardoor was de ruimte voor de langstroming (onder invloed van getij, schuin invallende golven en mogelijk wind) beperkt en ontstond een diepe langseul.

Een dergelijke situatie is voor een beheerder niet gunstig. Het is gevaarlijk voor zwemmers, voor de stabiliteit van de strandhoofden en het beperkt de gebruiksmogelijkheden van het strand.

Een eerste les die hier uit volgt is dat er bij voorkeur niet (veel) grover suppletiezand moet worden gebruikt dan het van nature aanwezige zand.

Een tweede les is dat er in situaties met strandhoofden niet te dicht onder de kust moet worden gesuppleerd.

Voor de berekende effectiviteit van de 2003-Molengat suppletie maakte het voorgaande niet veel uit. In de zuidelijke helft van de suppletie was de berekende effectiviteit (in termen van MKL-zandvolume) zelfs beter dan in de noordelijke helft. En dat terwijl juist dààr de trog hardnekkig aanwezig was en tot de grootste problemen leidde. De verklaring hiervoor is dat er op die plaats een soort *status quo* ontstond waarbij de berm en trog in stand bleven, zonder dat het zandvolume veel verder afnam. In de noordelijke helft van de suppletie was de berm eerder uiteen gevallen, waardoor het zand zich op een meer natuurlijke manier kon herverdelen. Daar bleek al snel dat de doorgaande erosie over een periode van twee jaar groter was dan het aangebrachte suppletievolume.

Het voorgaande laat opnieuw zien dat ontwerprichtlijnen ook afhangen van het doel dat men met de betreffende suppletie wil bereiken.

### **Eén vlakke of bobbel?**

De onderzochte vooroeversuppleties vertonen gelijkenis in de vorm waarin ze zijn aangelegd. In grote lijnen komt het er op neer dat een zekere dieptezone wordt opgehoogd tot één gemiddelde hoogte. Er wordt daardoor een bijna horizontaal plateau gerealiseerd, waarop al snel na aanleg nieuwe bodemvormen ontstaan.

Het is niet duidelijk of dit altijd een wenselijke situatie oplevert. Meestal betreft het een langgerekte berm die zich op het plateau ontwikkelt. Als deze berm door de ondergrens van de BKL-zone groeit, neemt het MKL-zandvolume toe. In die zin werkt het gunstig. Maar het heeft ook een effect op de golfvoortplanting en daarmee op de migratie van de brekerbanken zoals hiervoor beschreven. Mogelijk dat een hogere berm tot een snellere kustwaartse verplaatsing van de eerste brekerbank leidt. Als de afstand van die bank ten opzichte van de kust dan gelijk is aan de "instabiliteitsafstand", dan kan hierdoor mogelijk sneller een verbreding van het strand optreden.

Omdat het een en ander van erg veel parameters afhangt, is hier op dit moment geen relatie voor te geven. Er kan evenmin worden geconcludeerd dat een vlakke bovenkant van de vooroeversuppletie ongunstig zou werken.

Een uitzondering op het voorgaande betreft de suppletie voor ZW-Texel (Molengat). Daar lag bij aanvang geen brekerbank voor de kust. De eerder genoemde berm was mogelijk voorkomen als het zand onregelmatiger was aangebracht, dus meer als "bobbels". Dat kan worden gerealiseerd door in een aantal stortvakken de kruinhoogte



van de suppletie boven het gemiddelde suppletieniveau uit te laten steken. Door deze "bobbels" te verbinden met het strand ontstaan zogenaamde strandhaken. Die kunnen lokaal (op raainiveau) tot een sterke verbetering van de strandbreedte leiden. Het zand van de suppletie kan dan via golfgedreven stromingen mogelijk makkelijk richting het strand worden getransporteerd. Een dergelijke uitvoeringsvorm stelt wel bijzondere eisen aan de uitvoering en kan daardoor in financiële zin zijn doel voorbijschieten (te duur).

Meer reliëf in de vooroeversuppletie sluit bovendien beter aan bij de natuurlijke variatie in bodemvormen die zich in de brandingszone voordoen. Daardoor kunnen aanpassingsprocessen minder abrupt en lokaal plaatsvinden, hetgeen negatieve effecten kan verminderen. Misschien dat het zelfs vanuit kostenoverweging gunstig kan uitpakken, omdat de aannemer niet hoeft te worden afgerekend op een op te leveren bodemprofiel, maar op de hoeveelheid aangebracht zand.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Bij aanvang van het onderzoek zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd (paragraaf 1.2). Deze worden hieronder herhaald en op basis van de voorgaande hoofdstukken van antwoorden voorzien.

- *Wat is het effect van de vooroeversuppleties op de ligging van de MKL. Wordt een overschrijding van de BKL door middel van een vooroeversuppletie voorkomen of verholpen? Tevens: wat is het effect van de suppletie op andere kustlijnparameters, zoals bijvoorbeeld strandbreedte en positie van de duinvoet? - Hoofdstuk 3*

De invloed van de zes vooroeversuppleties op het MKL-zandvolume is in dit onderzoek onderzocht door middel van zogenaamde effectiviteitsberekeningen. Daarin wordt de gemeten toename van het MKL-zandvolume, op raai-niveau, gerelateerd aan het ter plaatse toegevoegde suppletievolume. De resultaten van deze berekeningen staan in de afzonderlijke paragrafen van hoofdstuk 3. De berekende percentages staan samengevat in tabel 3.22 (bladzijde 65), waarin ook enkele andere gegevens en bevindingen van de zes suppleties worden gegeven.

Er zijn grote verschillen in de berekende effectiviteit, zowel in plaats (kustlangs) als in de tijd. De ruimtelijke verschillen komen deels door de berekeningsmethode zelf en deels door werkelijke verschillen in ontwikkelingen langs het gesuppleerde kustvak.

In principe is het mogelijk om een doorsnijding van de BKL te voorkomen met een vooroeversuppletie. Wel kan dat enige tijd (jaren) vergen en bovendien zijn de opbrengsten in termen van MKL-zandvolume niet overal even groot. Hoe dit komt is niet bekend, maar de beweeglijkheid van de brekerbanken hebben daar vermoedelijk grote invloed op.

De werking in termen van "voorkomen BKL-doorsnijding", is het grootst in situaties waarbij de eerste brekerbank redelijk dicht onder de waterlijn ligt. In die situaties blijkt dat de aangebrachte vooroeversuppletie leidt tot instabiliteit van de bank en het aanlanden van relatief grotere hoeveelheden zand. Als er in die situatie al geen sprake is van een toename van het MKL-zandvolume, dan leidt dit wel tot een verbreding van het strand en op termijn mogelijk een zeewaartse verplaatsing van de duinvoet.

Van geen van de onderzochte vooroeversuppleties kon worden aangetoond dat er sprake was van het "invangen" van zand. De effecten op de zandbalans van de aangrenzende kustvakken was doorgaans beperkt en kleiner dan de natuurlijke variaties die zich voor kunnen doen.

- *Wanneer begint de suppletie te werken en wanneer is de suppletie (vermoedelijk) uitgewerkt? Hoe verloopt de ontwikkeling van de suppletie ruimtelijk gezien en hoe verloopt het in de tijd? - Hoofdstuk 3.*

Een belangrijke wedervraag is wanneer er sprake is van een "merkbare" werking. Dat hangt af van het doel van de suppletie. Als we in navolging van de eerste onderzoeksvraag aannemen dat hier het MKL-zandvolume wordt bedoeld, dan is de werking soms al direct na aanleg. Al het zand van de vooroeversuppletie dat boven de BKL-ondergrens komt te liggen (ongeveer NAP -5 m), telt direct mee in de berekening



van het MKL-zandvolume. Vooroever-suppleties die hoog in het profiel worden aangelegd, zoals die van ZW-Texel, laten daarom in het eerste jaar een grote effectiviteit zien. De vooroever-suppleties van Callantsoog, Terschelling en Ameland laten een relatief laag percentage zien in het eerste jaar (10-30%). Na enkele jaren neemt dit echter toe, om vervolgens na 3 tot 5 jaar weer af te nemen. Het effect van de suppletie is dan voorbij.

Bij de grote vooroever-suppletie voor de kust van De Koog, was in het eerste jaar na aanleg nog nauwelijks sprake van enige werking. Dat werd pas merkbaar in het derde jaar na aanleg.

De analyse van het tijdsverloop van de werking van vier vooroever-suppleties is gelimiteerd. Er is immers maar een beperkt aantal ongestoorde jaren van gegevens beschikbaar. Zo is voor de kust van Callantsoog bijvoorbeeld reeds twee jaar na de eerste vooroever-suppletie opnieuw gesuppleerd. Het vaststellen van de exclusieve werking van één suppletie is daarmee op de langere termijn zo goed als onmogelijk geworden.

De ontwikkelingen van de suppletie in de tijd staan beschreven in de verschillende subparagrafen van hoofdstuk 3. Het globale beeld dat daar uit naar voren komt is dat de aanwezige brekerbanken voor de kust versneld landwaarts migreren na aanleg van de suppletie. Deze migratie leidde in bovenaanzicht tot veranderingen in het bankenpatroon, inclusief de bijbehorende troggen en muien. De aanjager voor deze kust-langse morfologische veranderingen zijn dus de kust-dwarse veranderingen in de bankenstructuur.

Een significante verplaatsing van het aangebrachte suppletievolume parallel aan de kust is niet waargenomen.

- *Zijn er overeenkomsten in de wijze waarop het kuststelsel reageert op de onderzochte suppleties? Welke fysische processen liggen waarschijnlijk ten grondslag aan de waargenomen reactie van het stelsel? – Hoofdstuk 4.*

In paragraaf 4.4 staan de overeenkomsten en verschillen tussen de onderzochte suppleties, voor zover het de door ons relevant geachte fysische processen betreft. Samengevat komt het er op neer dat de aanwezige brekerbanken naar de kust toe opschuiven en na enige tijd (maanden, jaren) uit het kustprofiel verdwijnen. Verschillen zijn er tussen kustvakken met 1 of meerdere brekerbanken, of met geheel geen brekerbanken (Molengat en Vlieland-oost).

Of er effectief zand vanaf de suppletie naar de kust wordt getransporteerd kon op basis van de gegevens niet worden geconcludeerd. Het lijkt er meer op dat de aanwezigheid van de vooroever-suppletie tot een subtiele verandering in de bruto dwarstransporten leidt, met de eerder aangegeven verandering in bankstructuur als gevolg.

- *Welke lessen kunnen worden getrokken ten behoeve van toekomstig uit te voeren vooroever-suppleties? Welke van deze lessen zijn locatie-specifiek en welke zijn generiek toepasbaar? – Hoofdstuk 5.*

In hoofdstuk 5 is ingegaan op de lessen die uit de evaluatie kunnen worden getrokken. Het blijkt dat het niet mogelijk is om richtlijnen te geven voor het ontwerp van vooroever-suppleties. Daarvoor is nog teveel onduidelijk.

Wel worden de volgende suggesties gedaan:

- De suppletie-intensiteit moet groot genoeg zijn om een merkbaar effect te hebben, maar niet zo groot dat er teveel (op kleine schaal onvoorspelbare)

verstoring van de natuurlijke kustprocessen plaatsvindt. Als maat daarvoor wordt gehanteerd: het quotiënt tussen de maximale MKL-bijdrage van de suppletie en de natuurlijke MKL-verplaatsingen (op raainiveau). Om het effect van vooroeversuppleties op het MKL-zandvolume redelijkerwijs te kunnen vaststellen zou de suppletie-intensiteit groter moeten zijn dan 3 à 5 en bij voorkeur niet veel groter dan 10 à 15.

- Voor kustvakken met één brekerbank verdient het aanbeveling om voorafgaande aan het ontwerp de afstand van de brekerbank tot de waterlijn vast te stellen. Als deze afstand klein is, dan kan de vooroeversuppletie aan de buitenzijde van de bank worden geplaatst. Vermoedelijk wordt de bank (in bovenaanzicht) dan snel instabiel en kan de MKL op die locatie spoedig zeewaarts opschuiven. Als voornoemde afstand groter is, dan bestaat het gevaar dat eerst een opschuivende trog tot lokale problemen leidt. Om dat te voorkomen zou de vooroeversuppletie aan de landwaartse zijde van de brekerbank kunnen worden aangebracht (bijvoorbeeld via rainbowen). In bovenaanzicht van het te suppleren kustvak kan dan langs sommige kustsecties aan de landzijde en langs andere kustsecties aan de zeezijde van de brekerbank worden gesuppleerd. Dit hangt dan onder andere af van de hoek die de brekerbanken ten opzichte van de waterlijn maken. Er is nog geen kwantitatieve maat voor de afstand waarbij dan wel aan de landwaartse zijde, dan wel aan de zeewaartse zijde, het beste kan worden gesuppleerd. Dat vereist nader onderzoek.
- Bij voorkeur moeten de korrelkarakteristieken van het suppletiezand niet veel afwijken van het van nature aanwezige zand.
- In situaties met strandhoofden moet niet te dicht onder de kust worden gesuppleerd. Het gevaar is dat dan de strandbreedte sterk afneemt en er ondermijning van de koppen van de strandhoofden kan optreden.
- Langs kustvakken zonder brekerbanken zou beter enig reliëf kunnen worden aangebracht in de suppletie. Liever een aantal "bobbels", al dan niet doorlopend tot aan de waterlijn, dan een langgerekt onderwater plateau. Deze suggestie kan ook gelden voor een kust met één brekerbank, hoewel de afwezigheid van reliëf niet per sé negatief hoeft uit te pakken. Dat hangt namelijk sterk af van het primaire doel van de betreffende suppletie.

Het moment dat een vooroeversuppletie daadwerkelijk wordt uitgevoerd hangt van vele factoren af. Zo kan het voorkomen dat het beschikbare suppletiebudget net iets meer of iets minder mogelijkheden biedt. Morfologisch gezien kan een vooroeversuppletie worden uitgevoerd:

- Zodra de BKL (bijna) wordt overschreden (Callantsoog);
- Anticiperend op toekomstige overschrijding (Ameland, De Koog);
- Zodra de brekerbanken "gunstig" liggen.

Deze laatste methode houdt verband met de hypothese die in dit onderzoek naar voren is gebracht en die geïllustreerd wordt in figuur 4.1. Feitelijk is de derde methode ook een "op de tijd – anticiperende" methode, maar in plaats van een verwachte werkingsduur van een vooroeversuppletie, wordt nu uitgegaan van veldgegevens.

### **Sloptbeschouwing**

Het onderzoek bracht twee verschillende redenerlijnen naar voren: een technische en een beleidsmatige.

Ten eerste de technische redeneerlijn. Uit de analyse van de gegevens blijkt in grote lijn dat de morfologische effecten van de uitgevoerde vooroeversuppleties, gering zijn ten opzichte van de natuurlijke dynamiek. Dat komt enerzijds omdat de morfologische veranderingen in de brandingszone relatief groot zijn ten opzichte van de aangebrachte suppletie. Anderzijds komt het door de relatief korte evaluatieperiode. Desondanks konden enkele observaties worden gedaan, vooral met betrekking tot de beweeglijkheid van de brekerbanken. Die hebben geresulteerd in suggesties voor het ontwerp van toekomstige onderwatersuppleties. Om deze suggesties beter te kunnen onderbouwen is vervolgonderzoek nodig (paragraaf 6.2).

Ten tweede heeft het onderzoek laten zien dat het berekenen van effectiviteit in termen van "MKL-zandvolume" niet tot eenduidige conclusies leidt. Een grote vooroeversuppletie waarop zich snel een berm vormt die boven de MKL-ondergrens uitgroeit, "scoort" bijvoorbeeld een hoog percentage, terwijl het zandvolume vlak onder de waterlijn sterk kan afnemen. Dat heeft te maken met het feit dat de MKL wordt berekend tussen vaste horizontale grenzen. Nader beleidsmatig onderzoek naar de voordelen en de nadelen van het huidige toetsingsinstrument (de BKL-systematiek) is in dit kader aan te bevelen.

In plaats van de gehanteerde definitie over effectiviteit (dat wil zeggen "MKL-effectiviteit") zou het wellicht beter zijn om te spreken over de effecten van een vooroeversuppletie. Of over de doelmatigheid van een suppletie, maar dan altijd in relatie tot het doel zelf. Dit laatste impliceert dat van iedere suppletie van tevoren het te bereiken doel duidelijk moet zijn. Pas dan kunnen naderhand de effecten van de suppletie op waarde worden geduid.

## 6.2 Aanbevelingen

### Algemene aanbevelingen

Bij aanvang van het onderzoek was met de opdrachtgever afgesproken dat de *focus* van de evaluatie zou liggen op het effect van de suppleties op het MKL-zandvolume. Gaandeweg het onderzoek werd echter steeds duidelijker dat de evaluatie alle morfologische effecten van de suppleties zou moeten omvatten, om conclusies ten aanzien van ontwerprichtlijnen te kunnen trekken. Een handicap was dat van geen van de zes vooroeversuppleties bekend was welke ontwerpdoelstellingen daar precies aan ten grondslag lagen. Het verdient daarom aanbeveling om van toekomstige (vooroever-) suppleties de overwegingen bij het ontwerp in een rapport vast te leggen. In dat rapport kunnen dan ook de verwachtingen omtrent de *performance* van de suppletie worden opgenomen. Naderhand kan dan een meer toegespitste evaluatie van de suppletie worden uitgevoerd.

Bij de analyse van de dieptegegevens bleken er soms belangrijke hiaten in de databestanden te zitten. Dat betrof dan vooral de koppeling van onderwatermetingen en metingen van het strand. Het verdient aanbeveling om in geval van vaklodingen altijd ook het strand tot tenminste de duinvoet mee te nemen.

Ten aanzien van de Jarkus-lodingen wordt aanbevolen om weer ieder jaar vliegtuigmetingen uit te voeren. Op de ruimtelijke schaal van een individuele suppletie zijn de hiaten die ontstaan als een jaar niet wordt gemeten (tabel 2.1), ongewenst.

### Technisch vervolgonderzoek

Aanbevolen wordt een vervolgonderzoek te starten dat gericht is op het controleren van de hypothese uit paragraaf 4.3.1 (bankdynamiek en "instabiliteitsafstand"). Dat kan door nadere analyses te maken van veldgegevens, door veldonderzoek te doen en door numerieke modelberekeningen uit te voeren.

Ondanks de beperkingen van numerieke modellen wordt aanbevolen om een serie berekeningen te maken met het rekenmodel Unibest-tc. Daarin zou een kustprofiel met brekerbanken kunnen worden gesimuleerd. Zowel een situatie met één als met twee brekerbanken. Door verschillende vormen van onderwatersuppleties te modelleren kan een beeld worden verkregen van de mate waarin het dwarstransport wordt beïnvloed.

Een andere serie berekeningen zou zich moeten richten op de vraag wanneer de golfcondities zo door de gekozen suppletievorm worden beïnvloed dat er een merkbare beïnvloeding van het langstransport optreedt. Idealiter zou daarvoor Delft3D worden ingezet, maar een eerste aanpak kan ook bestaan uit het uitvoeren van golfvoortplantingsberekeningen (SWAN) uitgaande van vaste bodems.

Door een nadere – meer *gefocusde* – bewerking van de beschikbare gegevens (voor heel Nederland) kan wellicht een beter beeld worden gekregen van de eerder aangehaalde instabiliteitsafstand. Door daarbij tevens de lokale condities (golven, getij, morfologie) mee te nemen, kan worden de instabiliteitsafstand worden gekoppeld aan andere parameters.

Tenslotte kan ook een veldexperiment interessante informatie opleveren. Hierbij wordt in eerste instantie gedacht aan het aanbrengen van een onderwatersuppletie in de voor de kust gelegen trog, op een zodanig wijze dat de afstand tussen brekerbank en laagwaterlijn klein wordt (kleiner dan de "instabiliteitsafstand"). Een inceptiefase zal aan een dergelijk veldexperiment vooraf moeten gaan.

### Beleidsmatig vervolgonderzoek

Het verdient aanbeveling om de MKL-berekeningsmethode nader op gebruiksmogelijkheden te onderzoeken. Voldoet de toetsingsmethode nog wel aan de overkoepelende doelstelling van het kustbeleid, namelijk het tegengaan van structurele erosie? Of zijn de resultaten van de toetsing zoals neergelegd in de Kustlijnkaarten overgewaardeerd bij het vaststellen van het jaarlijkse suppletieschema?

De berekeningsmethode van het MKL zandvolume heeft als bijzonderheid dat het gedeelte van een brekerbank boven de BKL-ondergrens, wel meetelt in de volumebepaling, maar dat het volume water in de trog onder de BKL-ondergrens, niet wordt afgetrokken. Zoals is gebleken ontstaat op de vooroever-suppletie vaak een berm, waarvan de kruin kan uitgroeien tot boven de BKL-ondergrens. Het MKL-zandvolume neemt dan toe, terwijl vlak onder de kust het zandvolume kan afnemen en de strandbreedte afneemt. In hoeverre dit bijdraagt aan de doelstellingen van de kustbeheerder is niet duidelijk, evenmin als de manier waarop de beheerder met de informatie uit de kustlijnkaarten omgaat (Arcadis e.a., 2005).

Tenslotte wordt aanbevolen om de term "effectiviteit" nader uit te werken en kwantificeerbaar te maken. Daarin zouden op termijn ook uitvoeringstechnieken (inclusief uitbestedingsvraagstukken) moeten worden meegenomen. Alleen dan is het mogelijk om ook de kostenaspecten van suppleties in de beschouwingen mee te nemen.

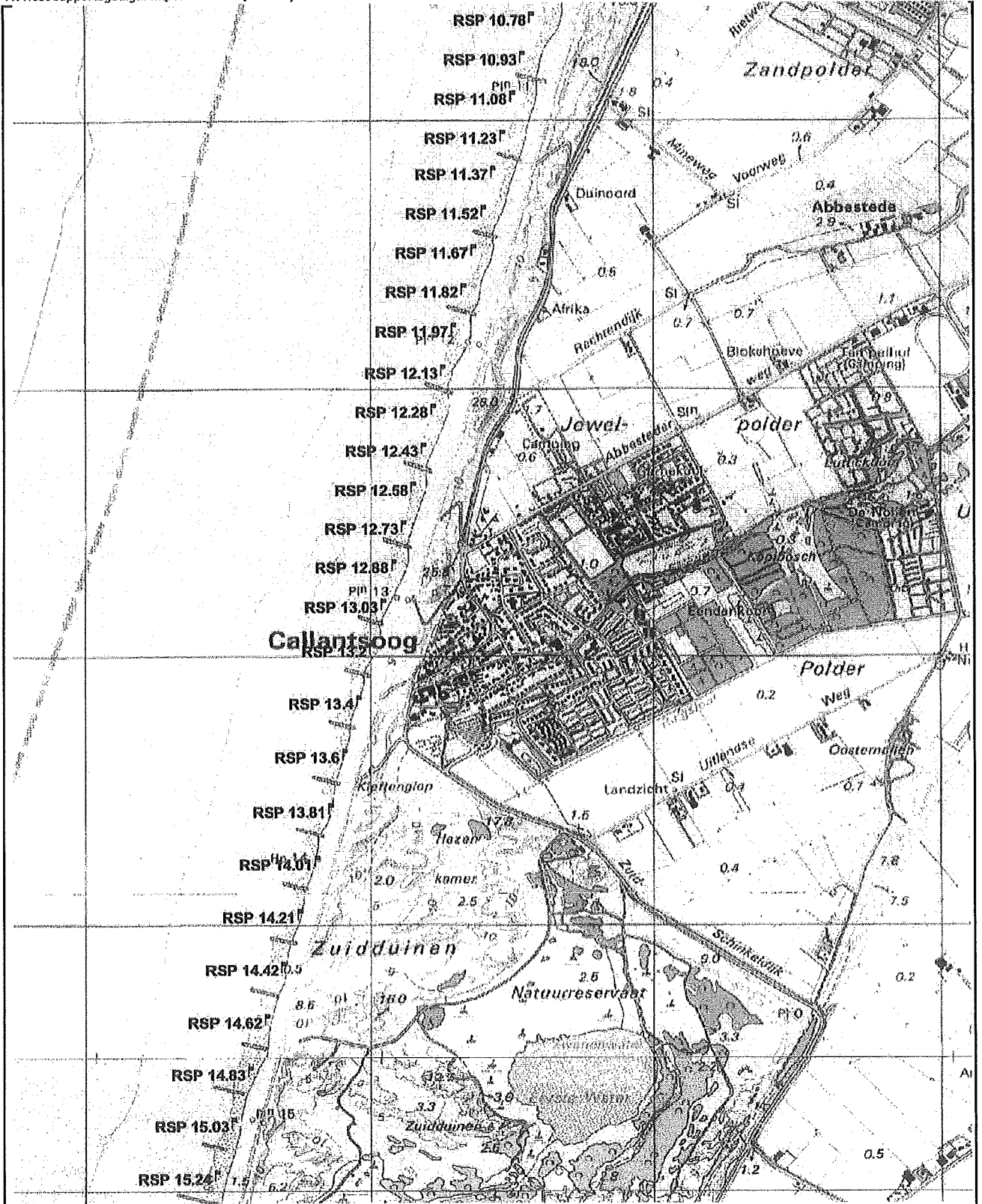
## Referenties

- Arcadis, 2005 Inzicht in de huidige werkwijze bij het opstellen van het suppletieschema. Arcadis Ruimte & Milieu, rapport dd 6 oktober 2005 Nummer: 110642/Br5/121/000118
- Cleveringa, J., 2001 Zand voor zuidwest Texel. RWS rapport RIKZ/OS/2001.031
- Cleveringa, J. S. Mulder en A. Oost, 2004 Kustverdediging van de koppen van de Waddeneilanden. RIKZ rapport RIKZ/2004.017, april 2004.
- Dienst Getijde Wateren. DGW-rapport R077
- Elias, E., M. Stive, H. Bonekamp and J. Cleveringa. Tidal Inlet Dynamics in Response to Human Intervention. Coastal Engineering Journal, Vol 45, Number 4, December 2003
- Gordeau, L., 1999 Saw-tooth bars defined – a case study of the Ameland Inlet – part 1. Werkdocument RIKZ/OS-99.114x, maart 1999
- Groenendijk, F.C., 1995. Kustvoorspelling 1995 - Integratienota van kustgenese rapporten ten behoeve van de voorspelling van de Nederlandse kust. Rapport RIKZ-95.004. Den Haag, maart 1995
- Grunnet, N.M., D-J.R. Walstra en B.G. Reussink, 2004. Process-based modelling of a shoreface nourishment. Coastal Engineering 51, p. 581-607.
- Grunnet, N.M. en B.G. Reussink, 2005. Morphological response of nearshore bars to a shoreface nourishment. Coastal Engineering 52, p. 119-137.
- Grunnet, N.M., B.G. Reussink en D-J.R. Walstra en, 2005. The influence of tides, wind and waves on the redistribution of nourished sediment at Terschelling, The Netherlands. Coastal Engineering 52, p. 617-631.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R., Stive, M.J.F., 2002. A summary of European experience with shore nourishment. Coastal Engineering 47, 237-264.
- Hillen, e.a., 1991 De Basiskustlijn. Ministerie van V&W, RWS, DGW rapport GWWS-91.006
- Hoekstra, P., Houwman, K.T., Kroon, A., Ruessink, B.G., Roelvink, J.A., Spanhoff, R., 1996. Morphological development of the Terschelling shoreface nourishment in response to hydrodynamic and sediment transport processes. In: Edge, B.L. (Ed.), Proc. 25th Int. Conf. on Coastal Engineering. ASCE, New York, pp. 2897- 2910.
- Israël, C.G. en A.P. Oost, 2001 Strandhaakontwikkeling op de koppen van de Waddeneilanden. RWS werkdocument RIKZ/OS/2001.116x
- Ligtendag, W.A., 1990. Van IJzer tot Jade - een reconstructie van de zuidelijke Noordzeekust in de jaren 1600 en 1750. Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, Meetkundige dienst MDLK-K-9041. 1990
- Oost, A.P., 1995 Dynamics and sedimentary development of the Dutch Wadden Sea with emphasis on the Frisian inlet. Ph.D. thesis RUU, number 126, Utrecht.
- Oost A.P., C.G. Israël en D.W. Dunsbergen, 2000 Kusterosie van noordwest Ameland: ontwikkelingen op verschillende tijdschalen. RWS rapport RIKZ/2000.057
- Rakhorst, H.D. 1989 De kust van Noord-Holland en Texel; ontwikkeling en voorspelling. RWS rapport 88.ANP.014, 1989.
- Rijn van, L.C. 1995 Sand budget and coastline changes of the central coast of Holland..., WL-rapport H2129, kustgenese
- Schoorl, H., 1990 Kust en kaart; artikelen over het kaartbeeld van het Noordhollandse kustgebied Uitgeverij Pirola, Schoorl, the Netherlands
- Spanhoff, R., Biegel, E.J., Van de Graaff, J., Hoekstra, P., 1997. Shoreface nourishment at Terschelling, the Netherlands: feeder berm or breaker berm? In: Thornton, E.B. (Ed.), Proc. 3rd Int. Conf. on Coastal Dynamics '97. ASCE, New York, pp. 863- 872.
- Steyaart, F., 1997 Kustontwikkelingen Ameland-west Lineaire verplaatsing versus cyclische ontwikkeling. RIKZ werkdocument RIKZ/AB-97.612x, december 1997



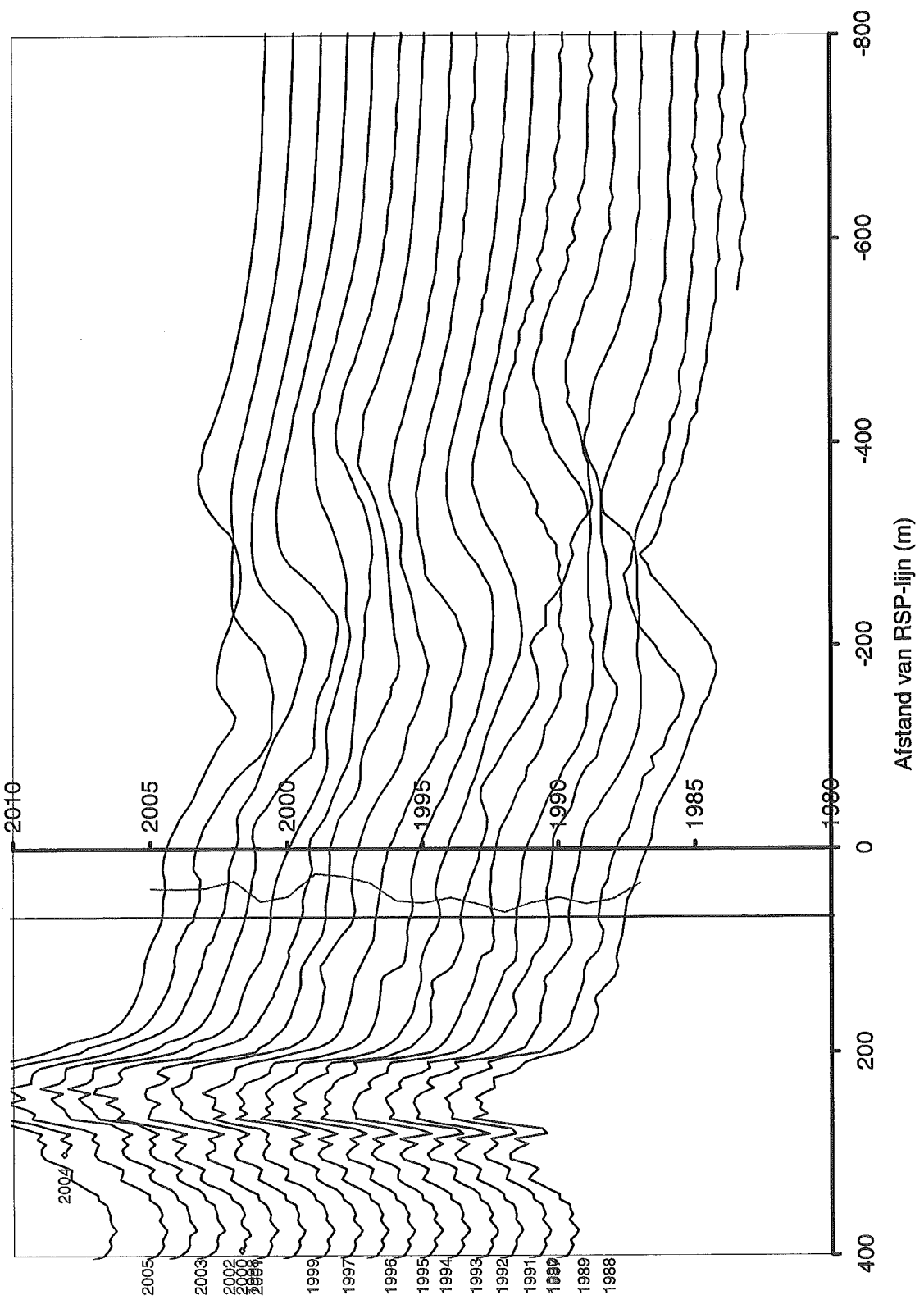
- Steijn, R.C. en C. Jacobs, 2003 Verkenning meerjarig onderhoud Nederlandse kust, deel A1141 juli 2003 en deel A1141-2 november 2003. Alkyon rapporten
- Steijn, R.C., 2004 Ontwikkeling geulwandsuppletie ZW-Texel (Molengat) Alkyon rapport A1352, november 2004
- Vlas de, J.,e.a., 2005 Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-oost – evaluatie na 13 jaar gaswinning, begeleidingscommissie Monotoring Bodemdaling Ameland. ISBN: 90-76690-06-5, mart 2004





De kustlijn ter hoogte van Callantsoog



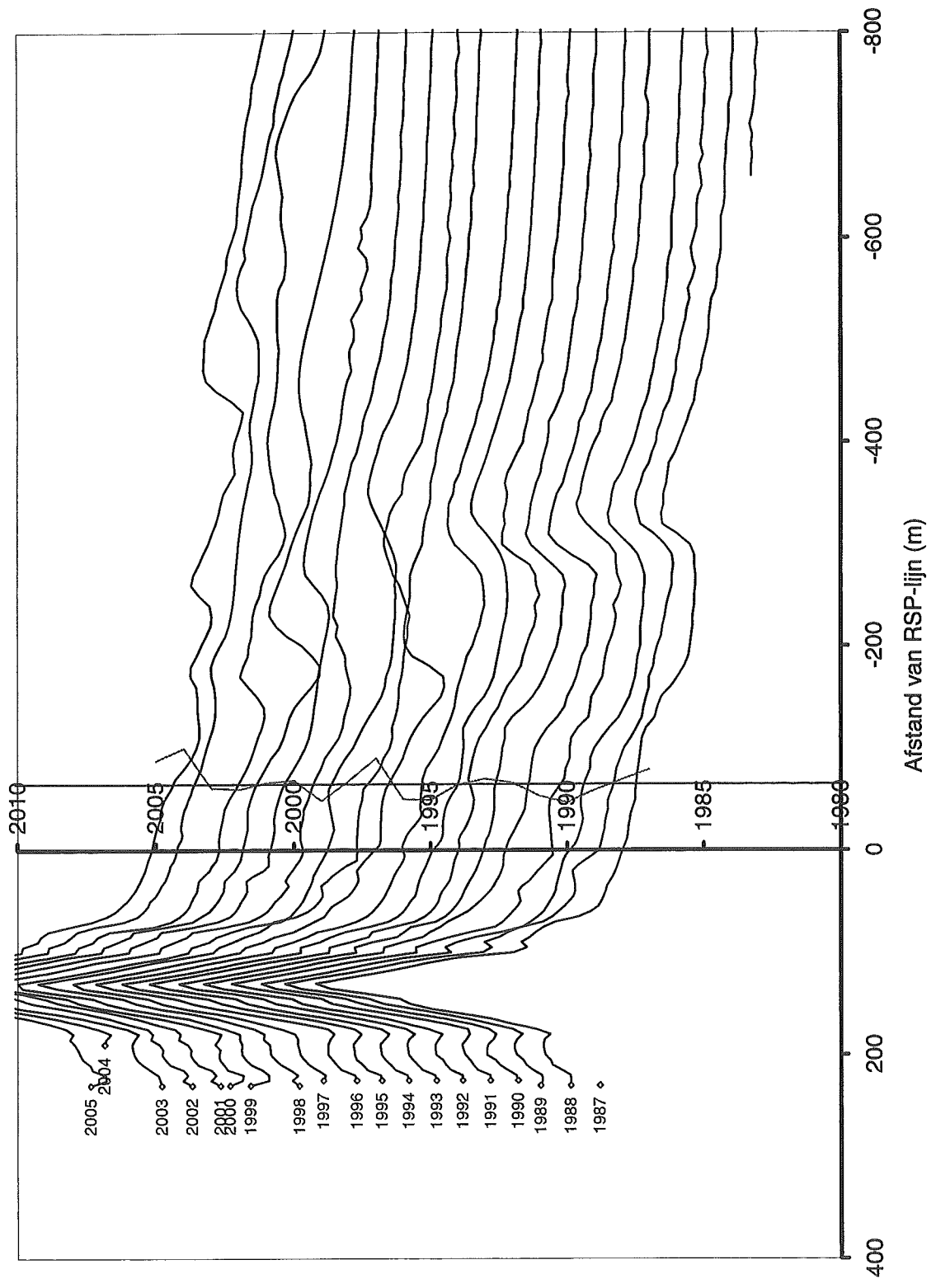


Time-stacks Noord-Holland

RSP raai 9.68

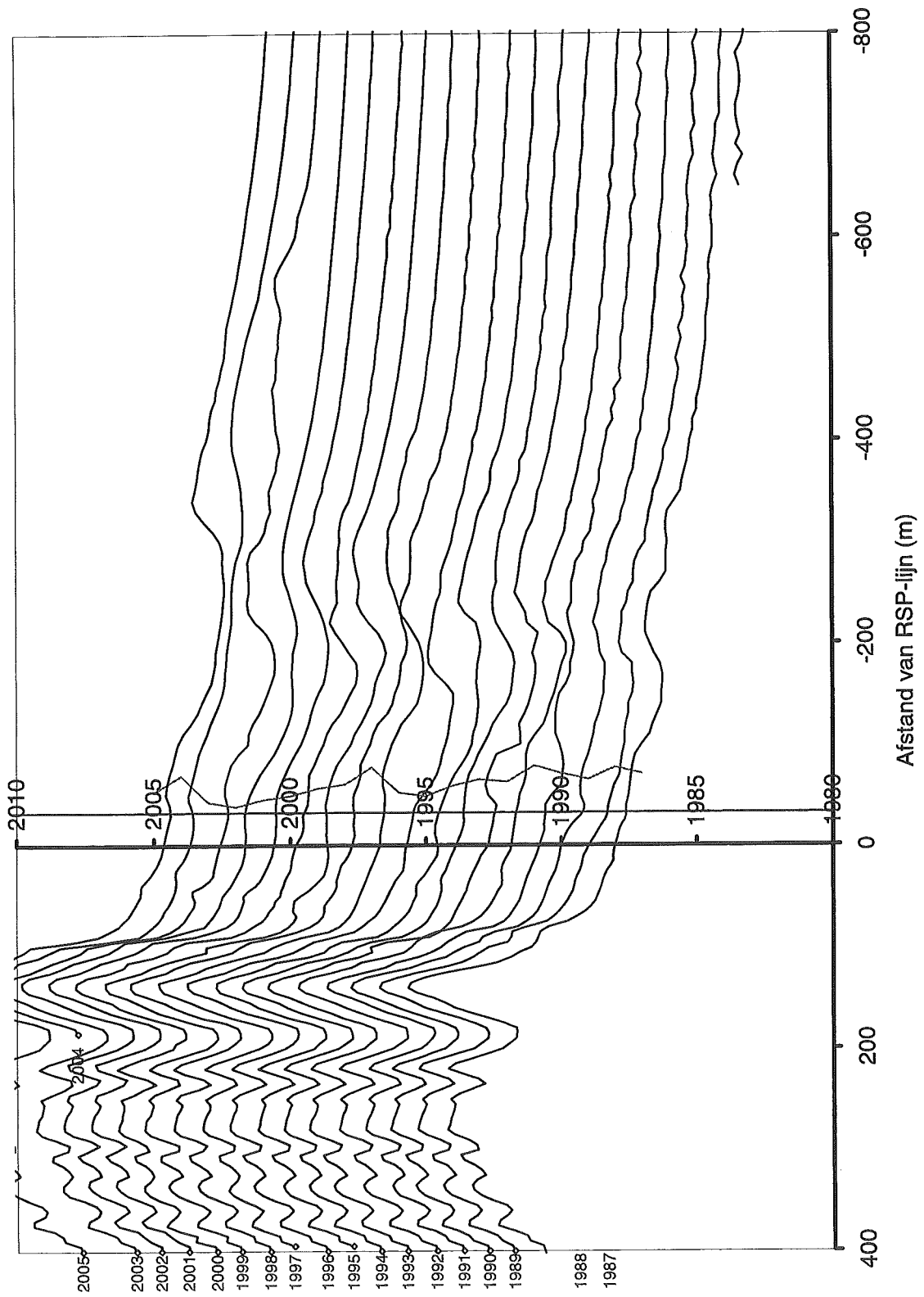
Raai: 9.68

Kustvak: Noord-Holland



Time-stacks Noord-Holland  
RSP raai 13.2

Raai: 13.2	
Kustvak: Noord-Holland	



Time-stacks Noord-Holland

RSP raai 15.03

Raai: 15.03

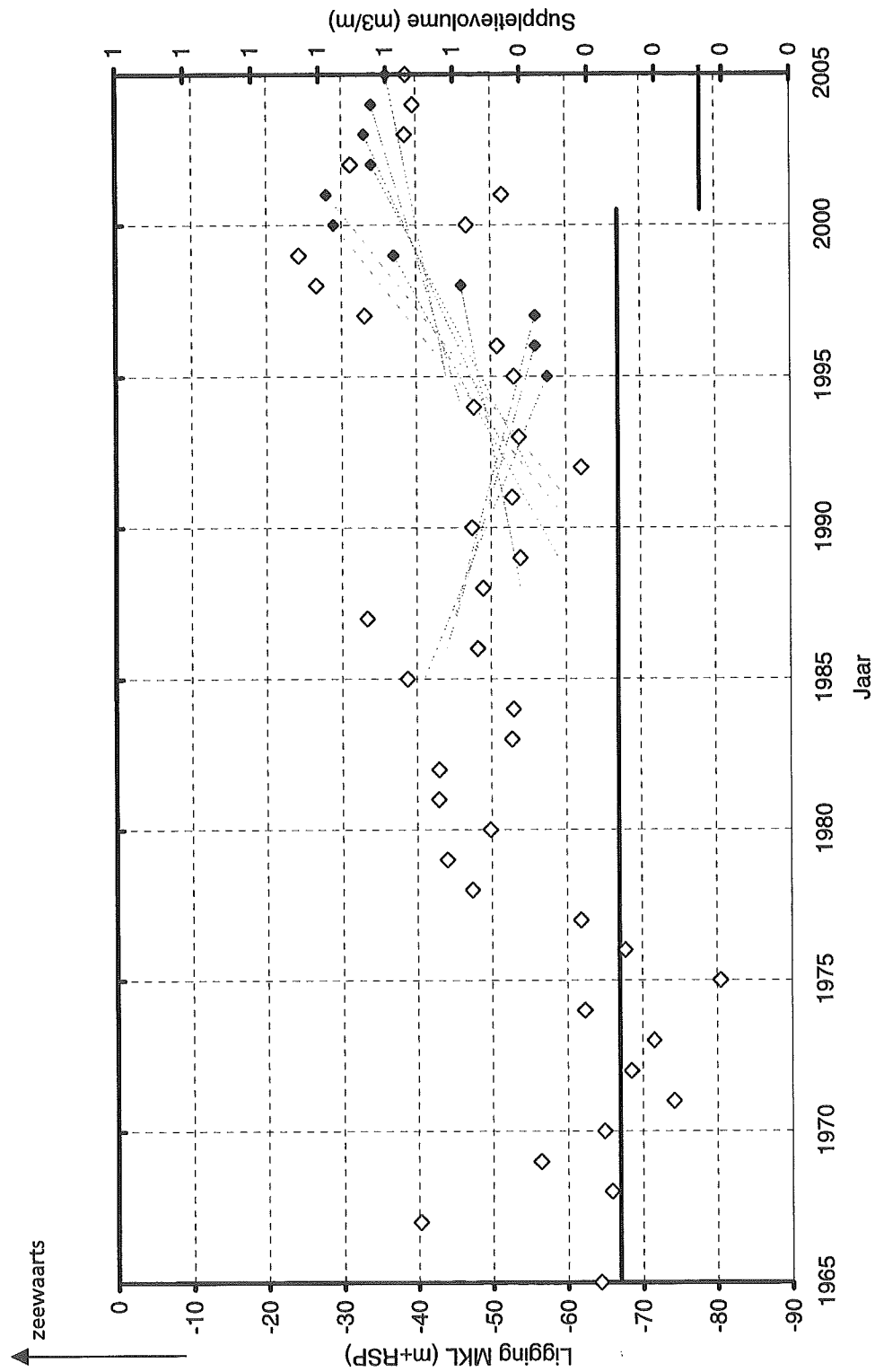
Kustvak: Noord-Holland

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

 Alkyon

Fig. 3.4

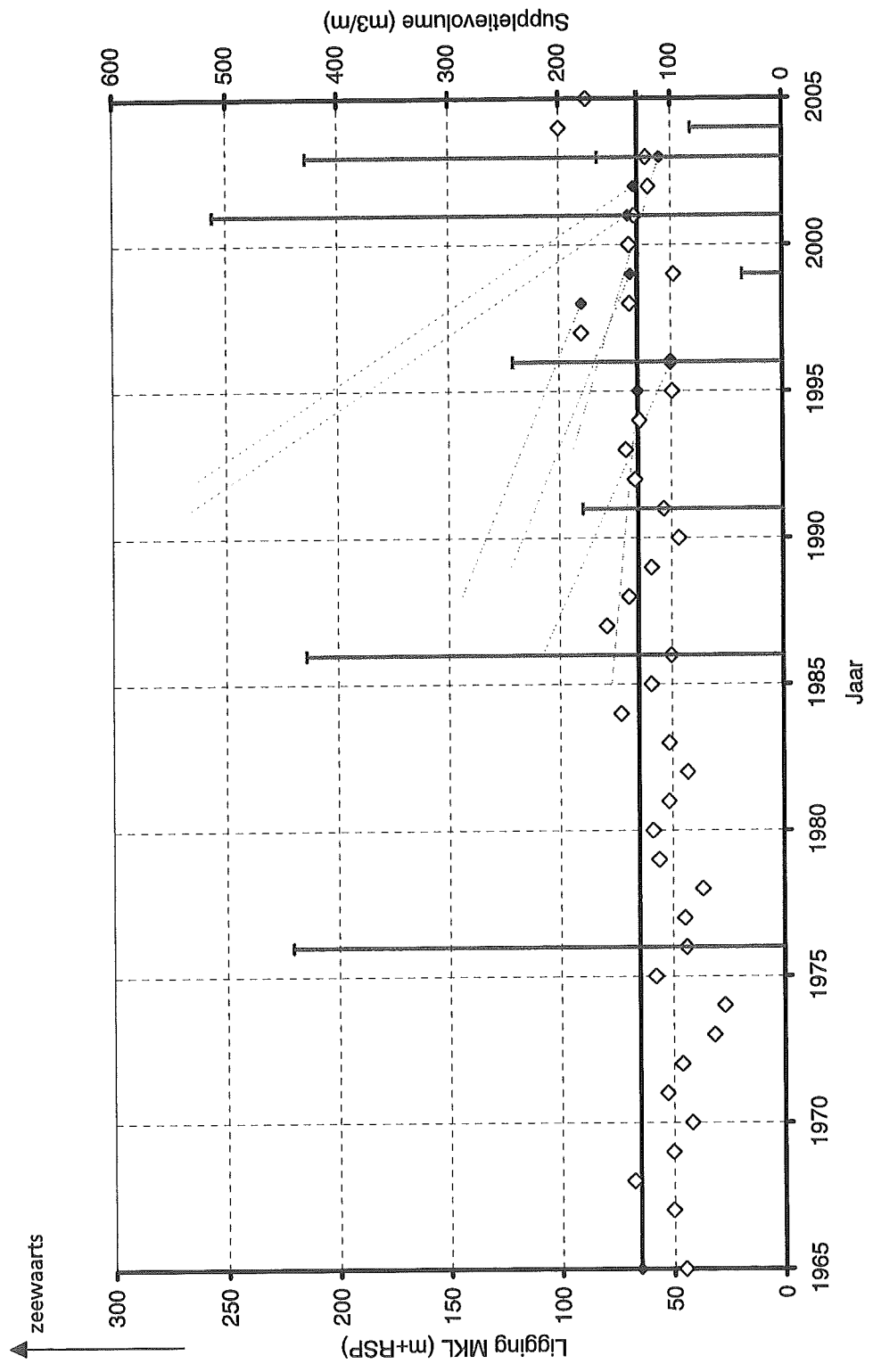


Berekende MKL-posities voor Noord-Holland

RSP raai 9.68

Raai: 9.68

Kustvak: Noord-Holland

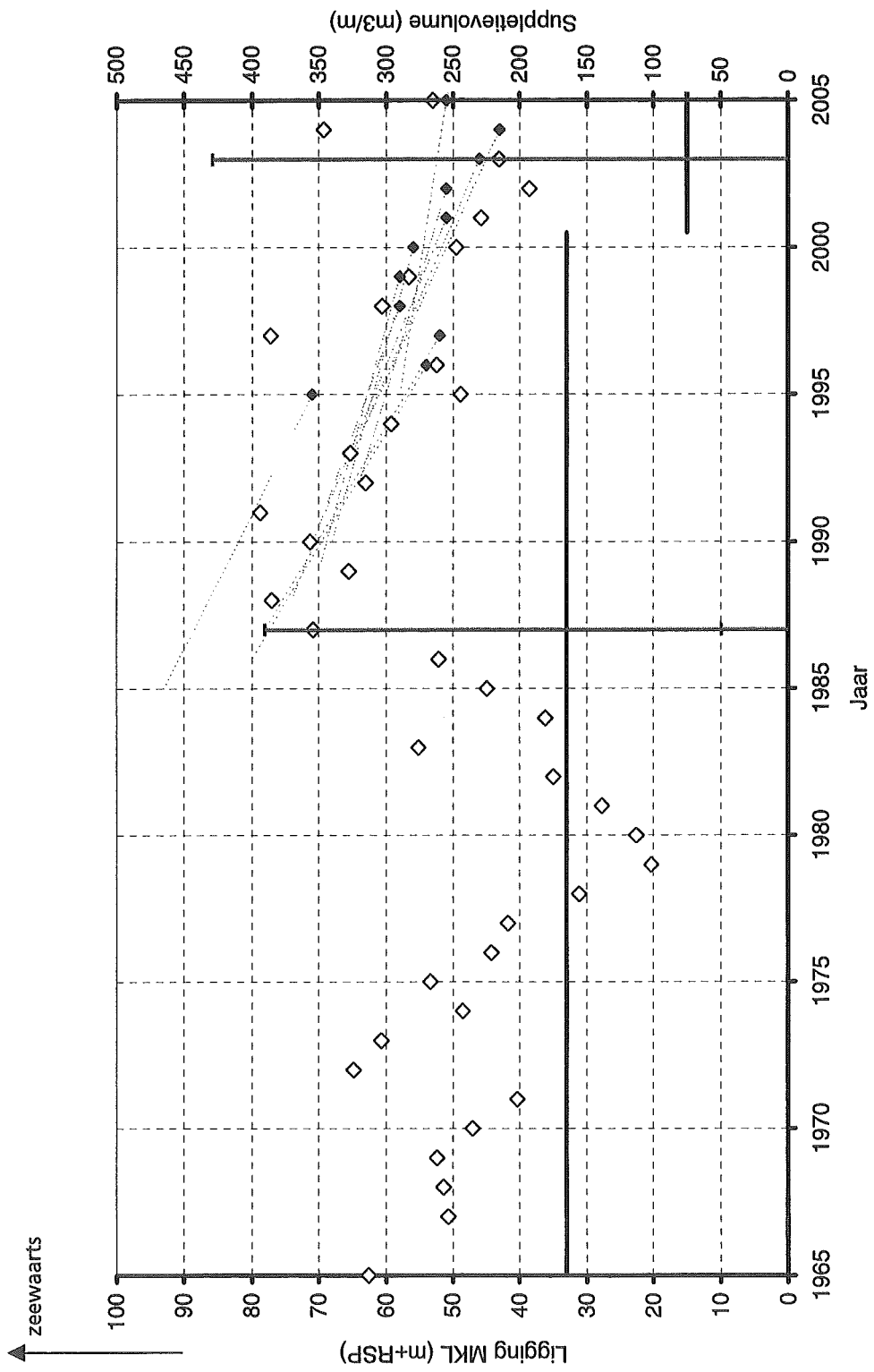


Berekende MKL-posities voor Noord-Holland

RSP raai 13.2

Raai: 13.2

Kustvak: Noord-Holland



Berekende MKL-posities voor Noord-Holland

RSP raai 15.03

Raai: 15.03

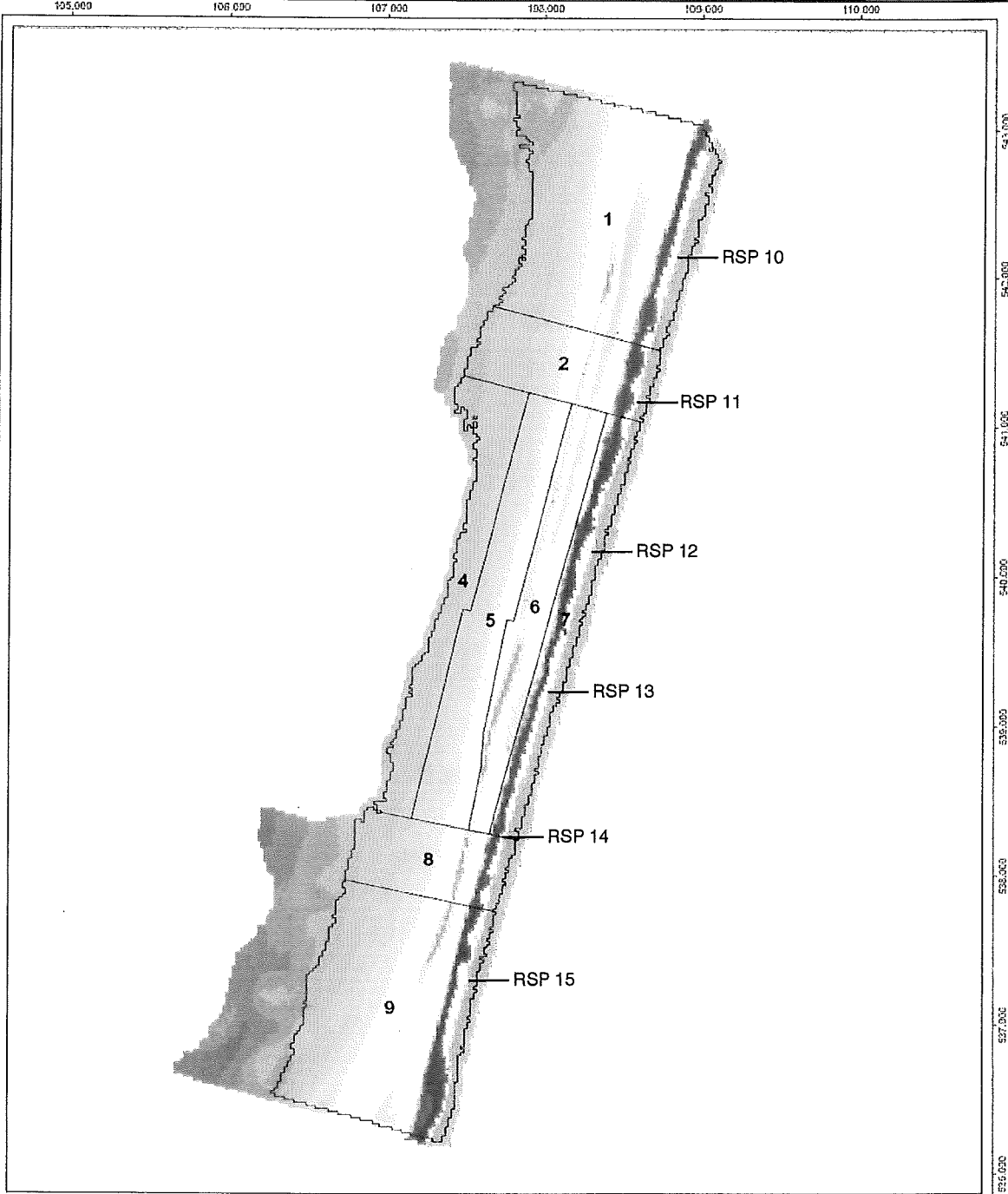
Kustvak: Noord-Holland

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

 Alkyon

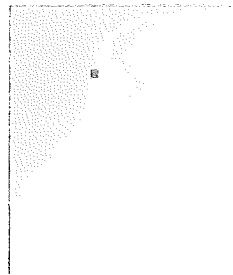
Fig. 3.7



**Hoogtekaart**

Datum: 26/06/2001

Hoogte [m]		
16.00 -	-0.00 - -7.50	-4.00 - -3.50
-15.00 - -12.50	-7.50 - -7.00	-3.00 - -2.50
-12.50 - -11.00	-7.00 - -6.50	-2.00 - -1.50
-11.00 - -10.00	-6.50 - -6.00	-1.50 - -1.00
-10.00 - -9.50	-6.00 - -5.50	-1.00 - -0.50
-9.50 - -9.00	-5.50 - -5.00	-0.50 - -0.00
-9.00 - -8.50	-5.00 - -4.50	-0.00 - NAF
-8.50 - -8.00	-4.50 - -4.00	-0.50 - NAF
		- NAP



**PG.05.01**

Bron: RkZ

Cybergrond: Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 m

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
 Rijksinstituut voor Kust en Zee (RiKZ)

Bodemopname Callantssoog

Datum: 26 juni 2001

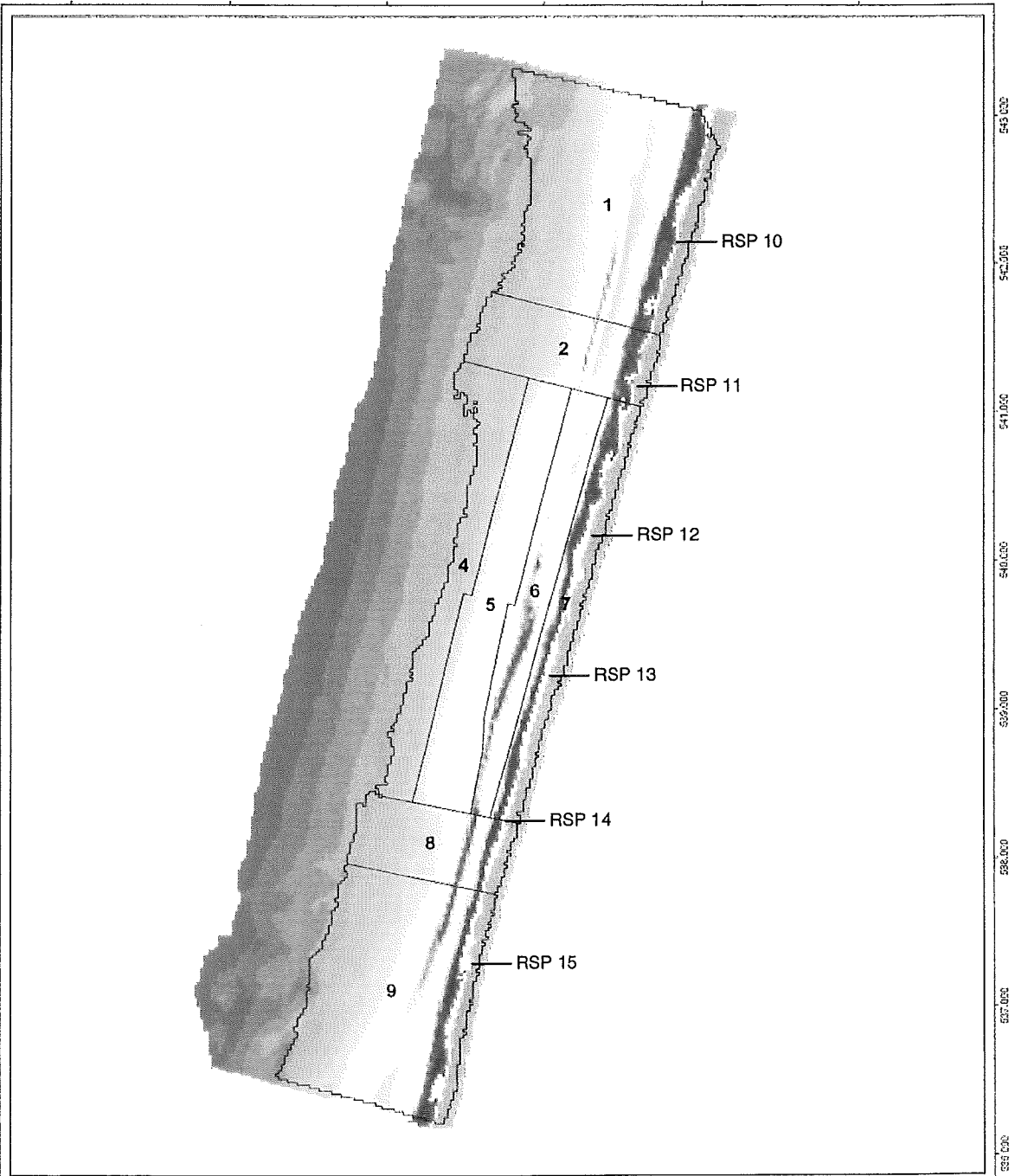
Vòòr de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.8

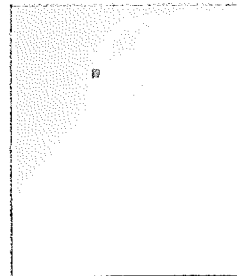


**Hoogtekaart**

Datum: 06/12/2001

Hoogte [m]

-15.00 - -12.50	-6.00 - -7.50	-1.00 - -3.50
-12.50 - -11.00	-7.50 - -6.00	-3.50 - -2.50
-11.00 - -10.00	-6.50 - -6.00	-2.50 - -2.00
-10.00 - -9.50	-6.00 - -5.50	-2.00 - -1.50
-9.50 - -9.00	-5.50 - -5.00	-1.50 - -1.00
-9.00 - -8.50	-5.00 - -4.50	-1.00 - -0.50
-8.50 - -8.00	-4.50 - -4.00	-0.50 - NAP
		NAP



**PG.05.01**

Bron: RIKZ

Ondergrond: Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 m

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Bodemopname Callantsoog

Datum: 6 december 2001

Ná de suppletie

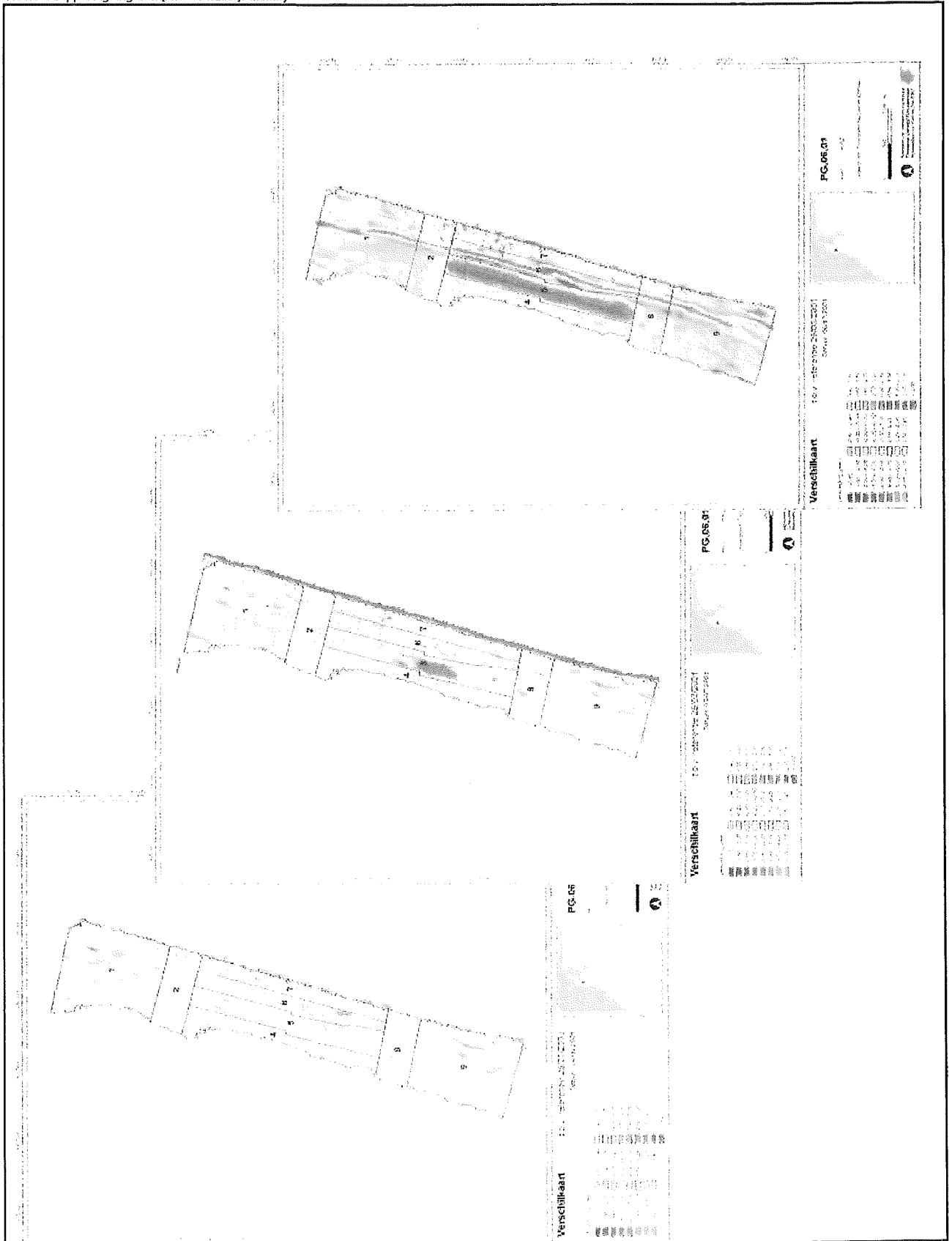
EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.9





Verschilkaarten Callantsoog ten opzichte van 29 maart 2001

Data: 26 juni, 5 juli en 6 december 2001

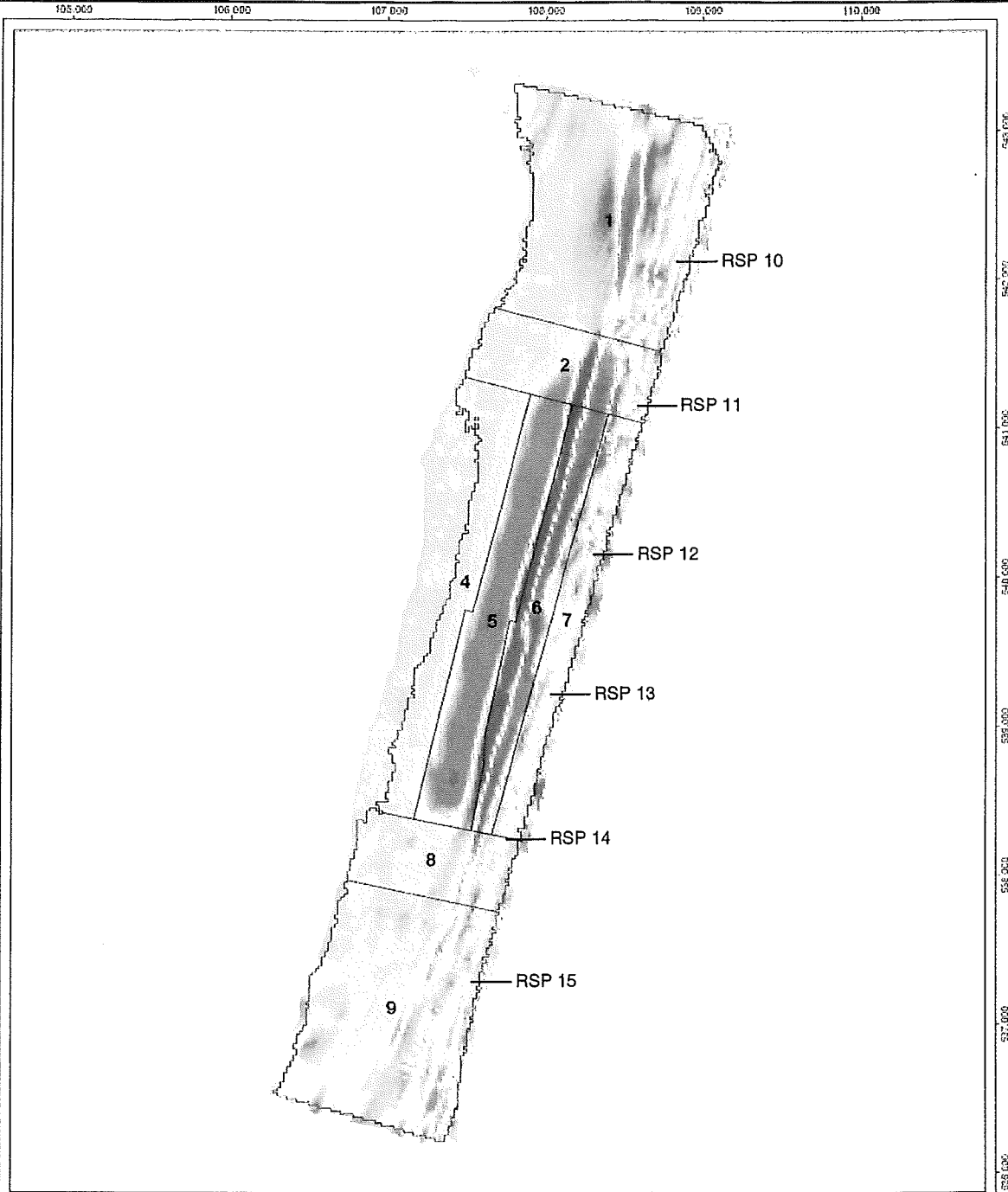
Vòòr, tijdens en ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.10



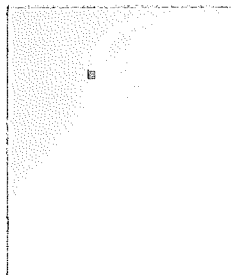
**Verschilkaart**

t.o.v. referentie 29/03/2001

Datum: 13/02/2003

Verschil [m]\_green

-3.00 - -2.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-2.00 - -1.00	0.45 - 0.30	0.50 - 0.60
-1.00 - -0.90	-0.30 - -0.10	0.60 - 0.70
-0.80 - -0.80	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.70 - -0.70	-0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
0.70 - 0.60	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
0.50 - 0.50	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
0.30 - 0.40	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		3.00



**PG.06.01**

Dron RIKZ

Ondergrond Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 m



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Rijkswaterstaat voor Kust en Zee (RKZ)

Verschilkaart Callantsoog ten opzichte van 29 maart 2001

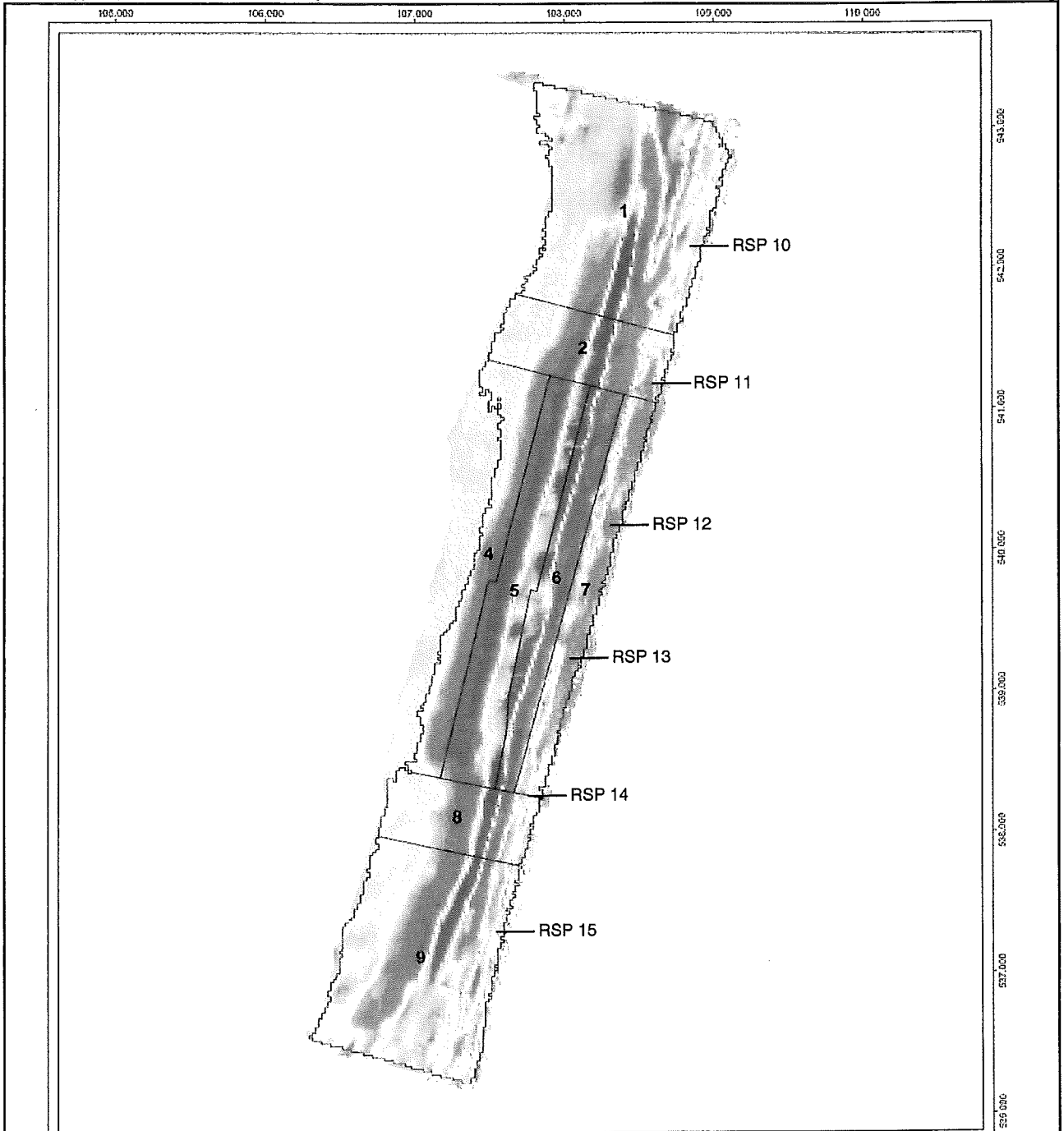
Datum: 13 februari 2003

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.11



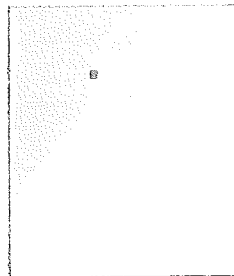
**Verschilkaart**

t.o.v. referentie 29/03/2001

Datum: 01/10/2004

Verschil [m]\_green

-3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-3.00 - -2.00	-0.40 - -0.30	0.50 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - -0.90	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.80 - -0.80	0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.80 - -0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.70 - -0.60	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
-0.60 - -0.60	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		> 3.00



**PG.06.01**

Bron: RKZ

Overlagaan: Topografische Dienst, Emmen

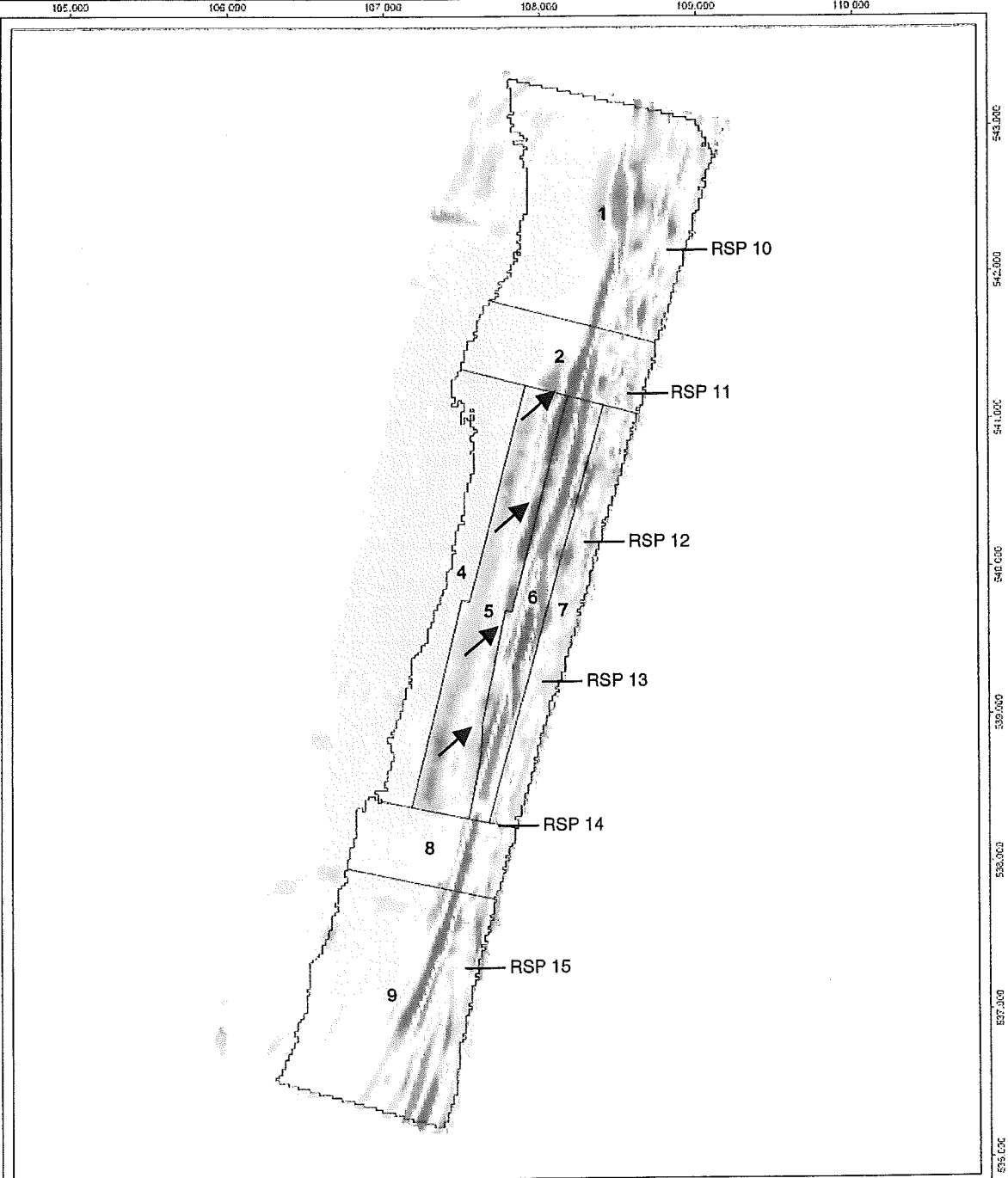
0 500 1000 m



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Centraal Geografisch Bureau  
Rijksinstituut voor Kadaster (RKZ)

Verschilkaart Callantssoog ten opzichte van 29 maart 2001

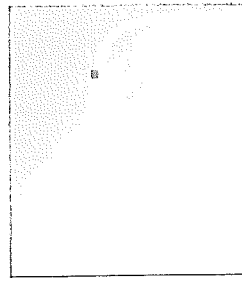
Datum: 1 oktober 2004



**Verschilkaart** opeenvolgend in de tijd  
20/03/2002 minus 06/12/2001

Verschil [m] green

-3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-3.00 - -2.00	0.40 - 0.30	0.60 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - -0.90	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.90 - 0.80	0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.80 - -0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.70 - -0.60	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
-0.60 - -0.60	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		3.00



**PG.07.01**

Bron R/KZ

Ondergrond. Topografische Dienst, Emmen

0 500 1000 m

Ministerie van Verkeer en Waterbouw  
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ)

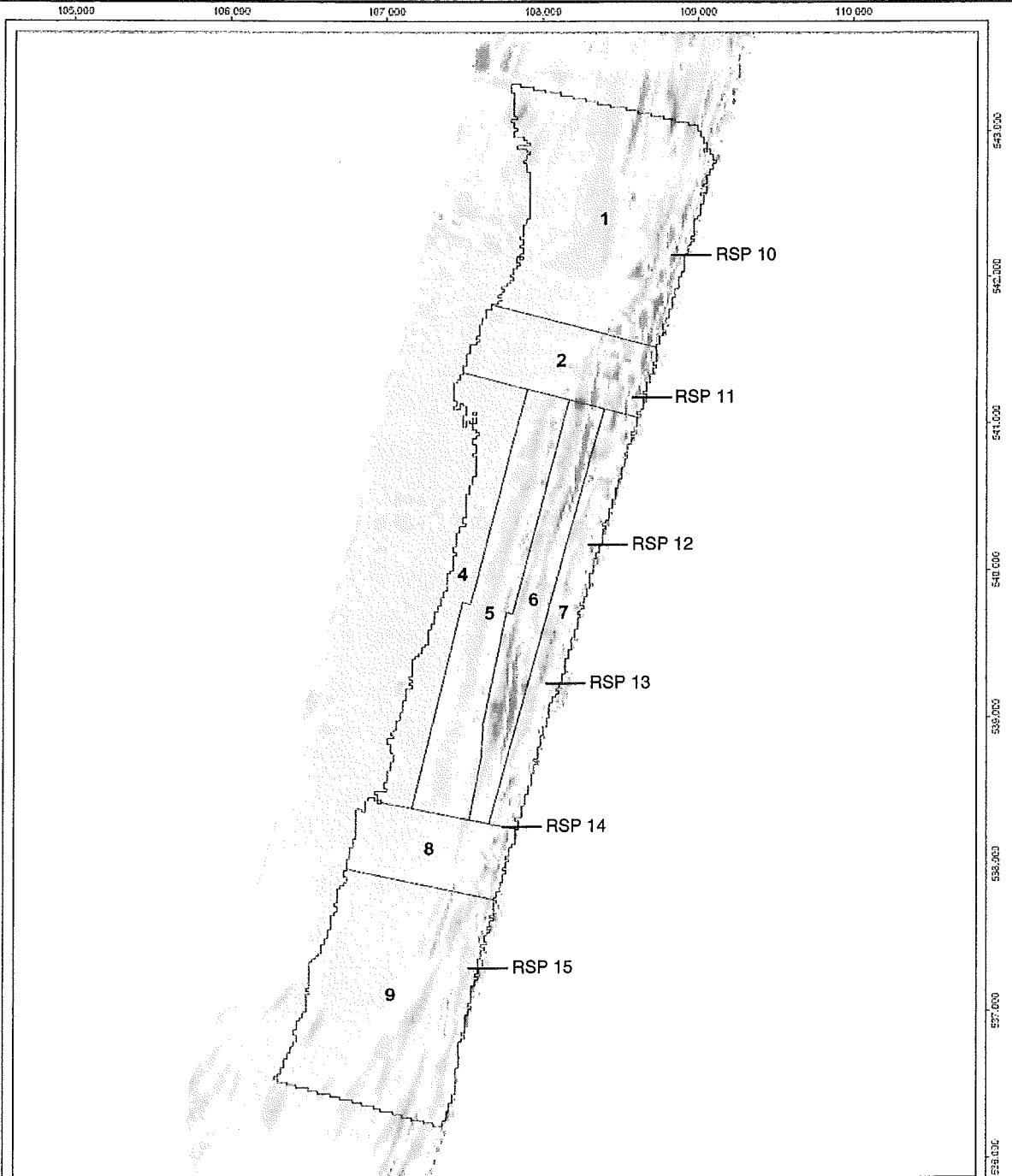
Verschilkaart Callantsoog  
Eerste winterseizoen (3½ maand)  
20 maart 2002 minus 6 december 2001

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.13



**Verschilkaart**      opeenvolgend in de tijd  
12/09/2002 minus 20/03/2002

Verschil [m], grien		
█ < -3.00	█ -0.50 - -0.40	█ 0.40 - 0.50
█ -3.00 - -2.00	█ -0.40 - -0.30	█ 0.60 - 0.70
█ -2.00 - -1.00	█ -0.30 - -0.20	█ 0.80 - 0.90
█ -1.00 - -0.90	█ -0.20 - -0.10	█ 0.90 - 1.00
█ -0.90 - -0.80	█ 0.10 - 0.20	█ 1.00 - 2.00
█ -0.80 - -0.70	█ 0.20 - 0.40	█ > 3.00
█ -0.70 - -0.60		
█ -0.60 - -0.50		

**PG.07.01**

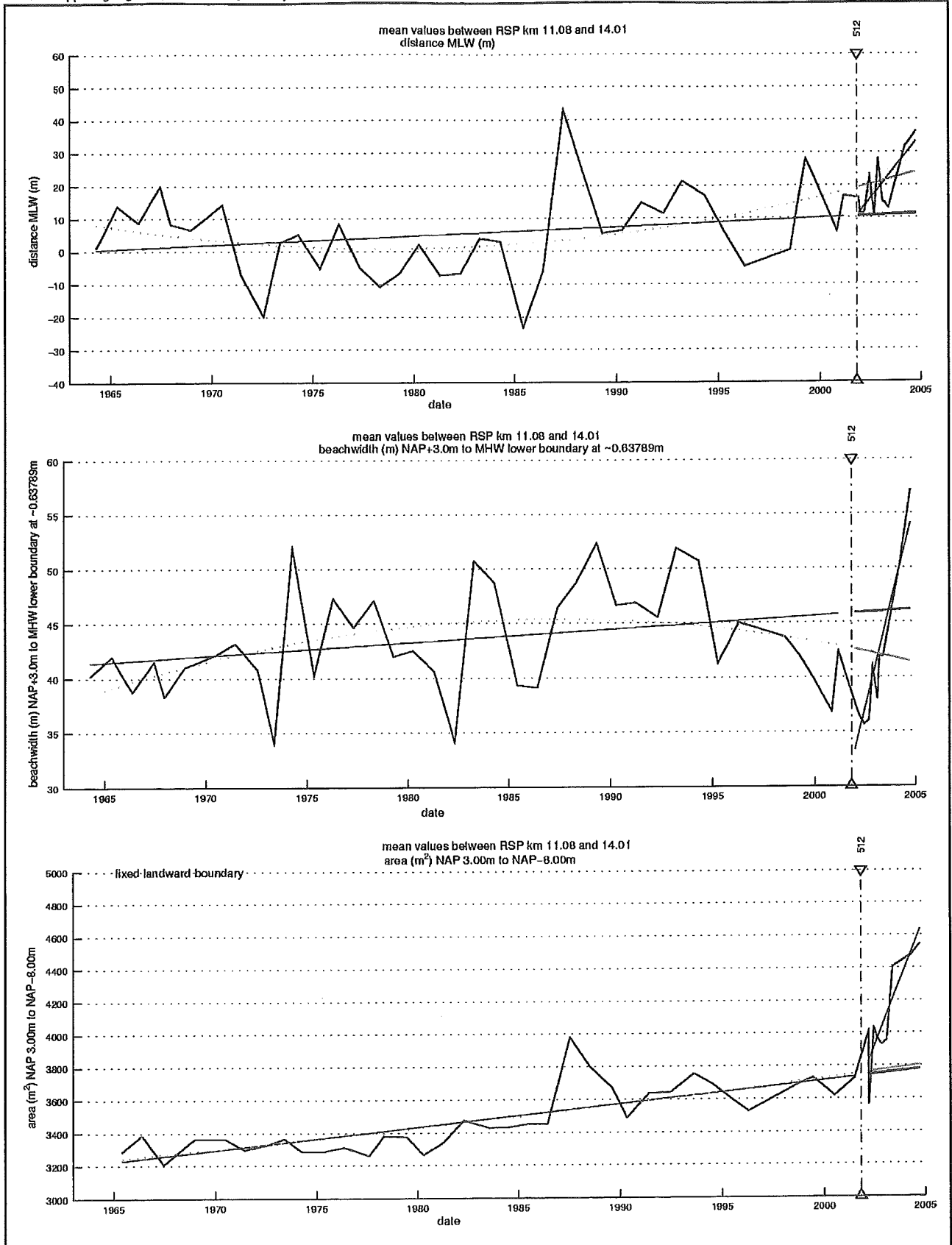
Bron: RIKZ

Cartografisch: Topografische Dienst, Emmen

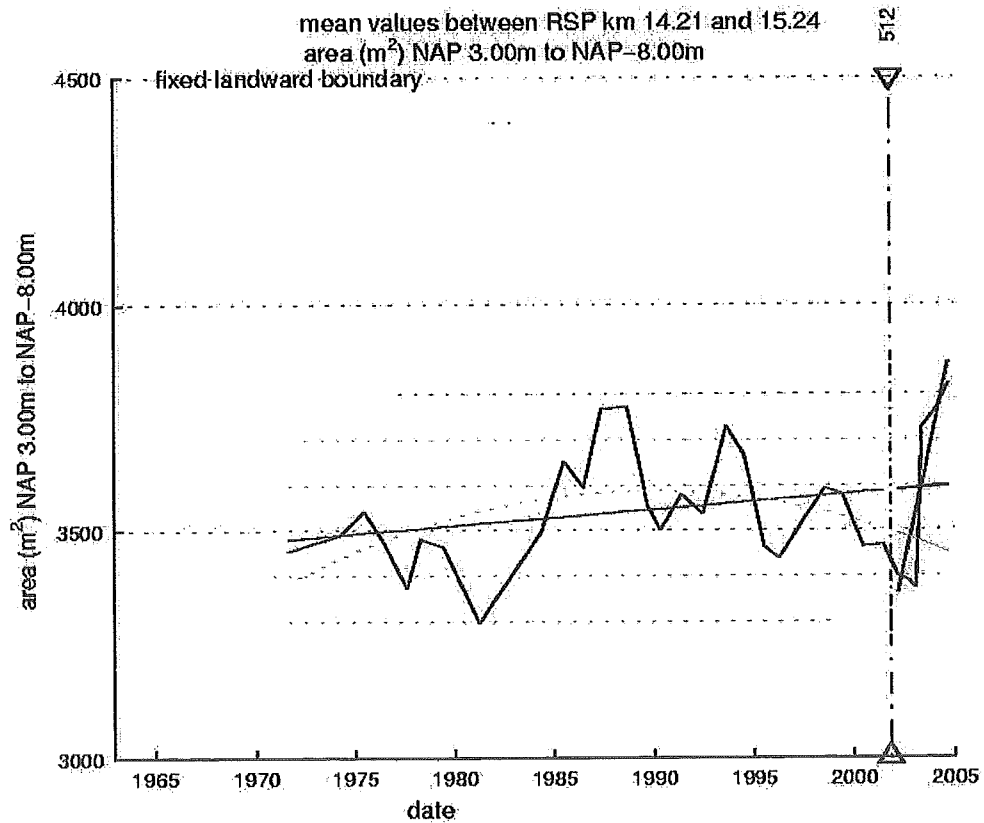
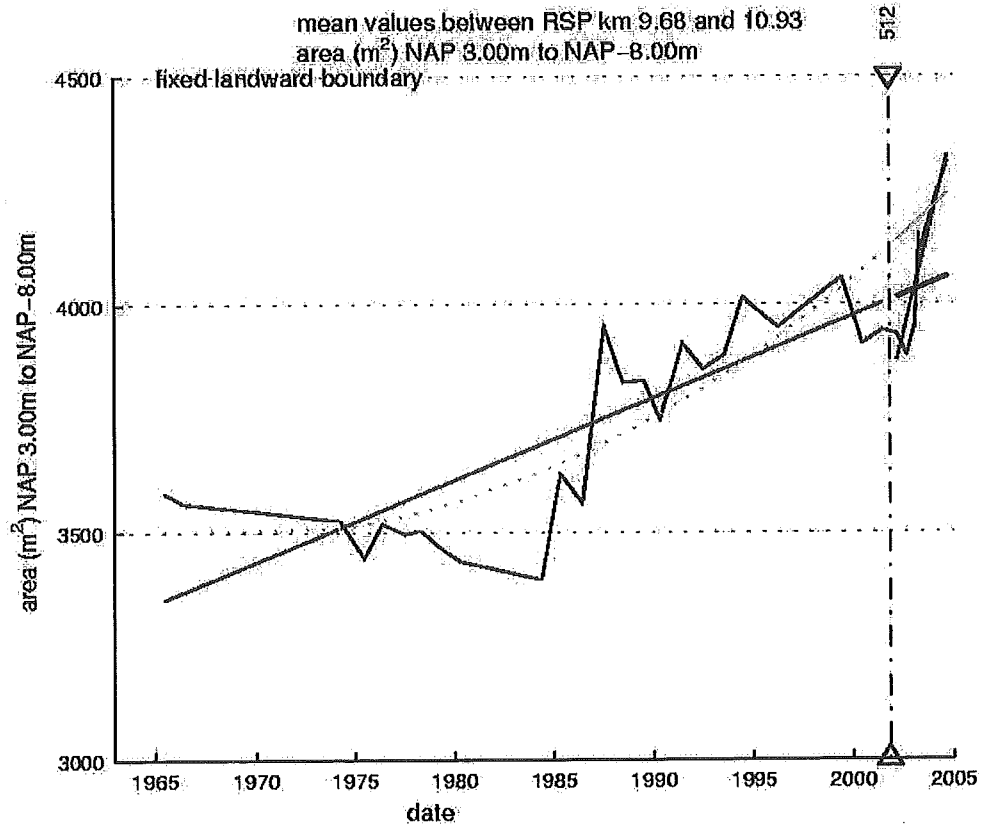
0 500 1.000 m

Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee-RIKZ

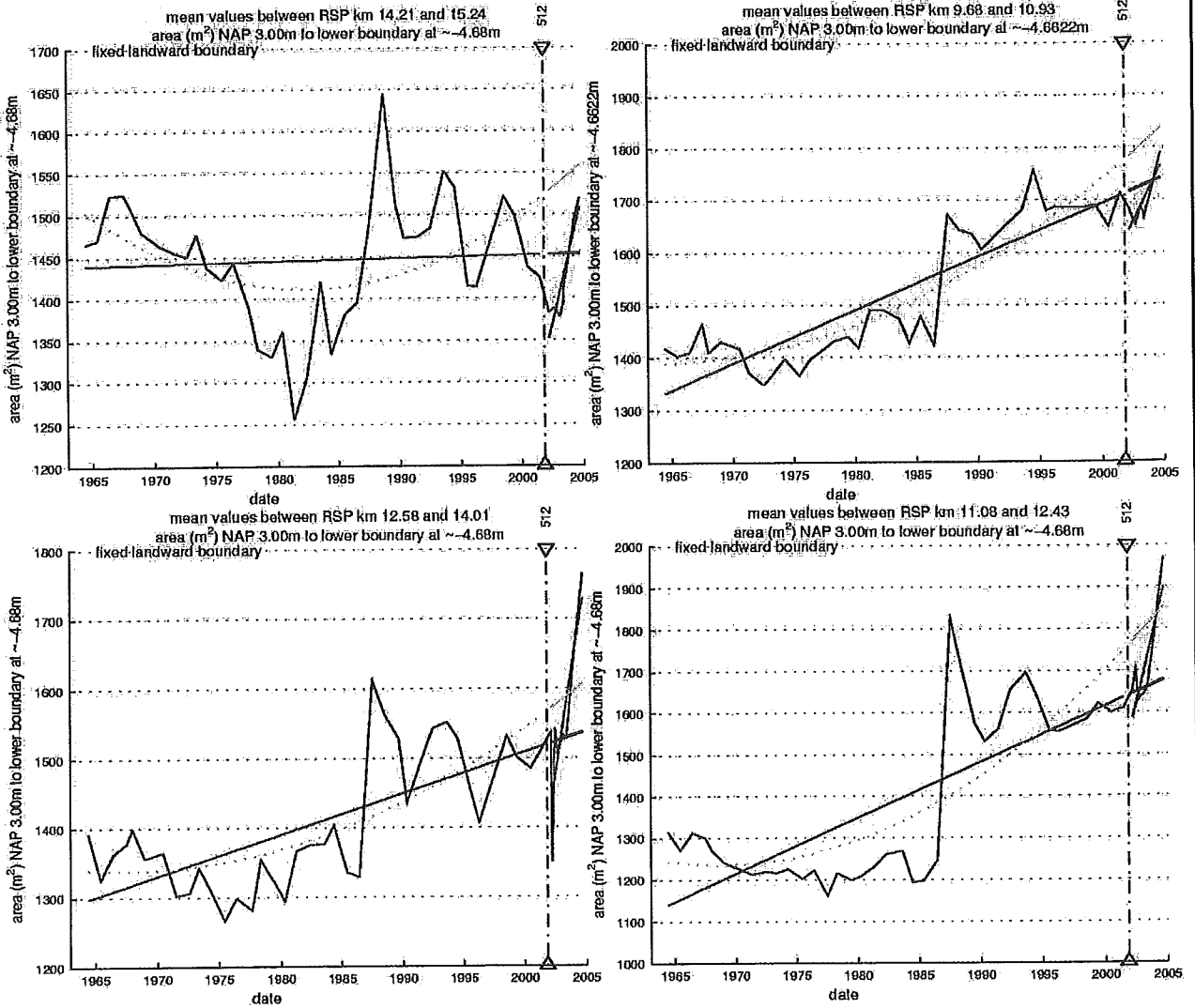
<p>Verschilkaart Callantsoog</p> <p>Eerste zomerseizoen (6 maanden)</p> <p>12 september 2002 minus 20 maart 2002</p>	
<p><b>EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES</b></p>	<p>A1539  <b>Alkyon</b></p>
<p>Fig. 3.14</p>	



Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -8 m

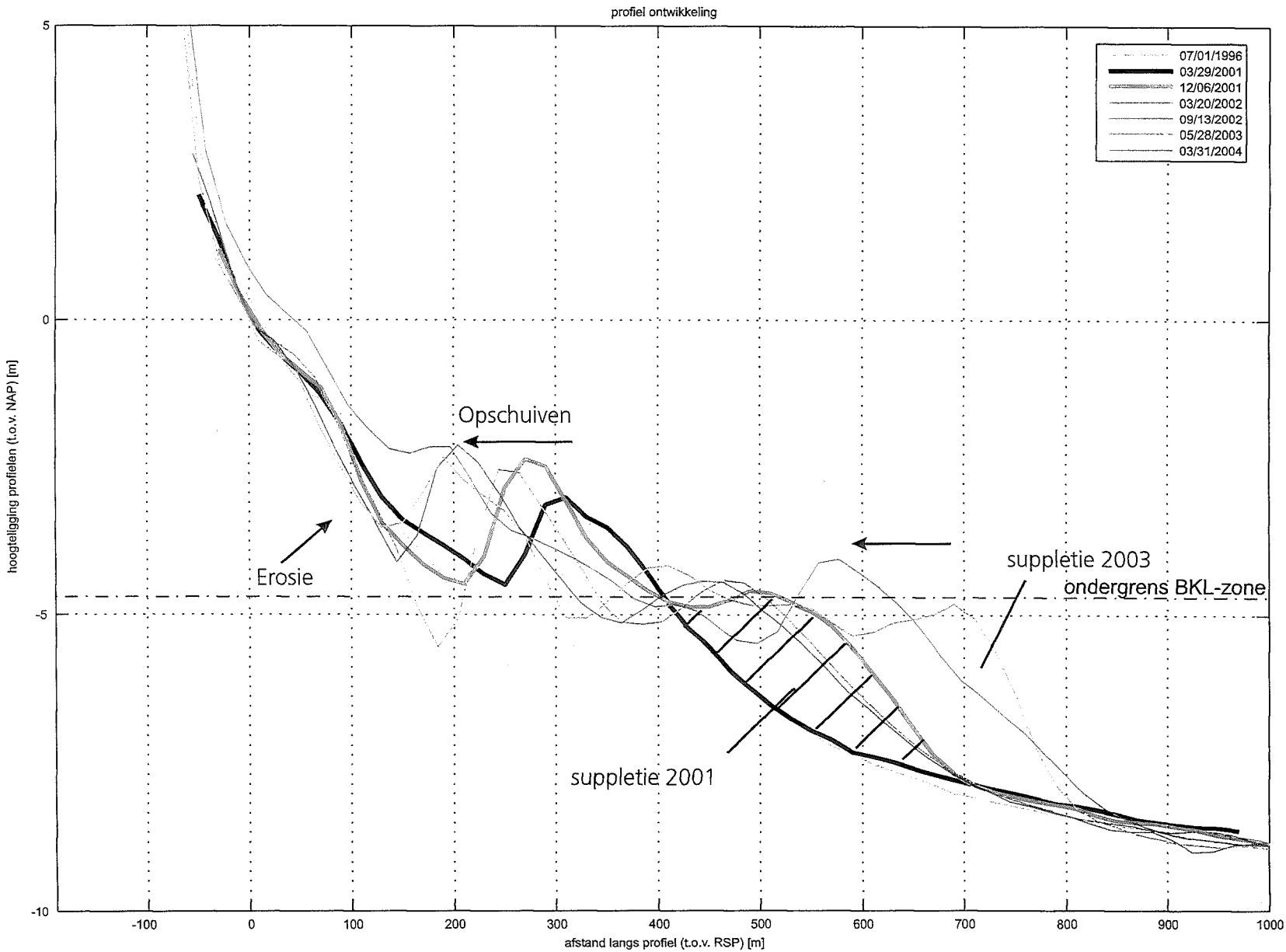


Zandvolume NAP + 3m / NAP -8 m in twee aangrenzende kustvakken



Zandvolume NAP + 3m / NAP -4,7 m in vier kustvakken





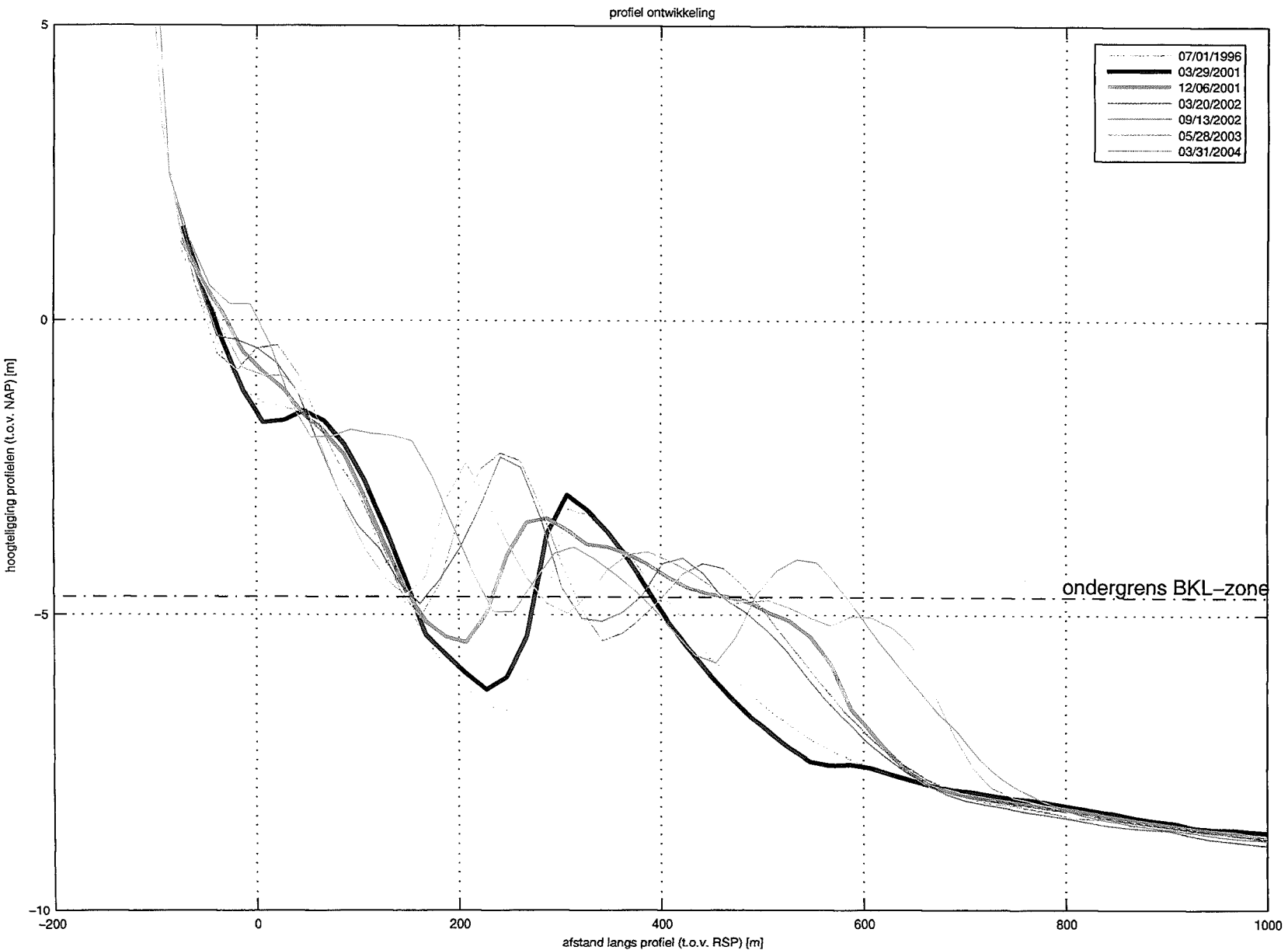
Bodemligging Callantsoog (s1); Profiel ontwikkeling RSP raai 13.2  
Meting: 07/01/1996; 03/29/2001; 12/06/2001; 03/20/2002; 09/13/2002;  
05/28/2003; 03/31/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

 Alkyon

Fig. 3.17



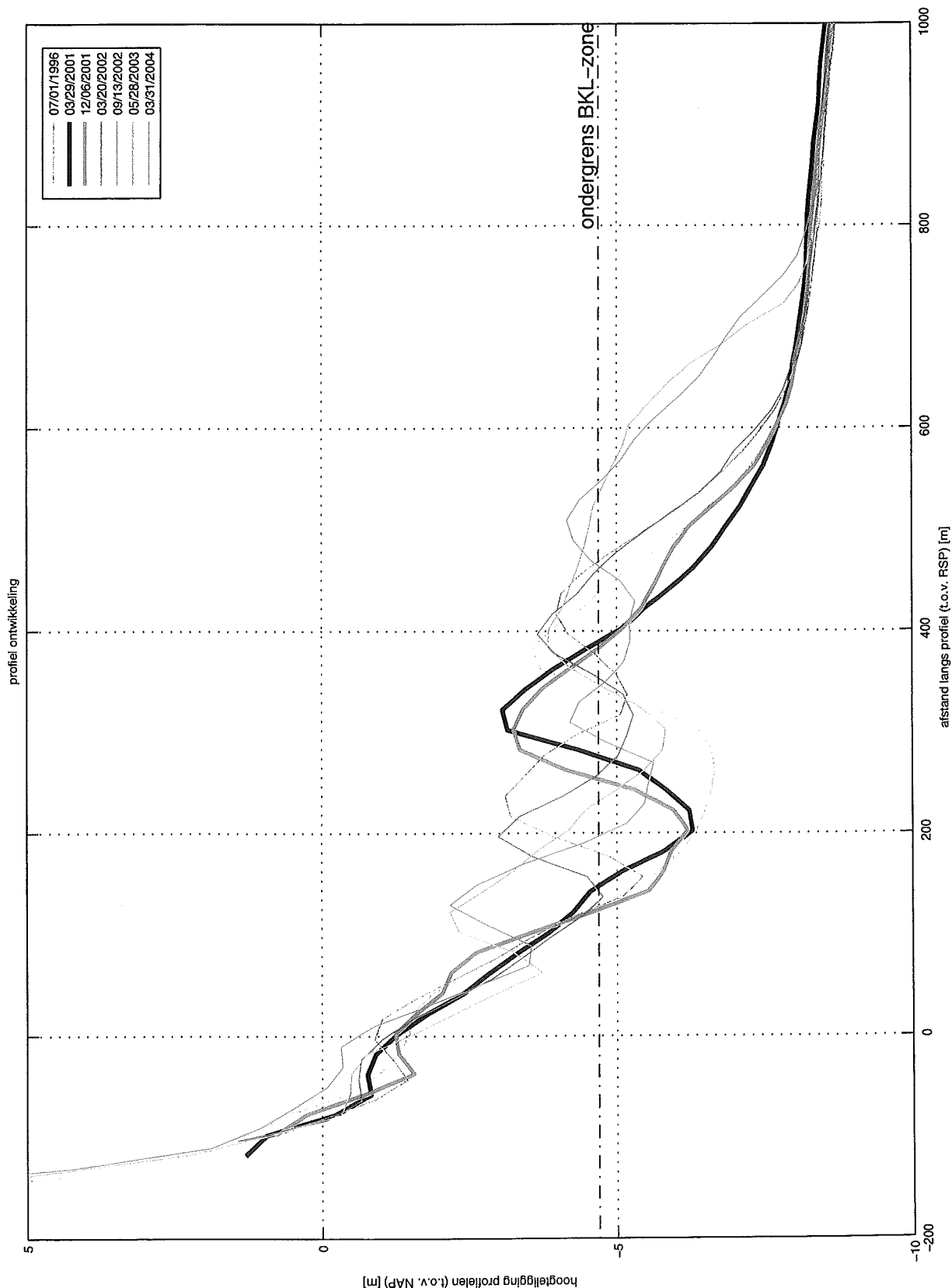
Bodemligging Callantsoog (s1); Profiel ontwikkeling RSP raai 11.97  
Meting: 07/01/1996; 03/29/2001; 12/06/2001; 03/20/2002; 09/13/2002;  
05/28/2003; 03/31/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

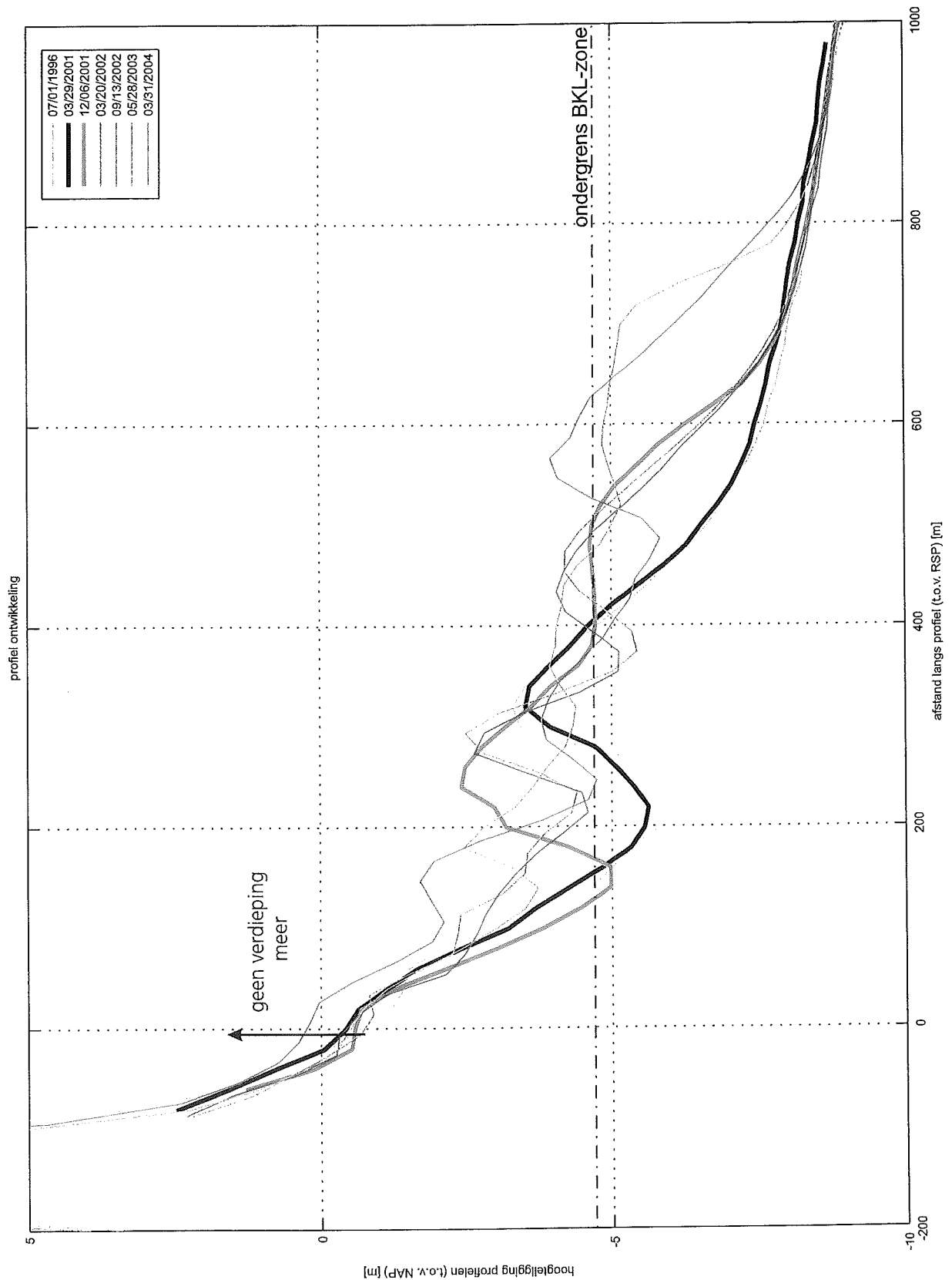
A1539



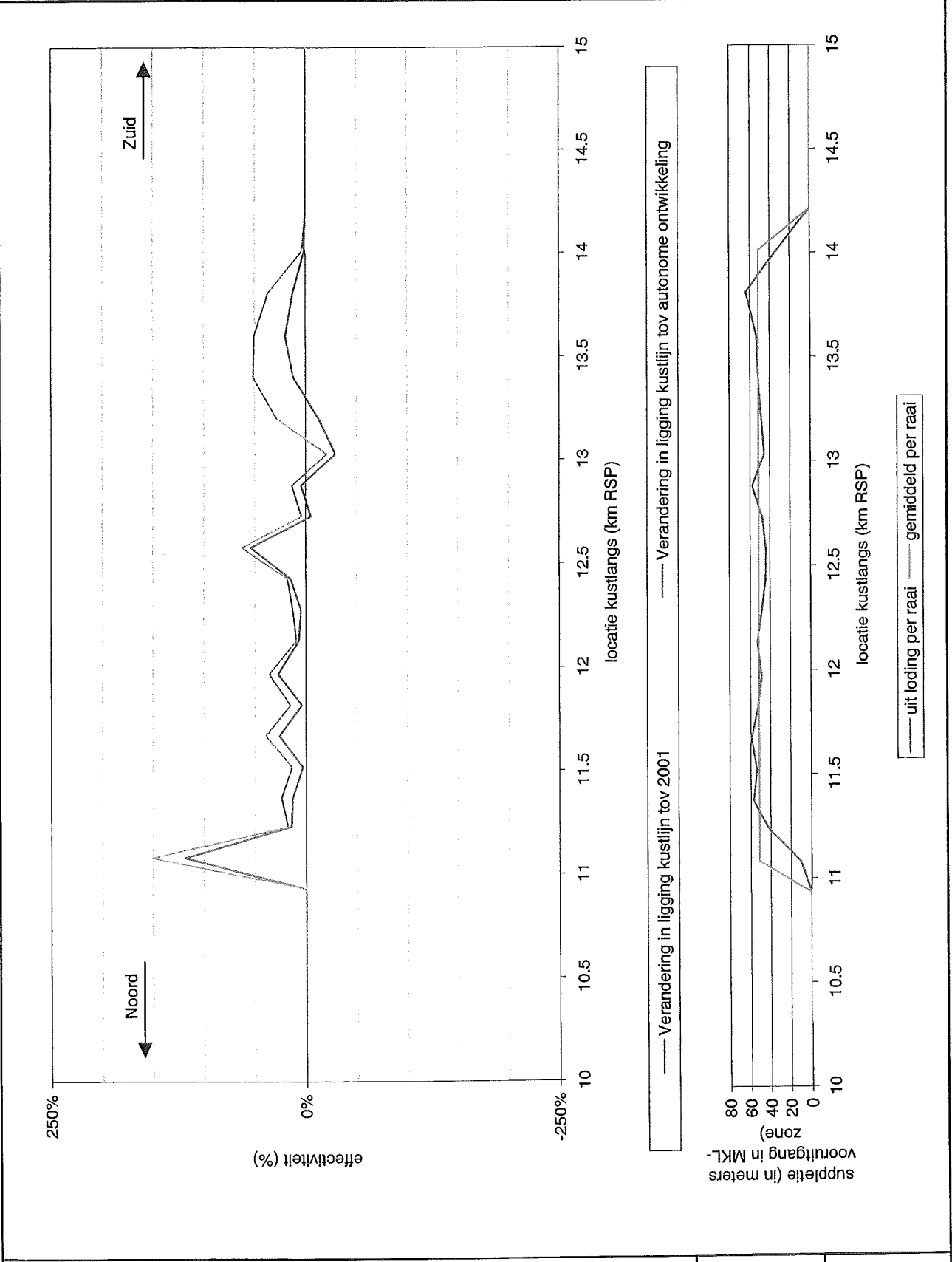
Fig. 3.18



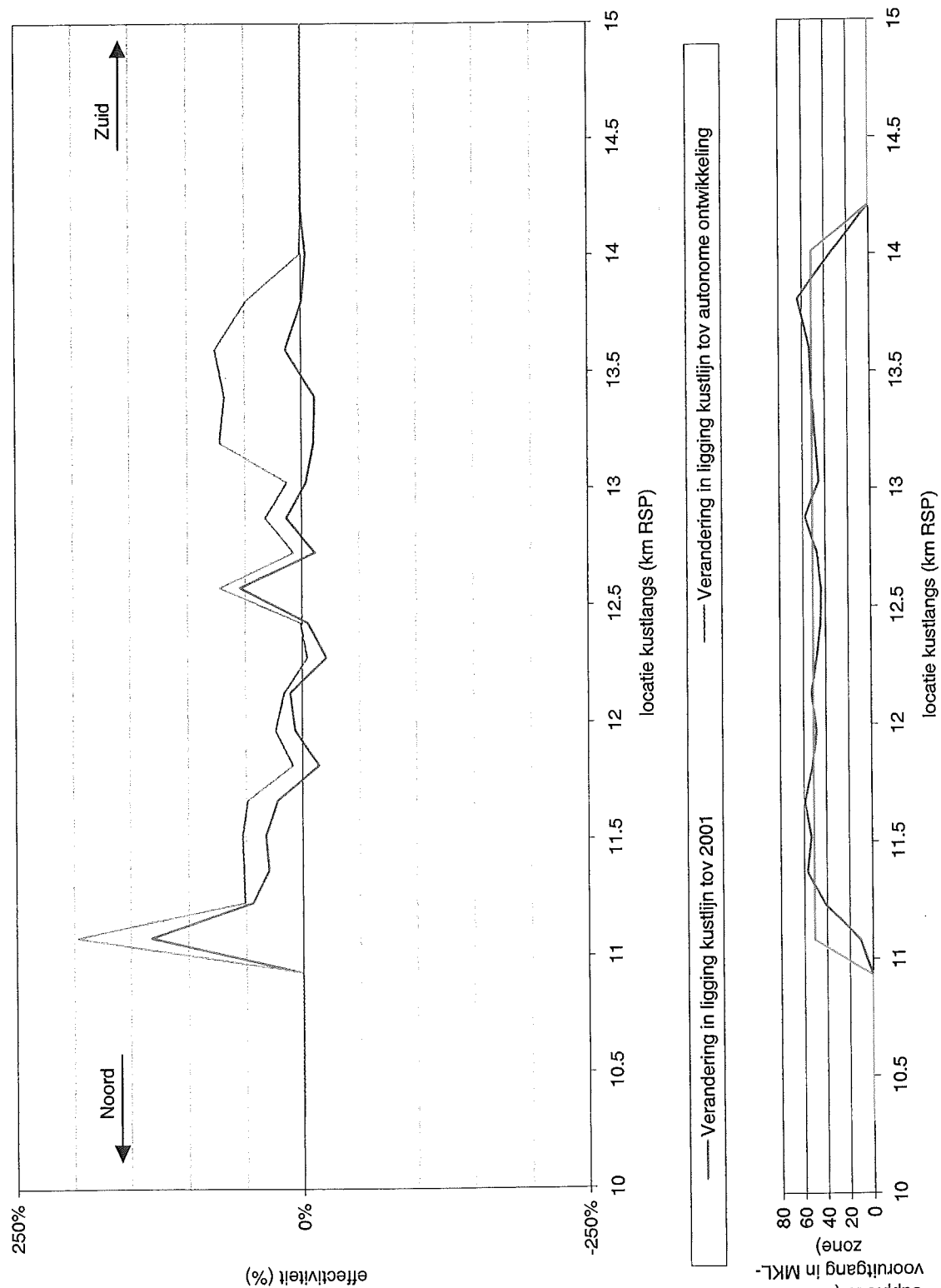
Bodemligging Callantsoog (s1); Profiel ontwikkeling RSP raai 11.08  
 Meting: 07/01/1996; 03/29/2001; 12/06/2001; 03/20/2002; 09/13/2002;  
 05/28/2003; 03/31/2004



Bodemligging Callantsoog (s1); Profiel ontwikkeling RSP raai 12.58  
 Meting: 07/01/1996; 03/29/2001; 12/06/2001; 03/20/2002; 09/13/2002;  
 05/28/2003; 03/31/2004



Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Zijpe; kustvak Noord-Holland  
 jaar 1 (2002)



Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Zijpe; kustvak Noord-Holland  
 jaar 2 (2003)

Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij Zijpe; kustvak Noord-Holland

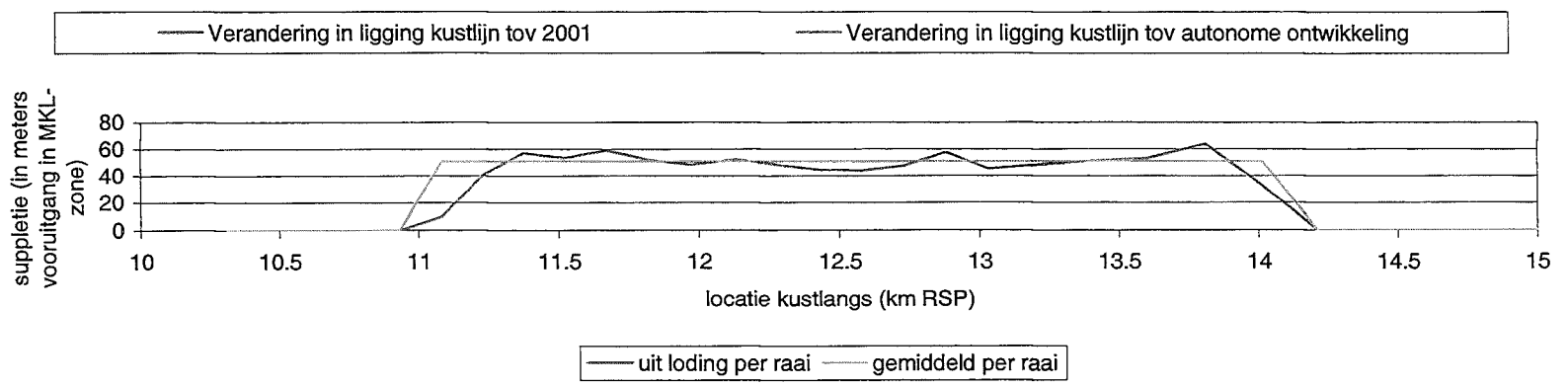
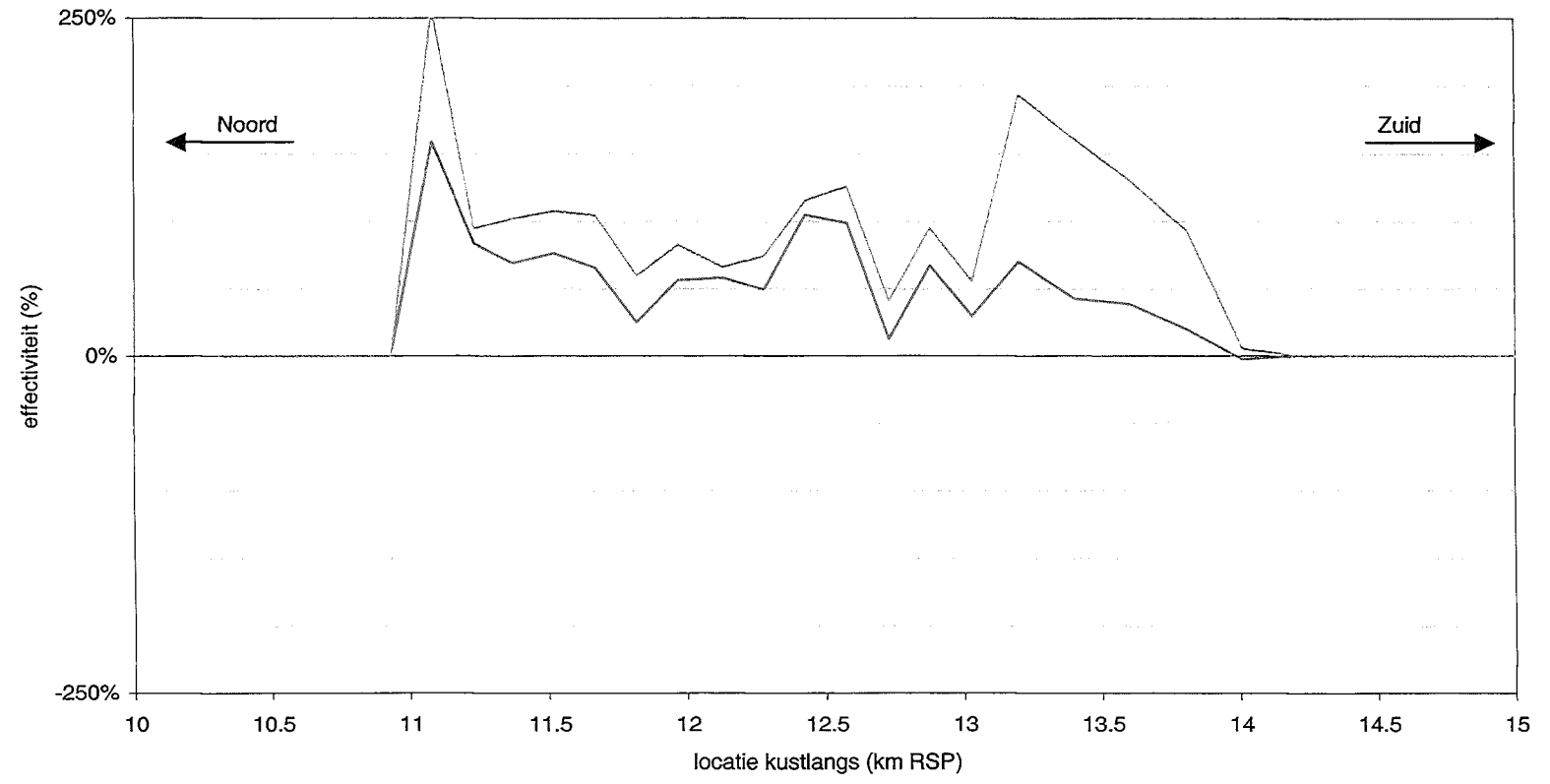
jaar 3 (2004)

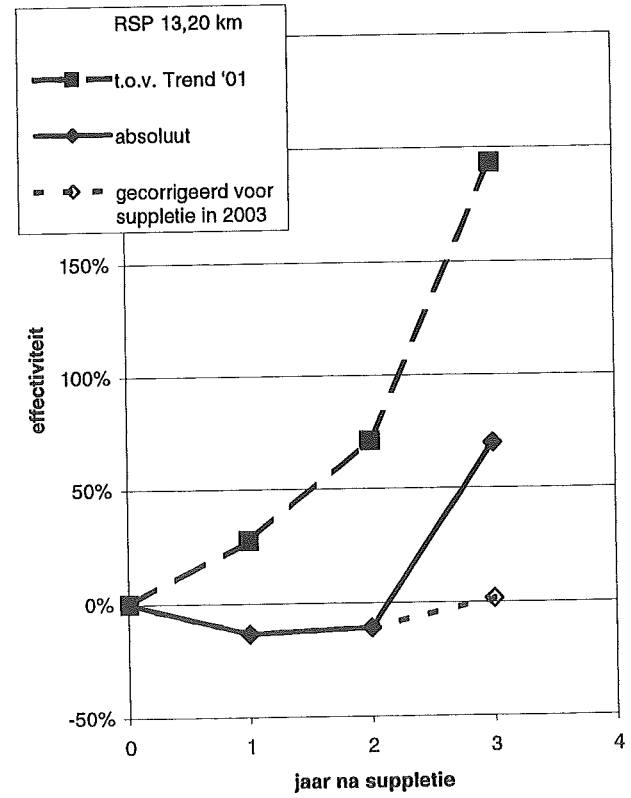
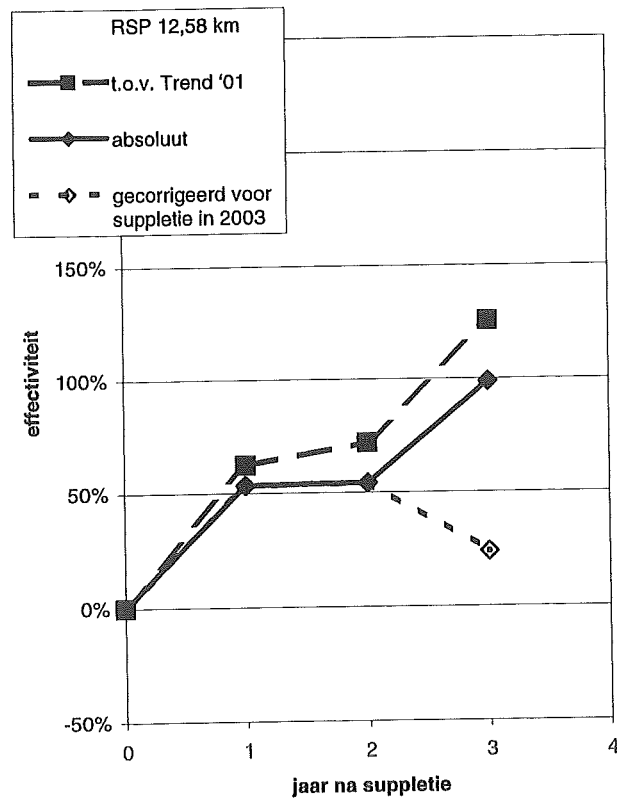
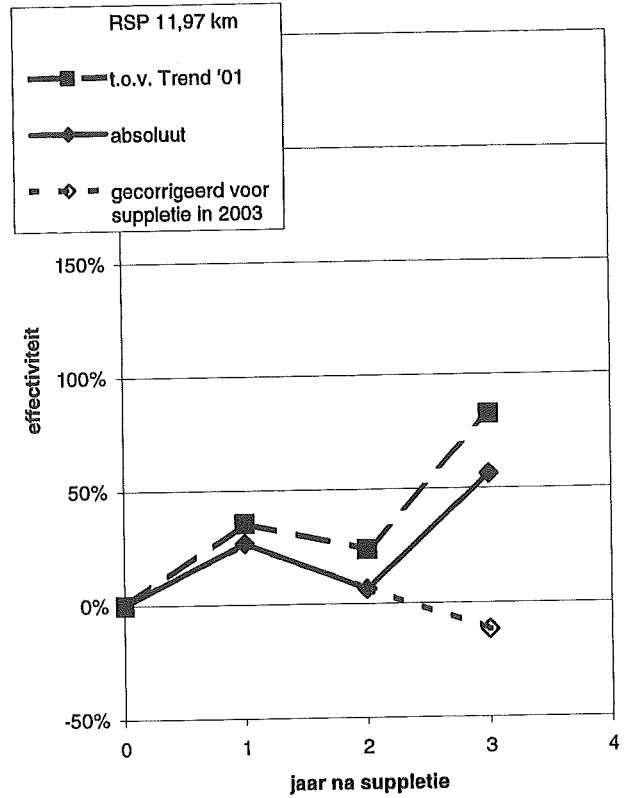
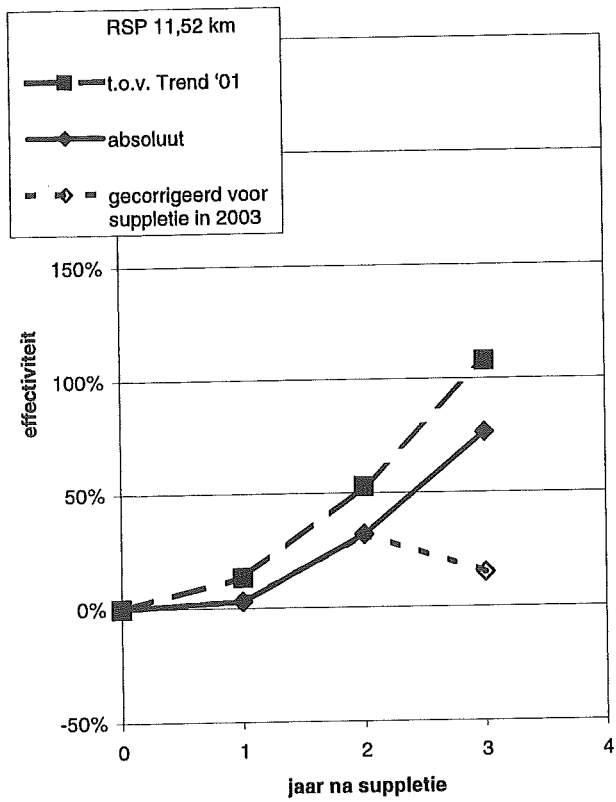
EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539

Alkyon

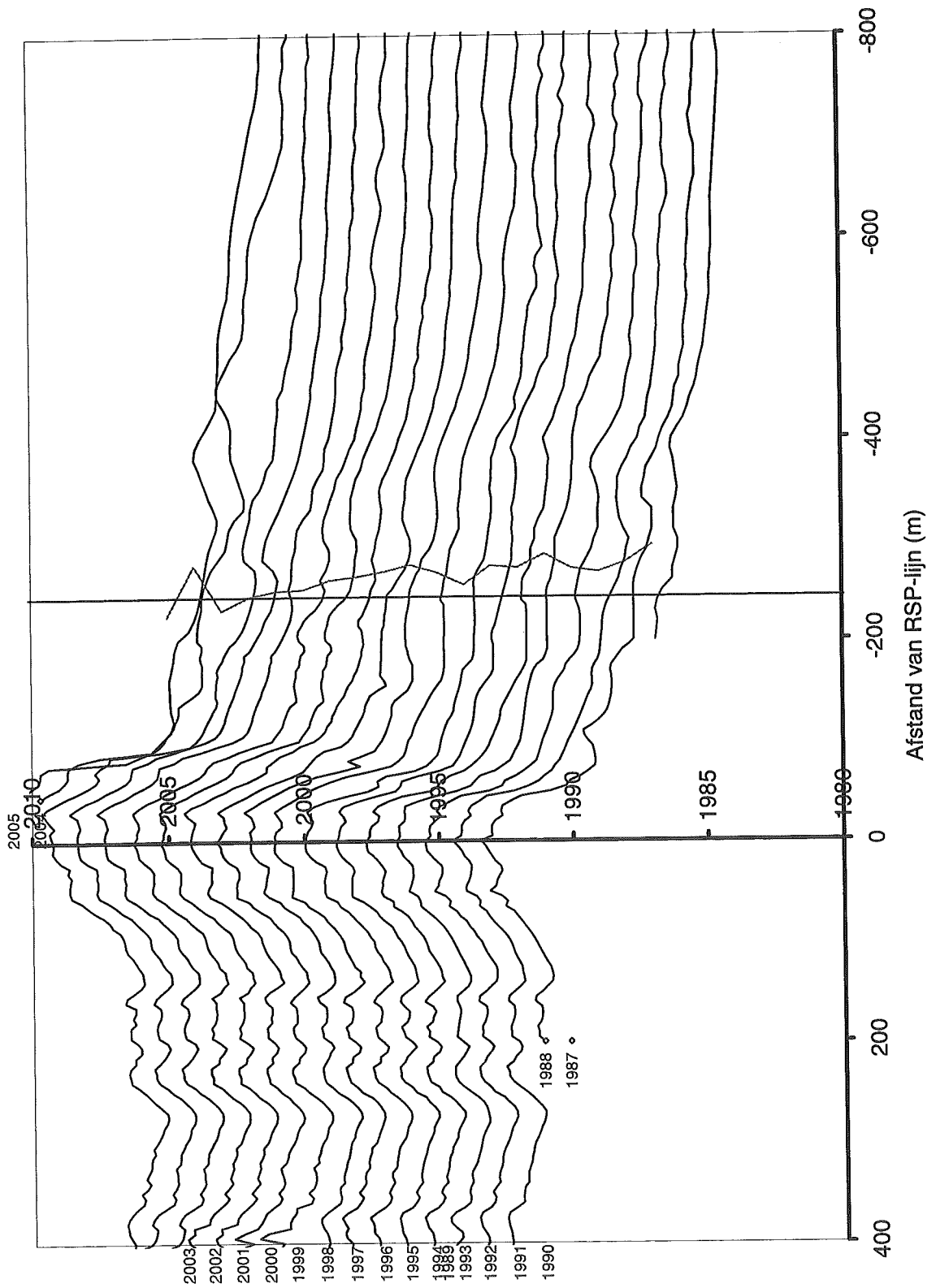
Fig. 3.23





Berekende effectiviteitslijnen voor Callantsoog  
 Voor de raaien: RSP 11,52 km, RSP 11,97 km, RSP 12,58 km en RSP 13,20 km



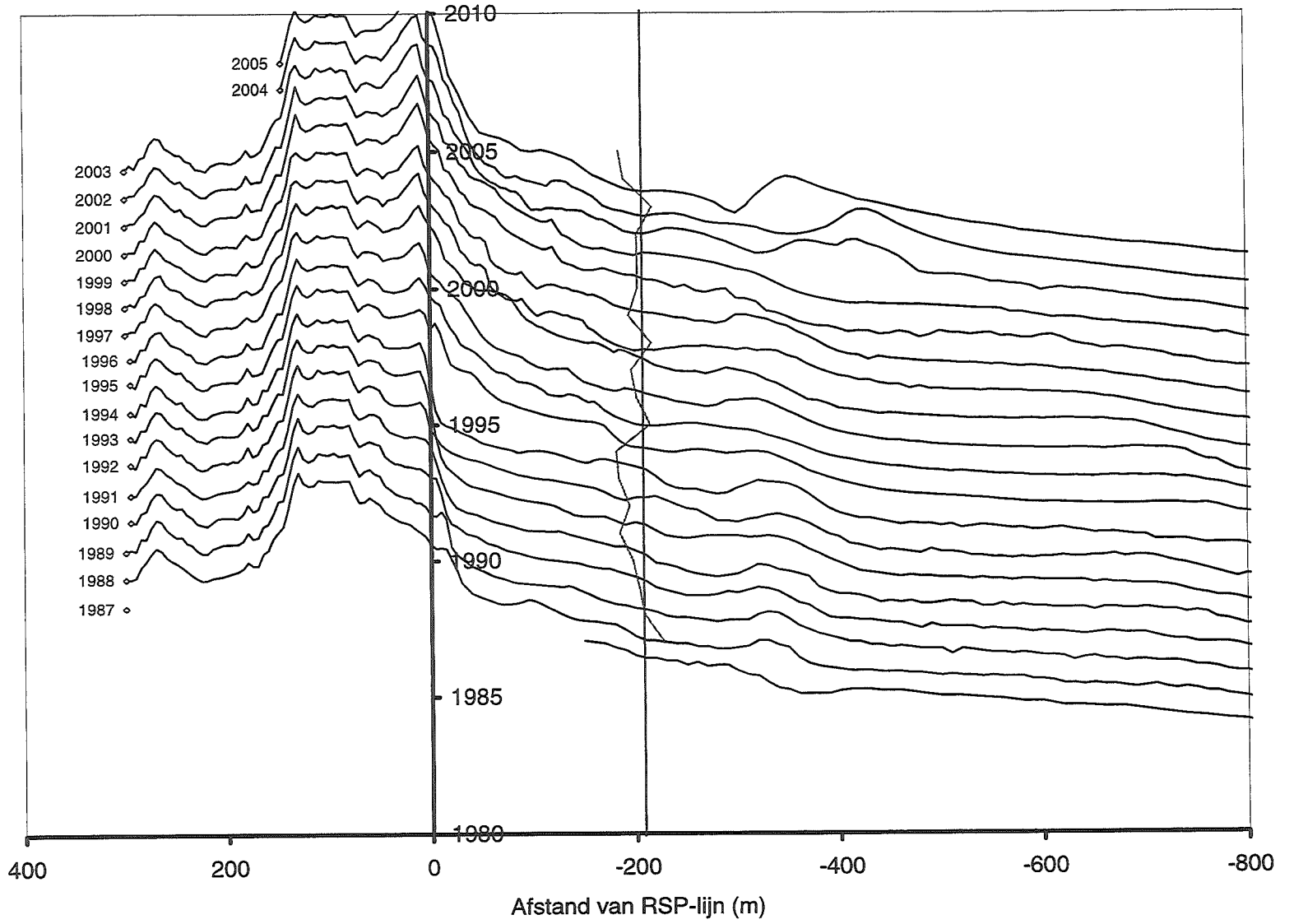


Time-stacks Texel-ZW

RSP raai 9

Raai: 9

Kustvak: Texel



Time-stacks Texel-ZW

RSP raai 10.53

Raai: 10.53

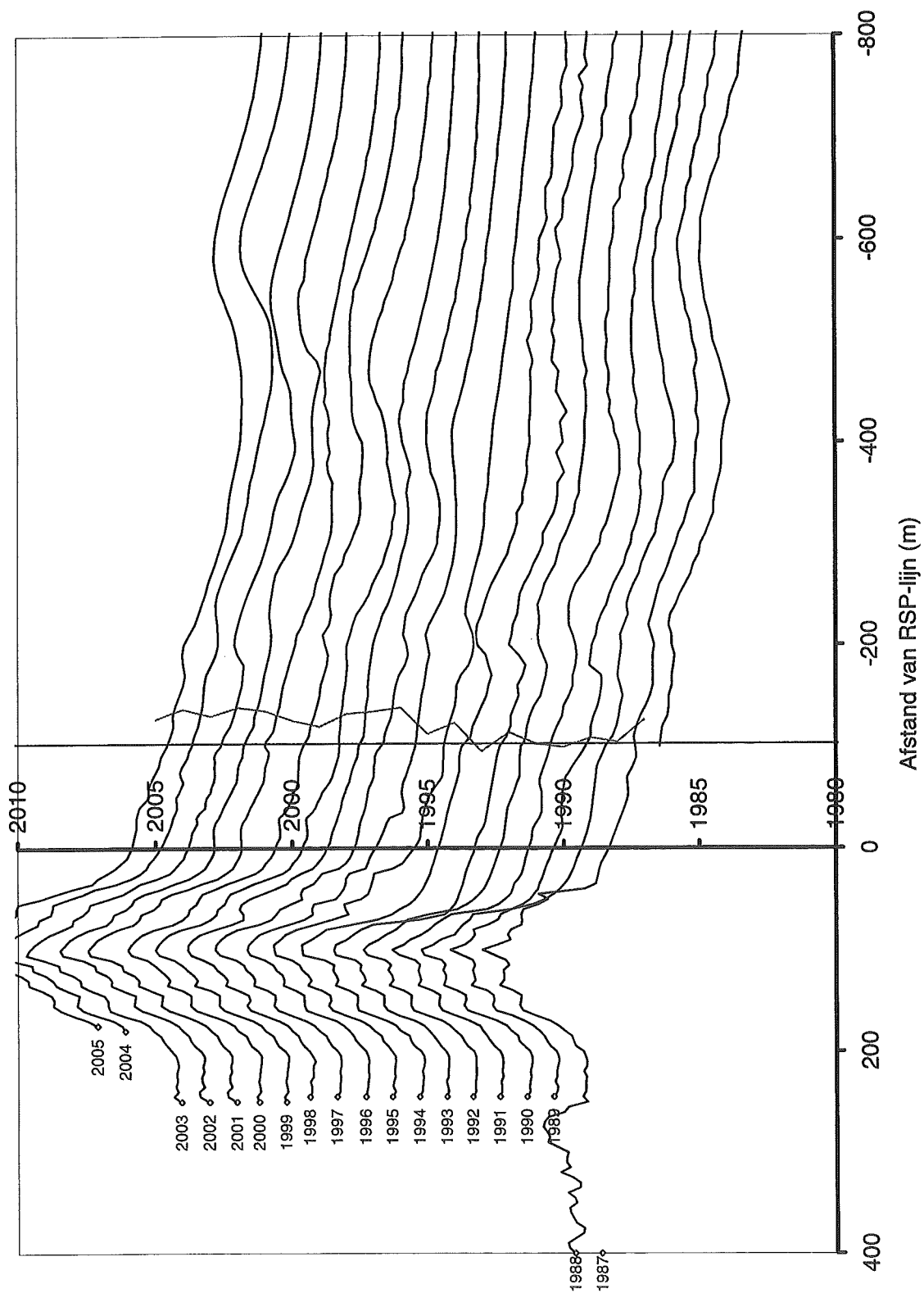
Kustvalk: Texel

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539

 Alkyon

Fig. 3.27



Time-stacks Texel-ZW

RSP raai 12.1

Raai: 12.1

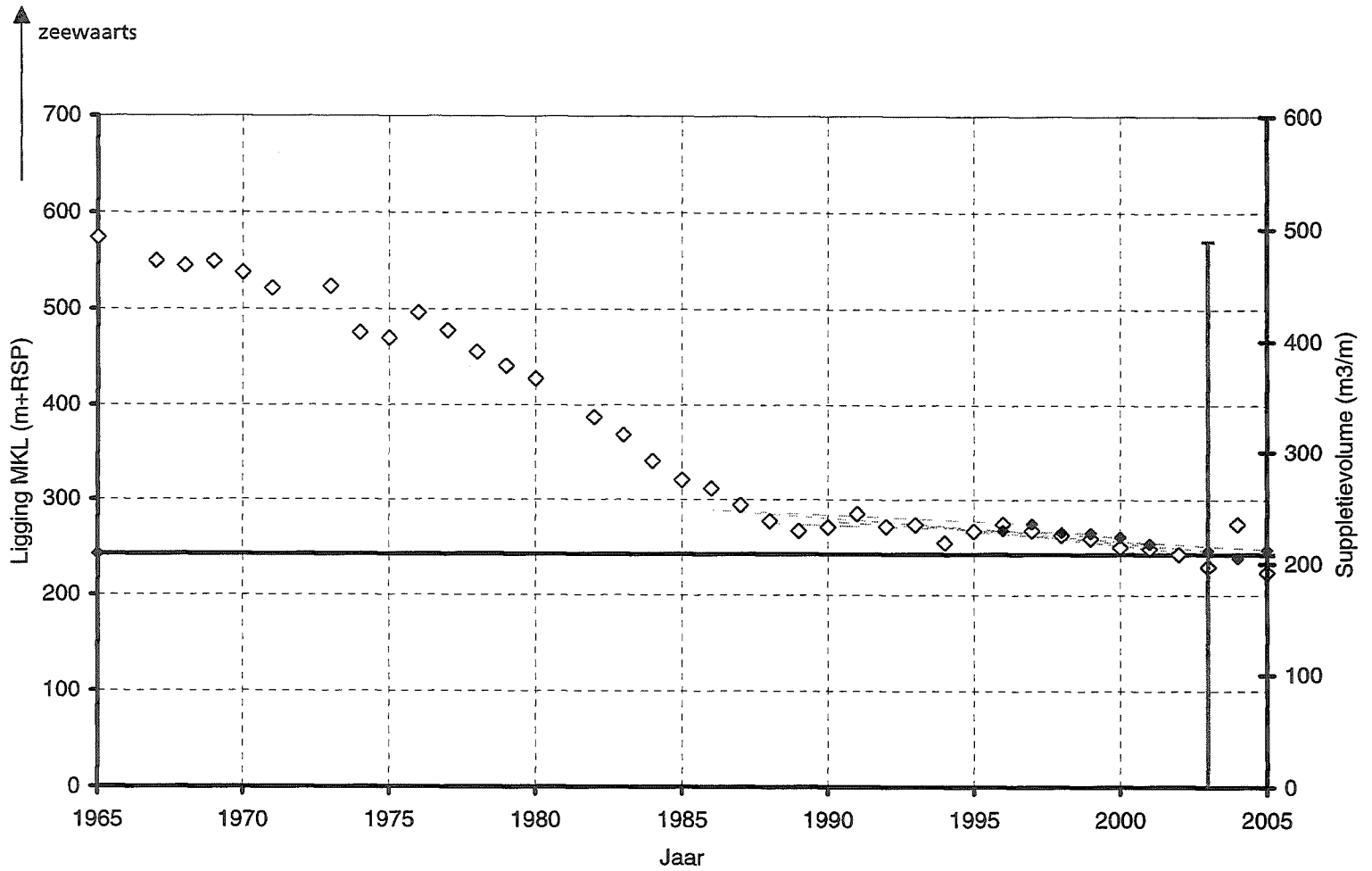
Kustvak: Texel

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

 Alkyon

Fig. 3.28



Berekende MKL-posities voor Texel -ZW

RSP raai 9

Raai: 9

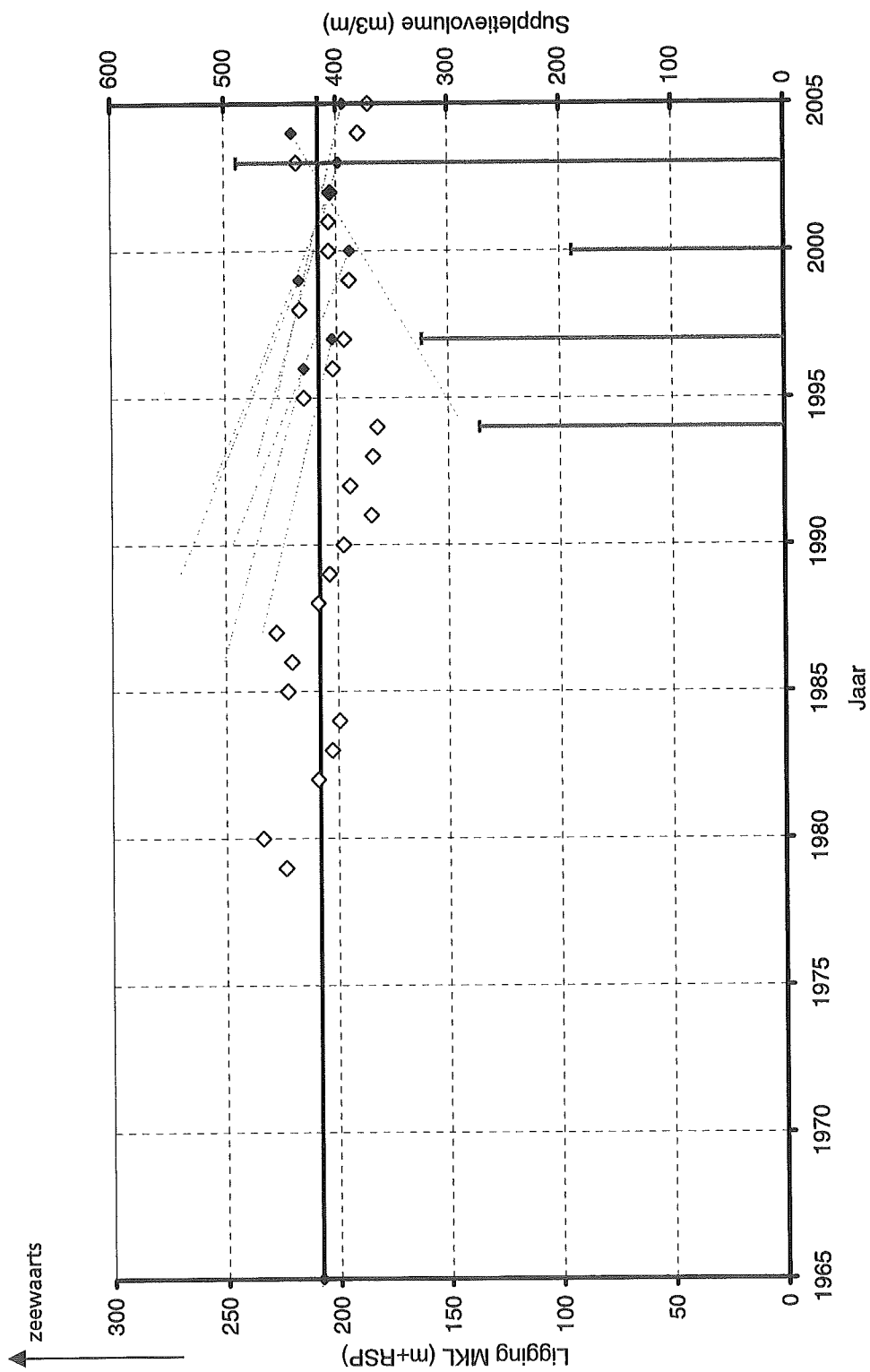
Kustvak: Texel

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.29



Berekende MKL-posities voor Texel -ZW

RSP raai 10.53

Raai: 10.53

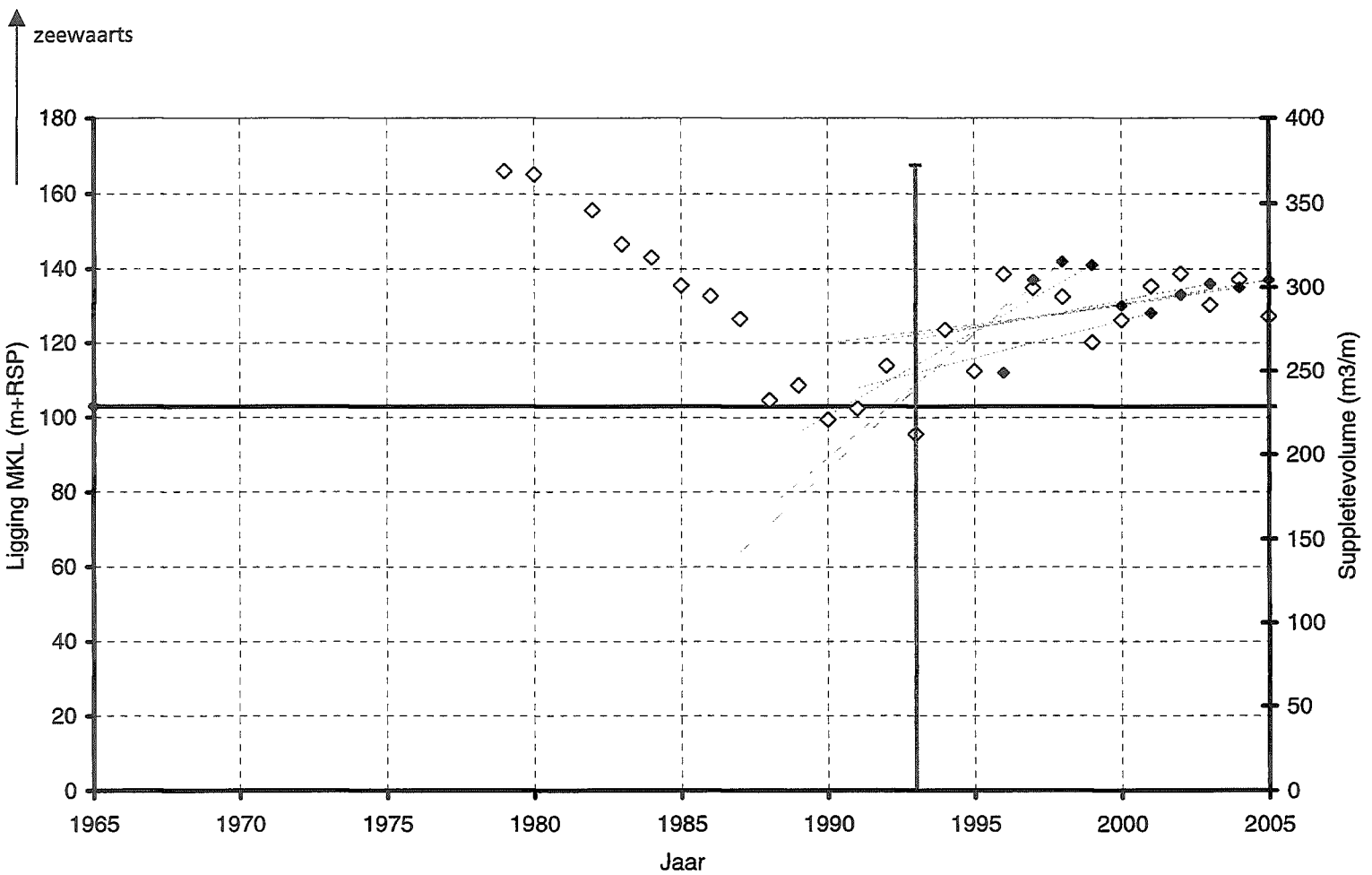
Kustvak: Texel

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.30



Berekende MKL-posities voor Texel -ZW  
 RSP raai 12.1

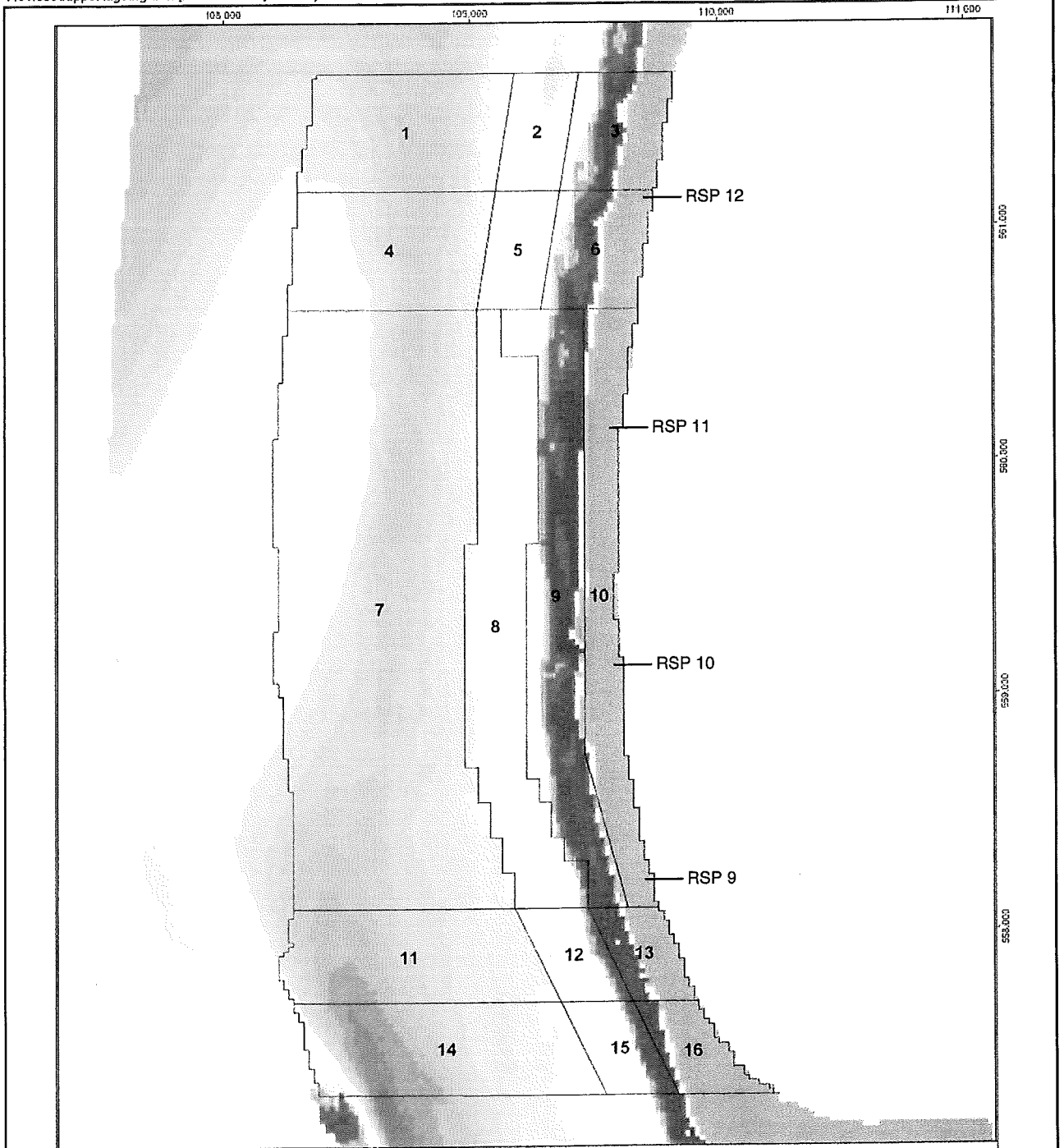
Raai: 12.1  
 Kustvalk: Texel

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539



Fig. 3.31

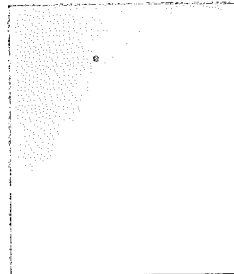


**Hoogtekaart**

Datum: 08/01/2003

Hoogte [m]

15.00 - 12.50	7.50 - 7.00	-4.00 - -1.50
12.50 - 11.00	7.00 - 6.50	-3.50 - 3.00
11.00 - 10.00	6.50 - 6.00	-3.00 - -2.50
10.00 - 9.50	6.00 - 5.50	-2.50 - -2.00
9.50 - 9.00	5.50 - 5.00	-2.00 - -1.50
9.00 - 8.50	5.00 - 4.50	-1.50 - -1.00
8.50 - 8.00	4.50 - 4.00	-1.00 - -0.50
		-0.50 - NAP
		NAP



**PG.05.01**

Bron: RIKZ

Ondergrond: Topografische Dienst, Emmen



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Bodemopname Texel-ZW

Datum: 8 januari 2003

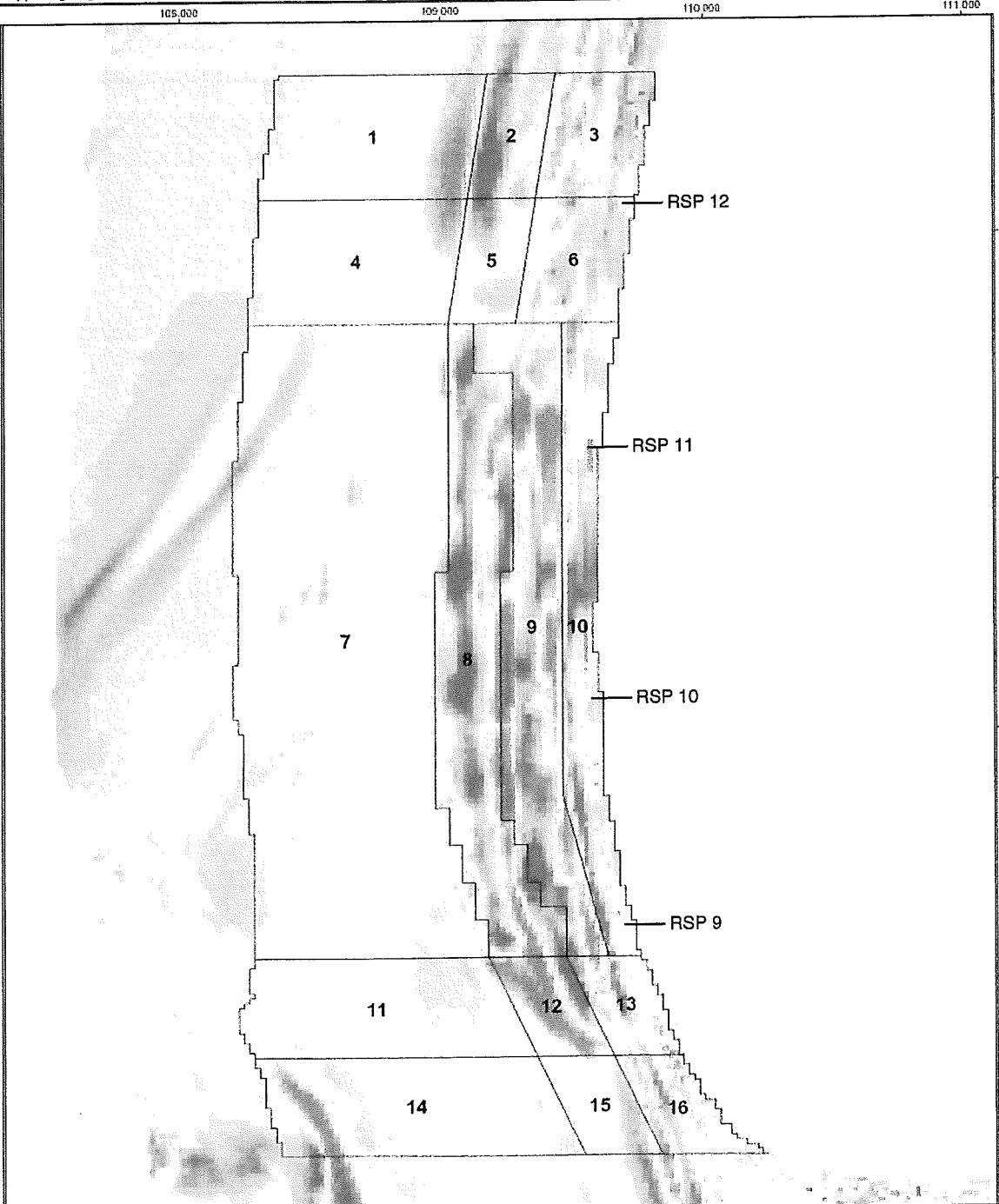
Vòòr de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.32

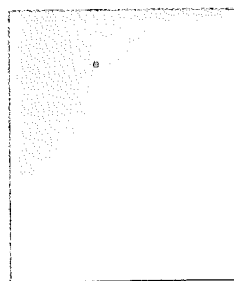


**Verschilkaart**

opéenvolgend in de tijd  
11/03/2004 minus 04/09/2003

Verschil [m]\_grijs

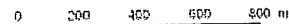
-3.00 - -2.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
3.00 - 2.00	-0.40 - -0.30	0.50 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - -0.90	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.80 - -0.60	-0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.60 - -0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.70 - -0.60	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
-0.60 - -0.50	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		> 3.00



**PG.07.01**

Bron RIKZ

Ondergrond Topografische Dienst, Emmen



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee-RIKZ

Verschilkaart Texel-ZW

Eerste winterseizoen (6 maanden)

11 maart 2004 minus 4 september 2003

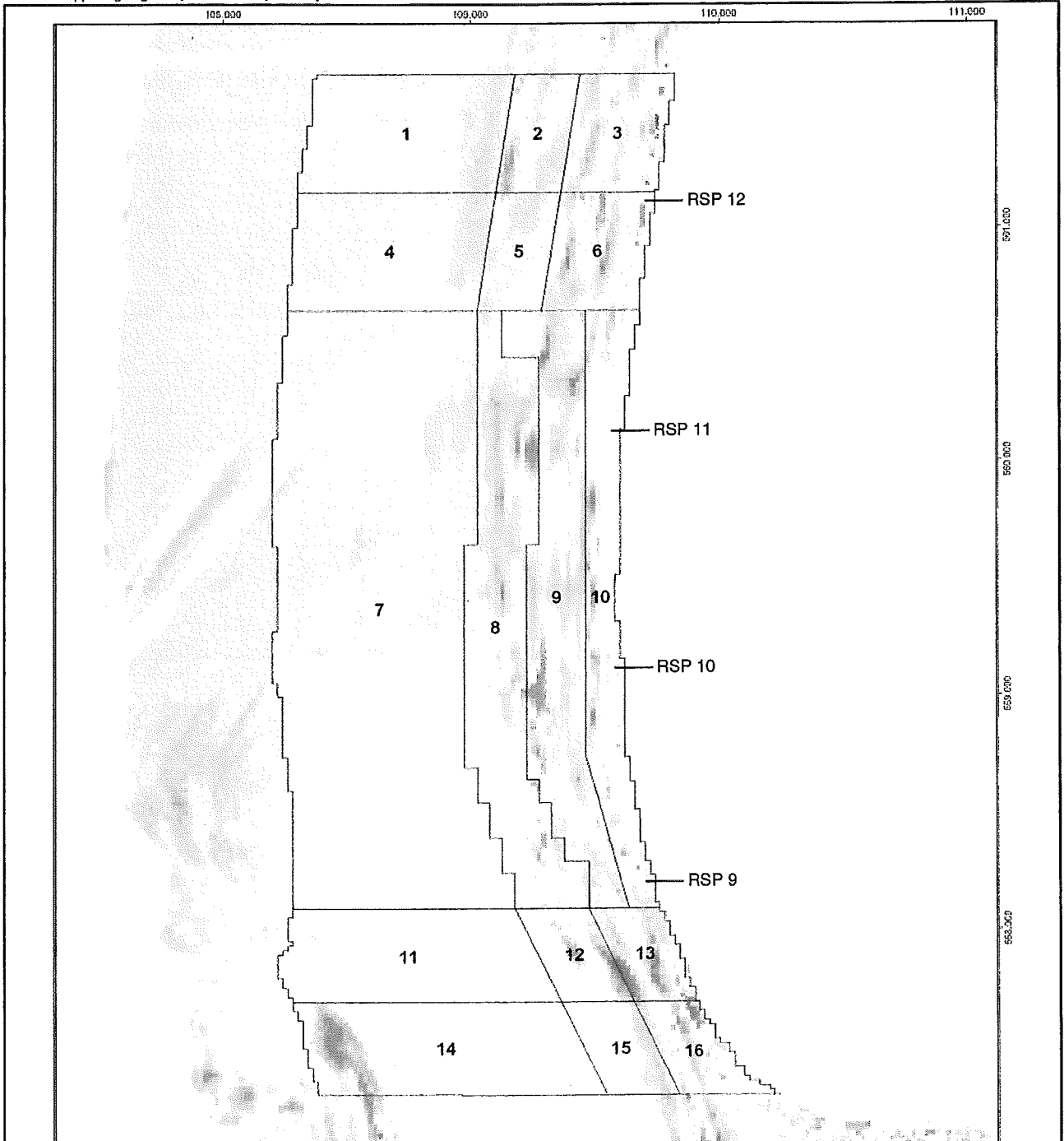
EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.33





**Verschilkaart**

opeenvolgend in de tijd  
03/09/2004 minus 11/03/2004

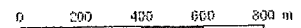
Verschil [m], groen

≤ -3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-3.00 - -2.00	0.40 - 0.30	0.50 - 0.60
-2.00 - -1.00	0.30 - 0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - 0.00	0.20 - 0.10	0.70 - 0.80
0.00 - 0.80	0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.80 - 0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
0.70 - 0.60	0.20 - 0.20	1.00 - 2.00
0.60 - 0.50	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		> 3.00

**PG.07.01**

Bron Rijkswaterstaat

Ondergrond Topografische Dienst, Emmen



Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Verschilkaart Texel-ZW

Eerste zomerseizoen (6 maanden)

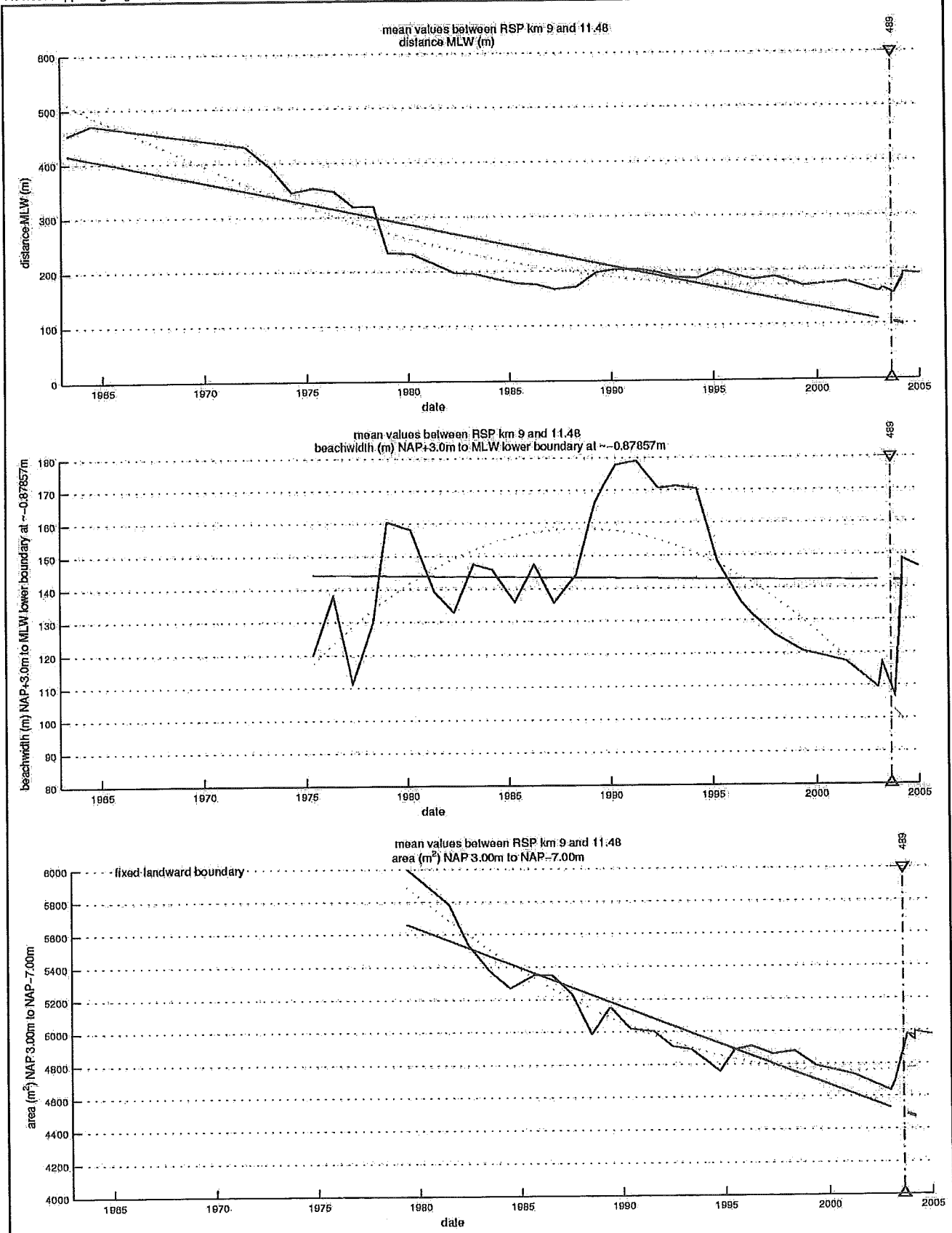
3 september 2004 minus 11 maart 2004

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

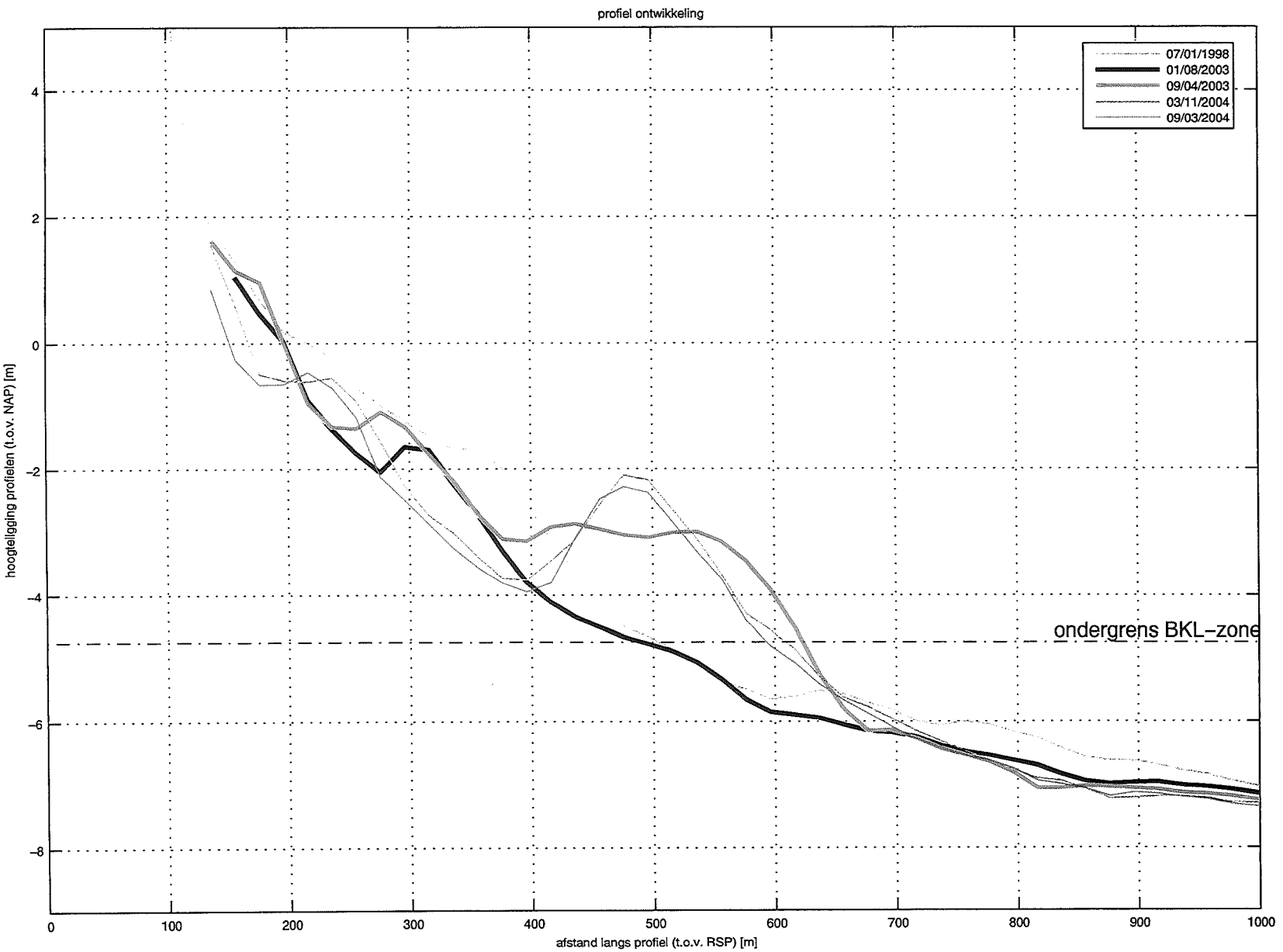
A1539



Fig. 3.34



Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -7 m



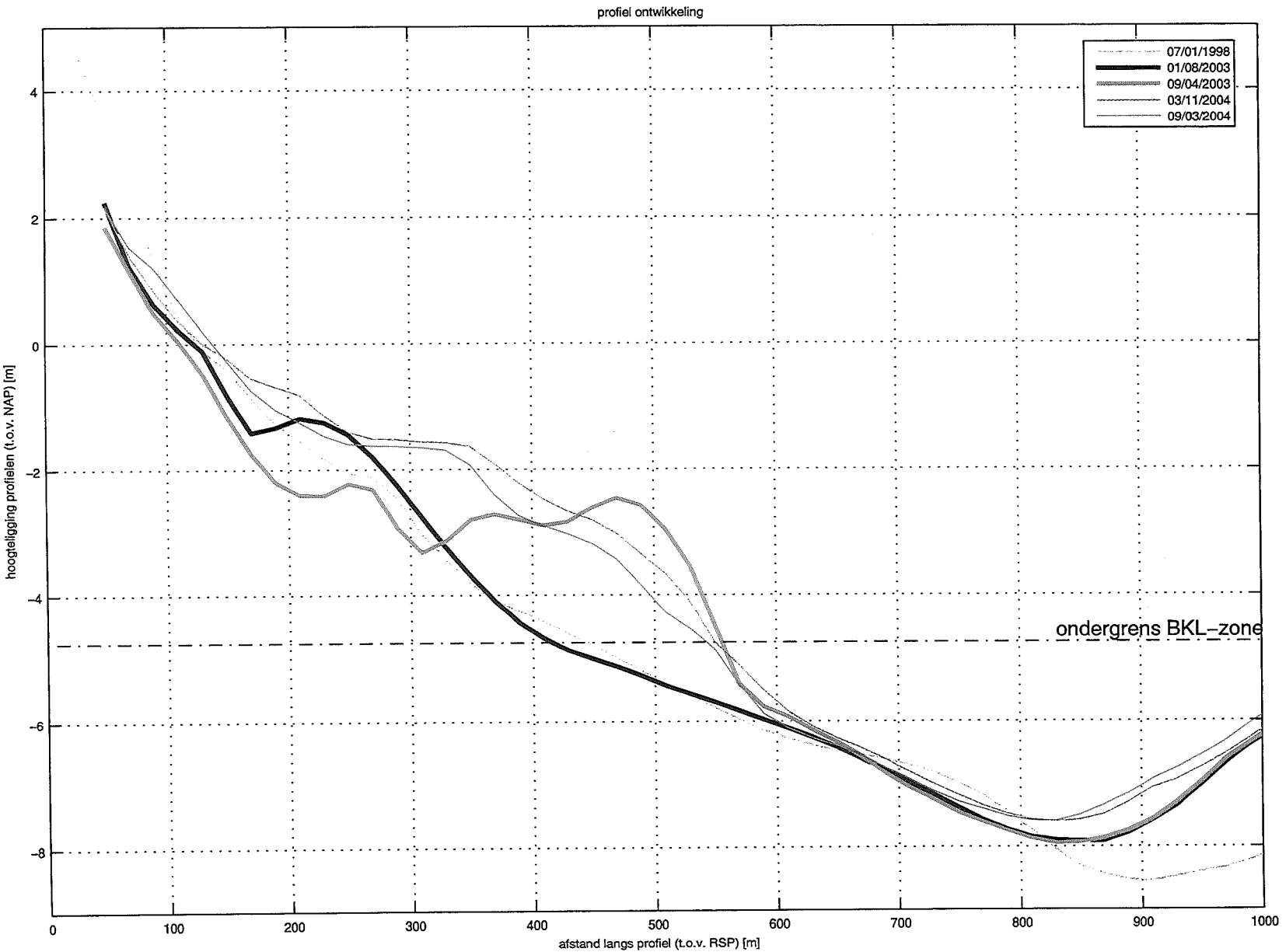
Bodemligging Texel ZW (s2); Profiel ontwikkeling RSP raai 9.15  
Meting: 07/01/1998; 01/08/2003; 09/04/2003; 03/11/2004; 09/03/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.36



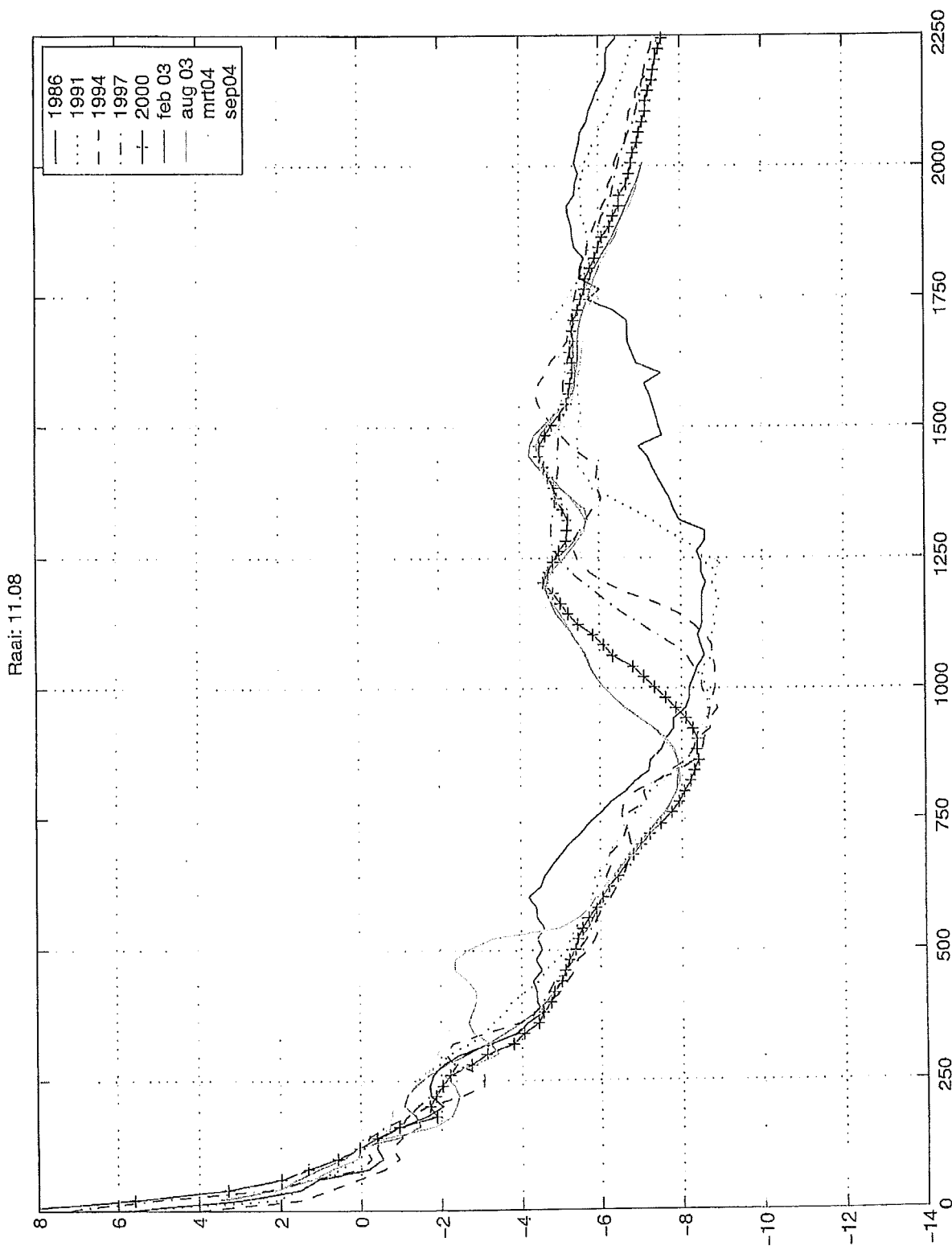
Bodemligging Texel ZW (s2); Profiel ontwikkeling RSP raai 11.08  
Meting: 07/01/1998; 01/08/2003; 09/04/2003; 03/11/2004; 09/03/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

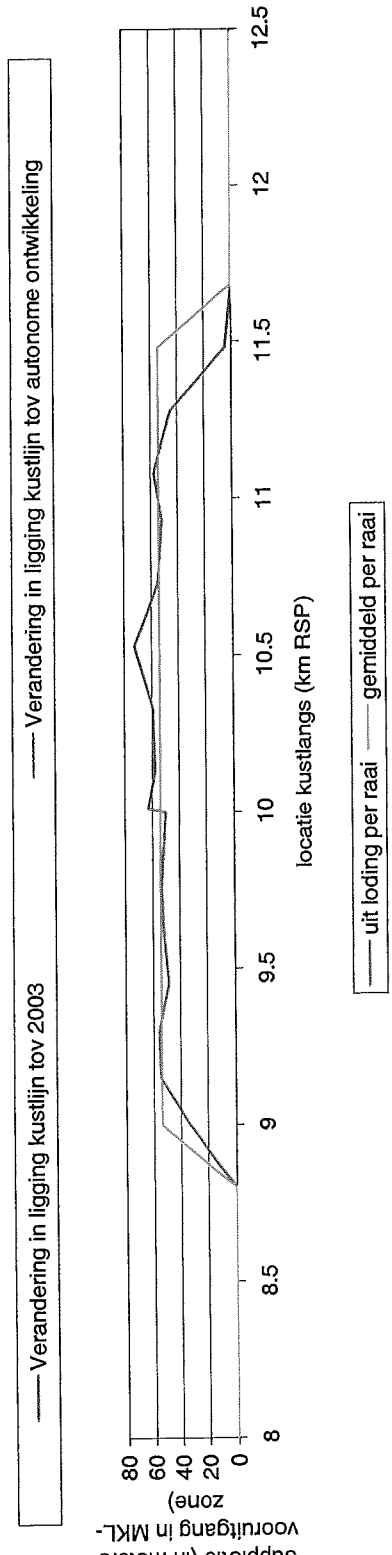
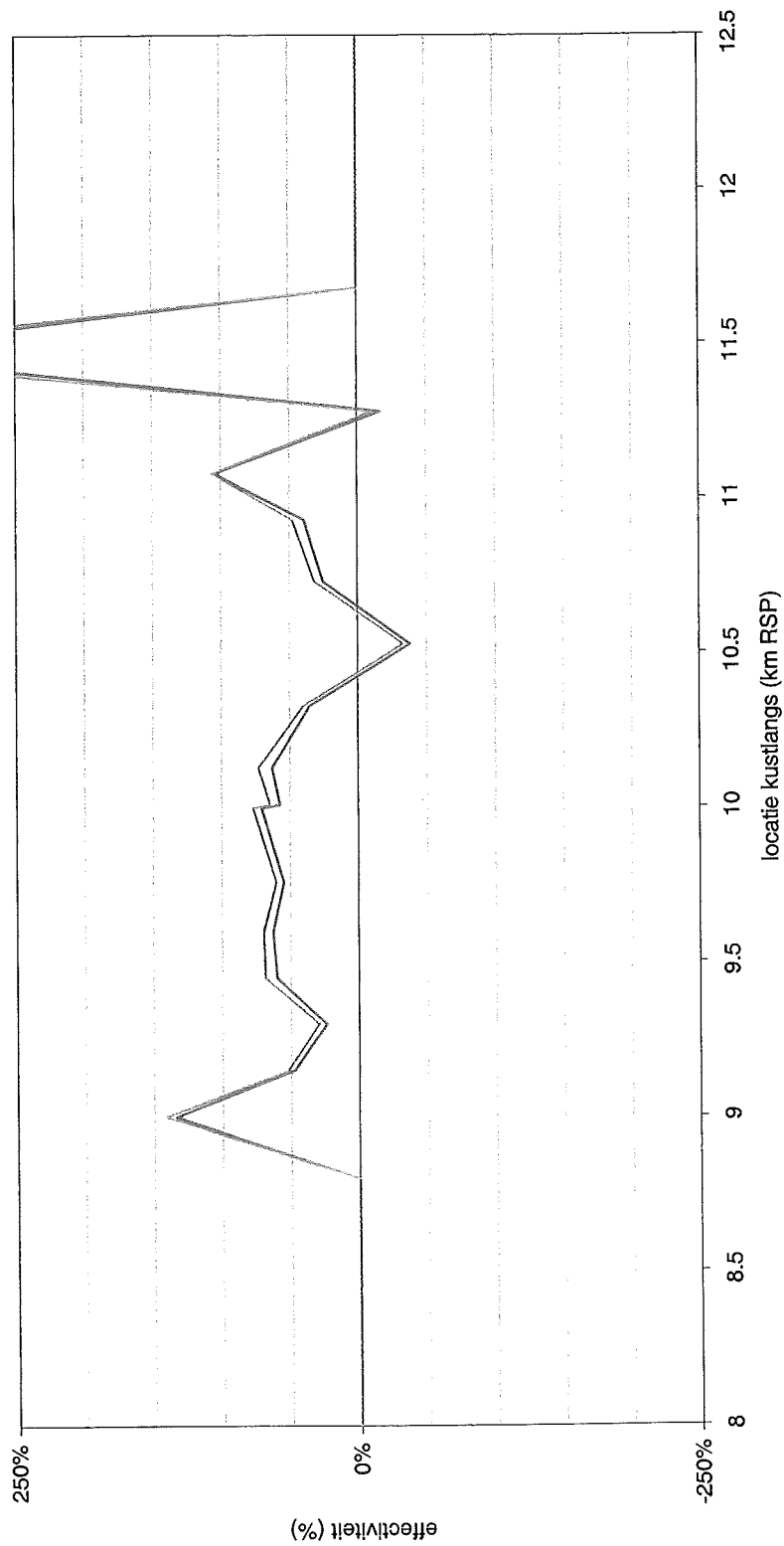
AIkyon

Fig. 3.37

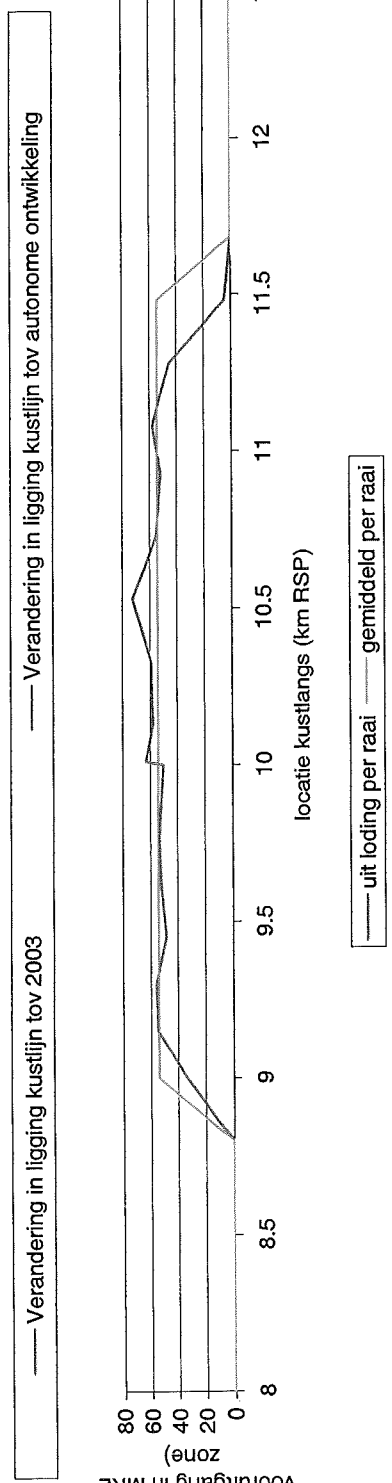
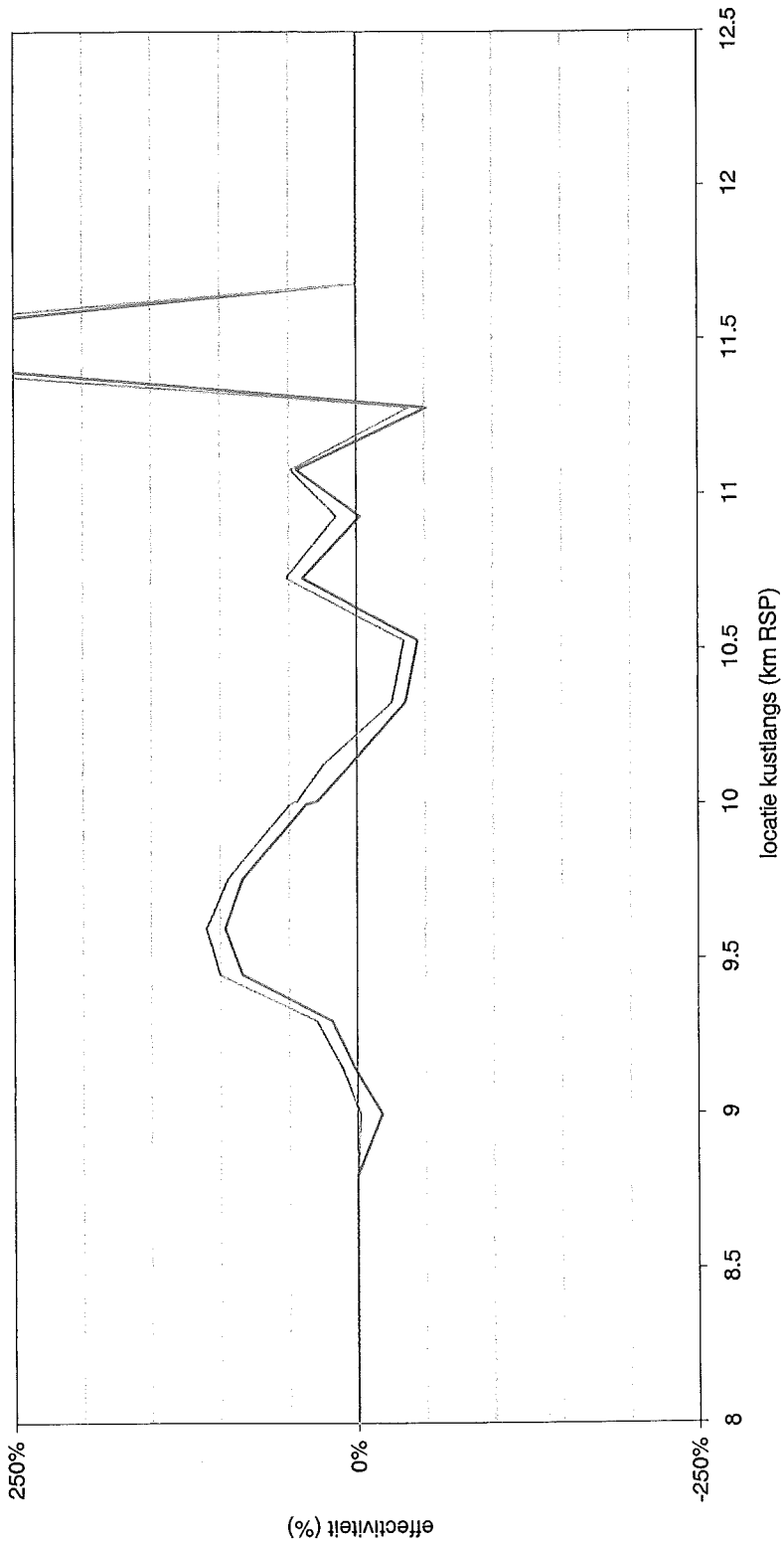


Bodemligging Texel-ZW; Profiel ontwikkeling RSP raai 11.08

Meting: 1986; 1991; 1994; 1997; 2000; feb 03; aug 03; mrt 04; sep 04



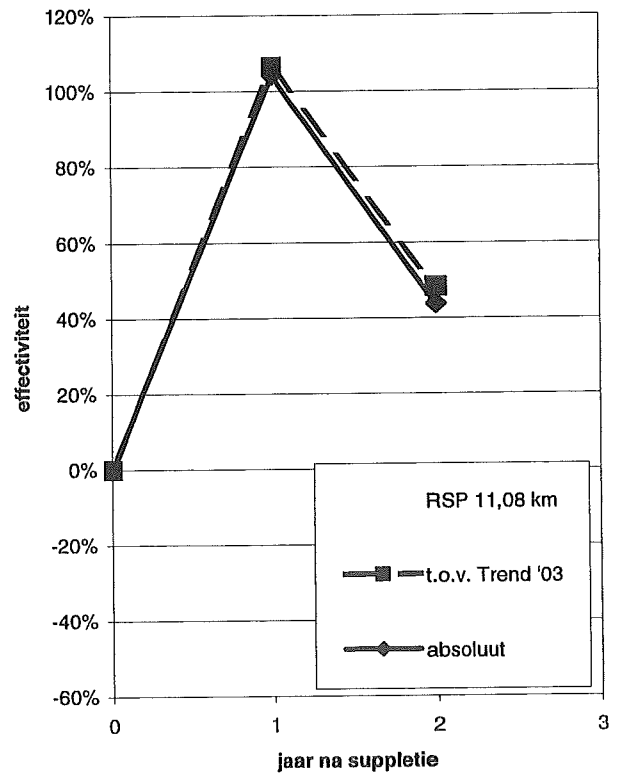
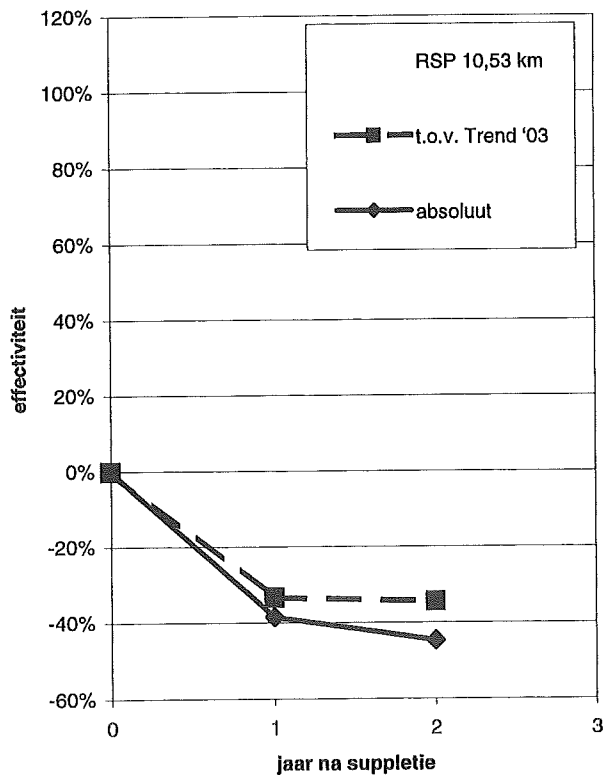
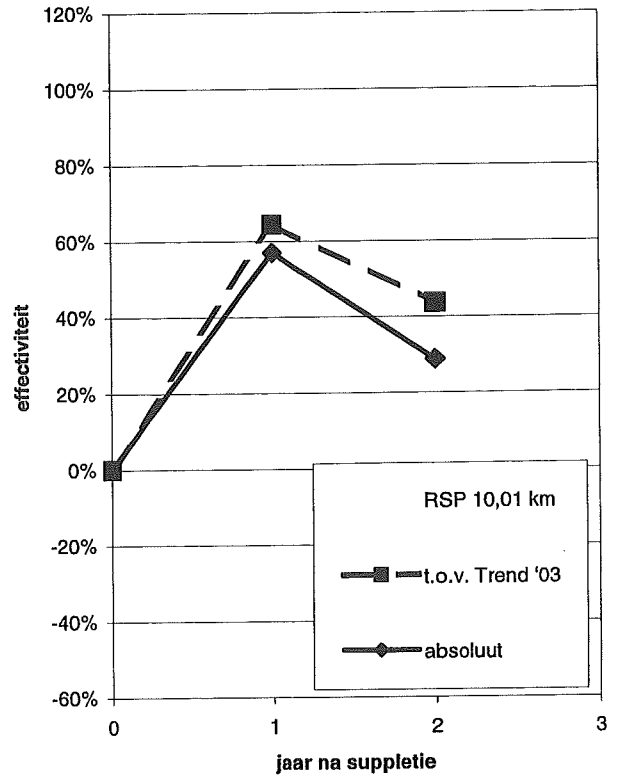
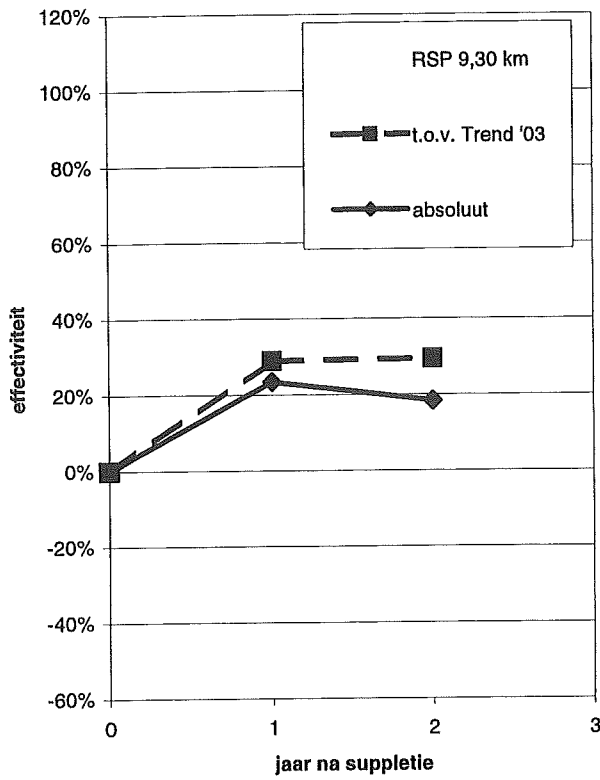
Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Zuid-west/Den Hoorn; kustvak Texel  
 jaar 1 (2004)



Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij Zuid-west/Den Hoorn; kustvak Texel

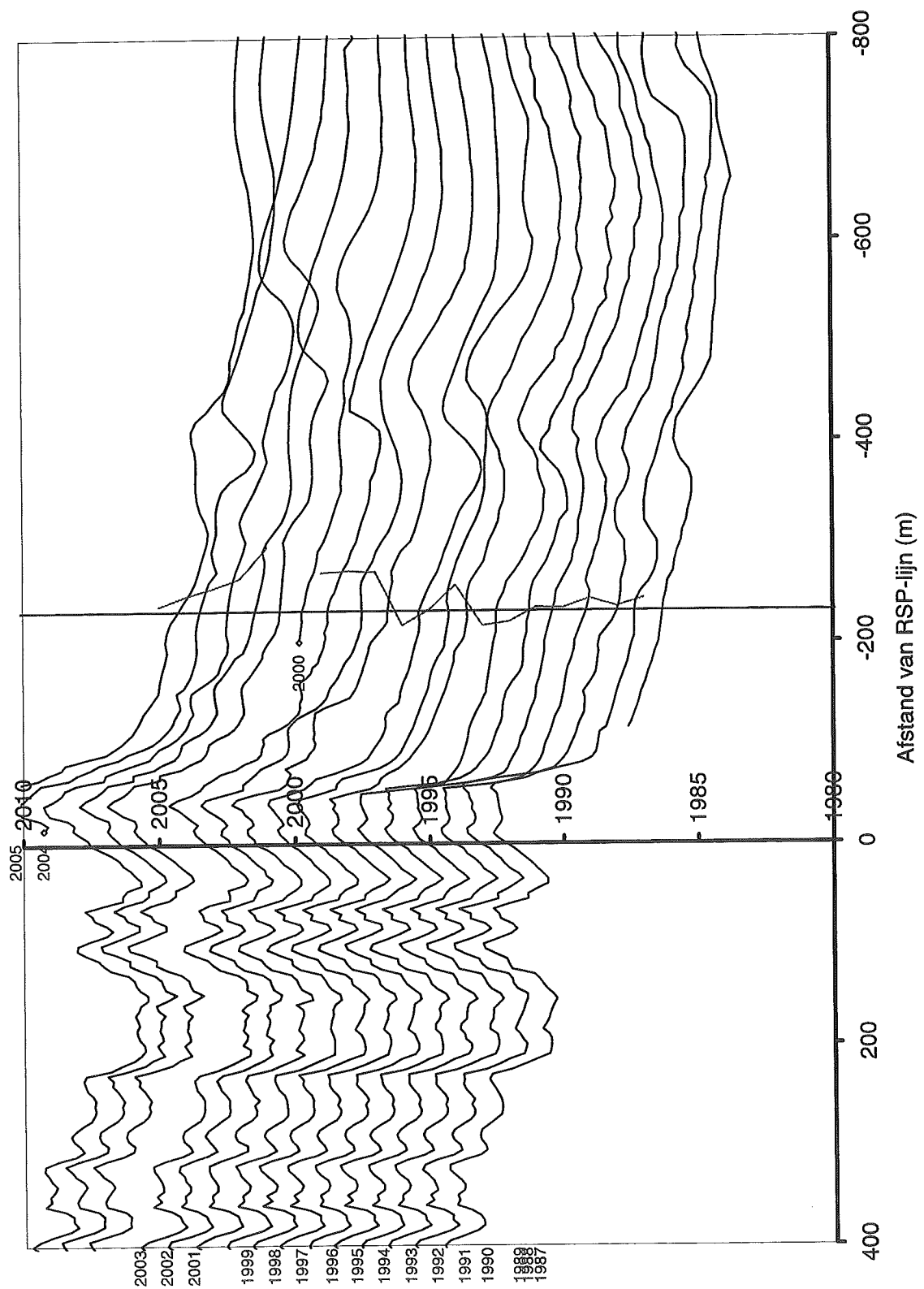
jaar 2 (2005)



Berekenende effectiviteitslijnen voor Texel-ZW

Voor de raaien: RSP 9,30 km, RSP 10,01 km, RSP 10,53 km en RSP 11,08 km



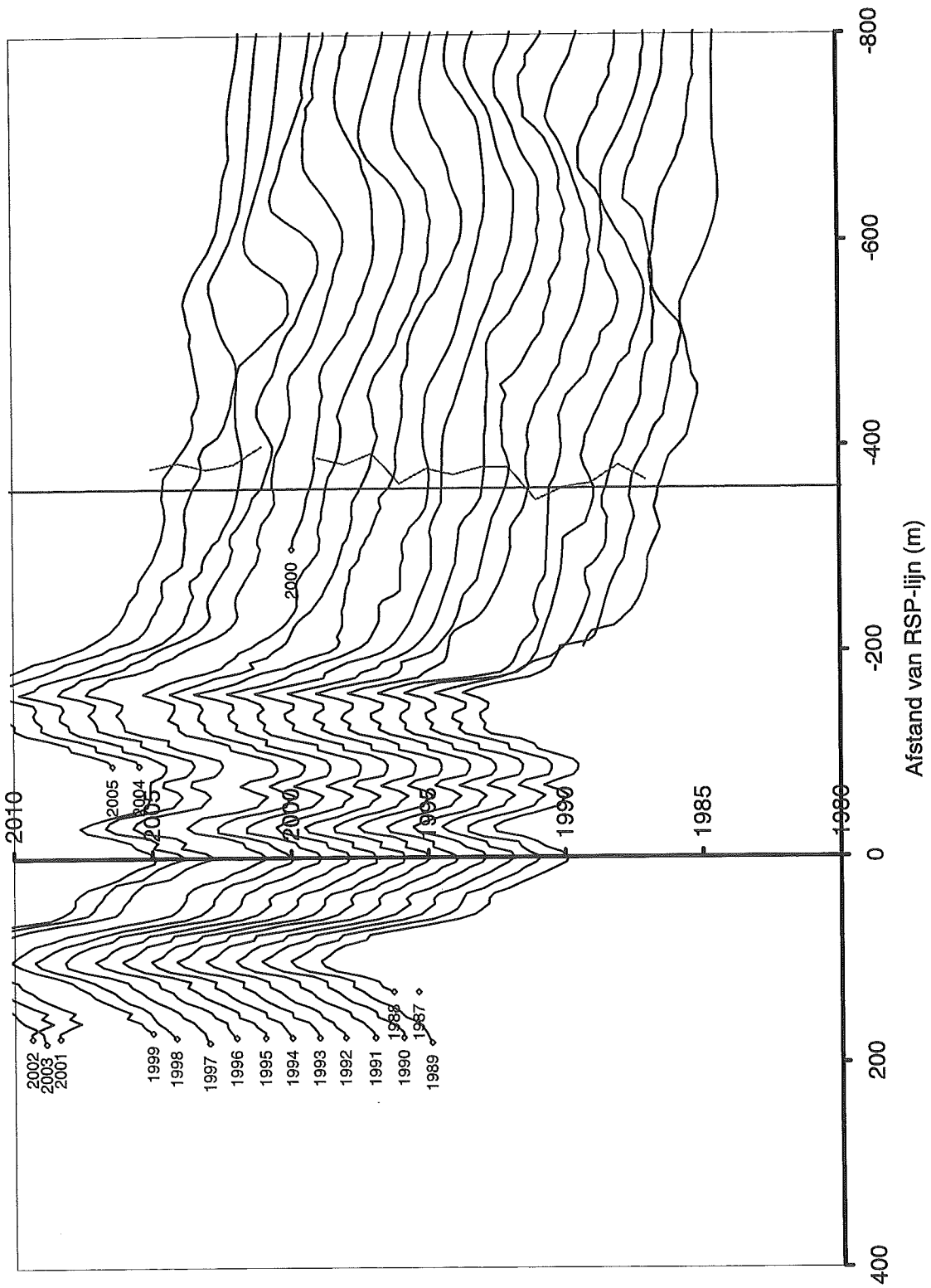


Time-stacks Texel De Koog

RSP raai 16.64

Raai: 16,64

Kustvak: Texel

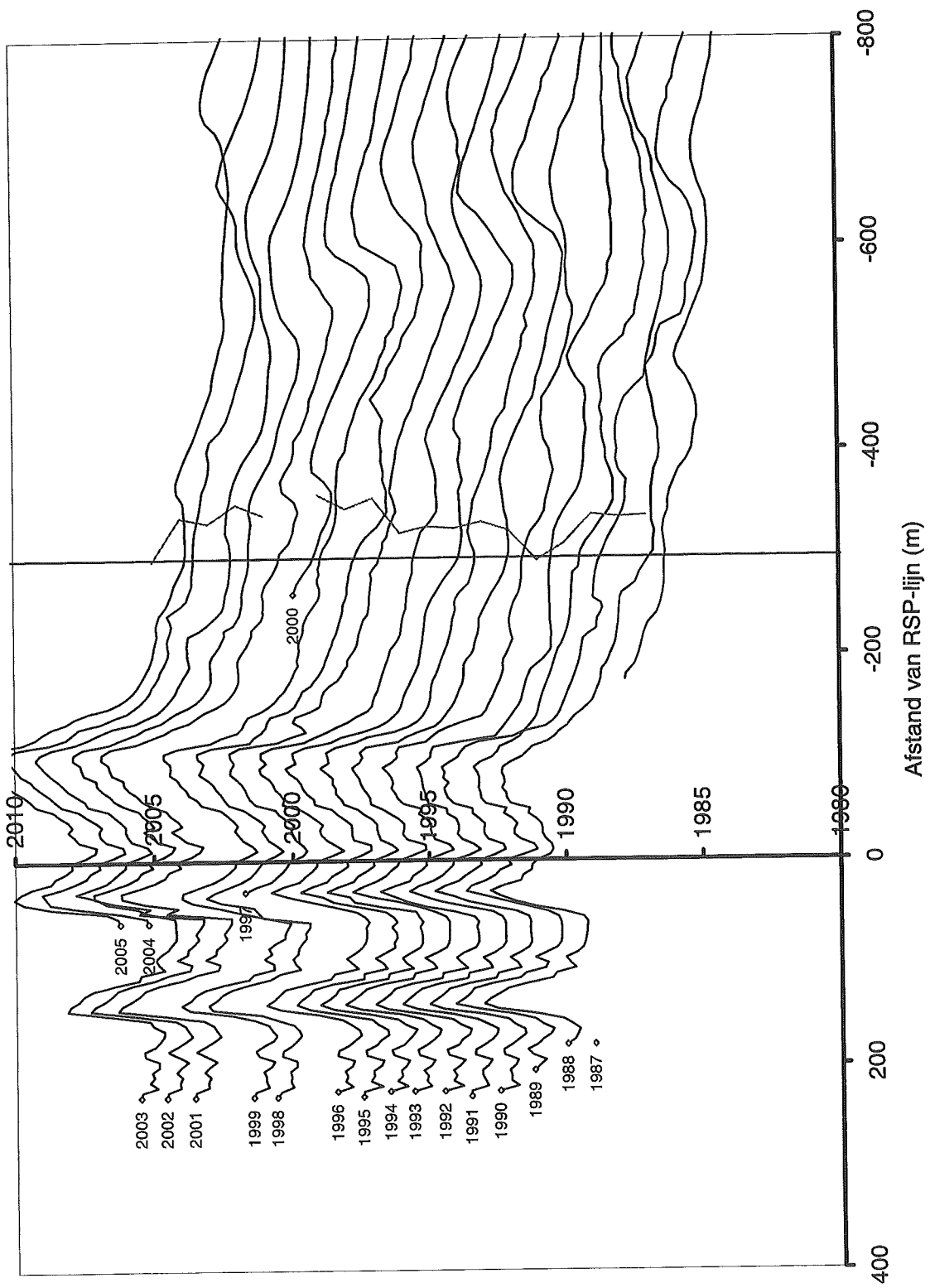


Time-stacks Texel De Koog

RSP raai 20.11

Raai: 20.11

Kustvak: Texel

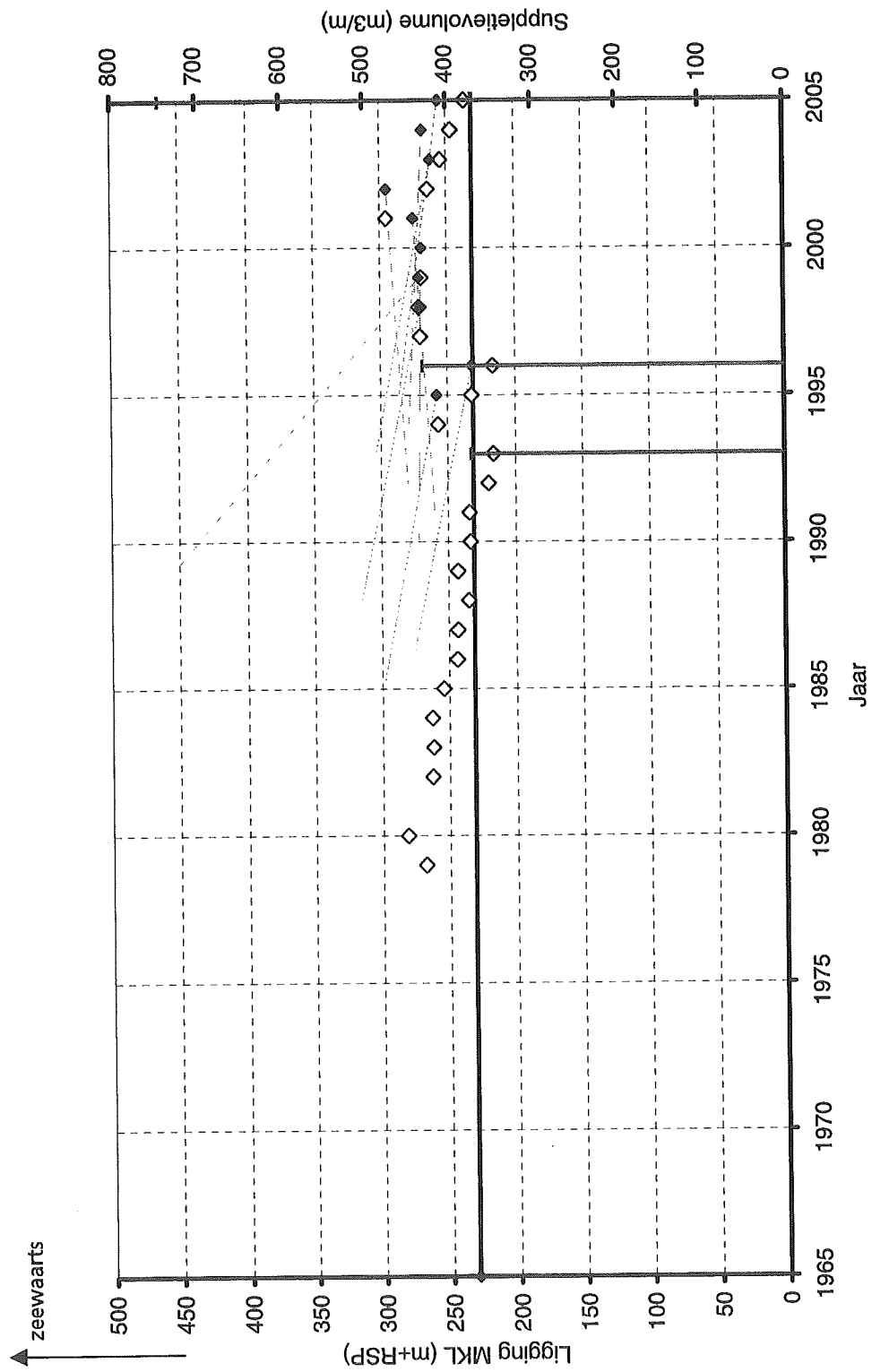


Time-stacks Texel De Koog

RSP raai 23.4

Raai: 23.4

Kustvak: Texel

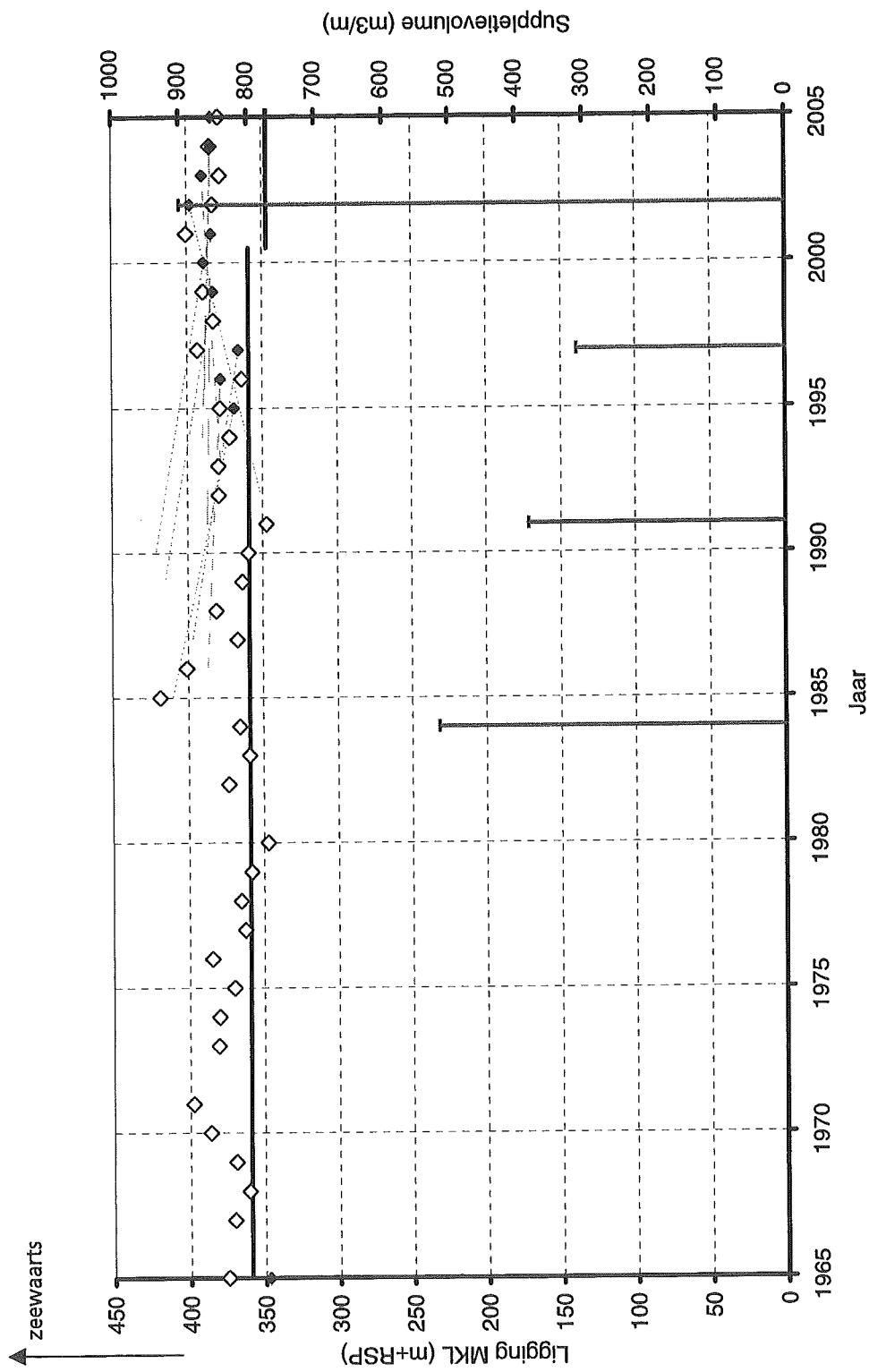


Berekende MKL-posities voor Texel De Koog

RSP raai 16.64

Raai: 16.64

Kustvak: Texel

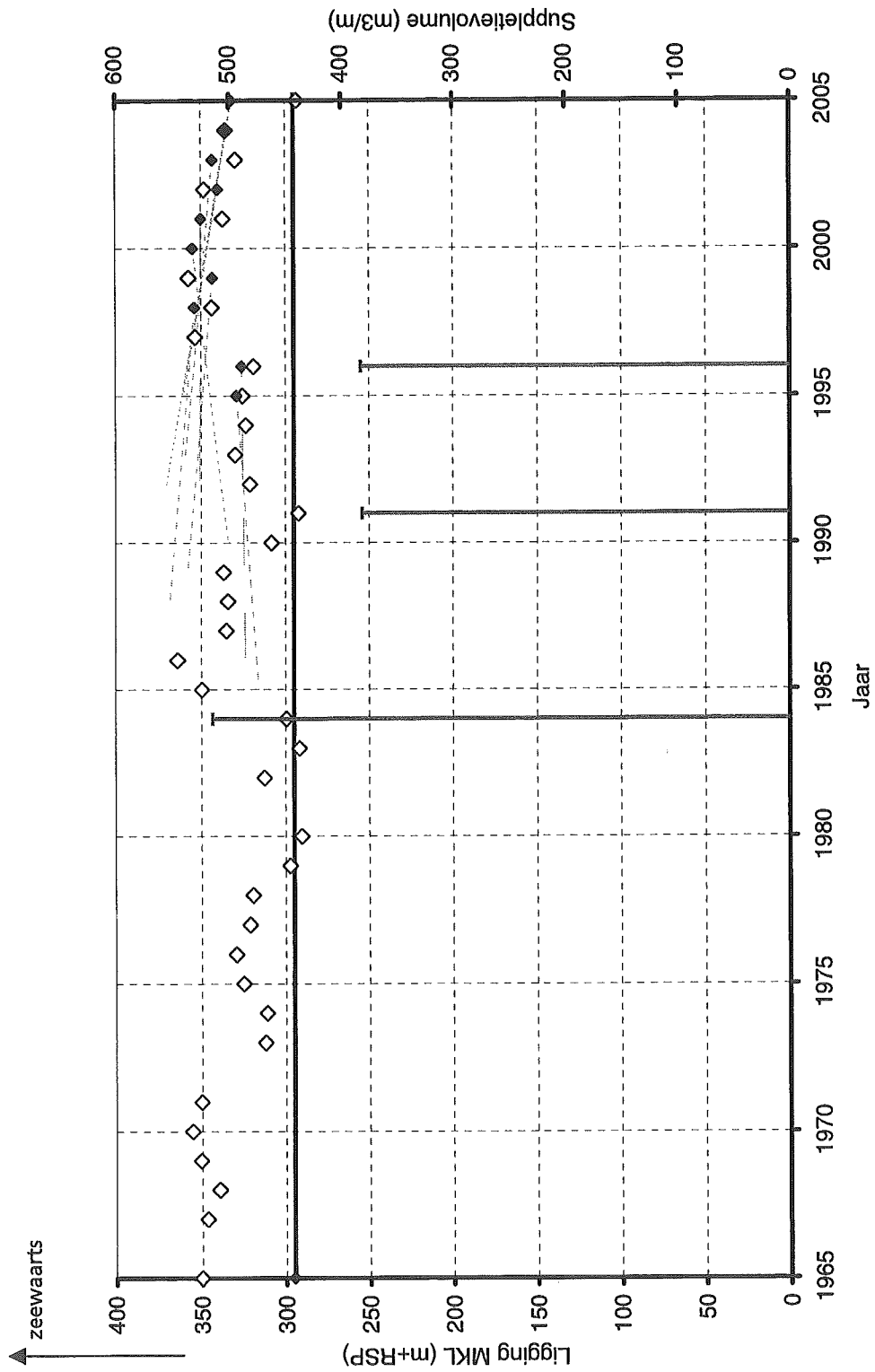


Berekende MKL-posities voor Texel De Koog

RSP raai 20.11

Raai: 20.11

Kustvak: Texel

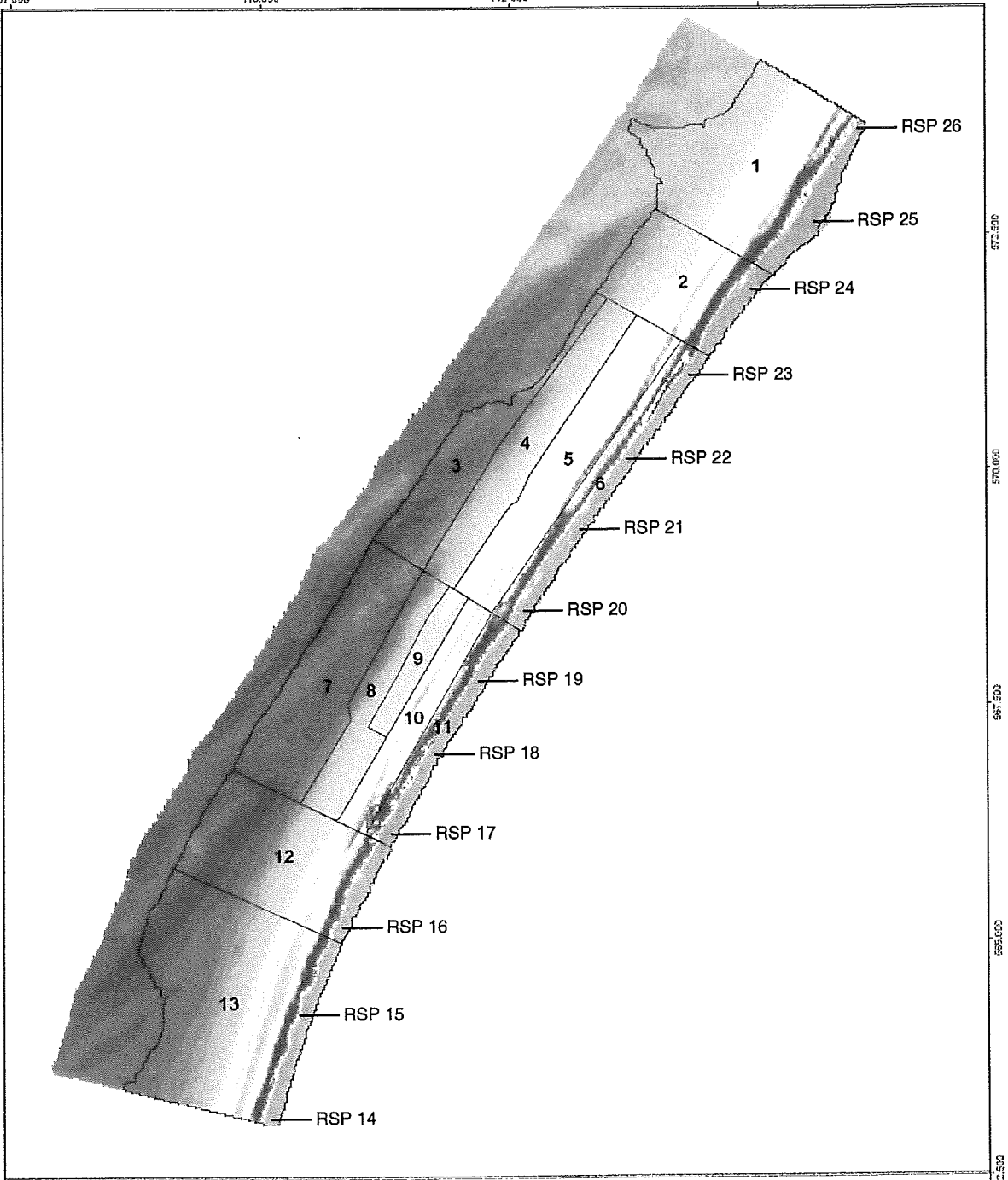


Berekende MKL-posities voor Texel De Koog

RSP raai 23.4

Raai: 23.4

Kustvak: Texel

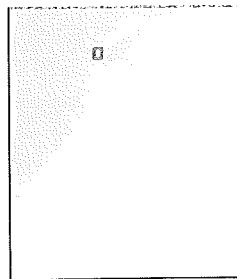


**Hoogtekaart**

Datum: 17/02/2002

Hoogte [m]

-16.00 - -15.00	-9.00 - -7.50	-4.00 - -3.50
-15.00 - -12.50	-7.50 - -7.00	-3.50 - -3.00
-12.50 - -11.00	-7.00 - -6.50	-3.00 - -2.50
-11.00 - -10.00	-6.50 - -6.00	-2.50 - -2.00
-10.00 - -9.50	-6.00 - -5.50	-2.00 - -1.50
-9.50 - -9.00	-5.50 - -5.00	-1.50 - -1.00
-9.00 - -8.50	-5.00 - -4.50	-1.00 - -0.50
-8.50 - -8.00	-4.50 - -4.00	-0.50 - NAP
		NAP

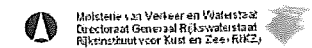


**PG.05.01**

Eron: RIKZ

Ondergrond: Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 1.500 2.000 m



Bodemopname Texel De Koog

Datum: 17 februari 2002

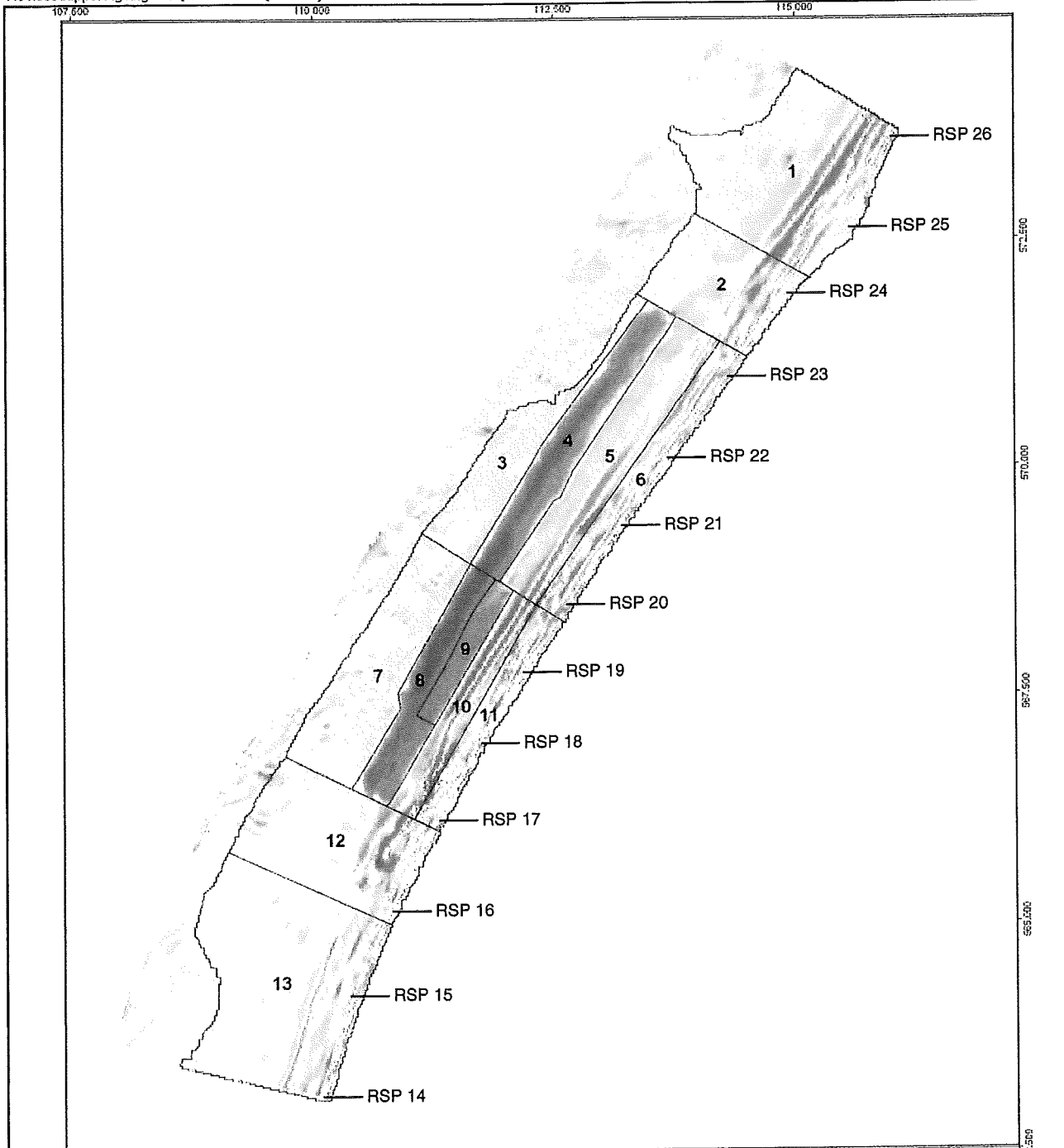
Vòòr de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.49



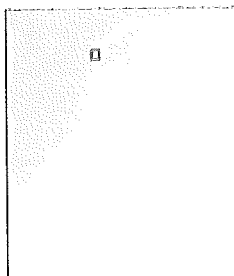
**Verschilkaart**

t.o.v. referentie 17/02/2002

Datum: 18/12/2002

Verschil [m], green

-3.00 - -2.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.40 - -0.30	0.50 - 0.60
-1.00 - -0.60	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-0.60 - -0.60	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.60 - -0.70	-0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.70 - -0.60	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.60 - -0.60	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		3.00

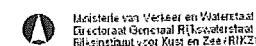


**PG.06.01**

Eron RijkZ

Ontafgrond Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 1.500 2.000 m



Verschilkaart Texel De Koog

18 december 2002 minus 17 februari 2002

Vòòr en ná de suppletie

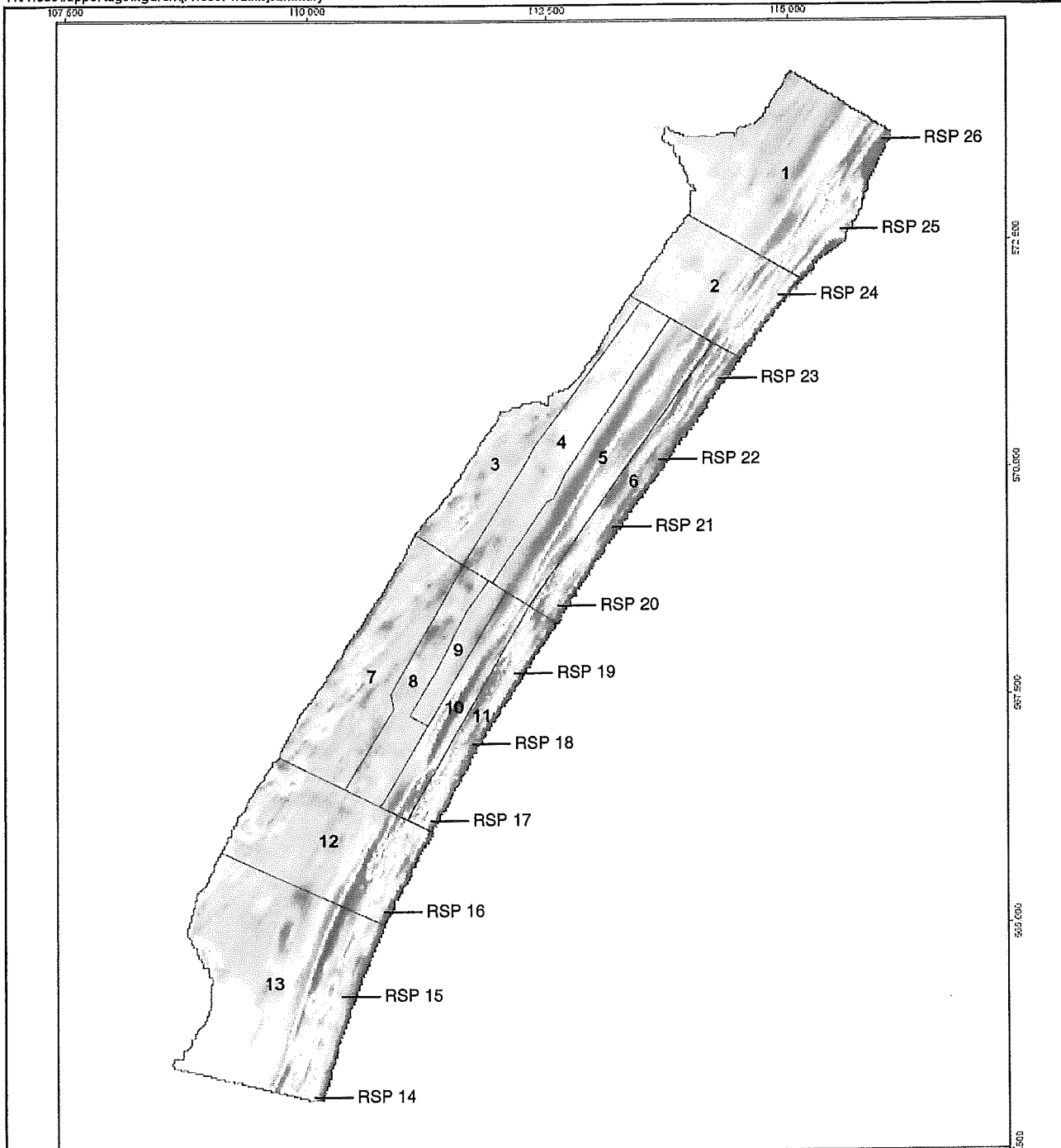
EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.50

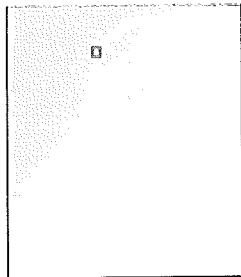




**Verschilkaart** opeenvolgend in de tijd  
17/02/2002 minus 28/03/2001

Verschil (m) green

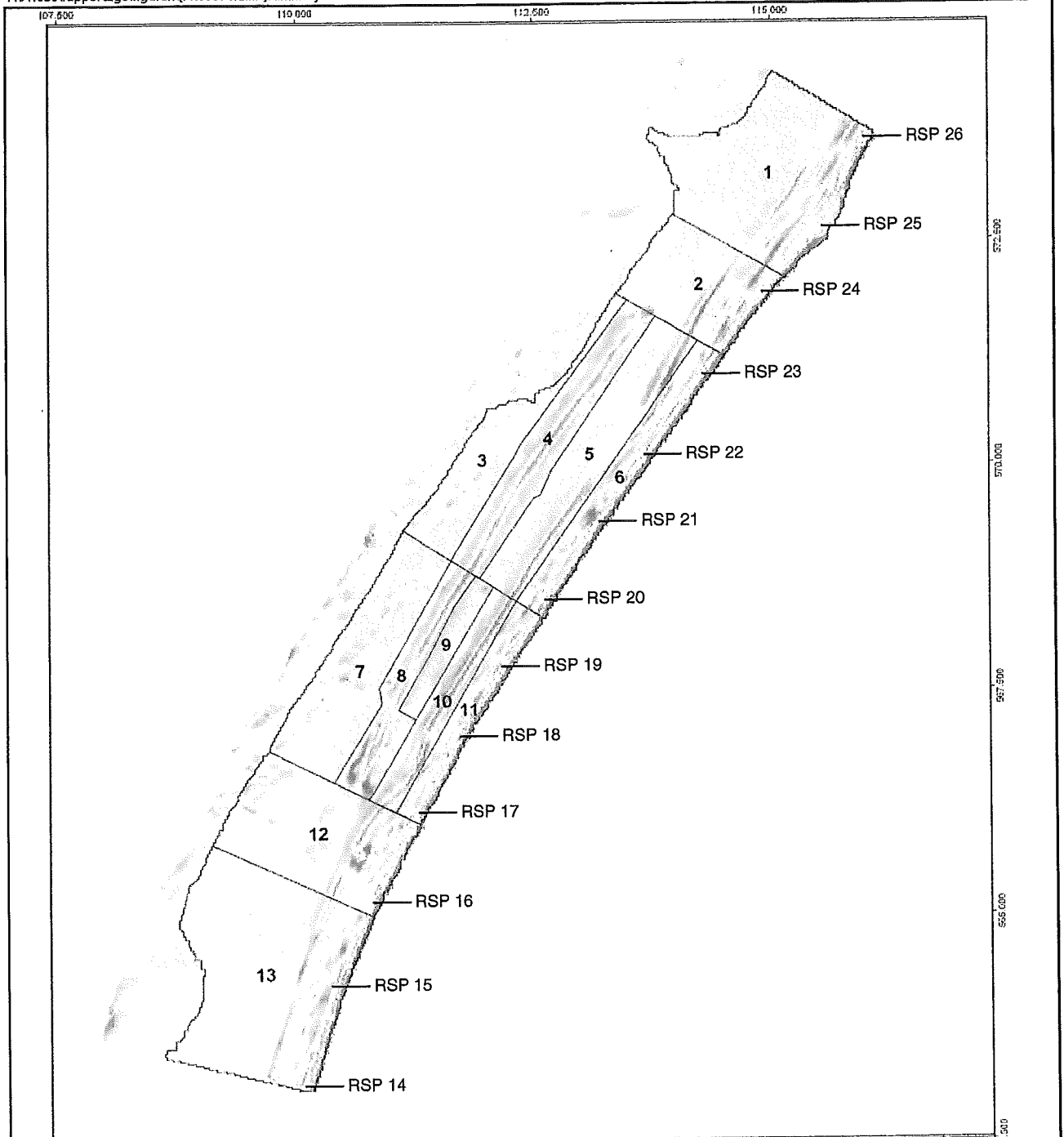
-3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.60
-3.00 - -2.00	0.40 - 0.30	0.50 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - -0.90	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.90 - -0.80	0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.80 - -0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.70 - -0.60	0.00 - 0.20	1.00 - 2.00
-0.60 - -0.50	0.20 - 0.40	2.00 - 3.00
-3.00		



**PG.07.01**

Ehenc: RIKZ  
Ondergrond: Topografische Dienst, Emmen  
0 500 1000 1500 2000 m  
Ministerie van Verkeer en Waterstaat  
Directoraat Generaal Rijkswaterstaat  
Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Verschilkaart Texel De Koog  
17 februari 2002 minus 28 maart 2001  
Voorafgaand aan de suppletie

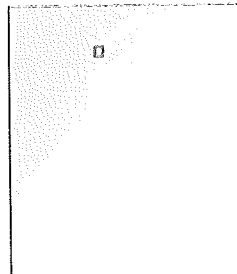


**Verschilkaart**

opeenvolgend in de tijd  
27/03/2003 minus 18/12/2002

Verschil (m)\_green

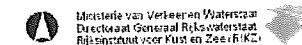
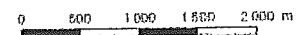
-3.00 - -2.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-2.00 - -1.00	-0.40 - -0.30	0.50 - 0.60
-1.00 - -0.90	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-0.90 - -0.80	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.80 - -0.70	-0.10 - 0.00	0.80 - 0.90
-0.70 - -0.60	0.00 - 0.10	0.90 - 1.00
-0.60 - -0.50	0.10 - 0.20	1.00 - 1.00
0.00 - 0.10	0.20 - 0.30	3.00 - 3.00



**PG.07.01**

Eront: RIKZ

Ondatgrond: Topografische Dienst, Emmen



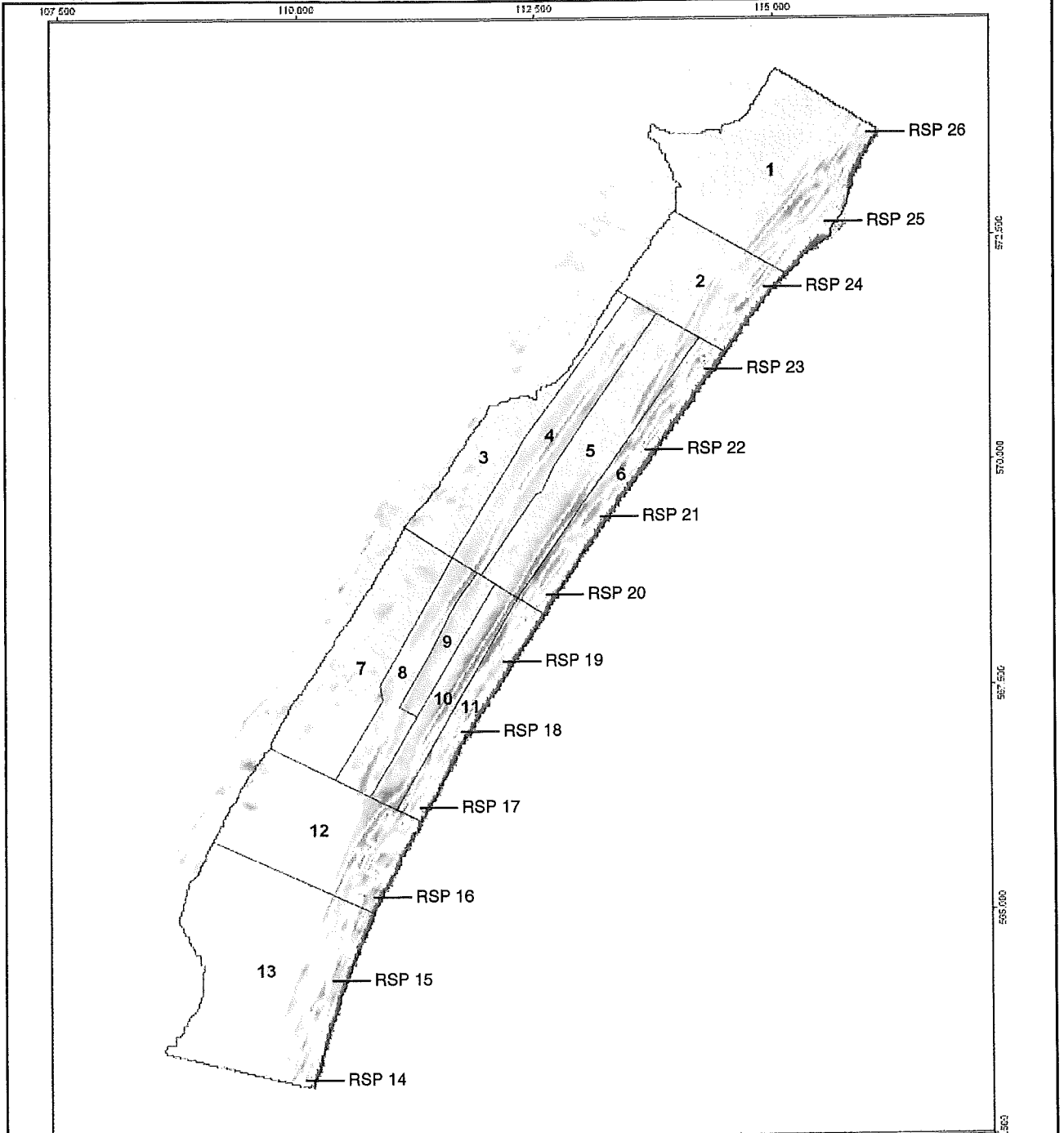
Verschilkaart Texel De Koog  
Eerste winterseizoen (3½ maand)  
27 maart 2003 minus 18 december 2002

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.52

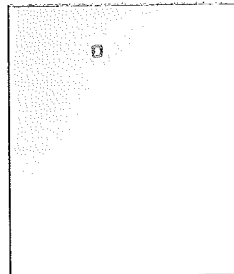


**Verschilkaart**

opeenvolgend in de tijd  
16/10/2003 minus 27/03/2003

Verschil [m]\_green

-3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-2.00 - -2.00	-0.40 - -0.30	0.50 - 0.60
-1.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-0.50 - -0.50	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.20 - -0.20	-0.10 - 0.10	0.80 - 0.90
-0.10 - -0.10	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
0.00 - 0.00	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
0.10 - 0.10	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
0.20 - 0.20	0.40 - 0.50	> 3.00

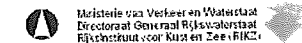


**PG.07.01**

Ervan: RIKZ

©Deelgrond: Topografische Dienst, Emmen

0 500 1.000 1.500 2.000 m



Verschilkaart Texel De Koog

Eerste zomerseizoen (6½ maand)

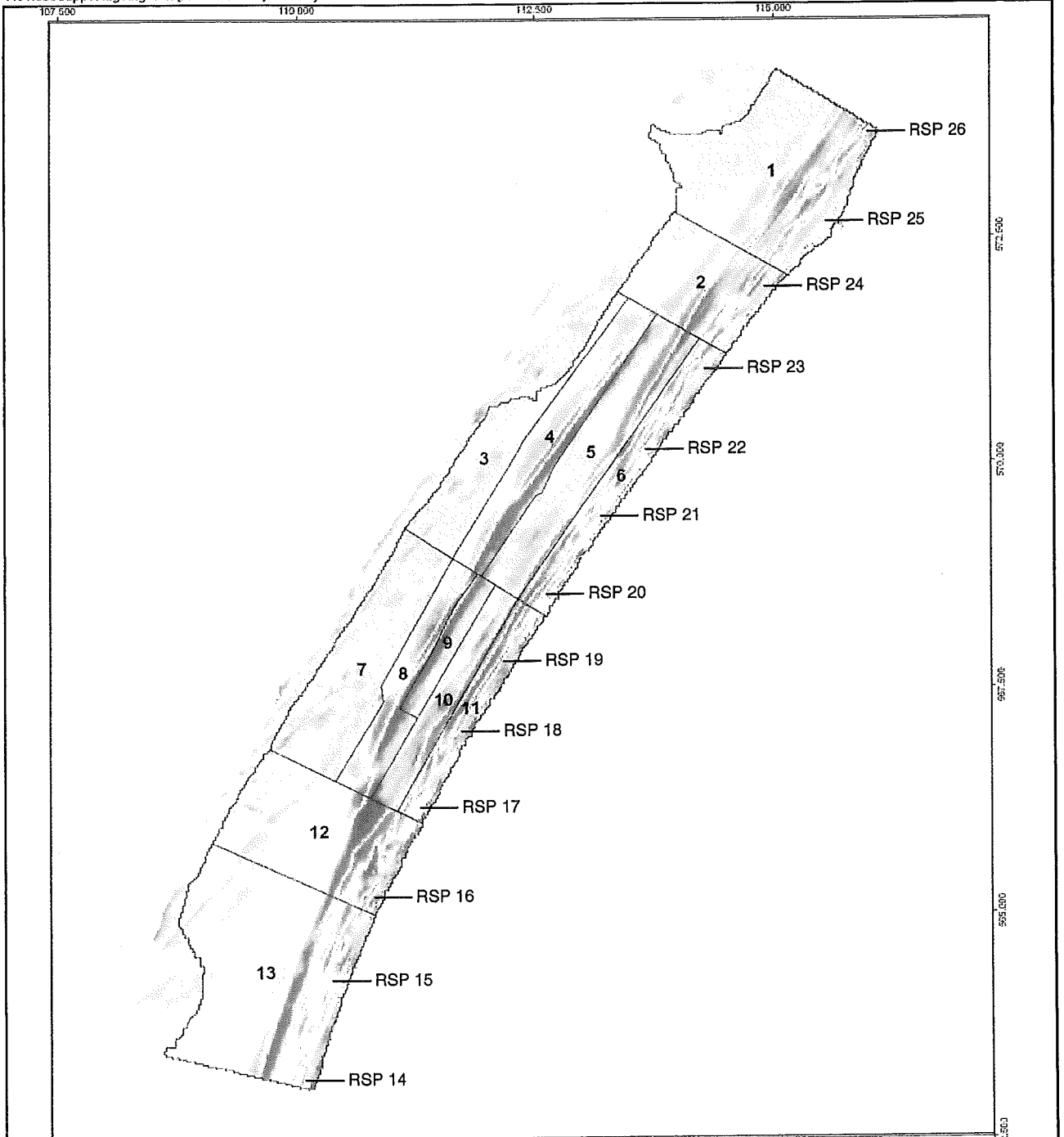
16 oktober 2003 minus 27 maart 2003

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.53

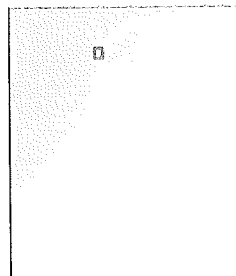


**Verschilkaart**

opeenvolgend in de tijd  
05/03/2004 minus 16/10/2003

Verschil (m), green

-3.00	-0.50 - -0.40	0.40 - 0.50
-3.00 - -2.00	0.40 - 0.50	0.50 - 0.60
-2.00 - -1.00	-0.30 - -0.20	0.60 - 0.70
-1.00 - -0.50	-0.20 - -0.10	0.70 - 0.80
-0.50 - -0.40	-0.10 - 0.00	0.80 - 0.90
-0.50 - -0.70	0.10 - 0.20	0.90 - 1.00
-0.70 - -0.60	0.20 - 0.30	1.00 - 2.00
-0.60 - -0.50	0.30 - 0.40	2.00 - 3.00
		> 3.00

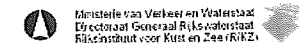


**PG.07.01**

Bron: RIKZ

Ondergrond Topografische Dienst Emmen

0 600 1.000 1.800 2.000 m



Verschilkaart Texel De Koog

Tweede winterseizoen (4½ maand)

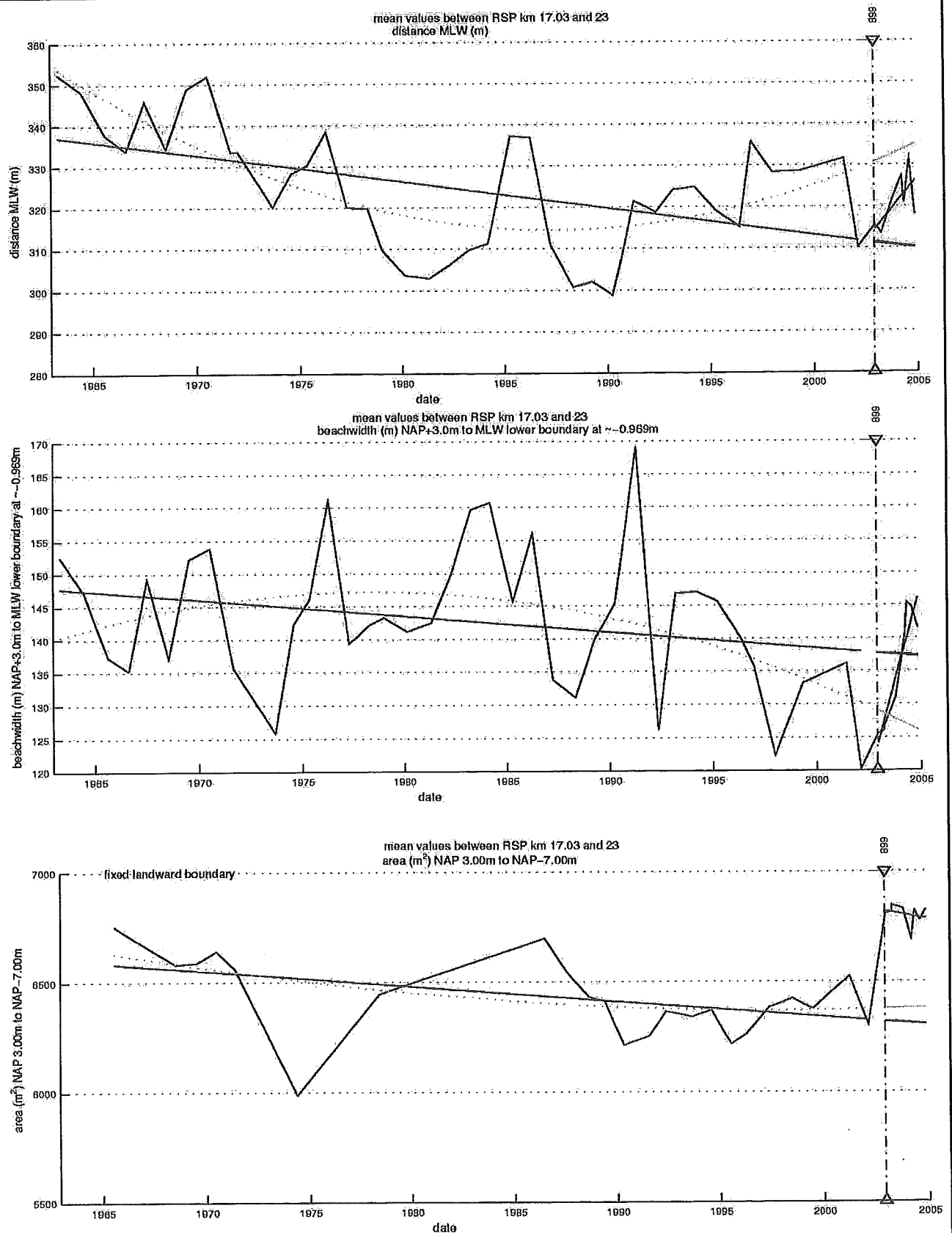
5 maart 2004 minus 16 oktober 2003

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

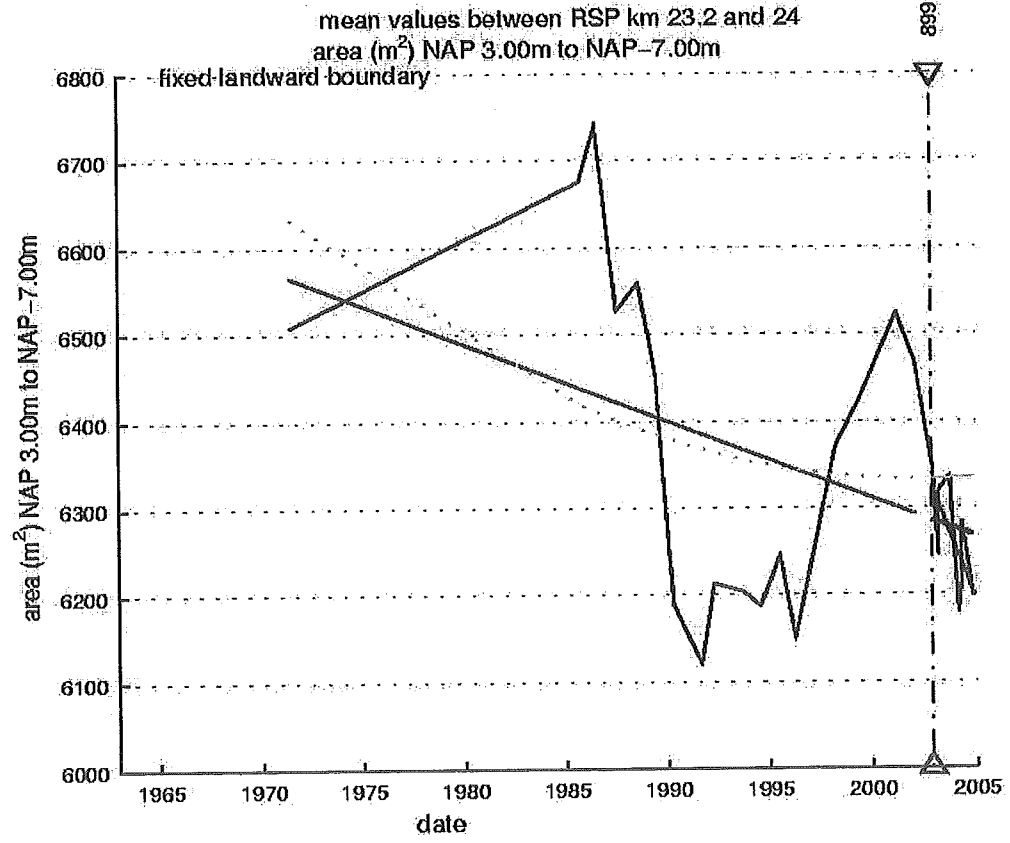
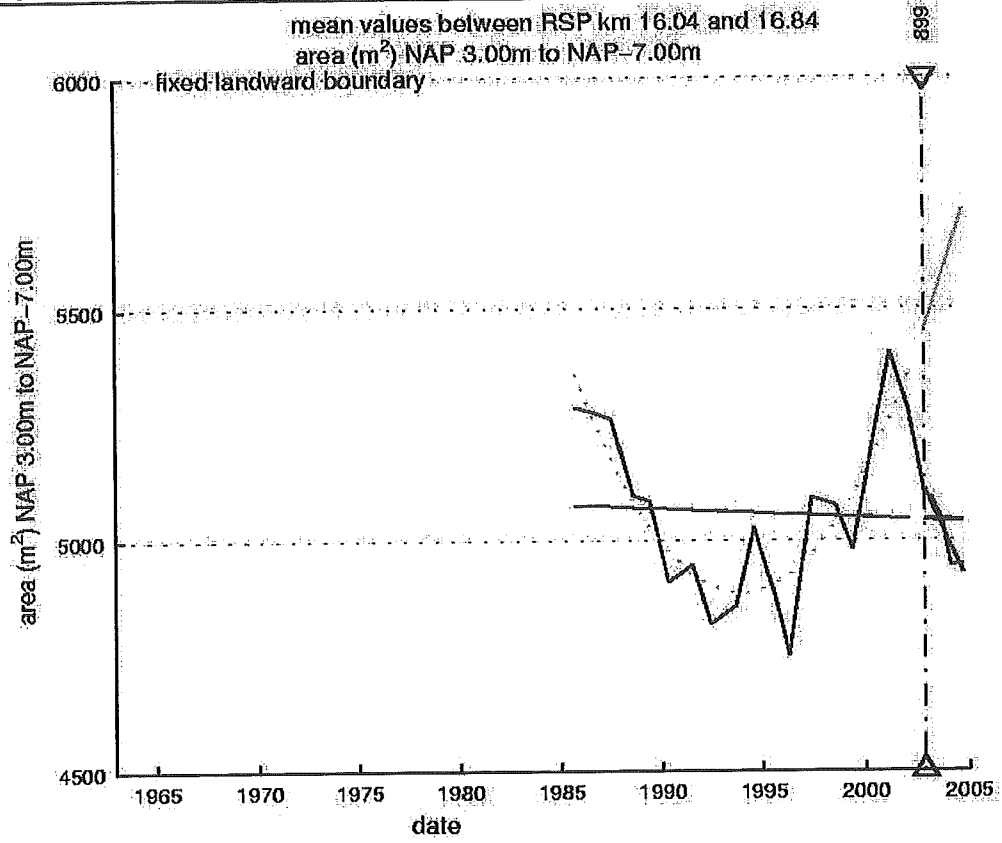
A1539



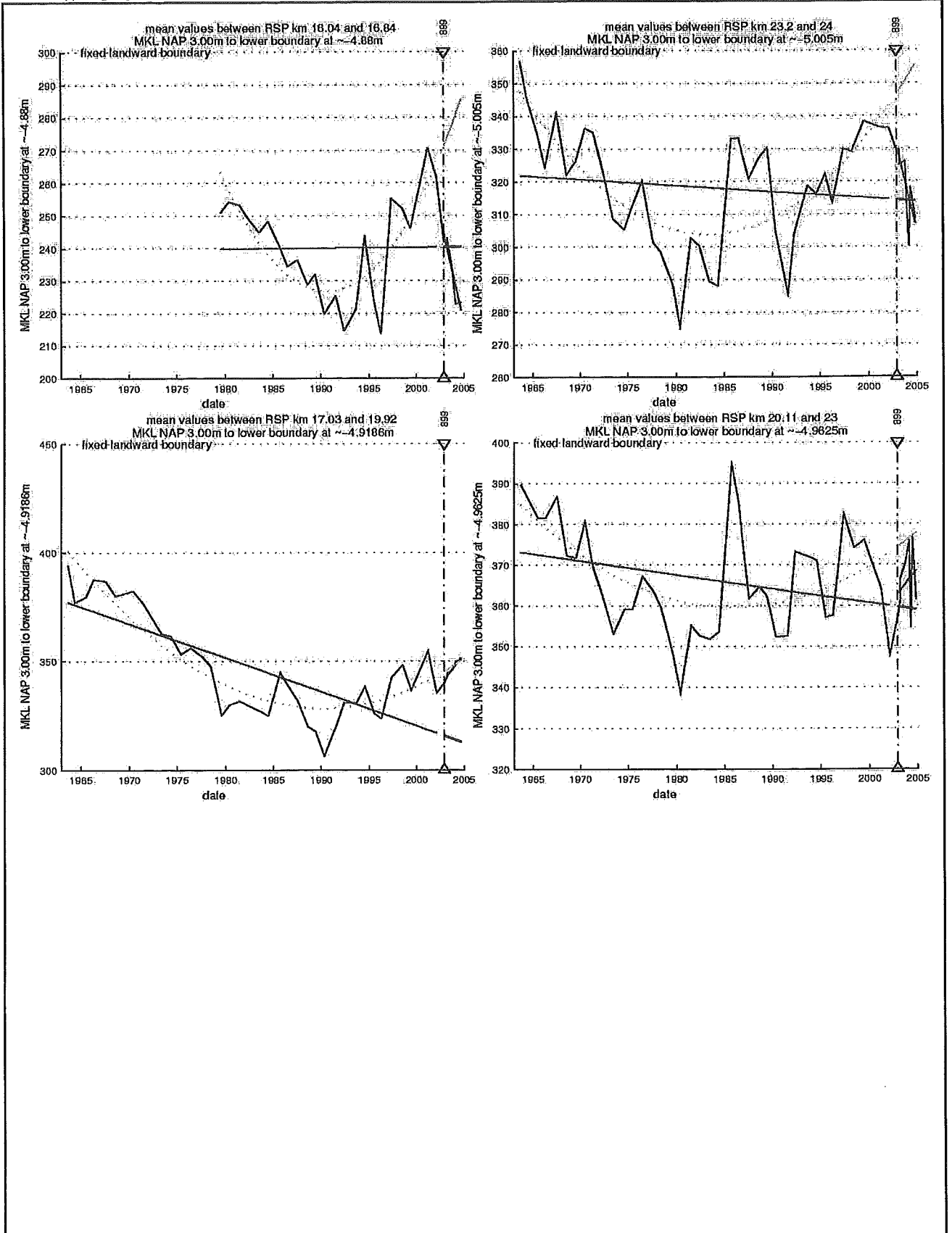
Fig. 3.54



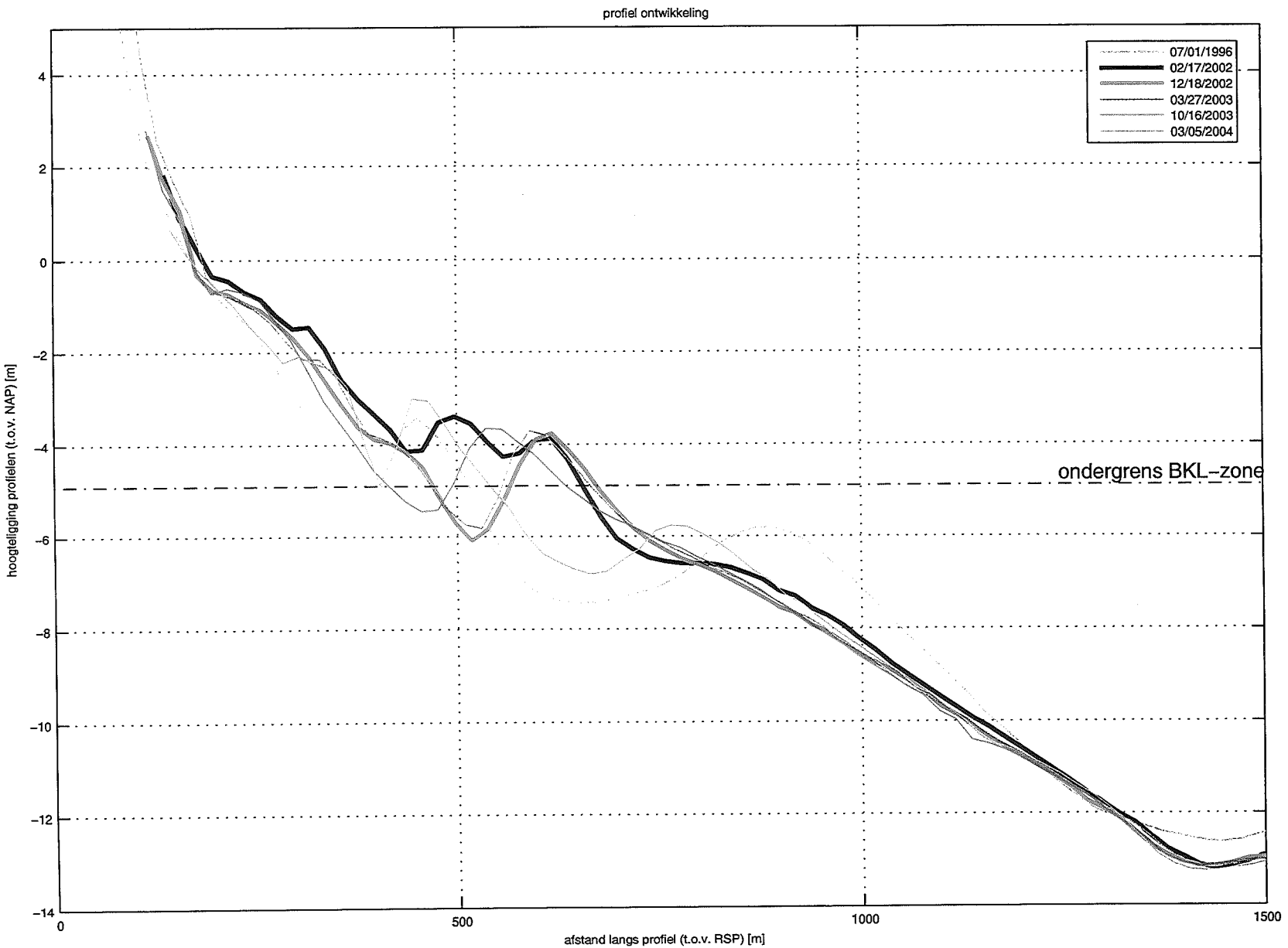
Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -7 m



Zandvolume NAP + 3m / NAP -7 m in twee aangrenzende kustvakken



Zandvolume NAP + 3m / NAP -4,9 m in vier kustvakken



Bodemligging Texel De Koog (s3); Profiel ontwikkeling RSP raai 16.64  
Meting: 07/01/1996; 02/17/2002; 12/18/2002; 03/27/2003; 10/16/2003;  
03/05/2004

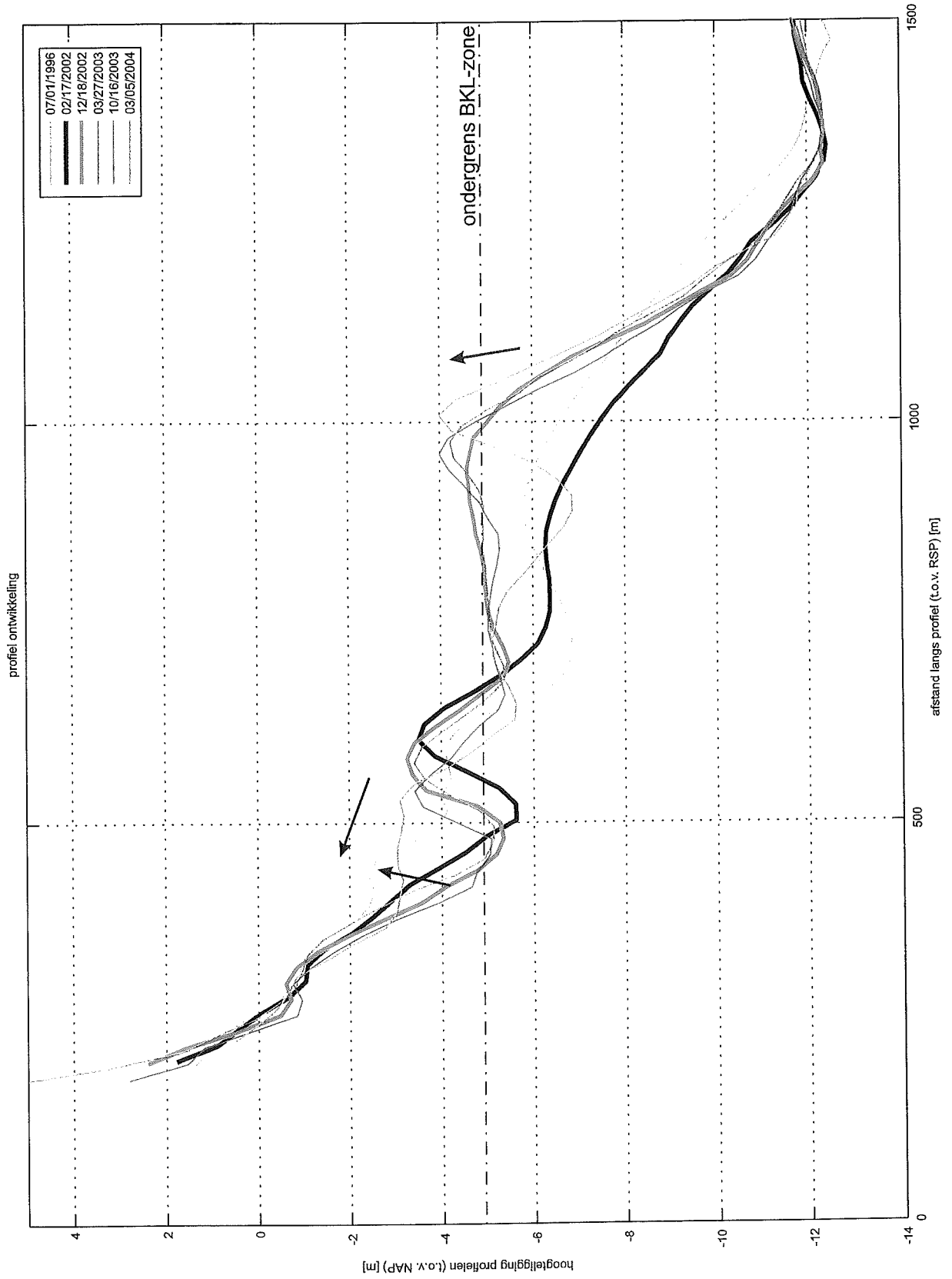
EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

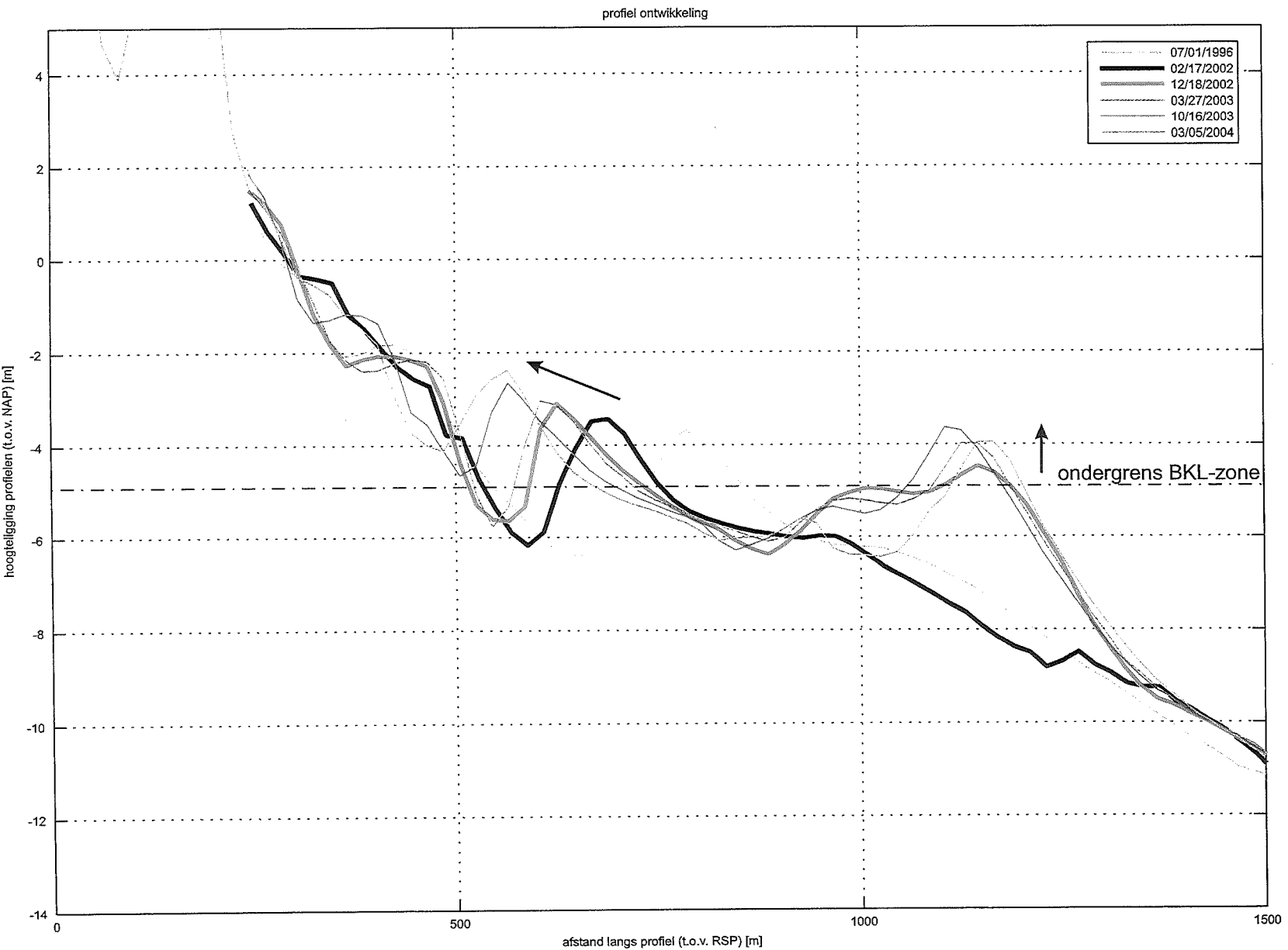


Fig. 3.57





Bodemligging Texel De Koog (s3); Profiel ontwikkeling RSP raai 17.93  
 Meting: 07/01/1996; 02/17/2002; 12/18/2002; 03/27/2003; 10/16/2003;  
 03/05/2004



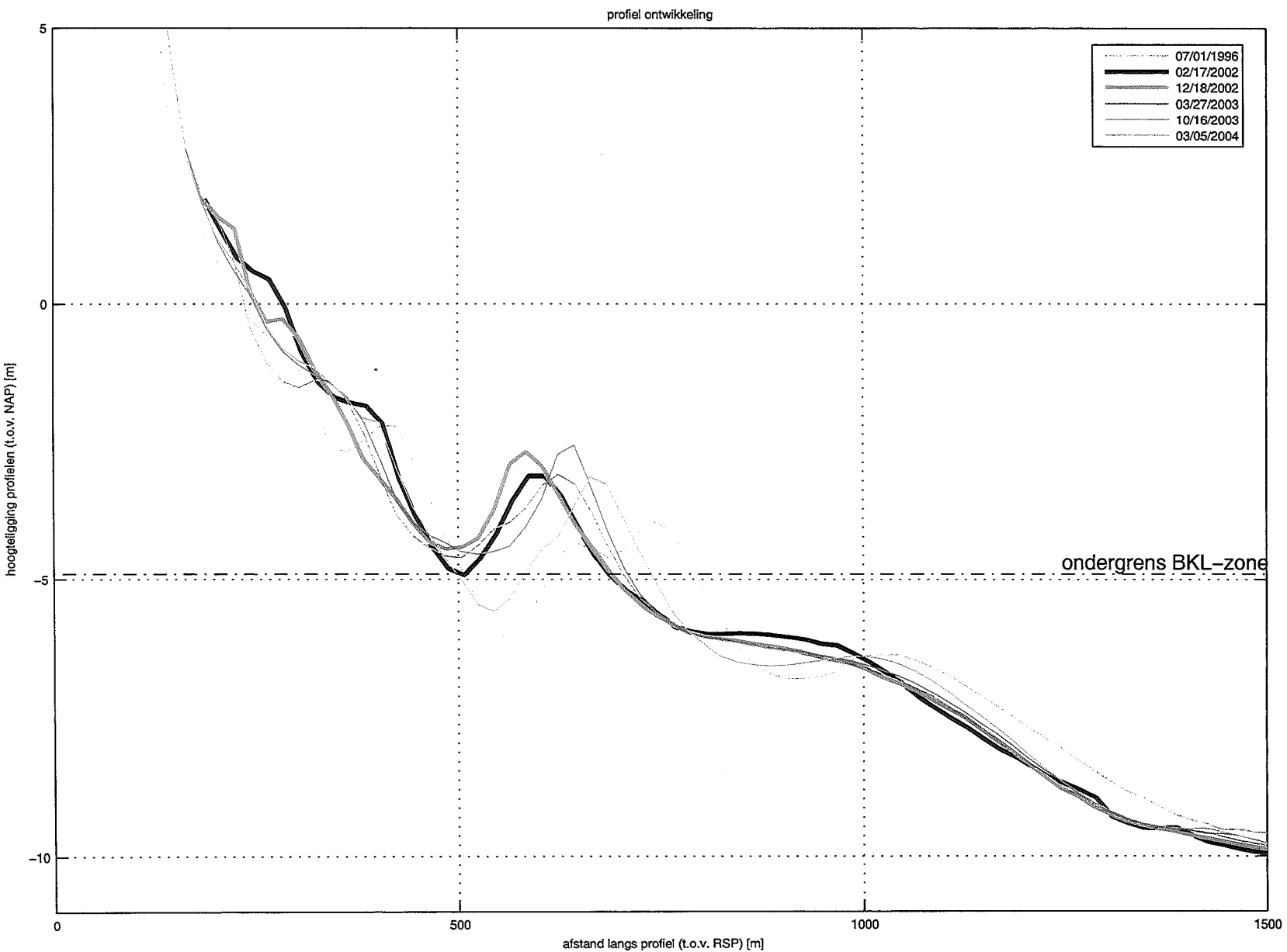
Bodemligging Texel De Koog (s3); Profiel ontwikkeling RSP raai 20.11  
Meting: 07/01/1996; 02/17/2002; 12/18/2002; 03/27/2003; 10/16/2003;  
03/05/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.59



Bodemligging Texel De Koog (s3); Profiel ontwikkeling RSP raai 23.4

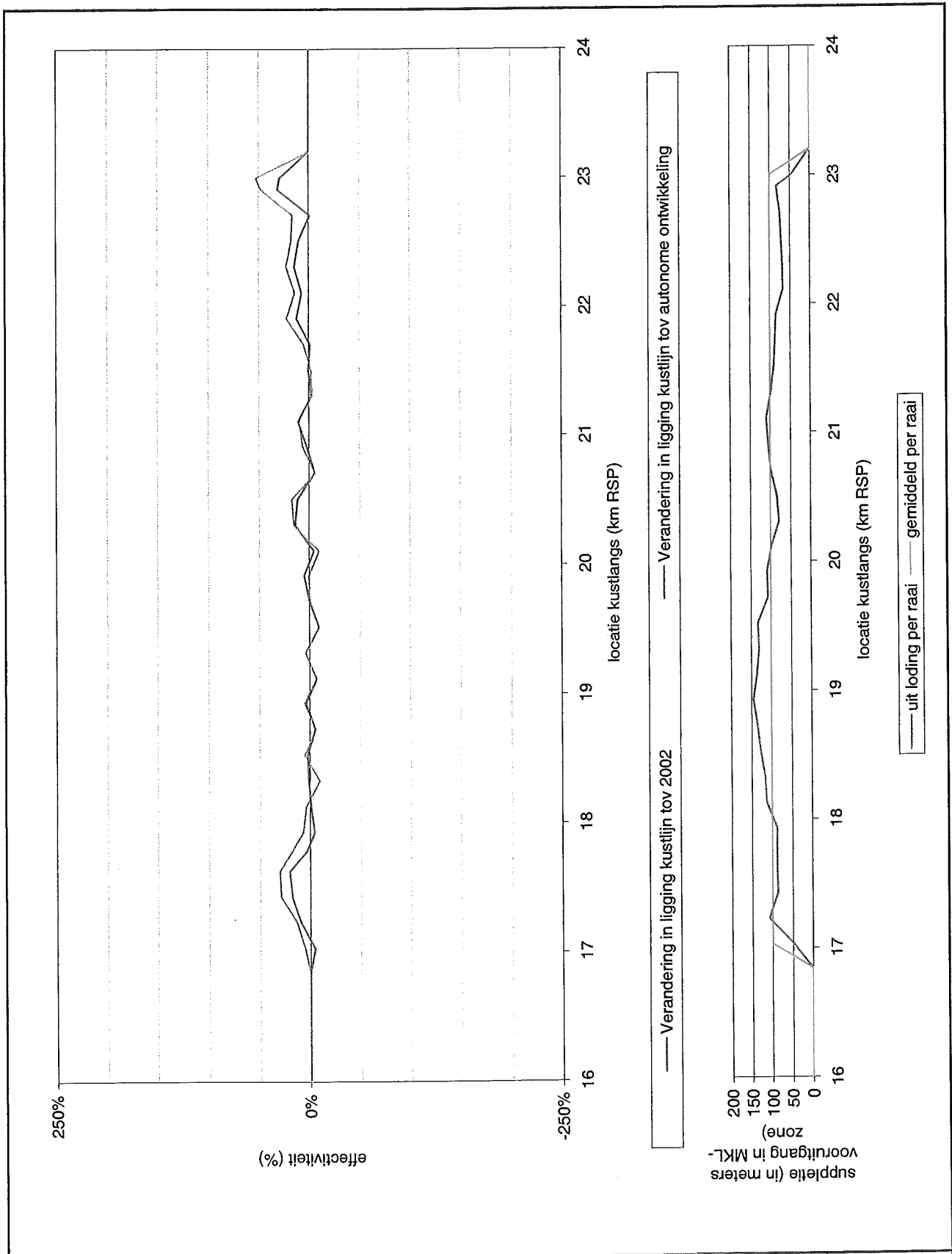
Meting: 07/01/1996; 02/17/2002; 12/18/2002; 03/27/2003; 10/16/2003;  
03/05/2004

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.60



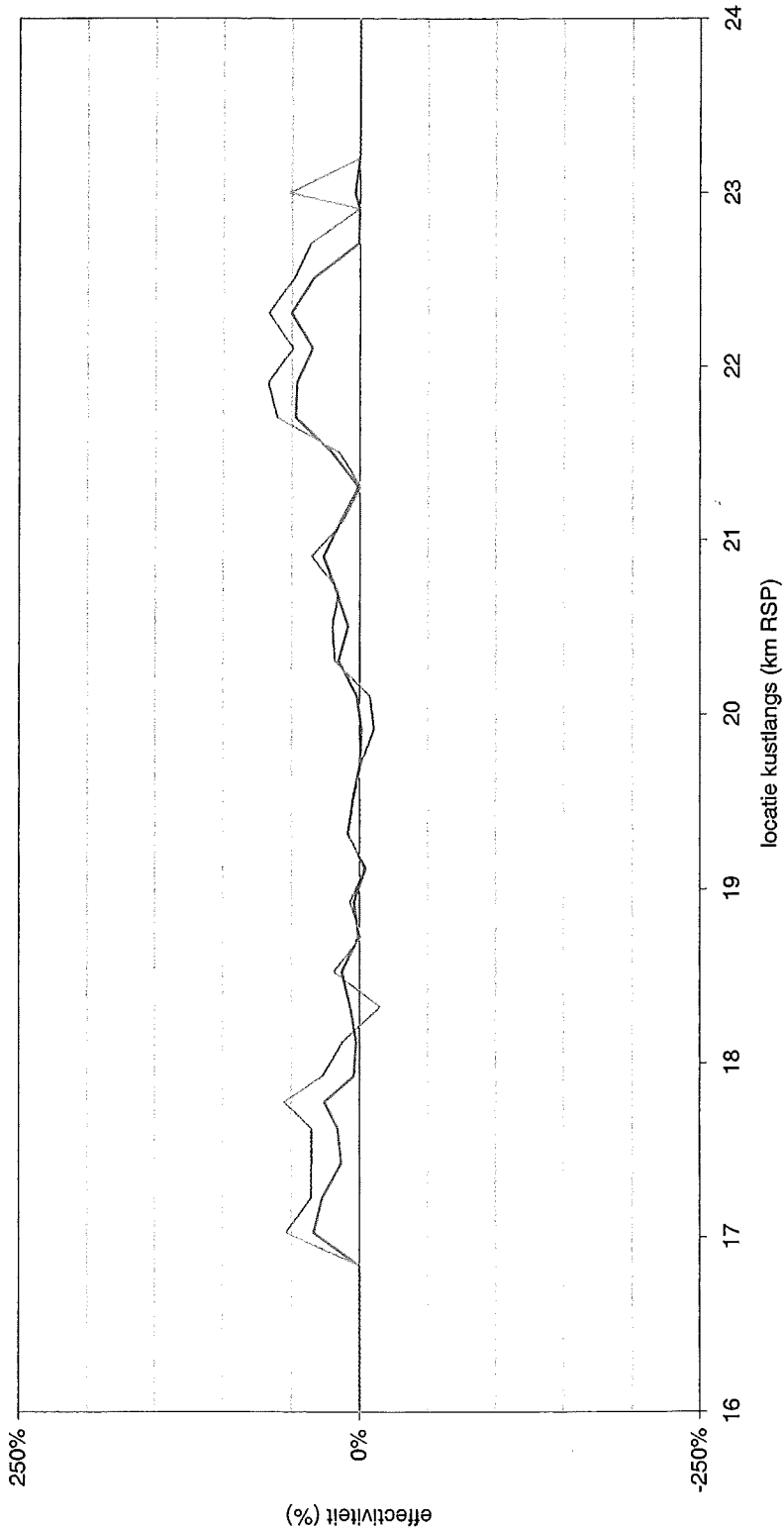
Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij De Koog; kustvak Texel  
 jaar 1 (2003)

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

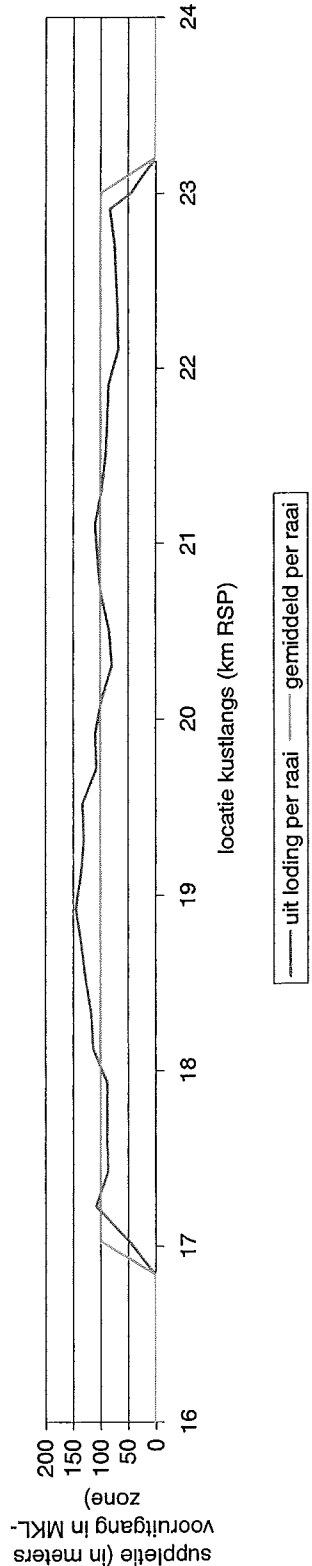

A1539



Fig. 3.61

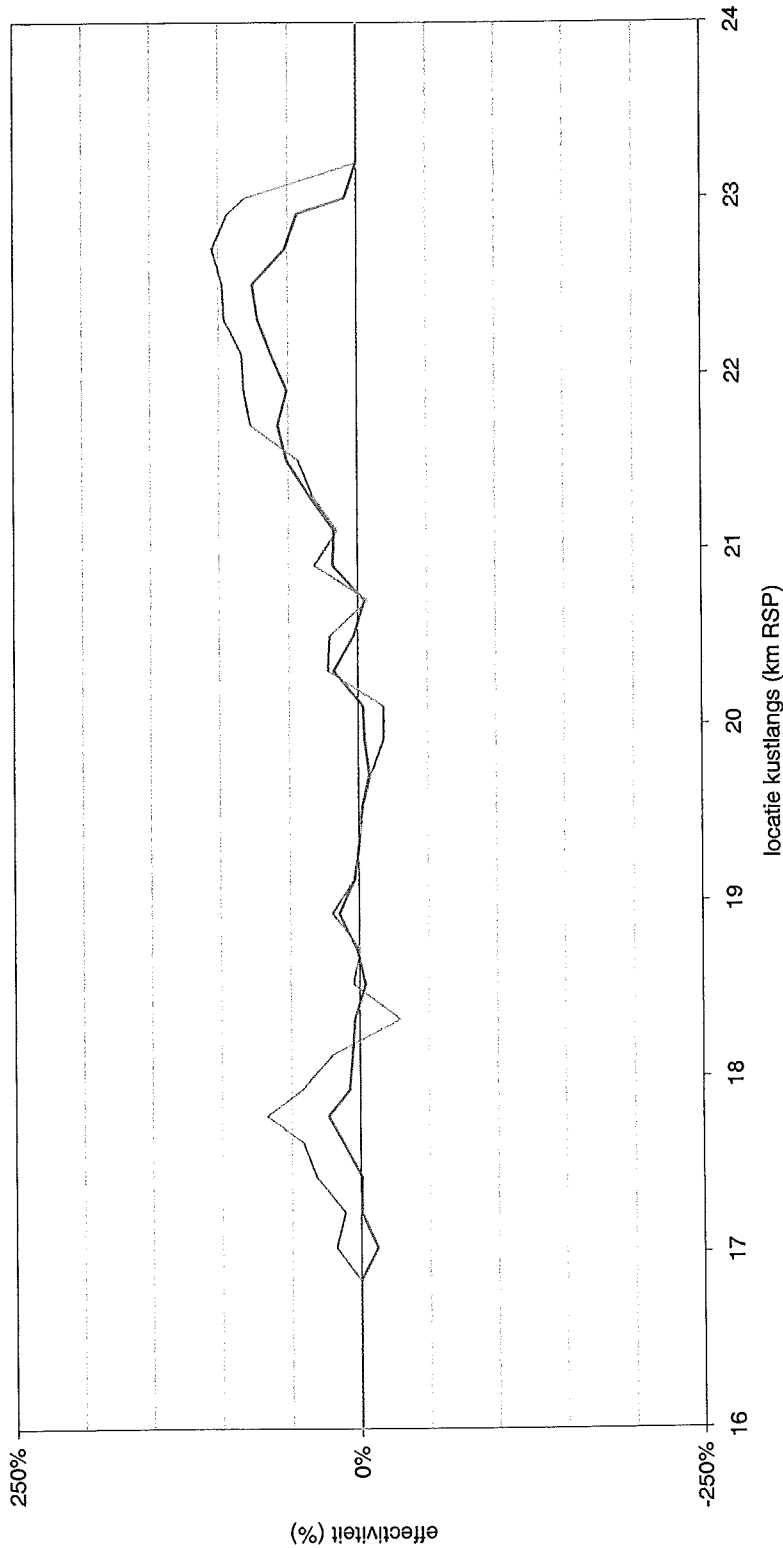


— Verandering in ligging kustlijn tov 2002      - - - - Verandering in ligging kustlijn tov autonome ontwikkeling

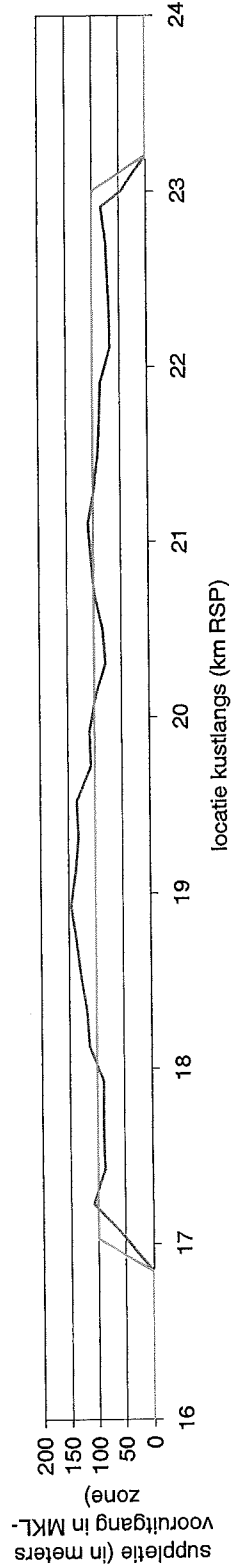


— uit loding per raai      - - - - gemiddeld per raai

Effectiviteit per jaar Suppletie nabij De Koog; kustvak Texel jaar 2 (2004)		
EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES	A1539	Alkyon
		Fig. 3.62



— Verandering in ligging kustlijn tov 2002      — Verandering in ligging kustlijn tov autonome ontwikkeling



— uit loding per raai      — gemiddeld per raai

Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij De Koog; kustvak Texel

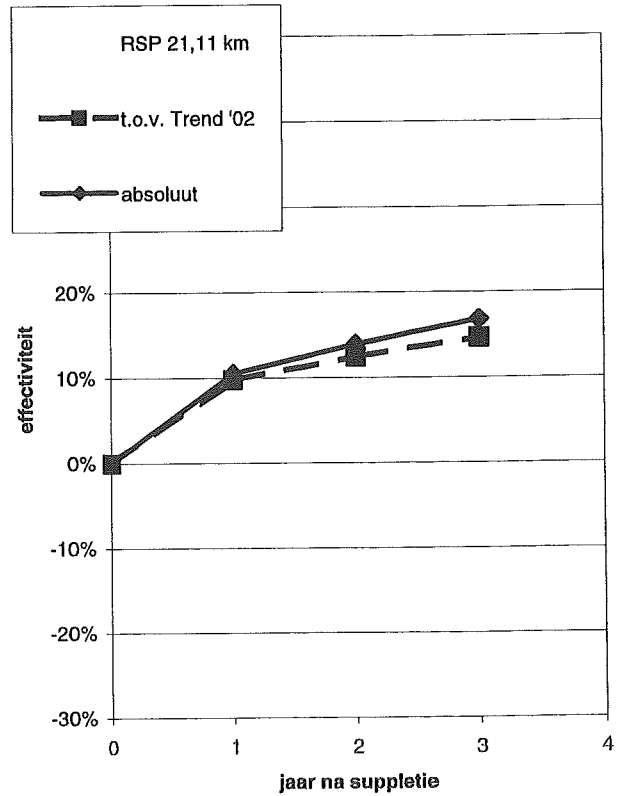
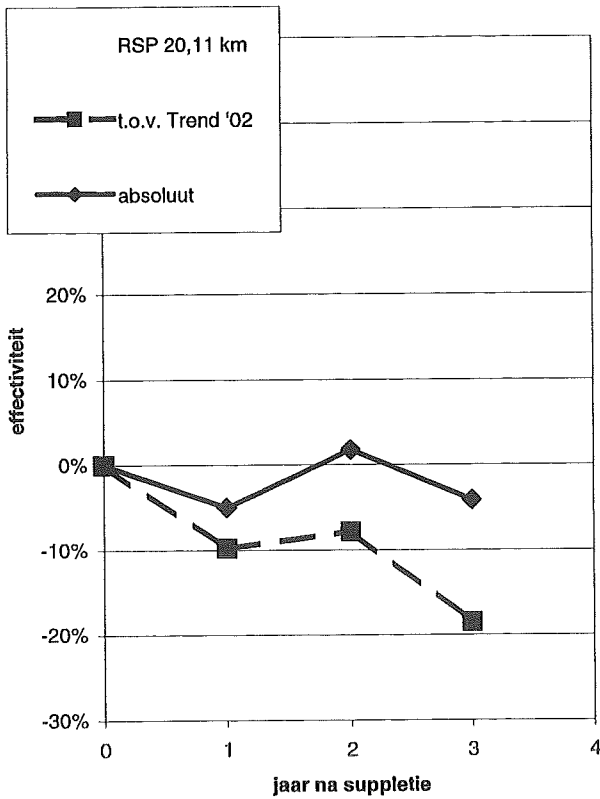
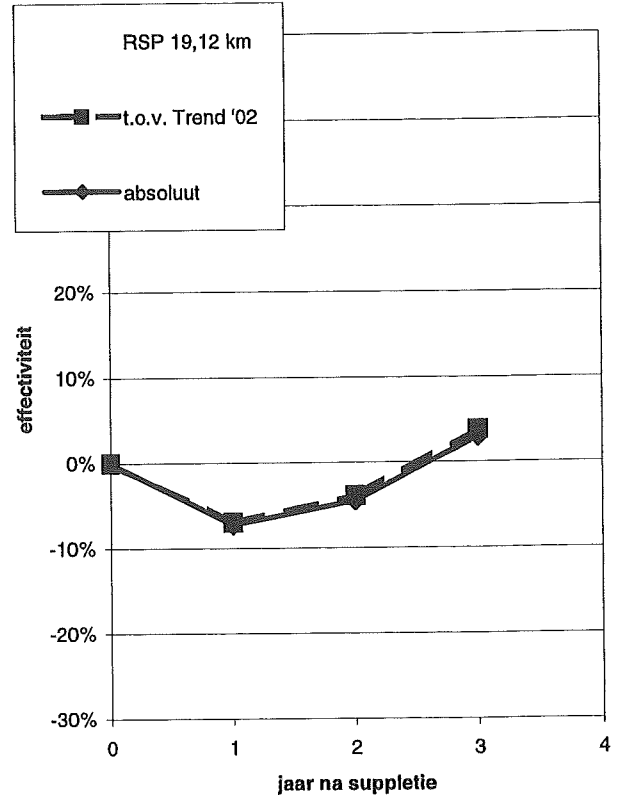
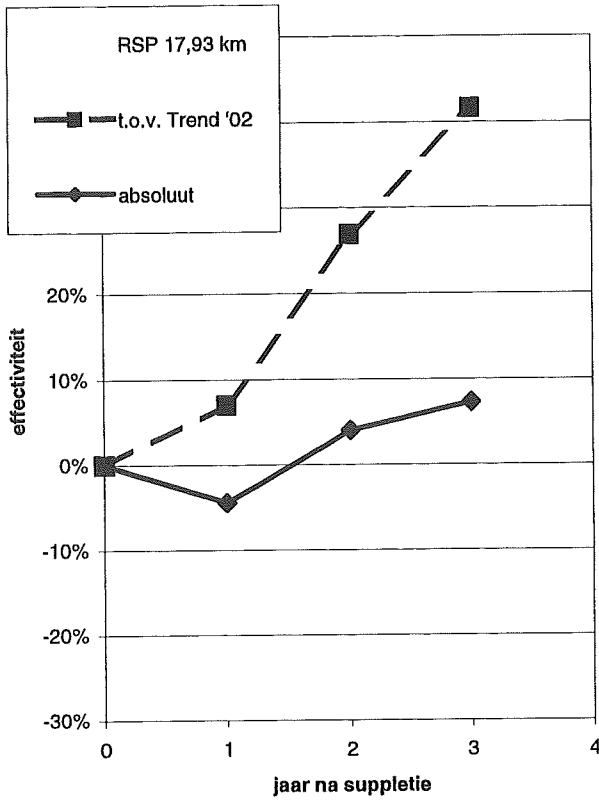
jaar 3 (2005)

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

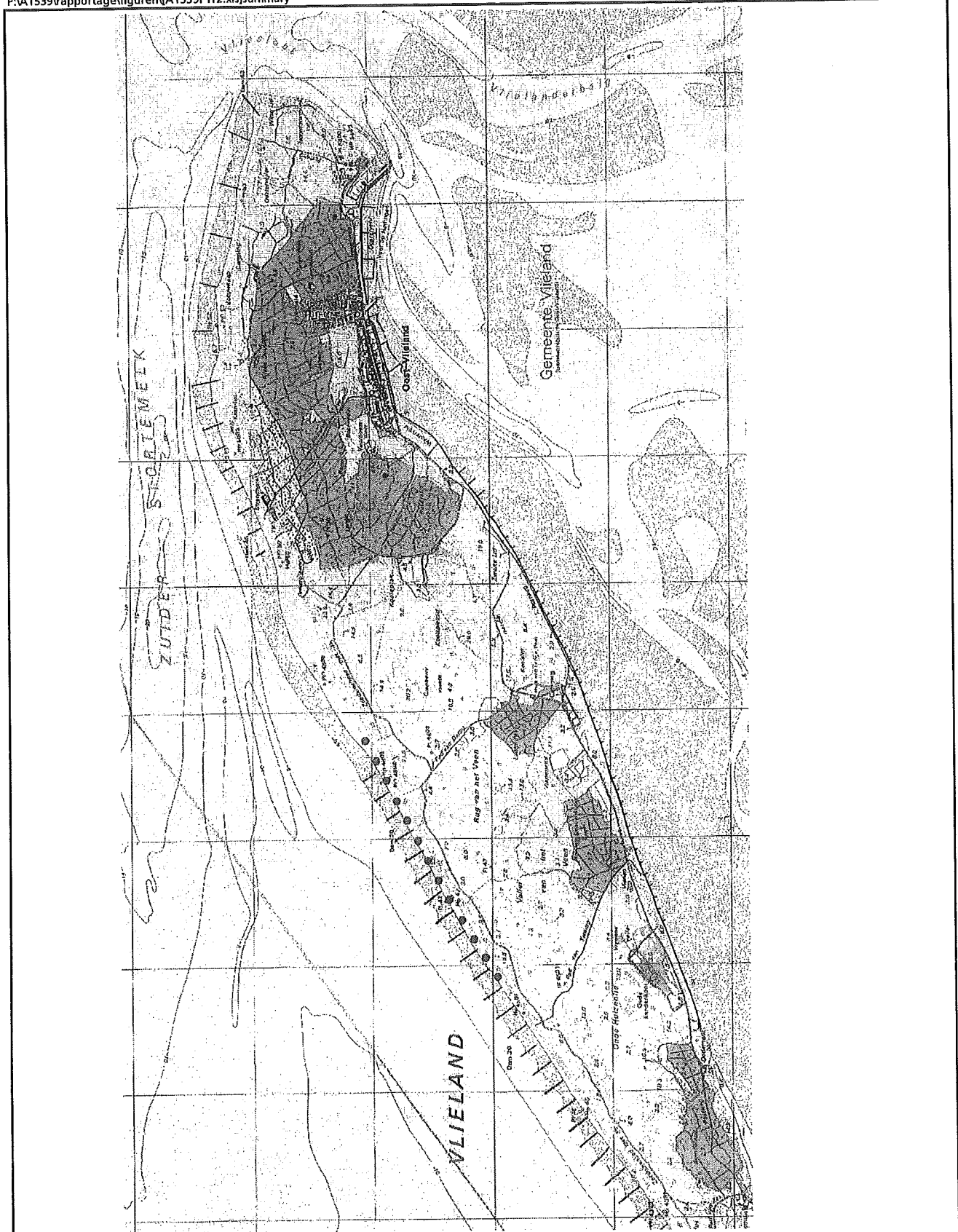


Fig. 3.63



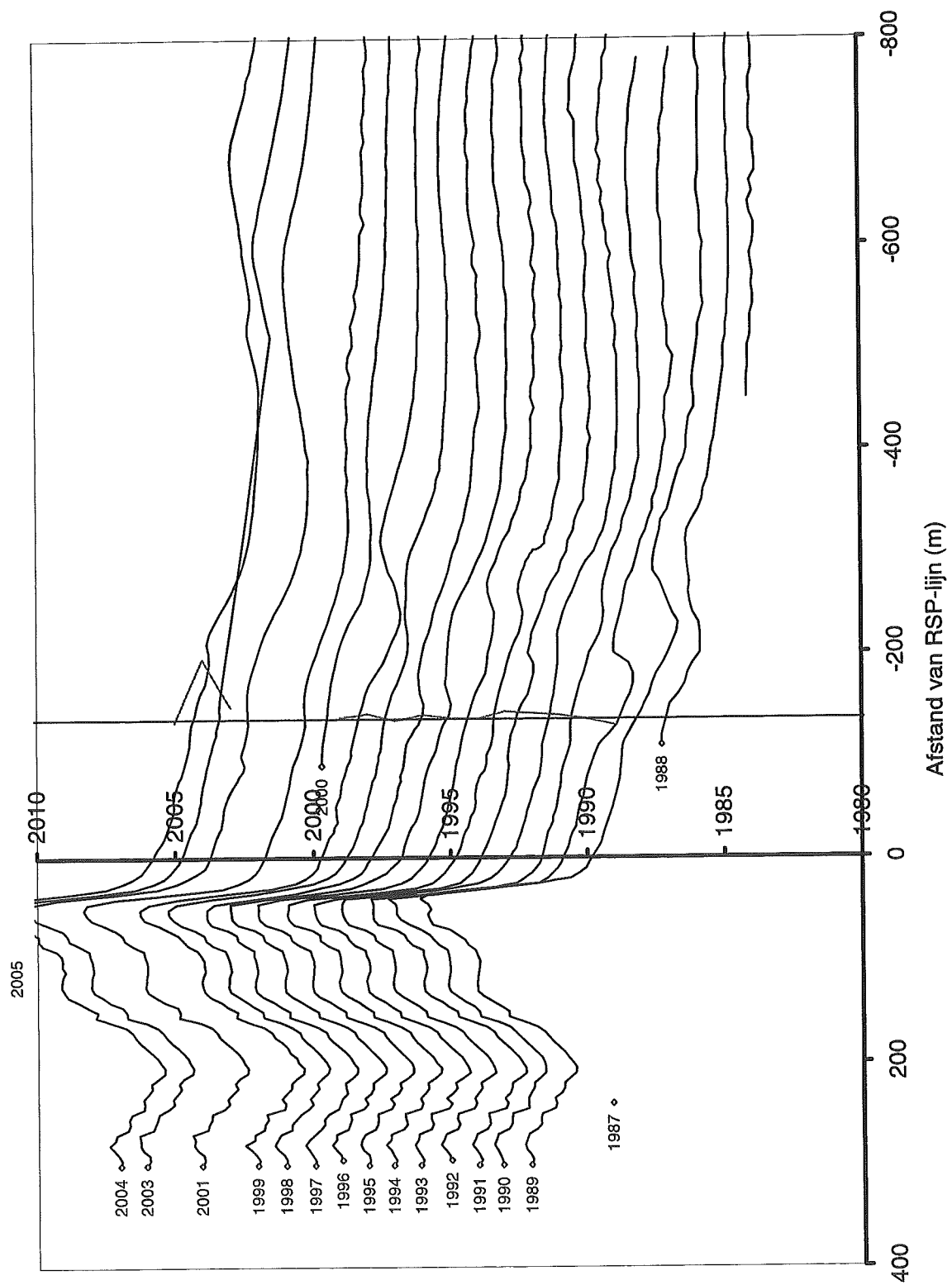
Berekende effectiviteitslijnen voor Texel-De Koog

Voor de raaien: RSP 17,93 km, RSP 19,12 km, RSP 20,11 km en RSP 21,11 km



De kust van Oost-Vlieland met voorliggende buitendelta  
 RSP-locaties waar onderwatersuppletie is aangebracht zijn gemarkeerd



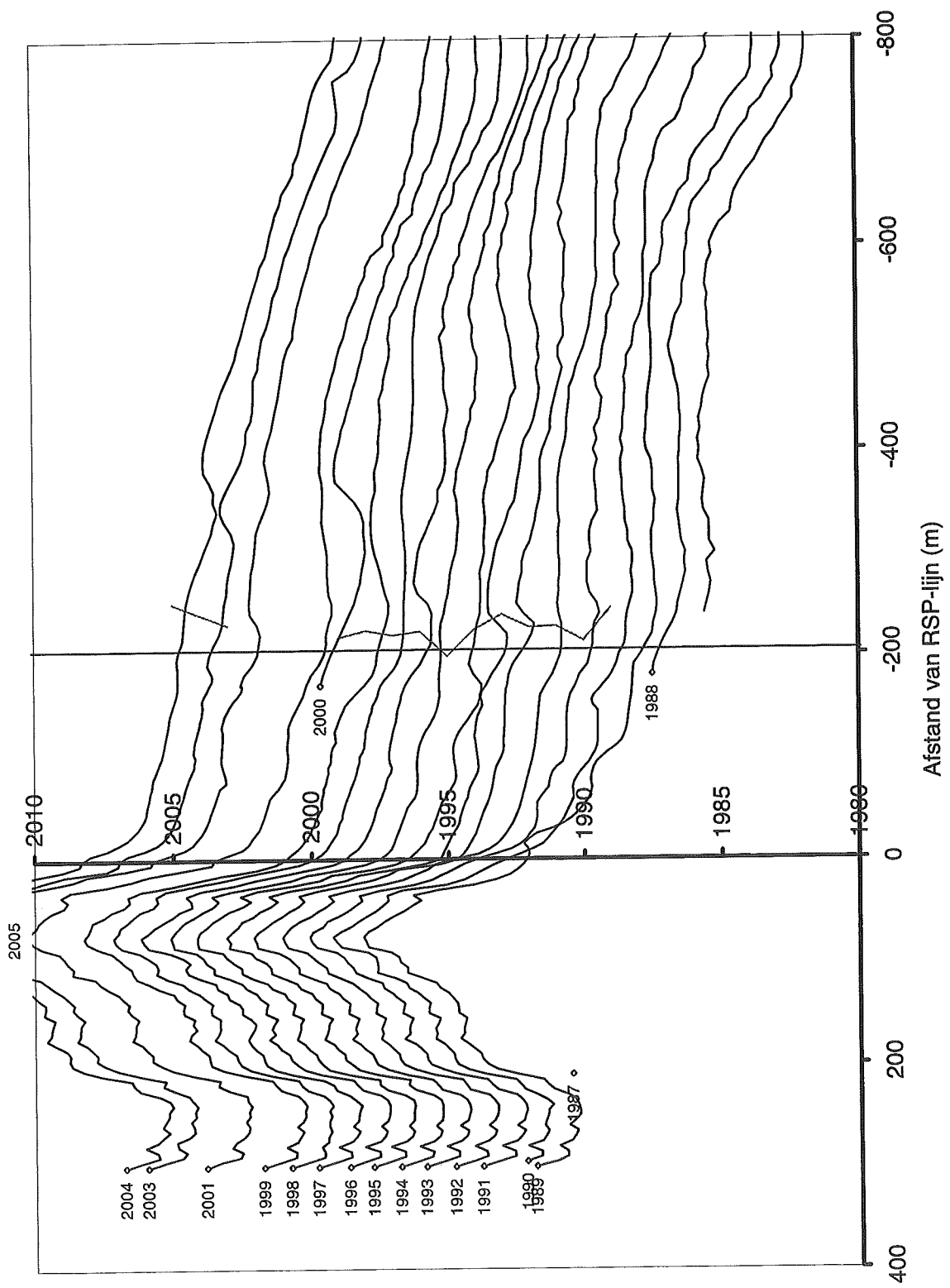


Time-stacks Vlieland

RSP raai 46.45

Raai: 46.45

Kustvak: Vlieland

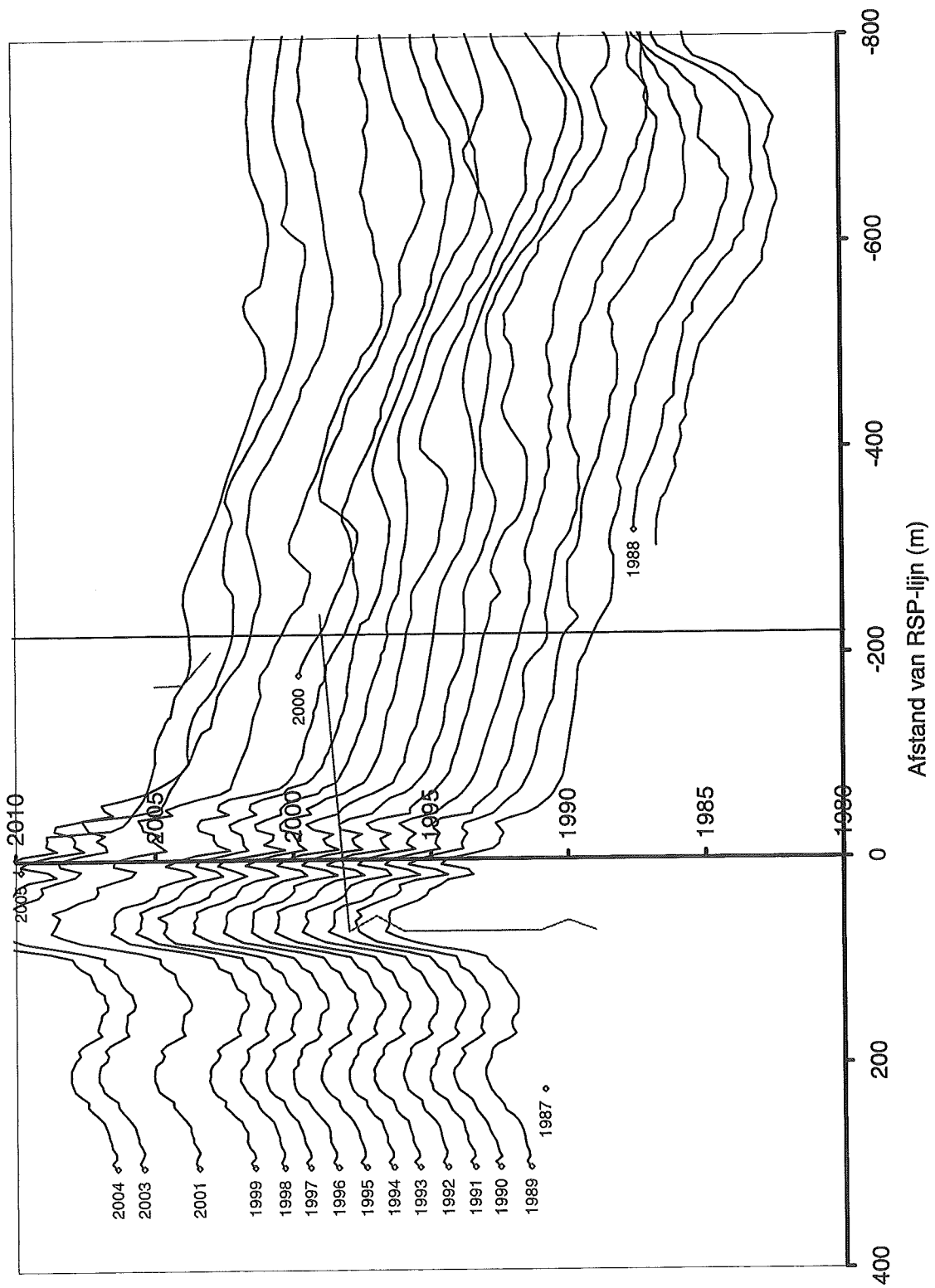


Time-stacks Vlieland

RSP raai 48.44

Raai: 48.44

Kustvak: Vlieland

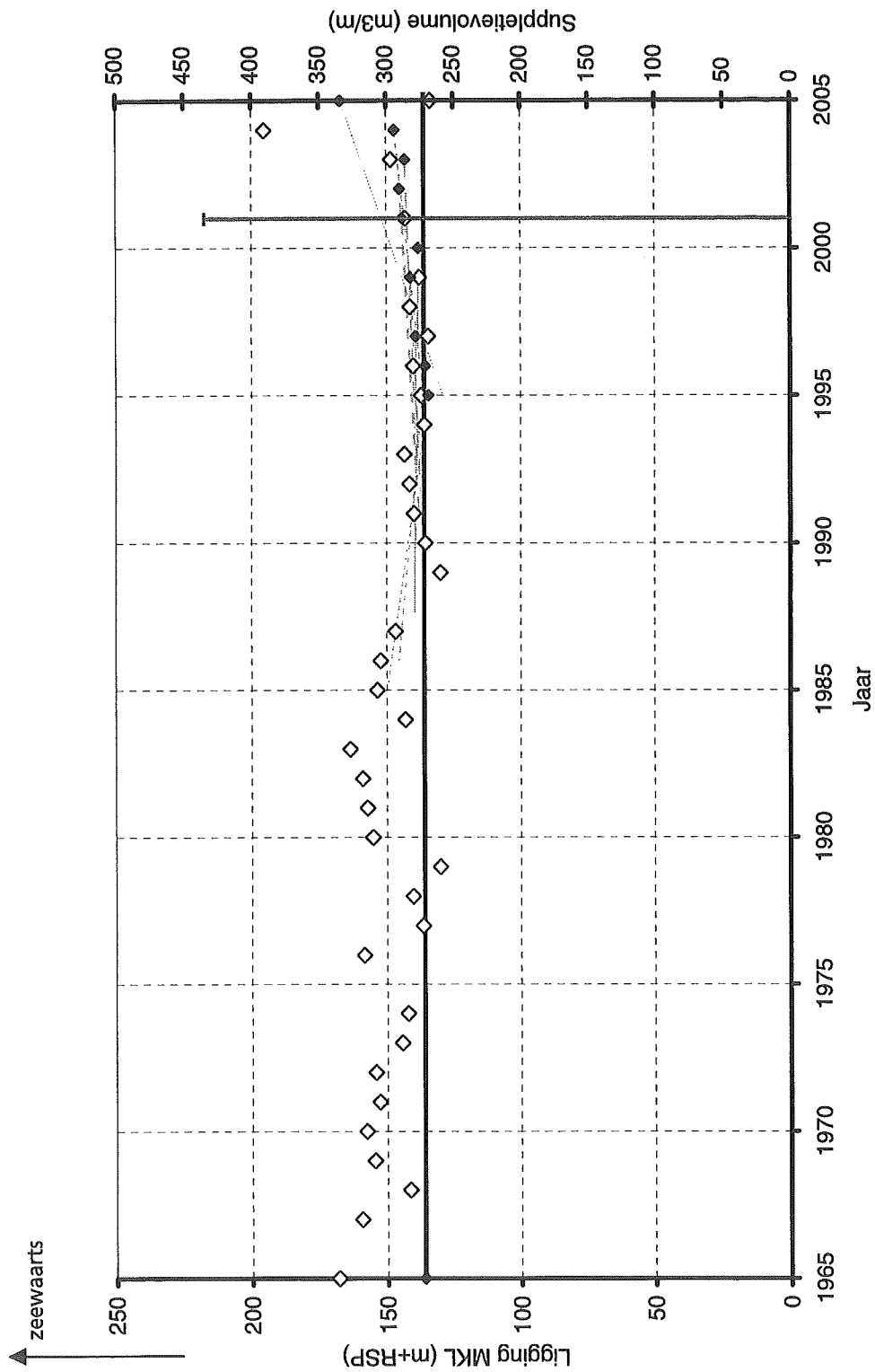


Time-stacks Vlieland

RSP raai 49.33

Raai: 49.33

Kustvak: Vlieland

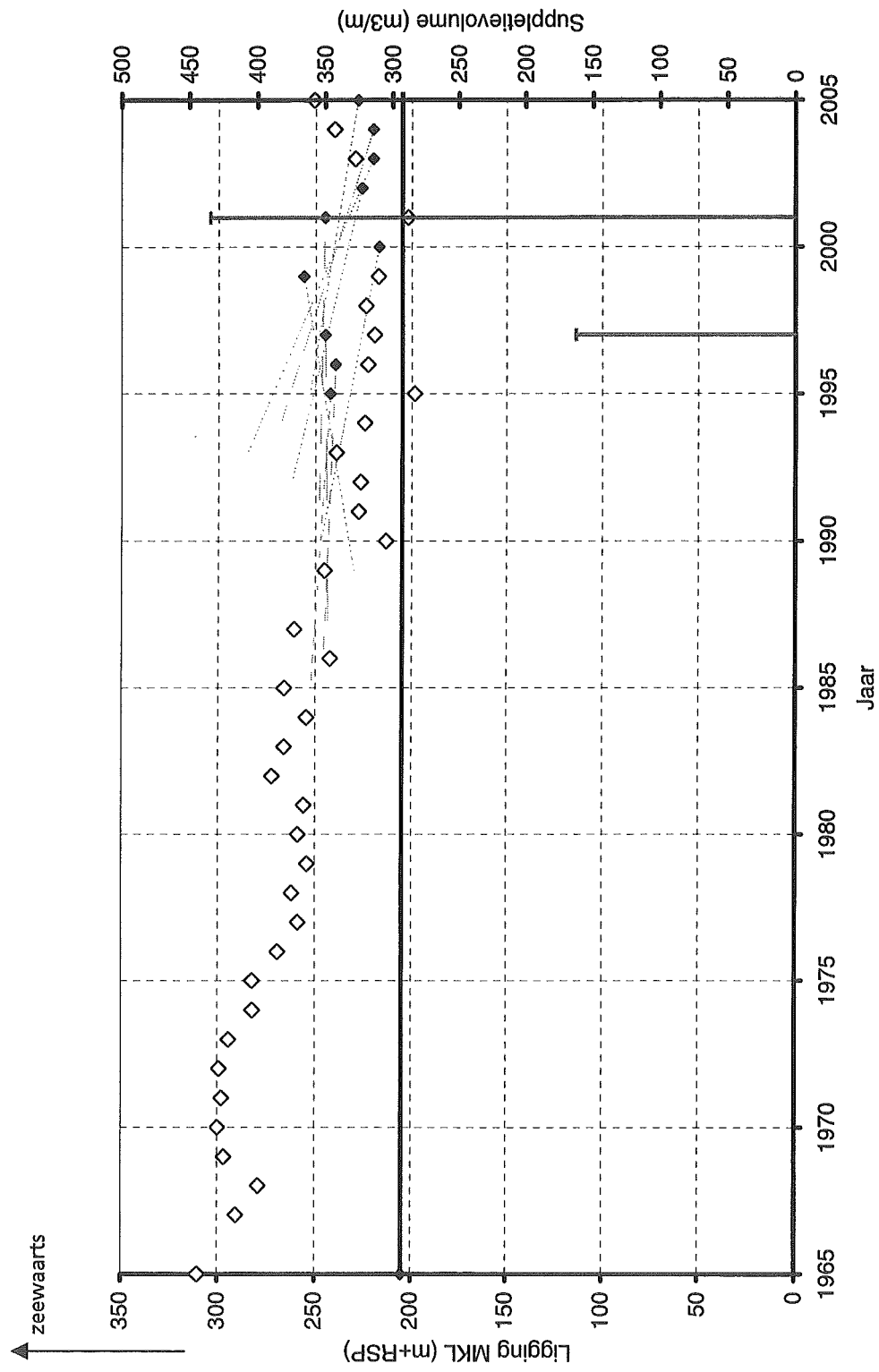


Berekende MKL-posities voor Vlieland

RSP raai 46.45

Raai: 46.45

Kustvak: Vlieland



Berekende MKL-posities voor Vlieland

RSP raai 48.44

Raai: 48.44

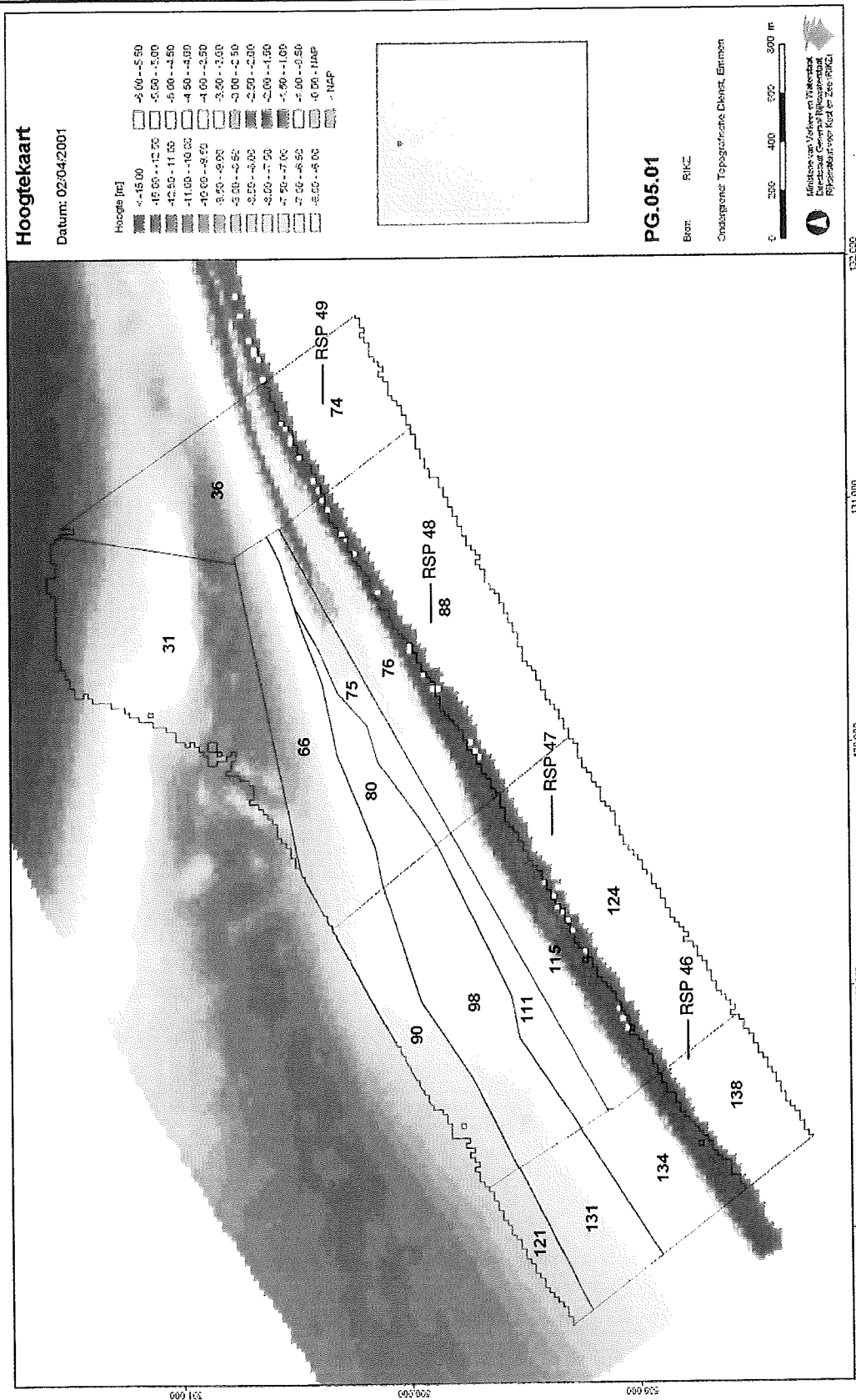
Kustvak: Vlieland

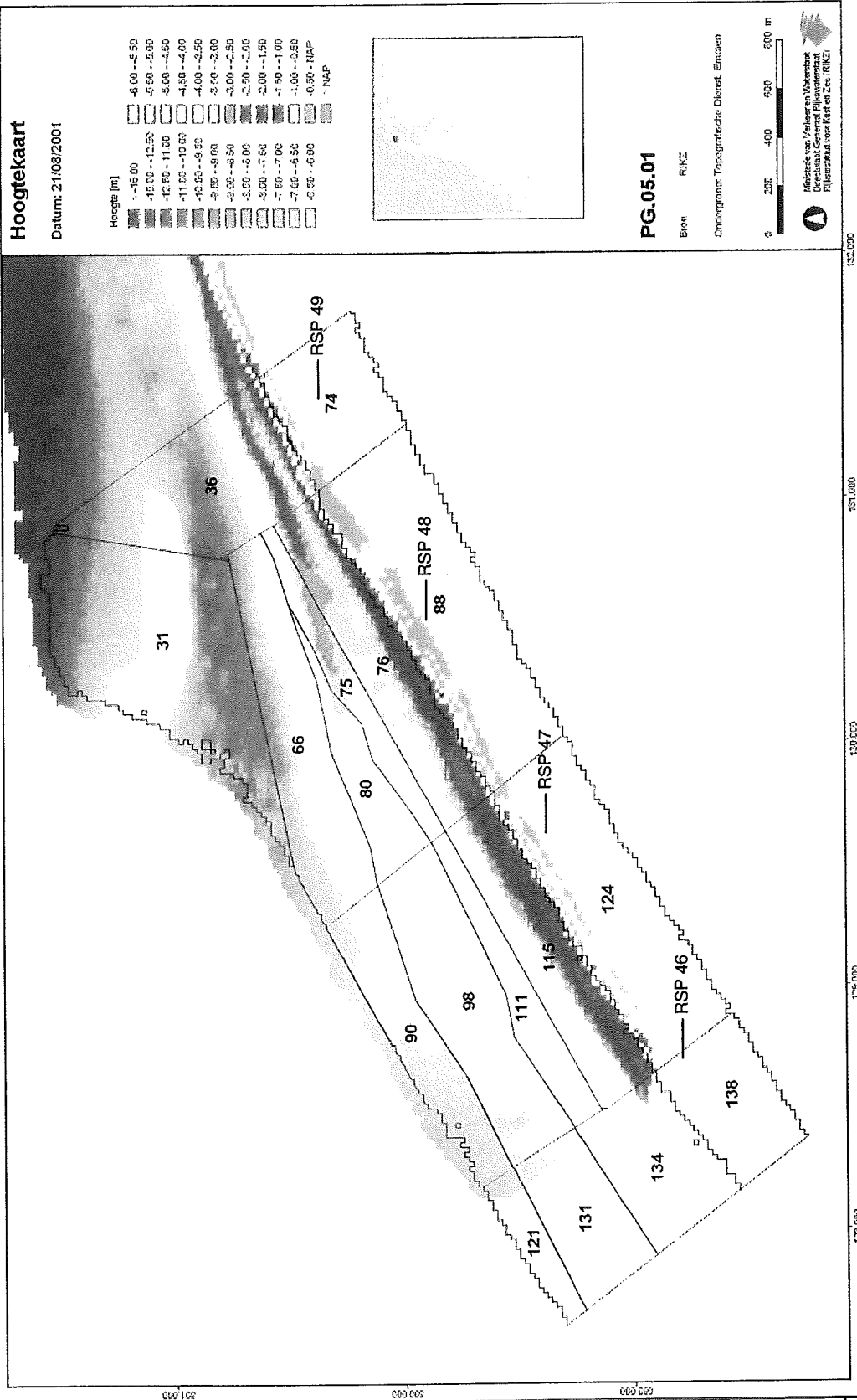
EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.70





Bodemopname Vlieland

Datum: 21 augustus 2001

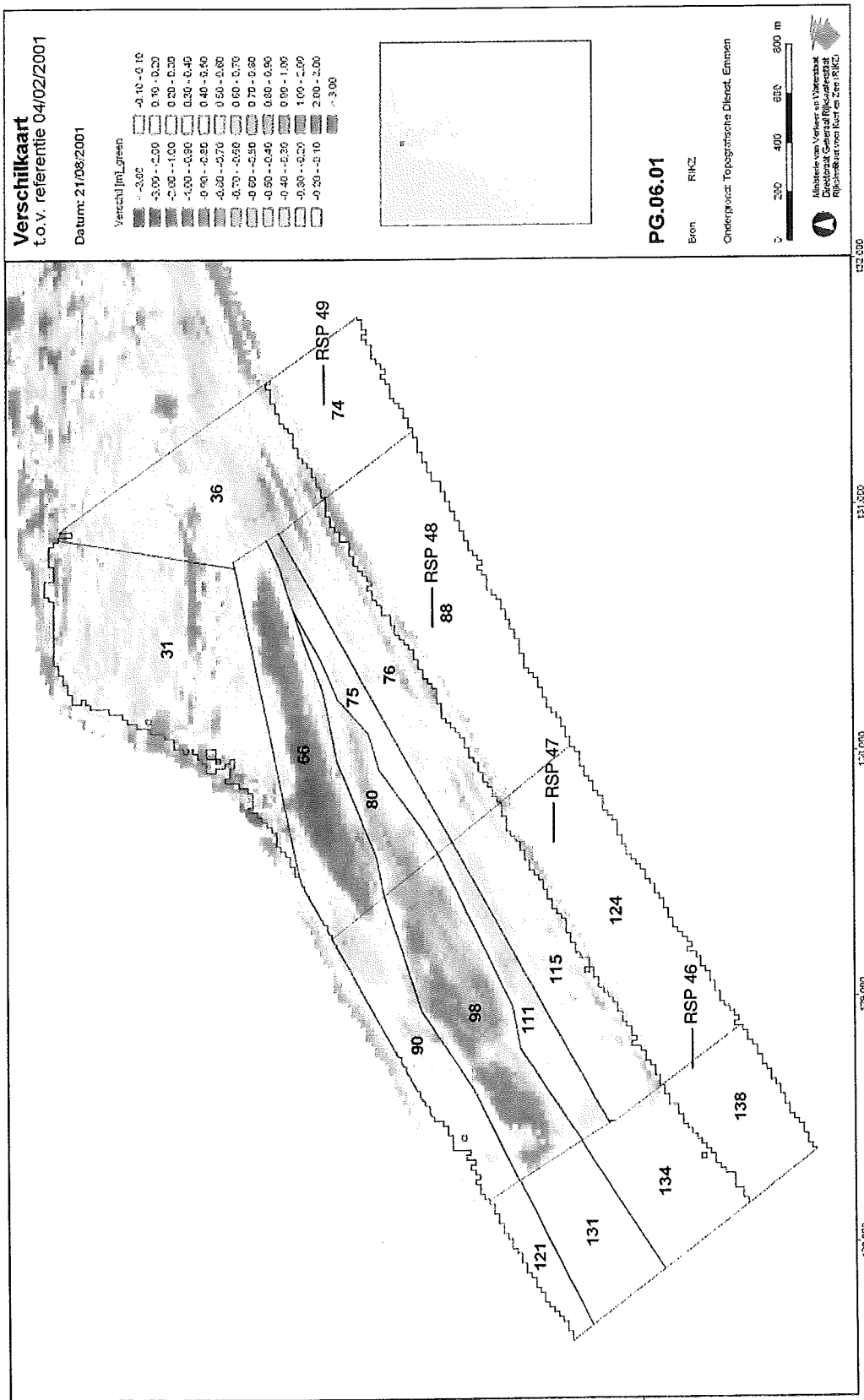
Ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.72



Verschilkaart Vlieland ten opzichte van 2 april 2001

Datum: 21 augustus 2001

Vòòr en ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

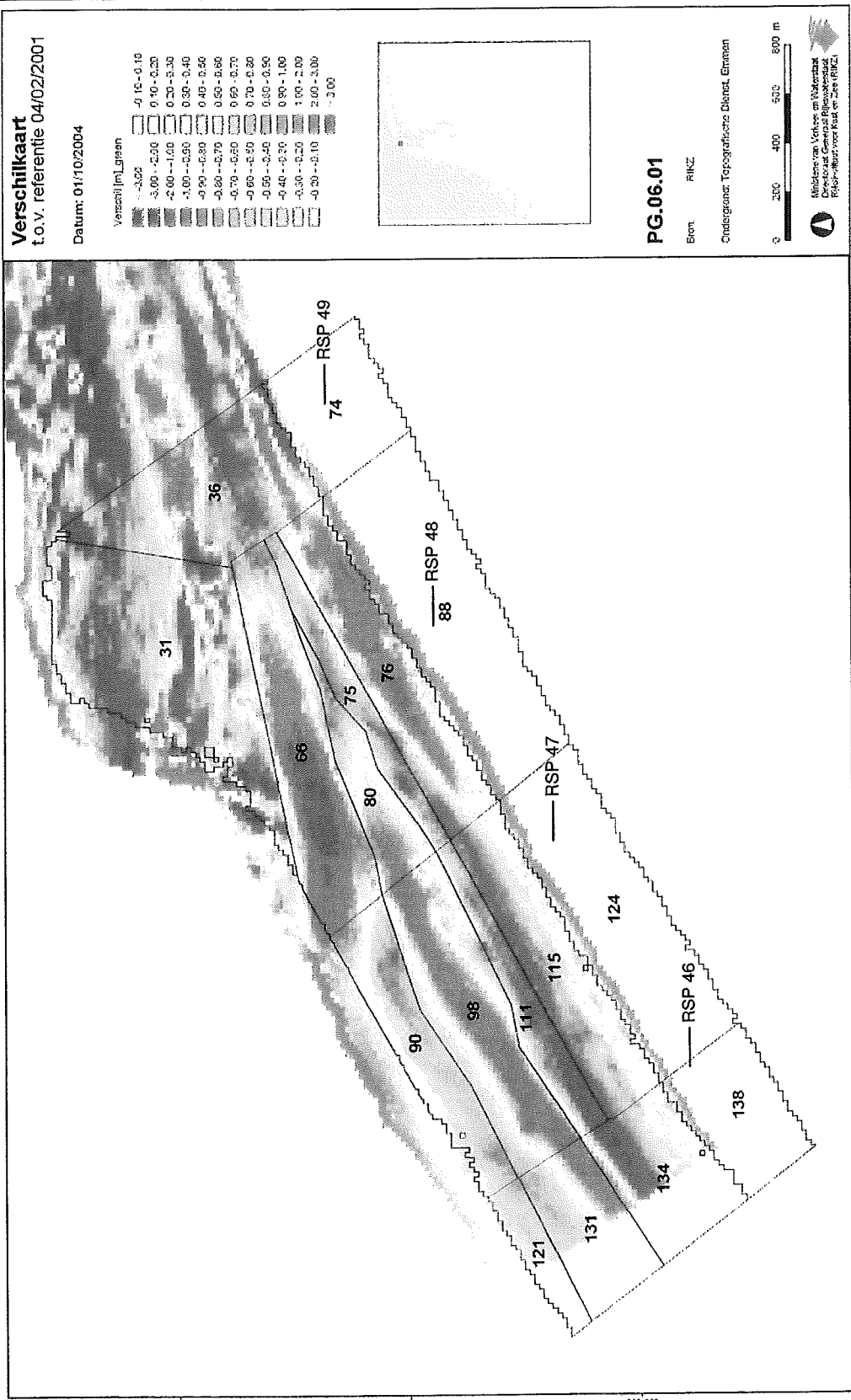
A1539



Fig. 3.73







Verschilkaart Vlieland ten opzichte van 2 april 2001

Datum: 1 oktober 2004

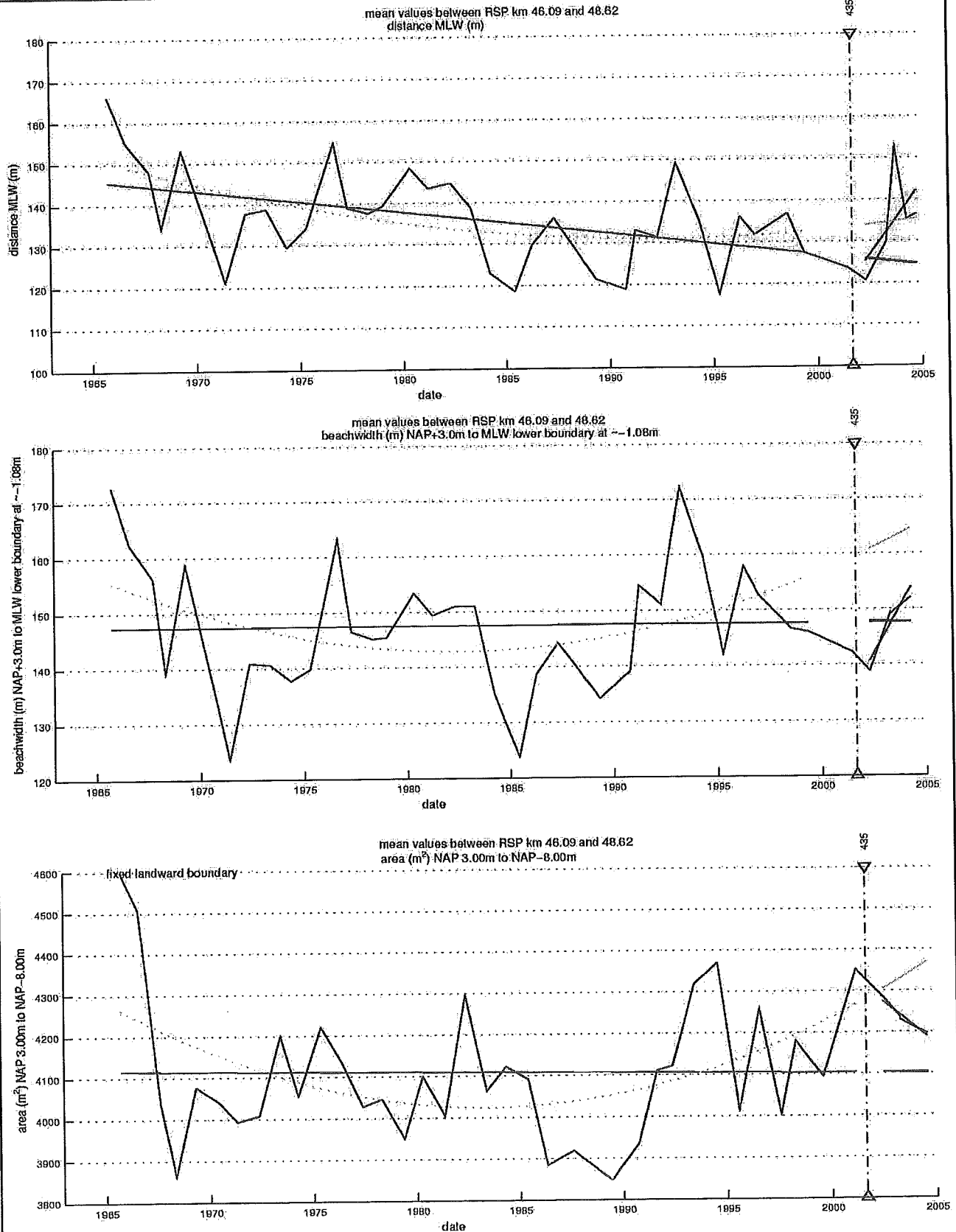
Drie jaar na de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

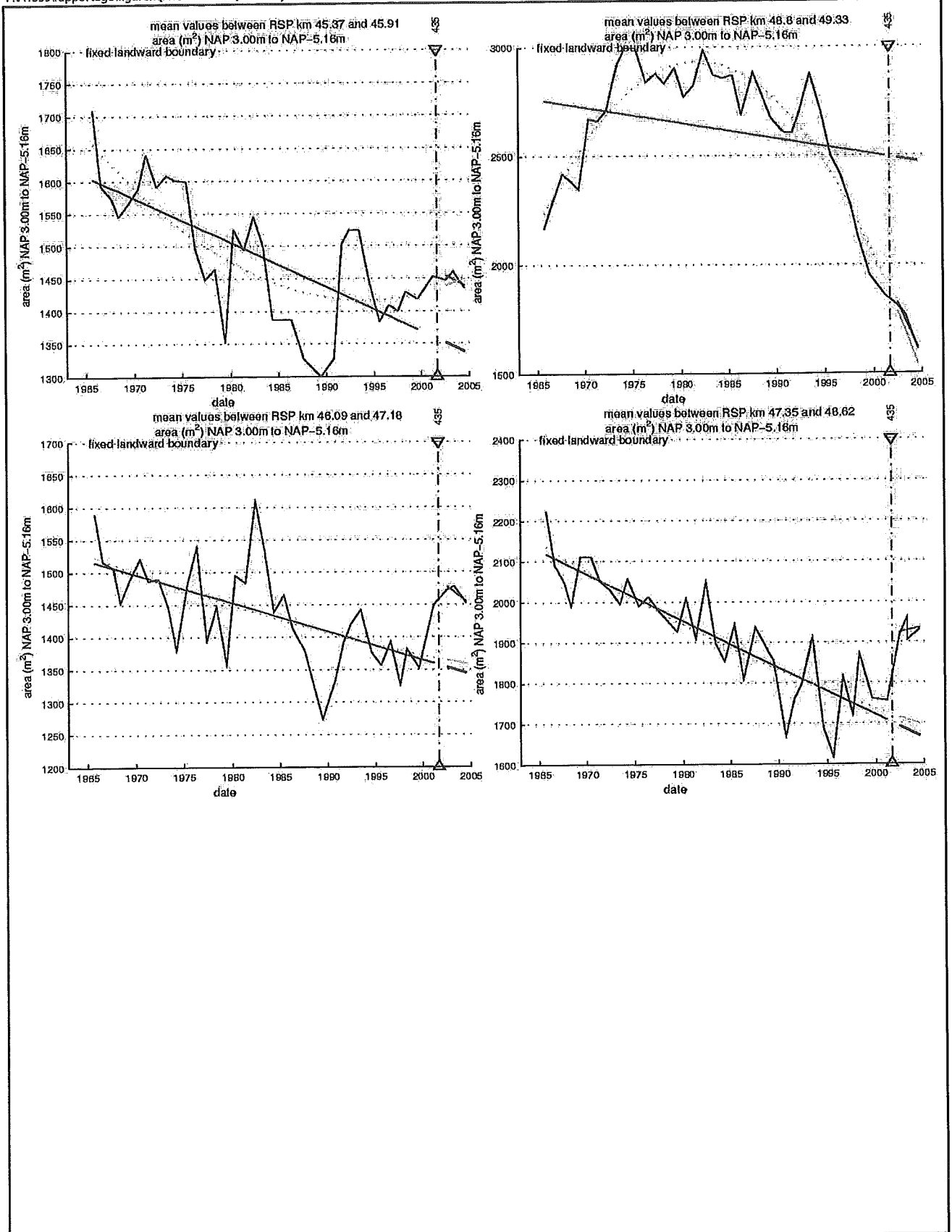
A1539



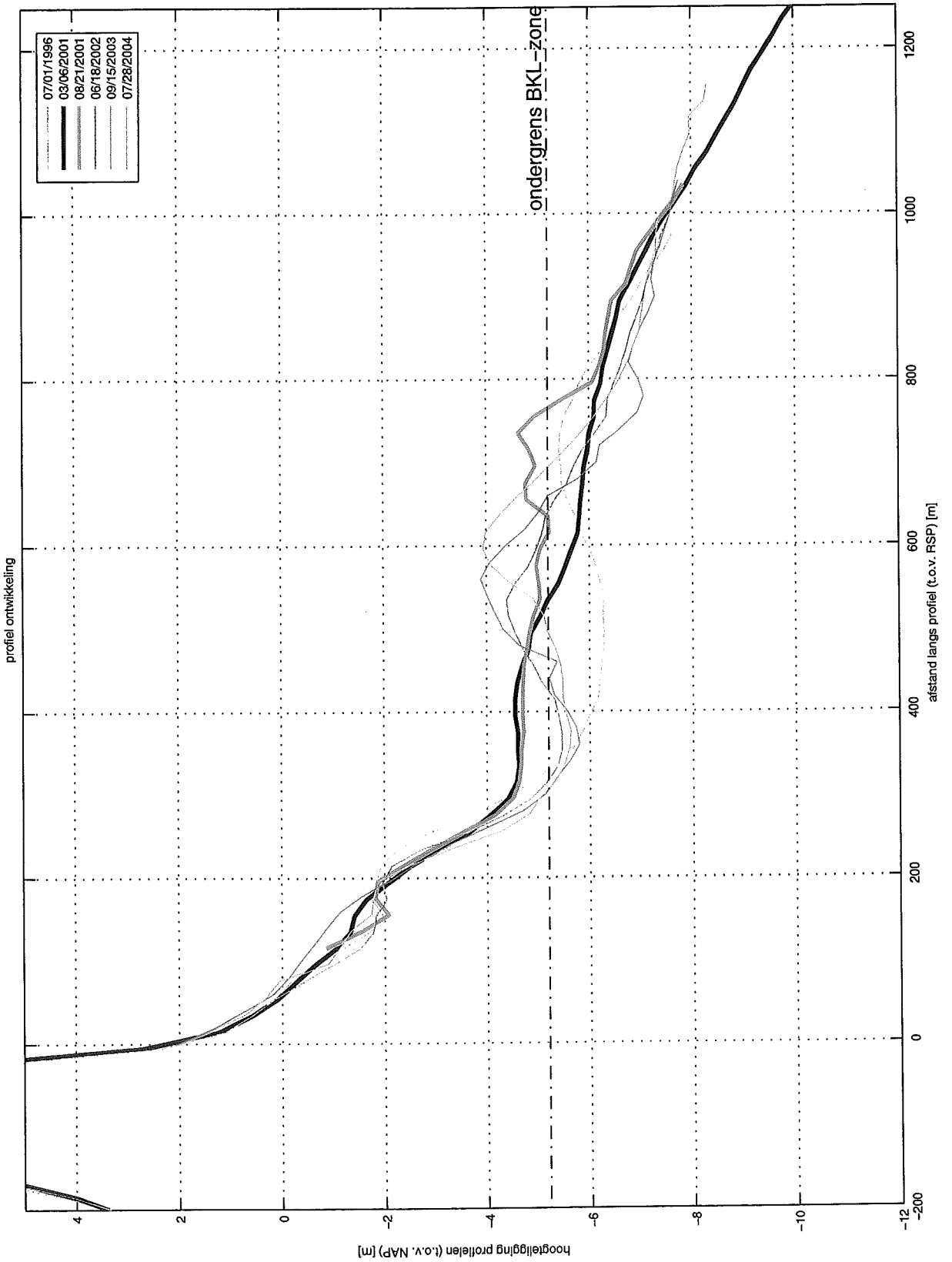
Fig. 3.75



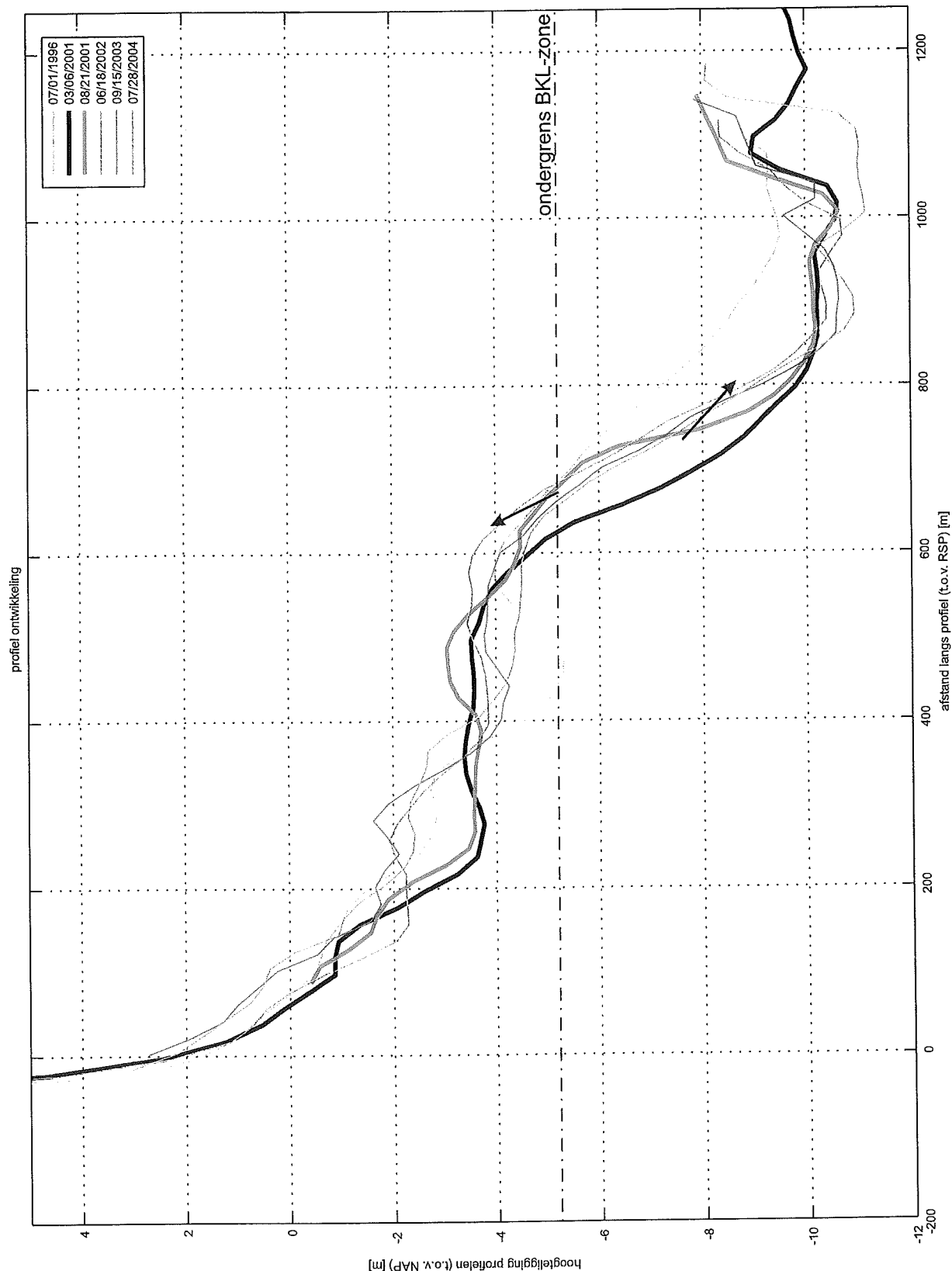
Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -8 m



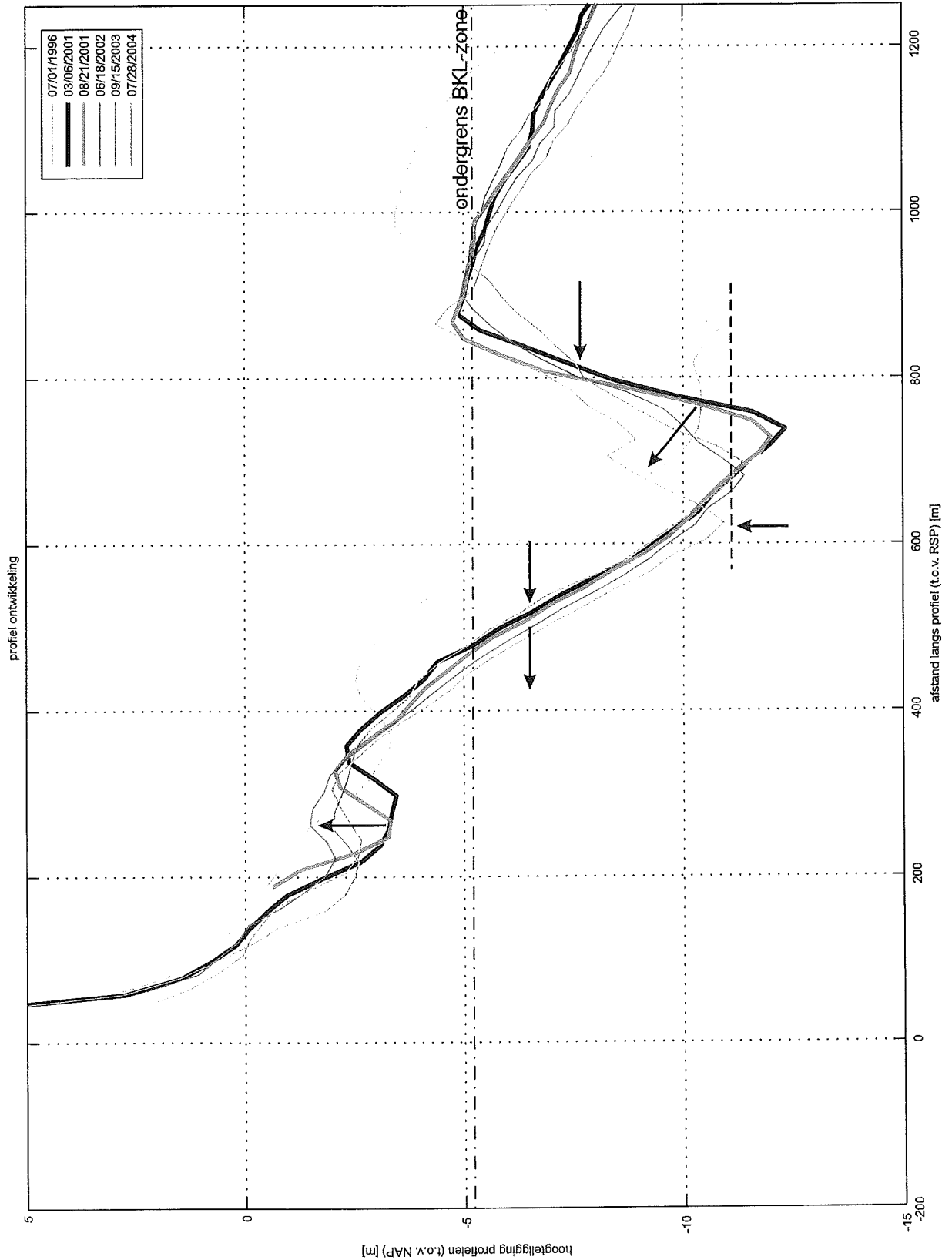
Zandvolume NAP + 3m / NAP -5,2 m in vier kustvakken



Bodemligging Vlieland (s4); Profiel ontwikkeling RSP raai 46.45  
 Meting: 07/01/1996; 03/06/2001; 08/21/2001; 06/18/2002; 09/15/2003;  
 07/28/2004

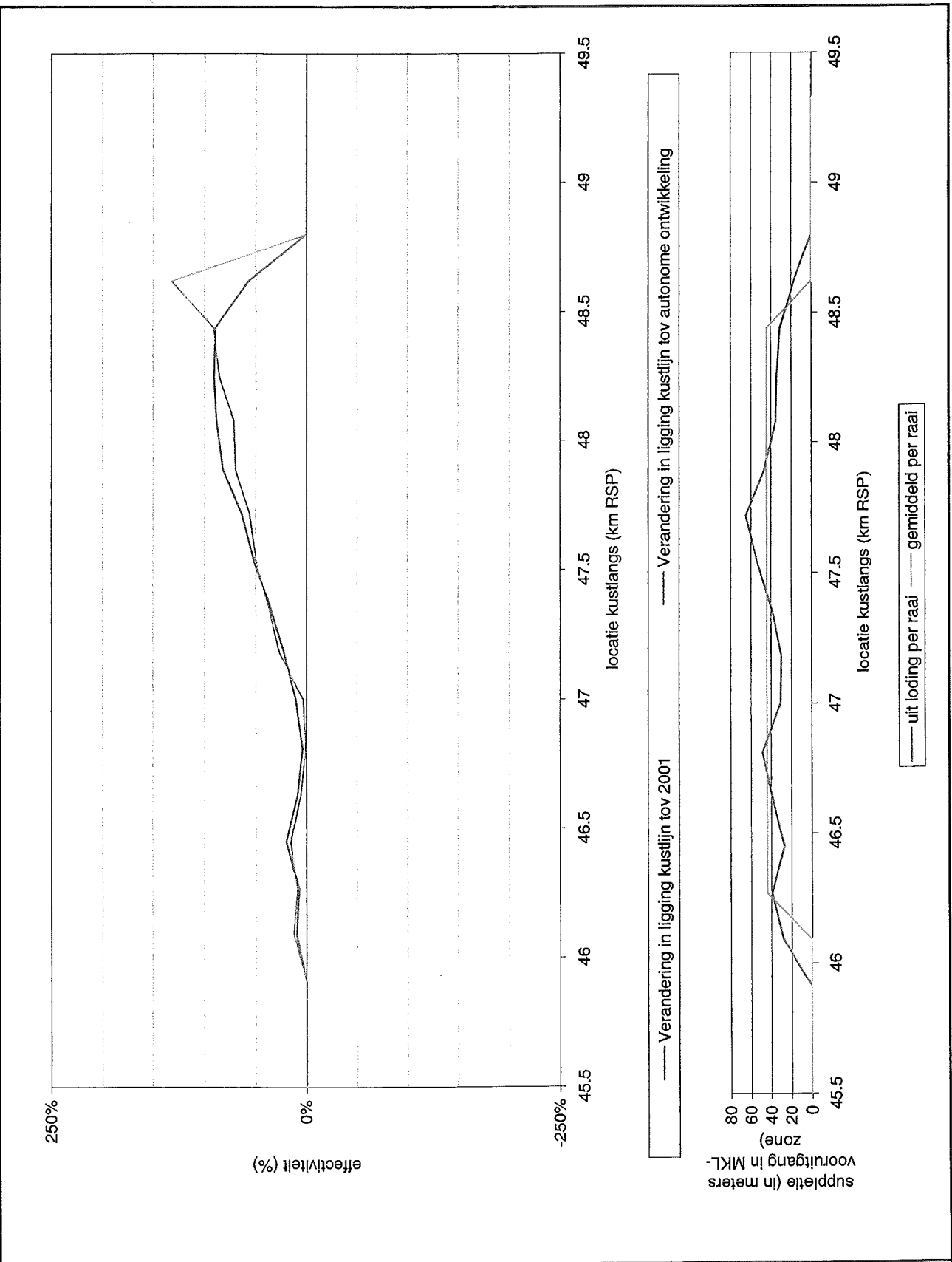


Bodemligging Vlieland (s4); Profiel ontwikkeling RSP raai 48.08  
 Meting: 07/01/1996; 03/06/2001; 08/21/2001; 06/18/2002; 09/15/2003;  
 07/28/2004



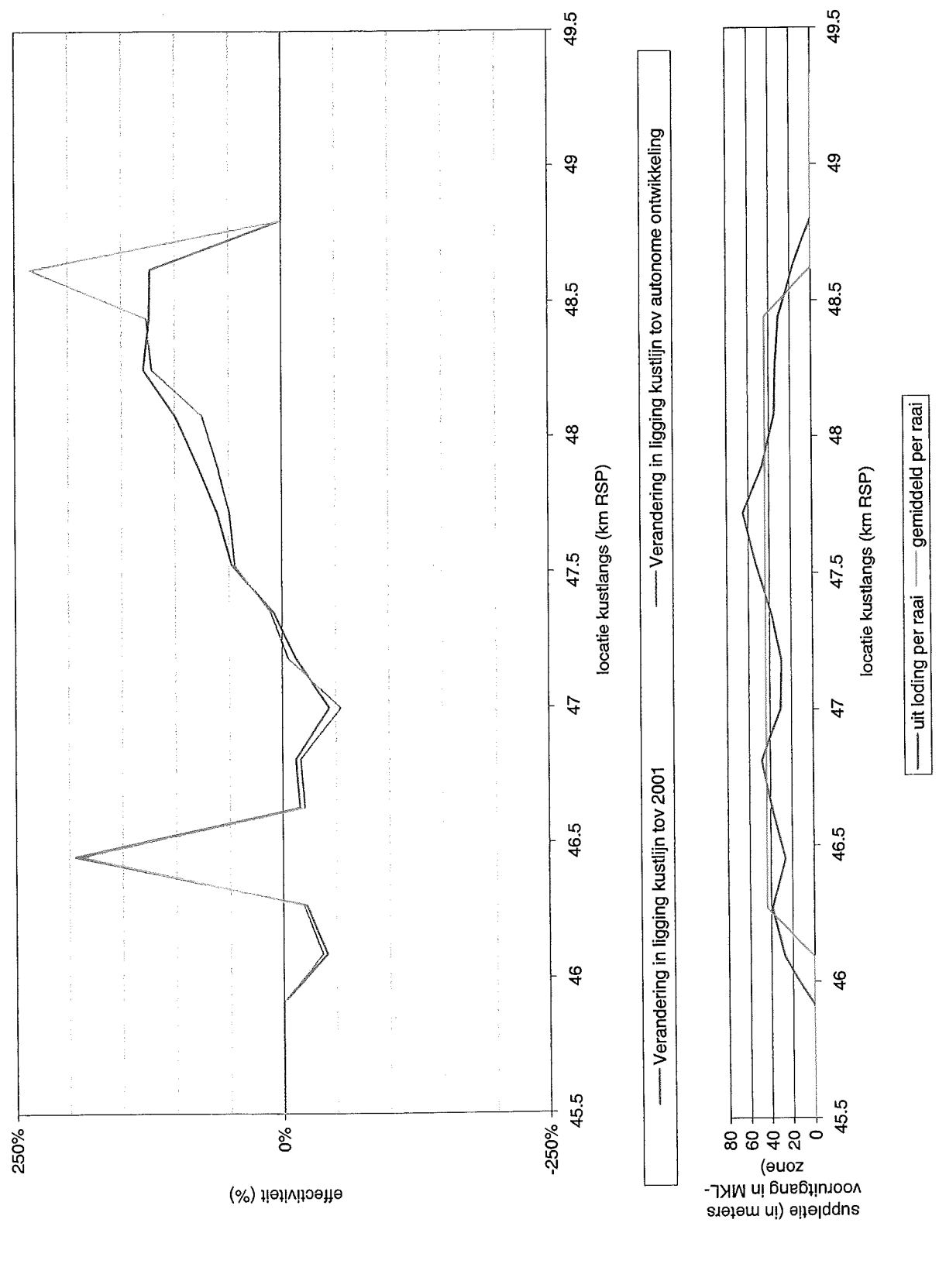
Bodemligging Vlieland (s4); Profiel ontwikkeling RSP raai 48.8  
 Meting: 07/01/1996; 03/06/2001; 08/21/2001; 06/18/2002; 09/15/2003;  
 07/28/2004

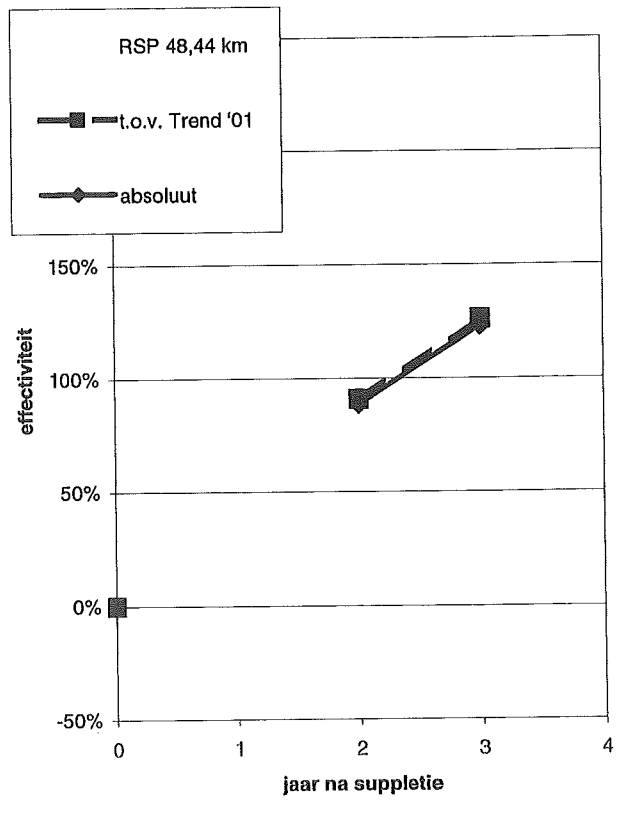
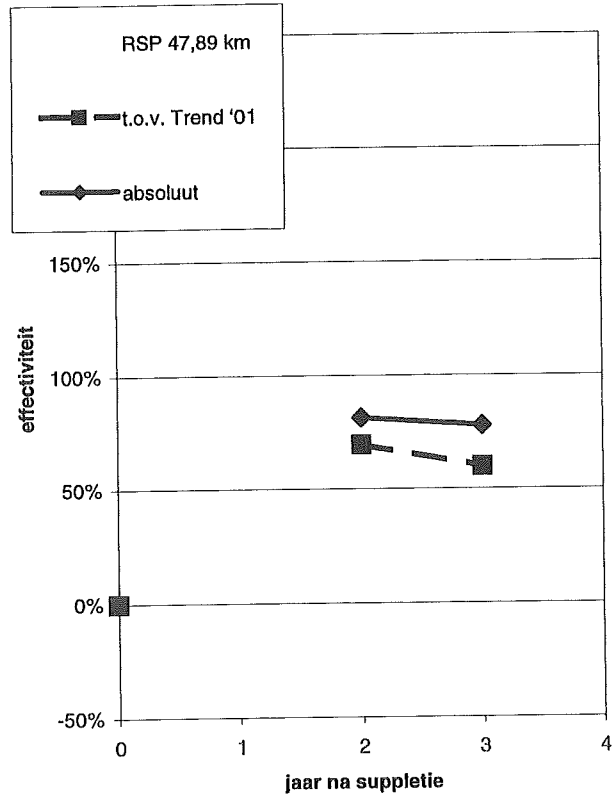
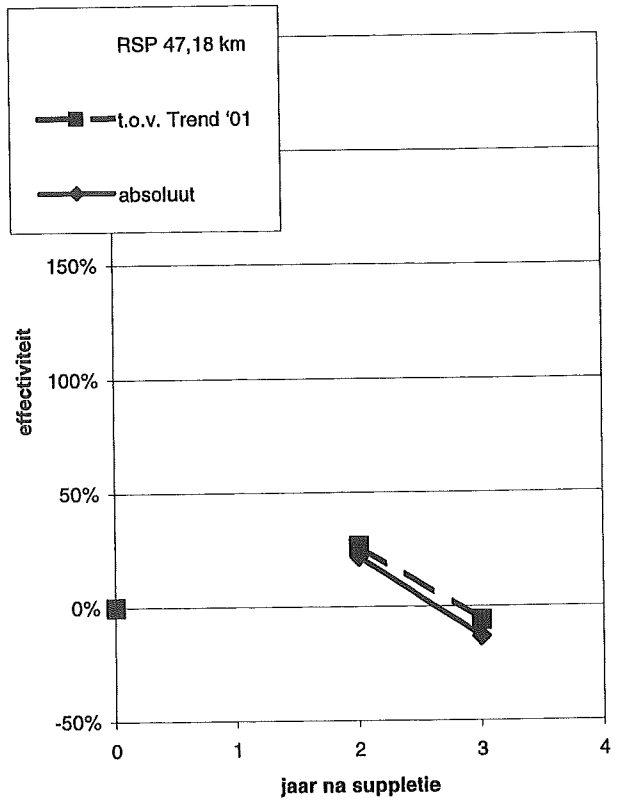
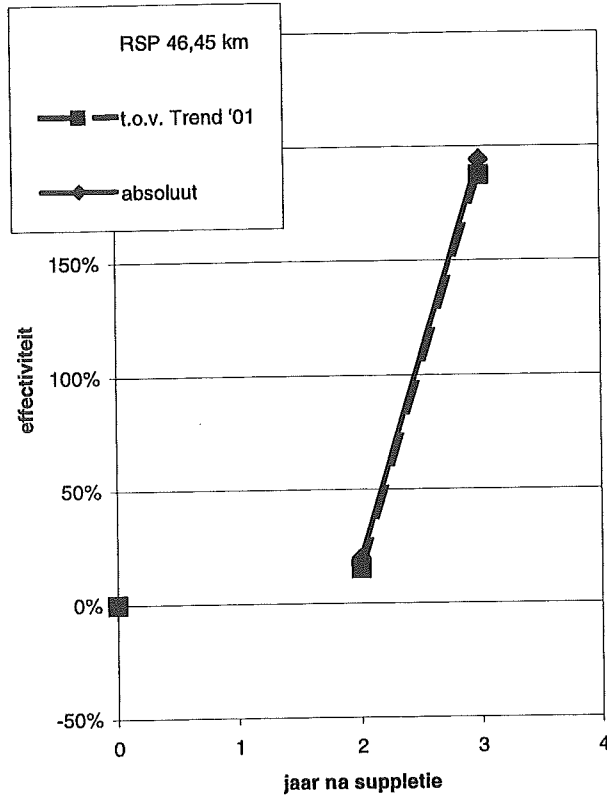
Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Vlieland-oost; kustvak Vlieland  
 jaar 2 (2003)



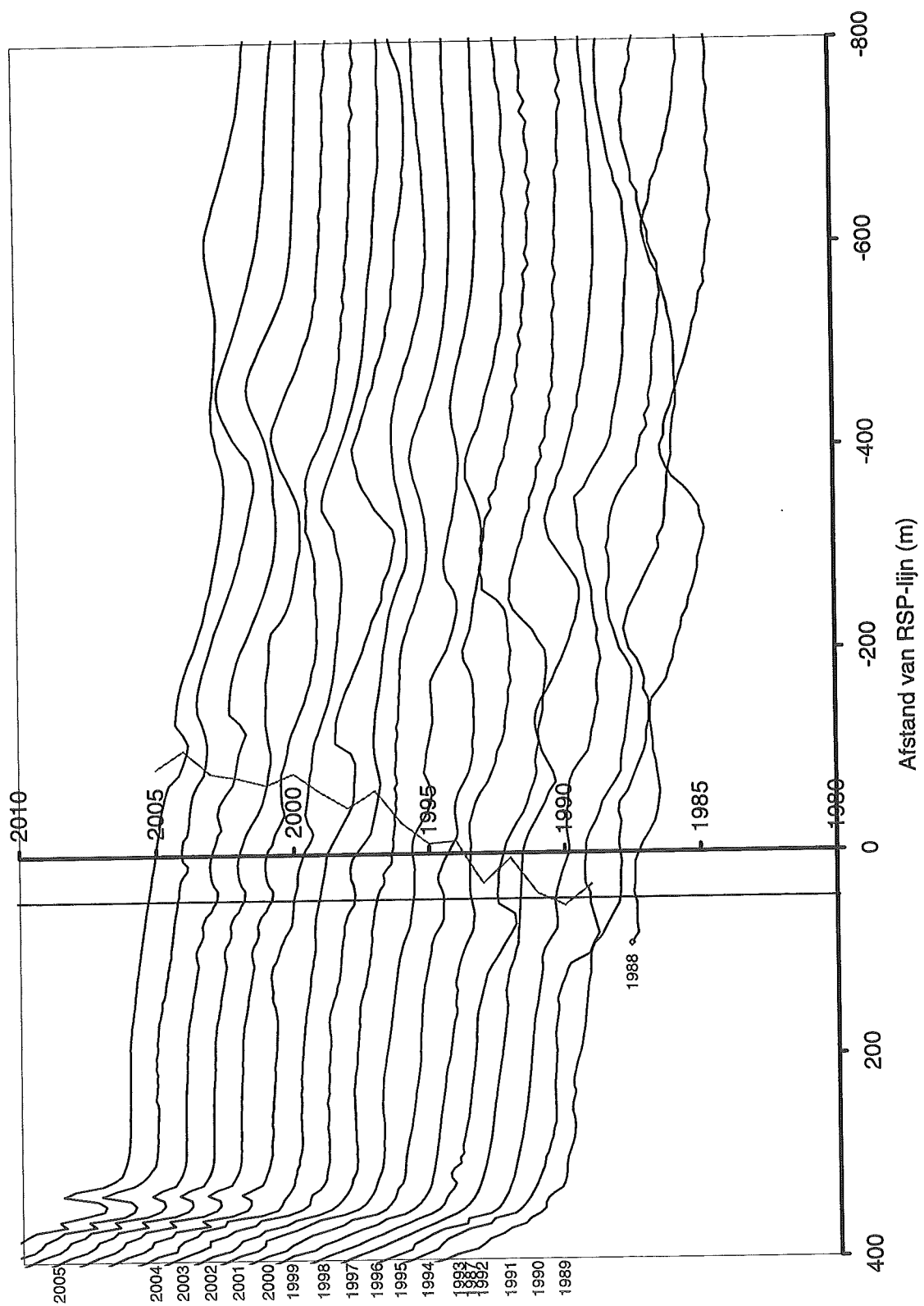


Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Vlieland-oost; kustvak Vlieland  
 jaar 3 (2004)





Berekende effectiviteitslijnen voor Vlieland  
 Voor de raaien: RSP 46,45 km, RSP 47,18 km, RSP 47,89 km en RSP 48,44 km

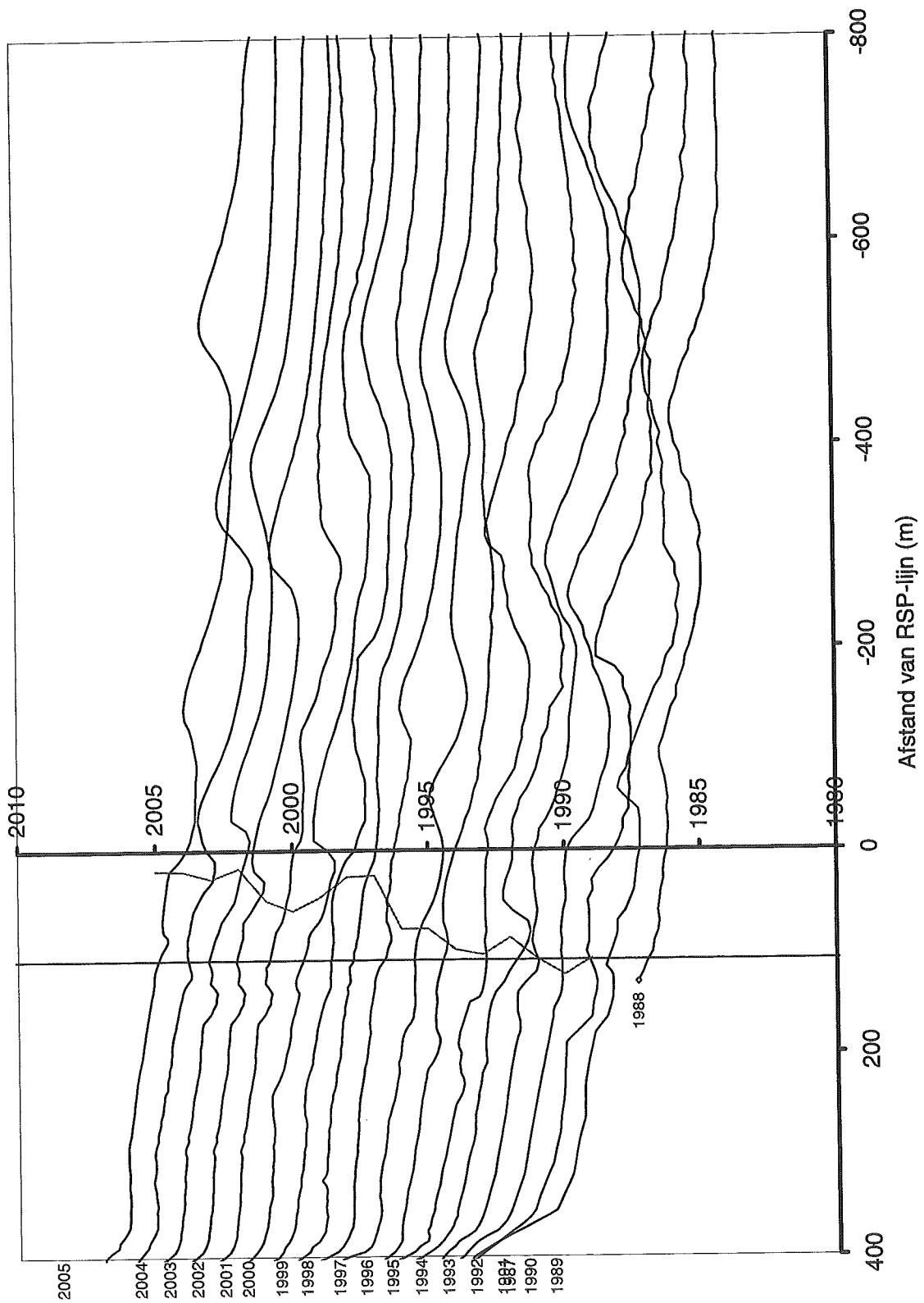


Time-stacks Terschelling

RSP raai 15

Raai: 15

Kustvak: Terschelling

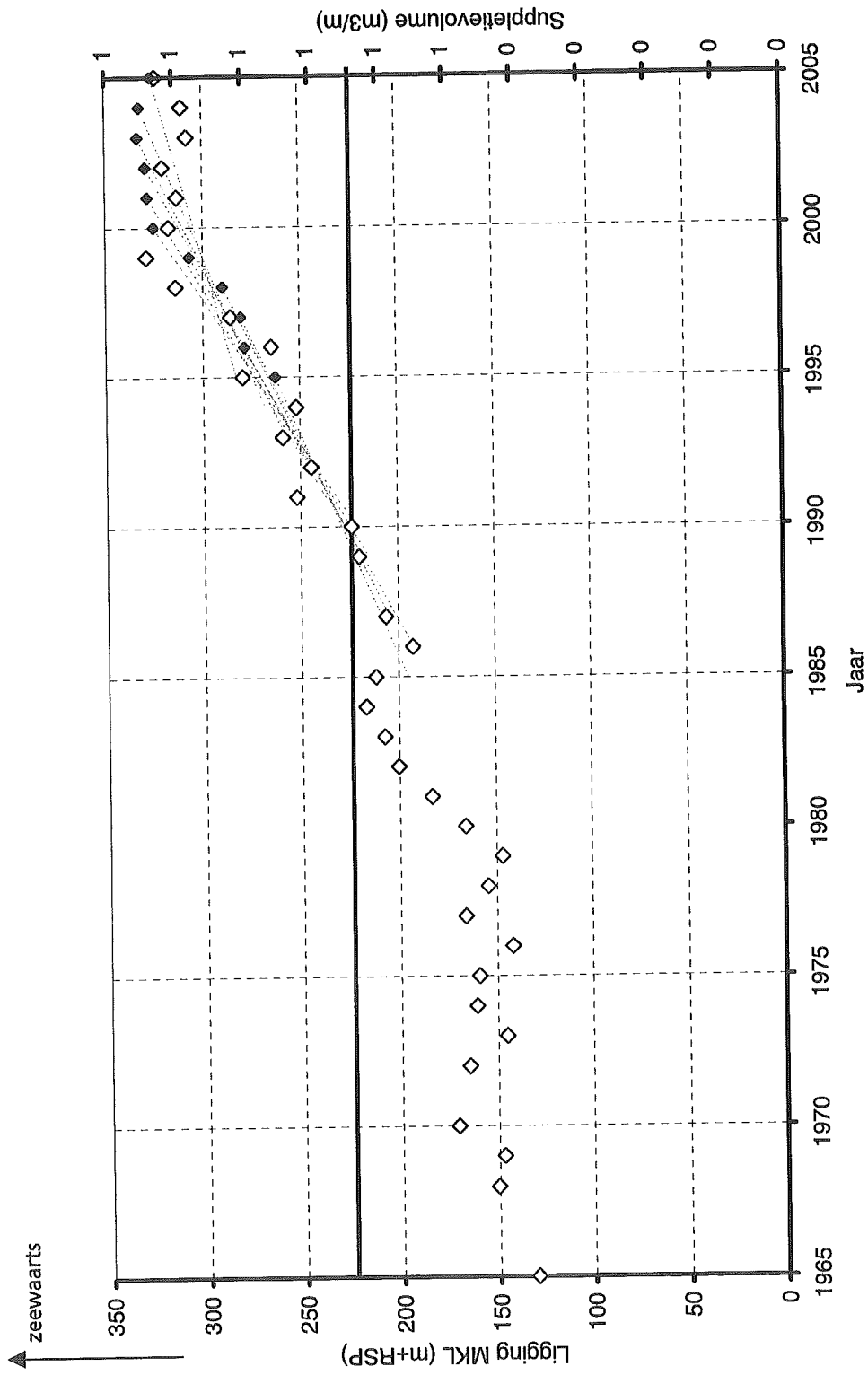


Time-stacks Terschelling

RSP raai 17

Raai: 17

Kustvak: Terschelling

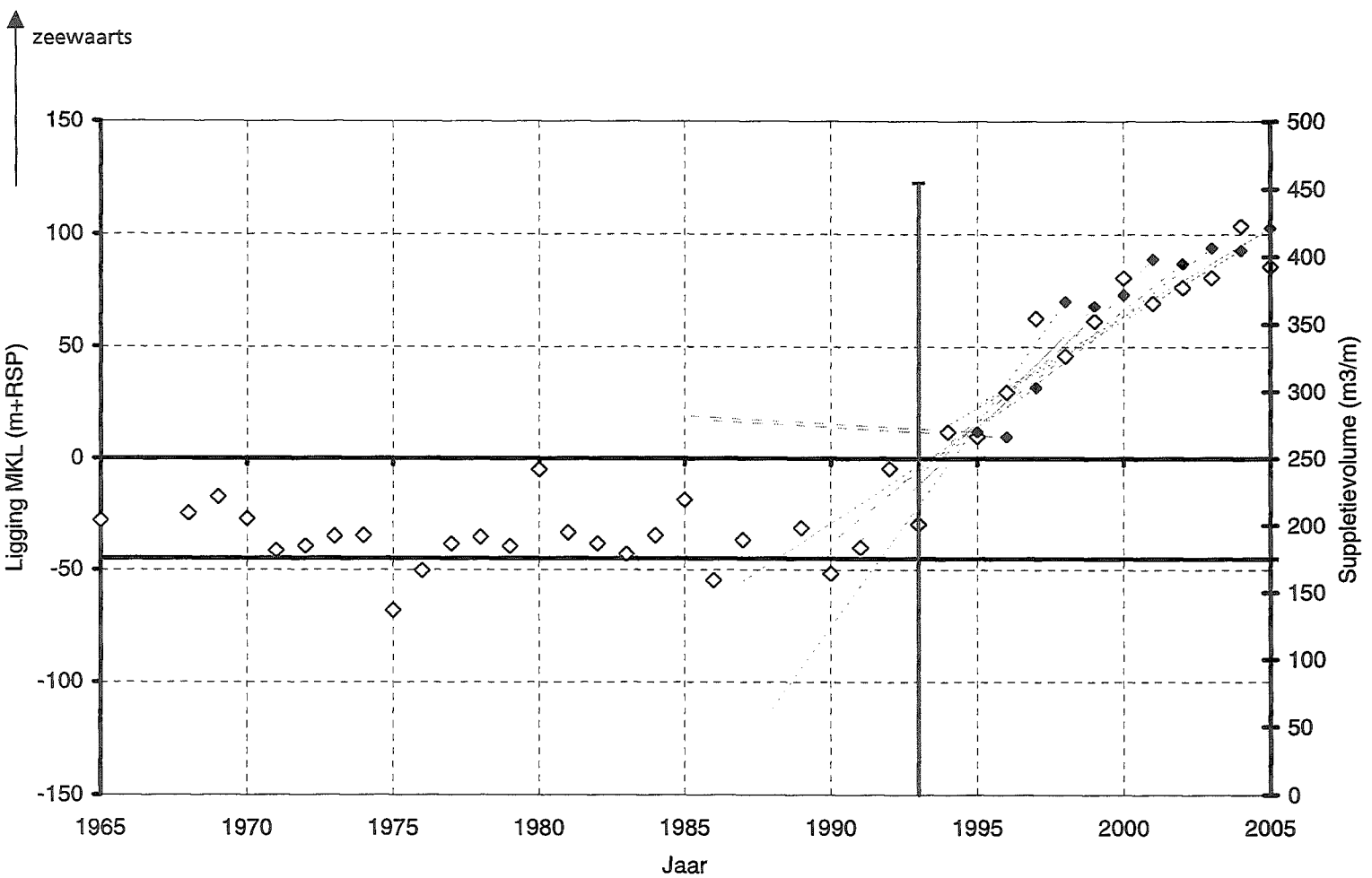


Berekende MKL-posities voor Terschelling

RSP raai 12

Raai: 12

Kustvak: Terschelling



Berekende MKL-posities voor Terschelling  
RSP raai 15

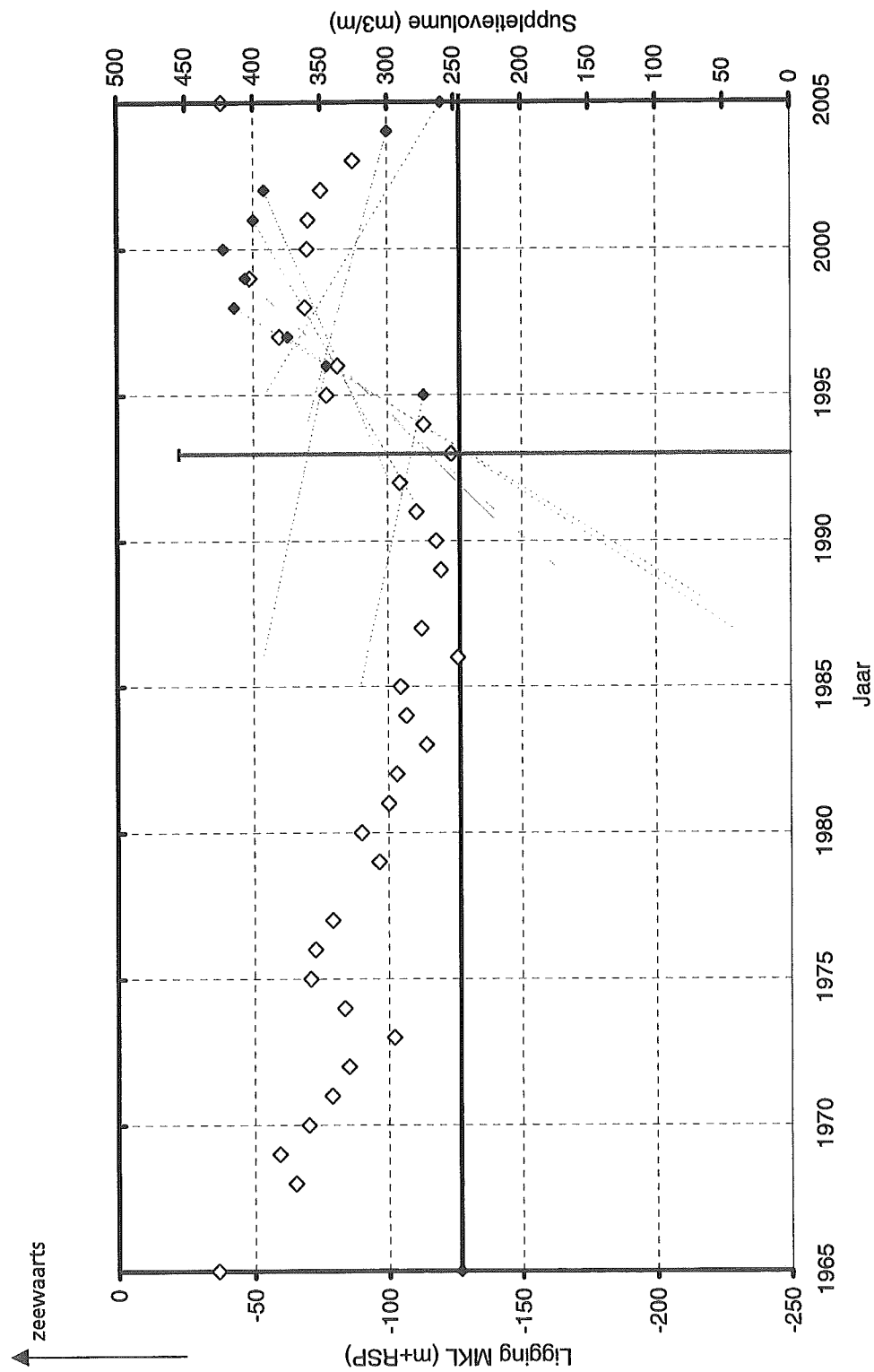
Raai: 15  
Kustvak: Terschelling

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539



Fig. 3.87



Berekende MKL-posities voor Terschelling

RSP raai 18

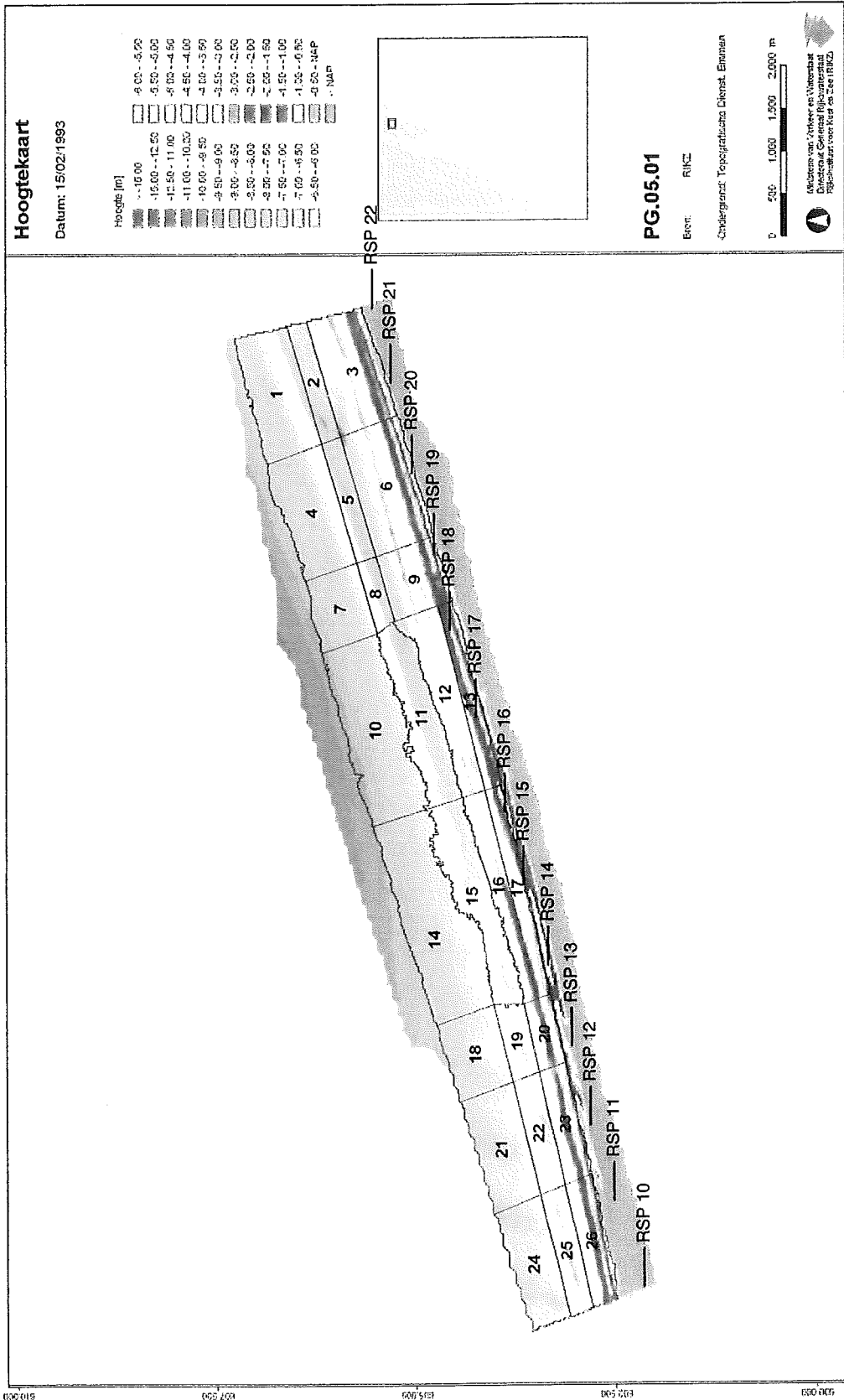
Raai: 18

Kustvak: Terschelling



EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES		A1539		Alkyon	Fig. 3.89
Berekende MKL-posities voor Terschelling		Raai: 20			
RSP raai 20		Kustvak: Terschelling			





Bodemopname Terschelling

Datum: 15 februari 1993

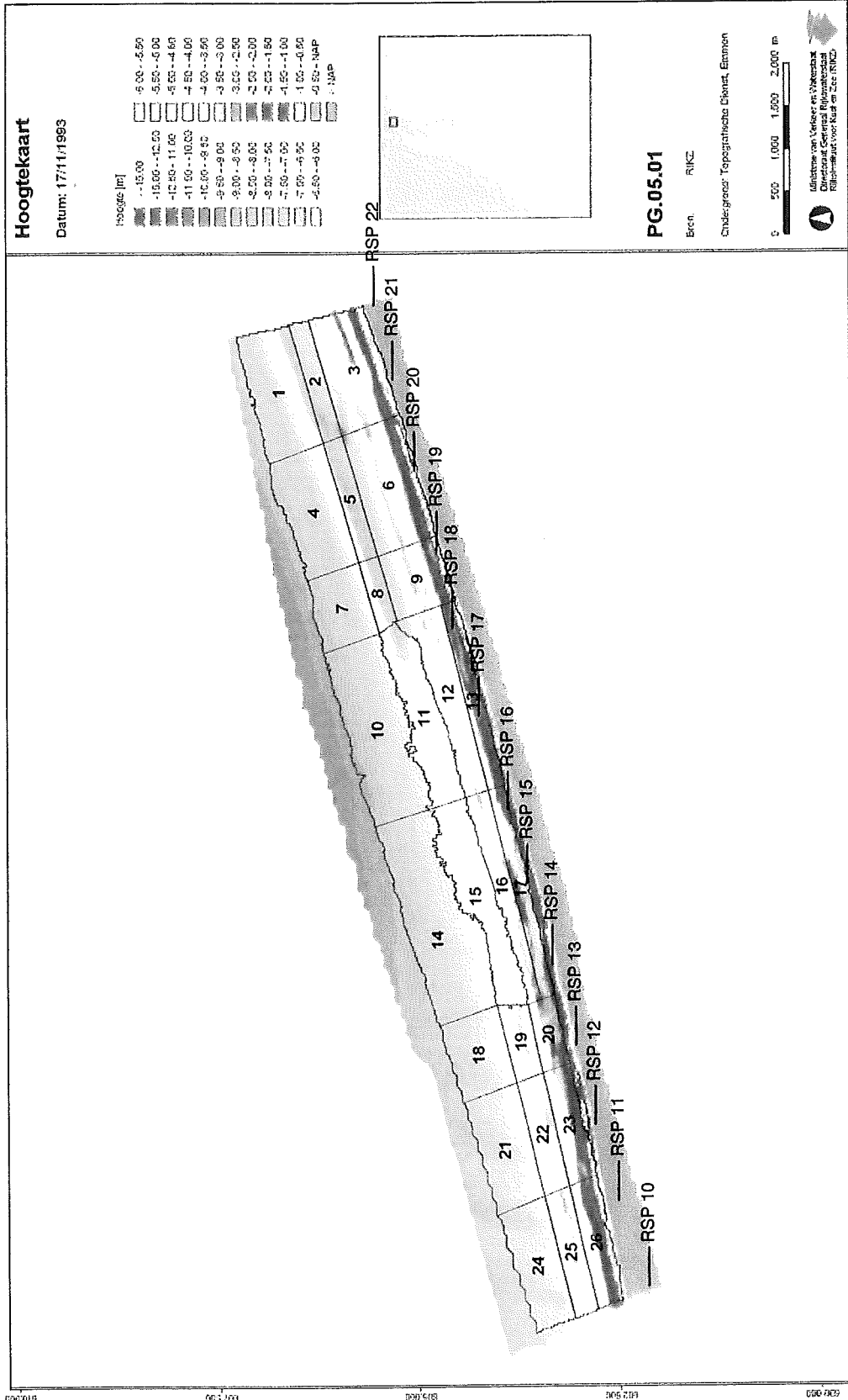
Vòòr de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.90



Bodemopname Terschelling

Datum: 17 november 1993

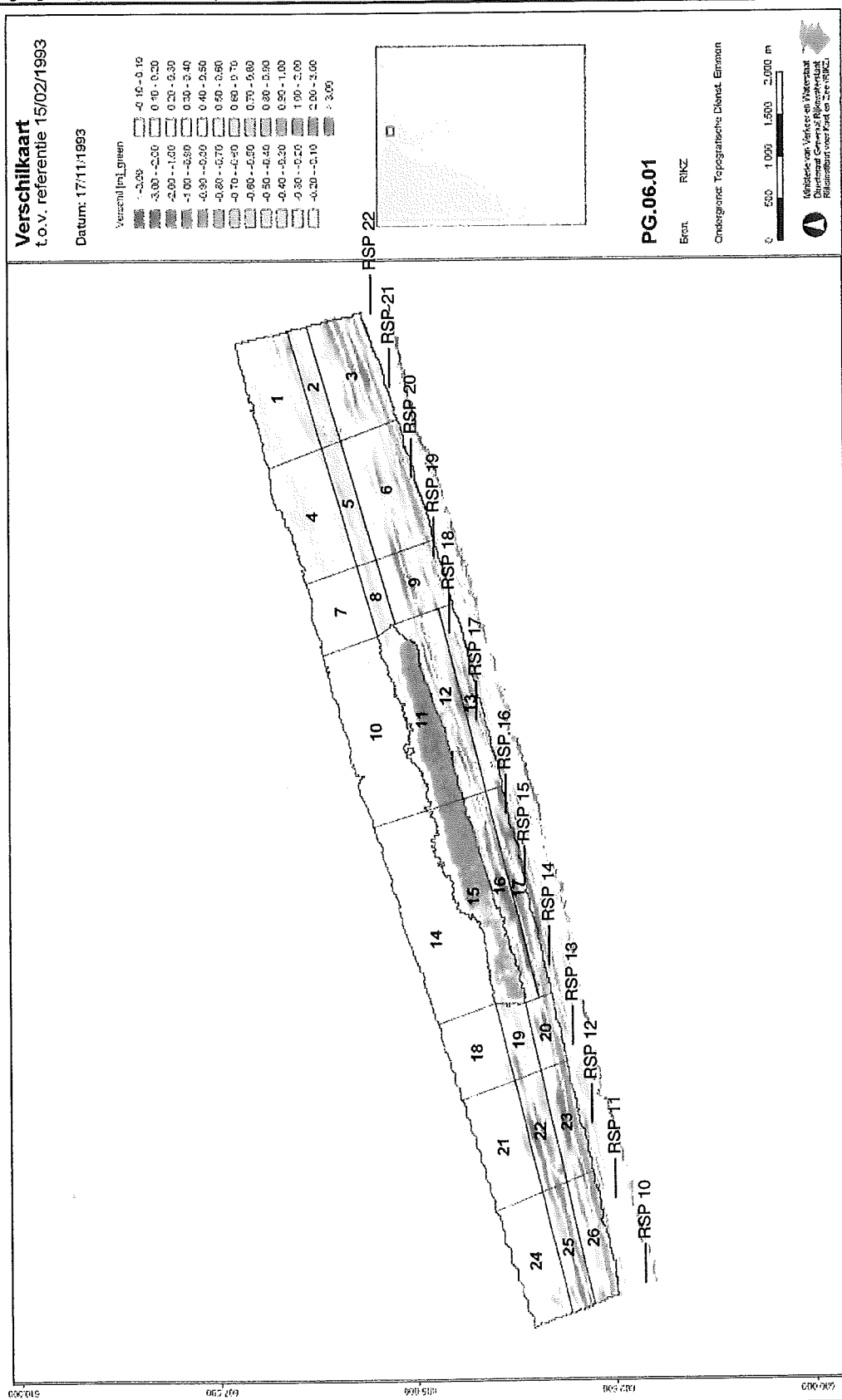
Ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.91



Verschilkaart Terschelling ten opzichte van 15 februari 2003

Datum: 17 november 1993

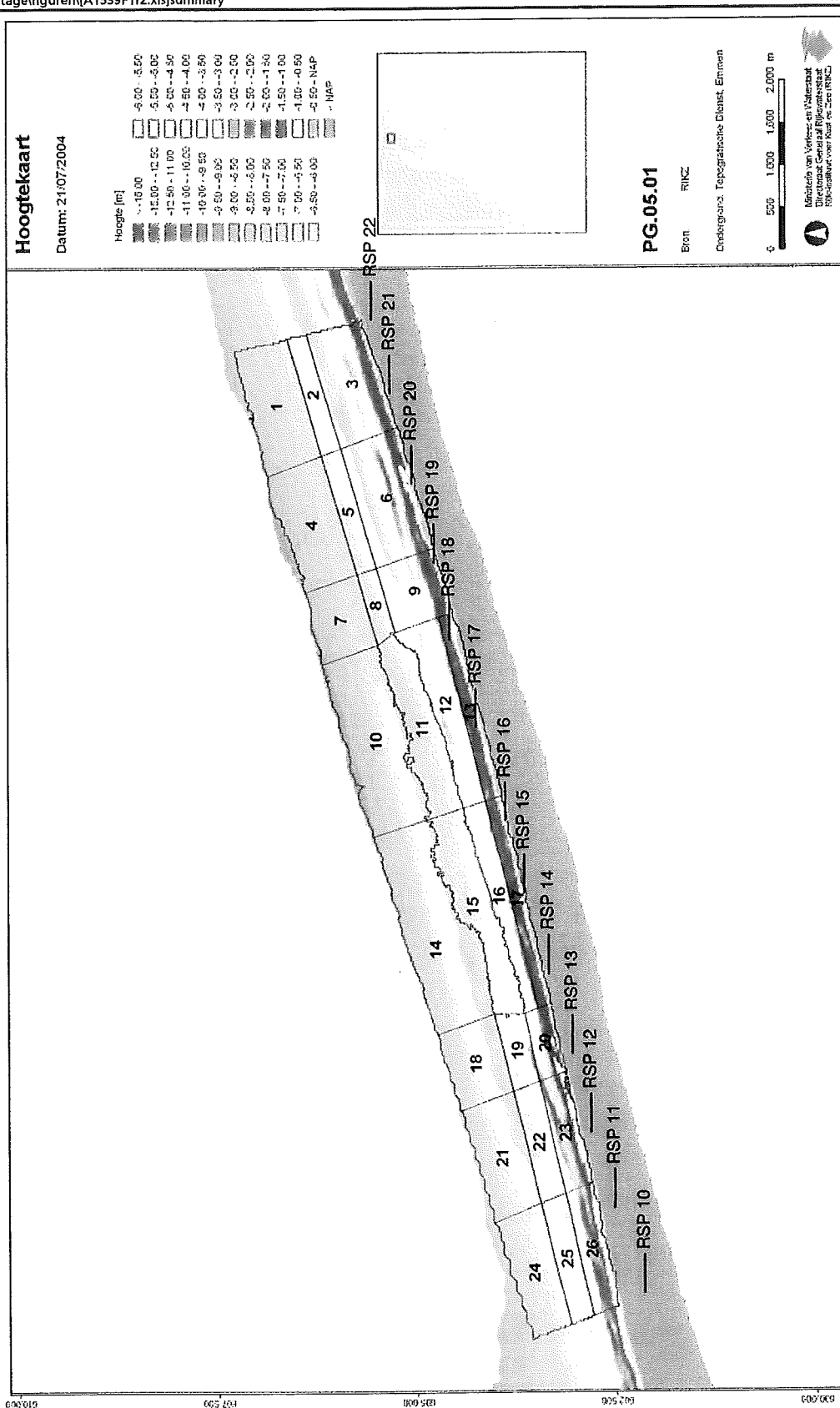
Vòòr en ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.92



Bodemopname Terschelling

Datum: 21 juli 2004

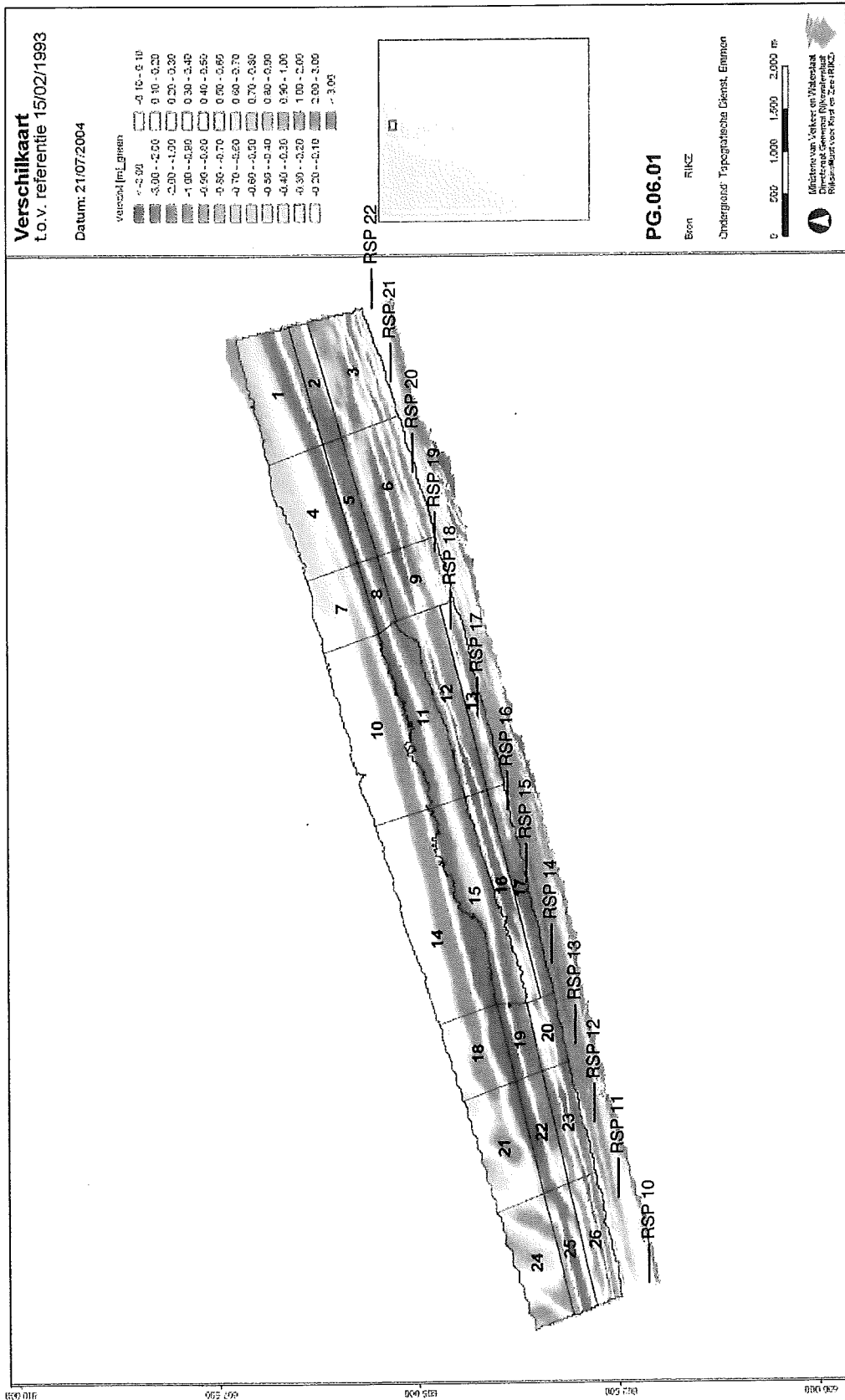
Elf jaar na de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.93



Verschilkaart Terschelling ten opzichte van 15 februari 2003

Datum: 21 juli 2004

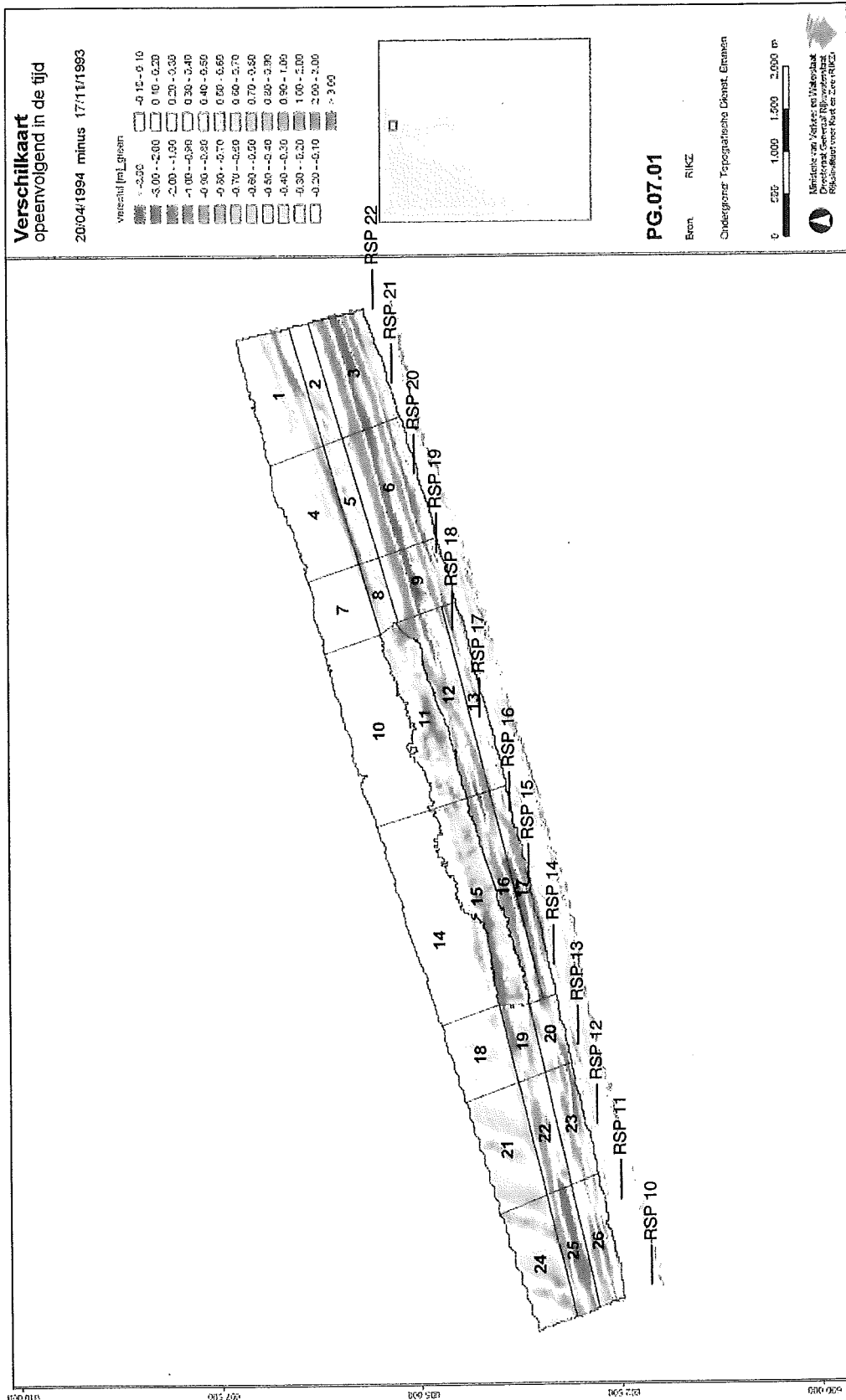
Elf jaar na de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.94



Verschilkaart Terschelling

Eerste winterseizoen

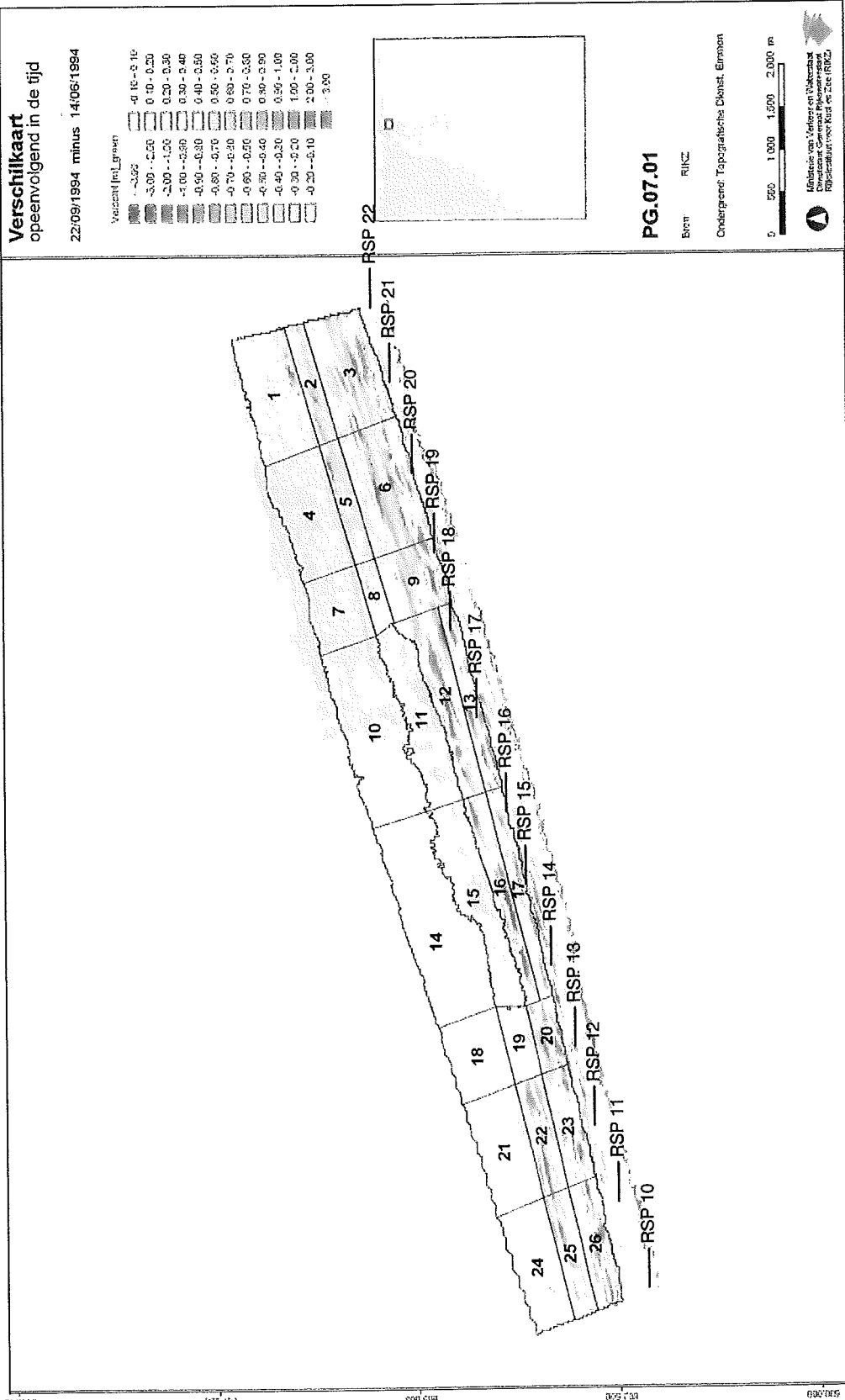
20 april 1994 minus 17 november 1993

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.95



Verschilkaart Terschelling

Eerste zomerseizoen

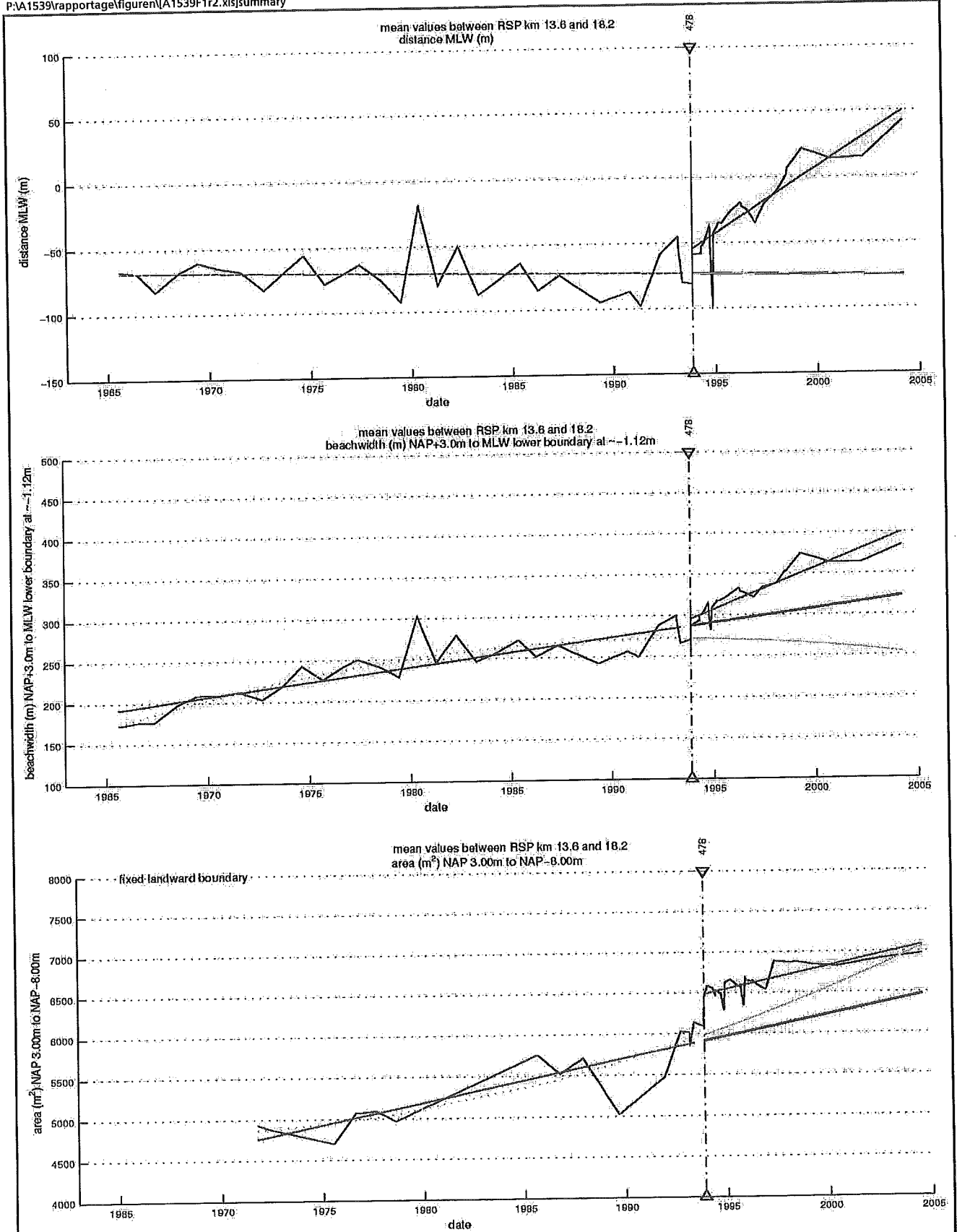
22 september 1994 minus 14 juni 1994

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

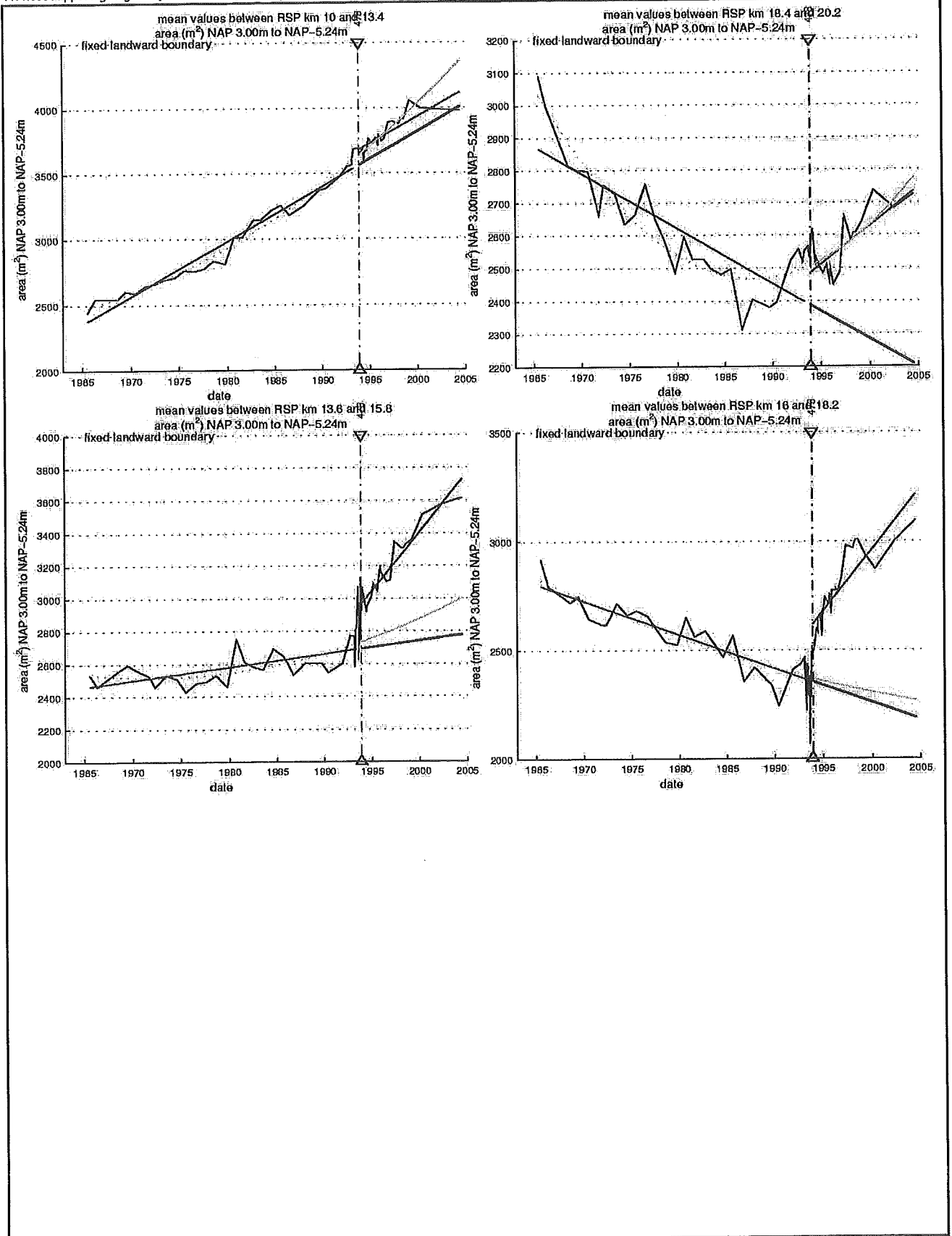


Fig. 3.96

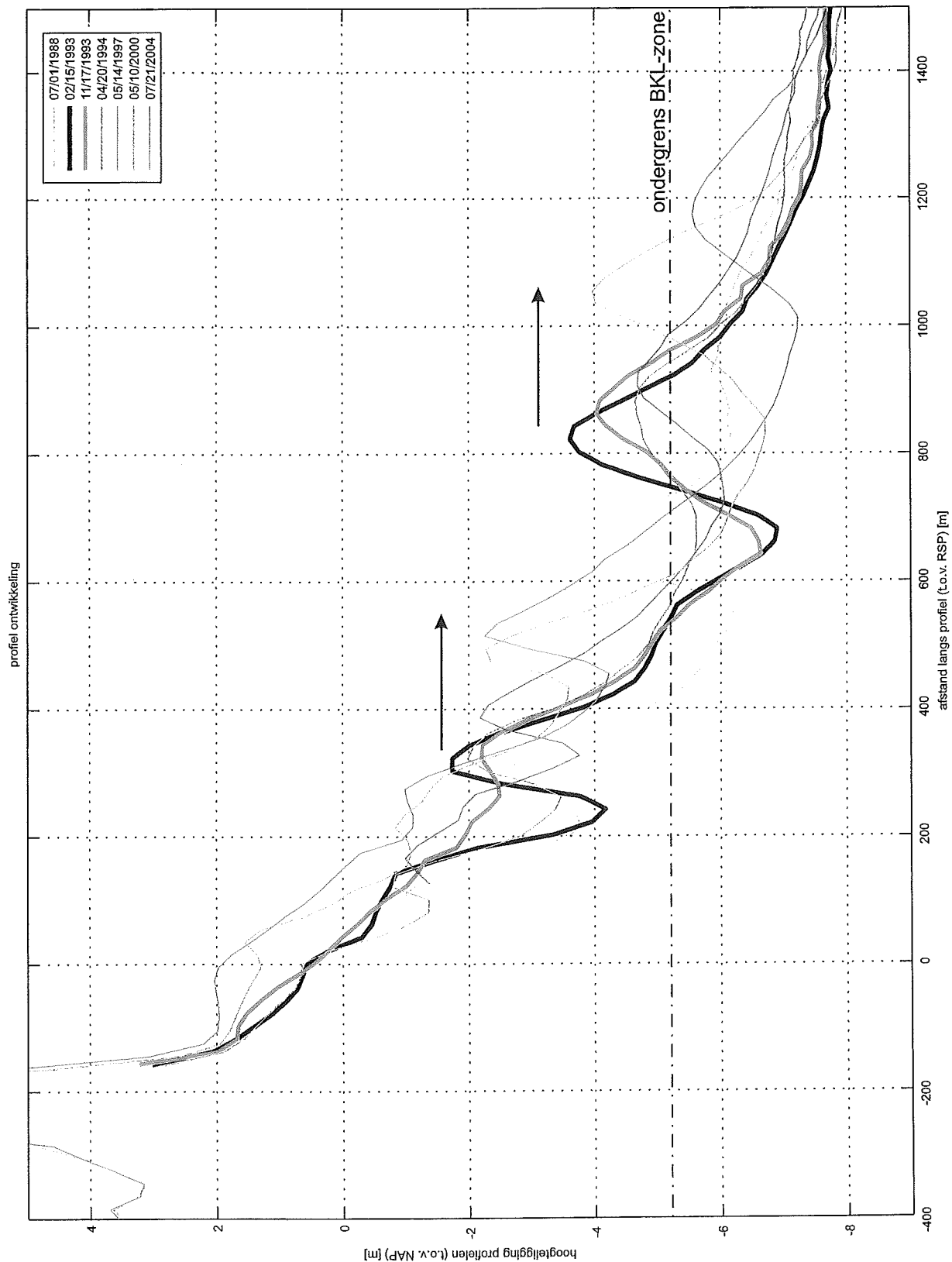


Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -8 m

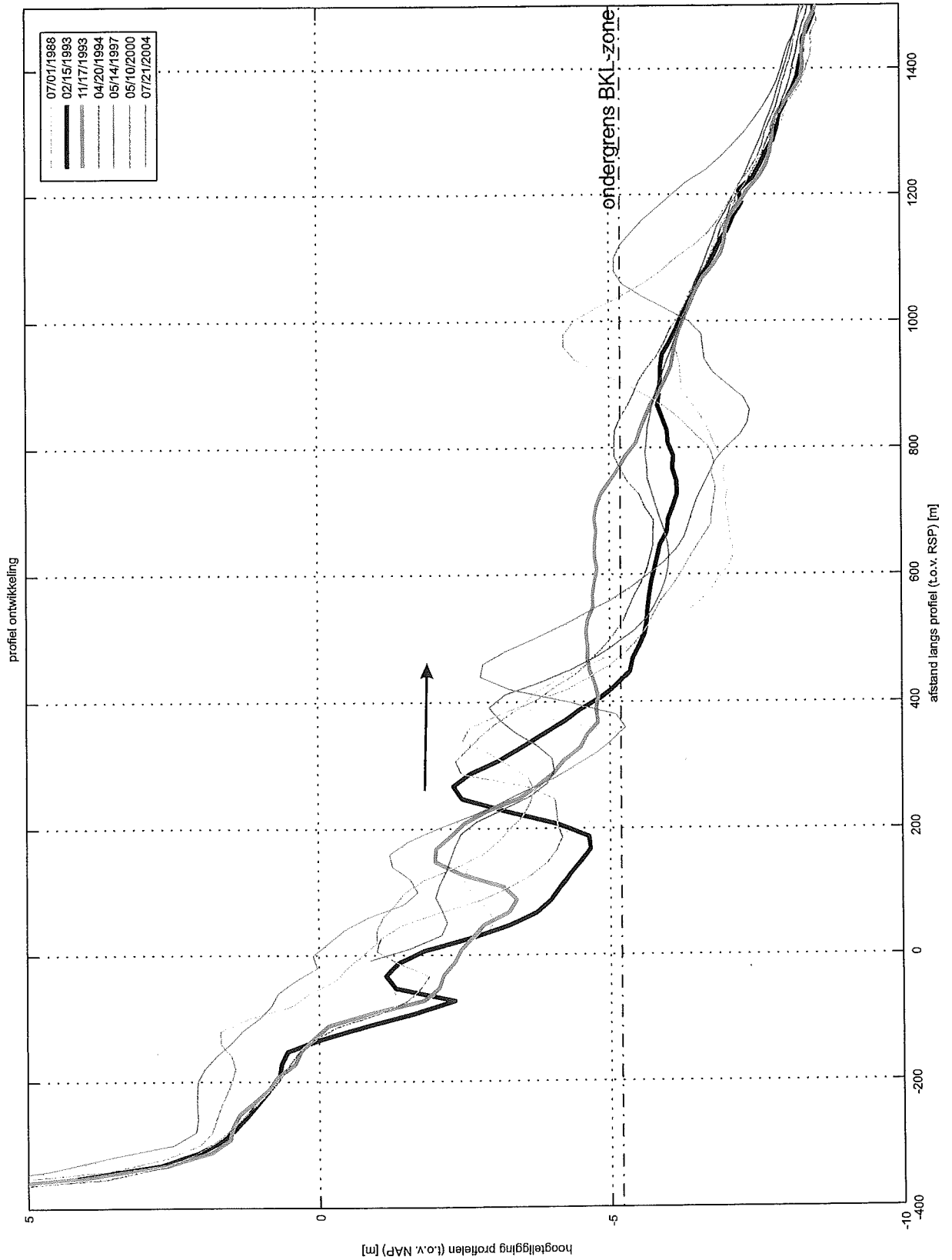




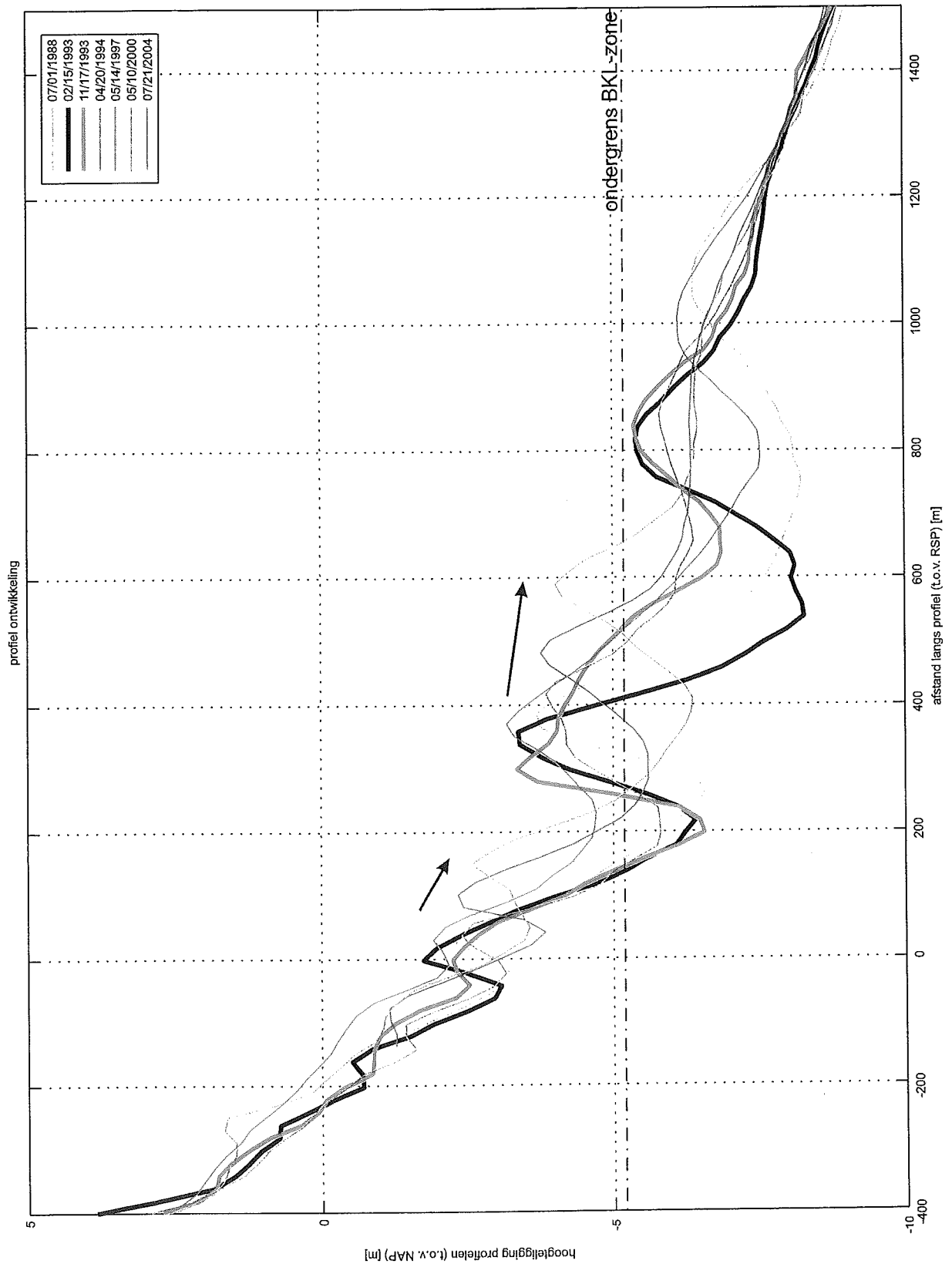
Zandvolume NAP + 3m / NAP -5,2 m in vier kustvakken



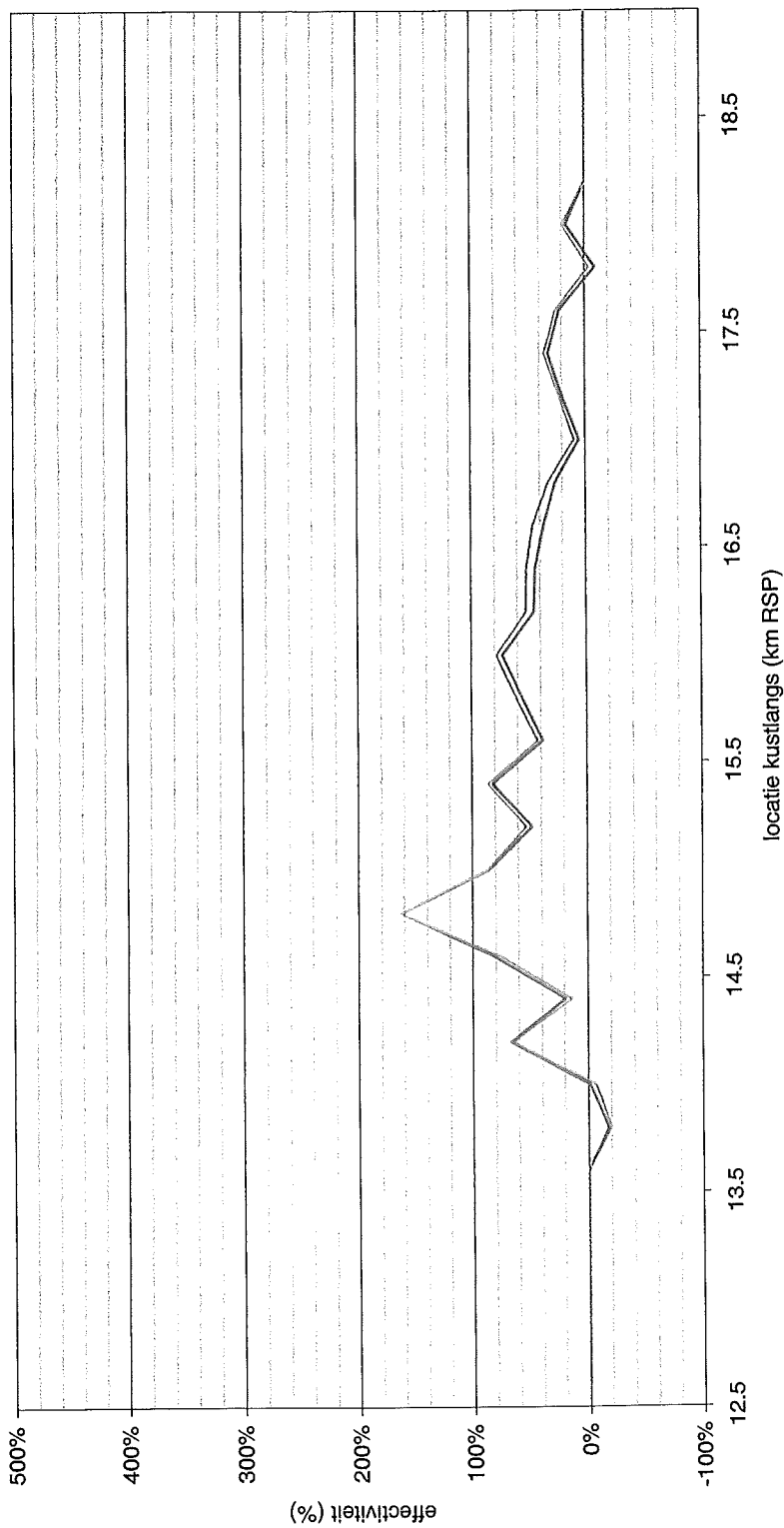
Bodemligging Terschelling (s5); Profiel ontwikkeling RSP raai 13  
 Meting: 07/01/1988; 02/15/1993; 11/17/1993; 04/20/1994; 05/14/1997;  
 05/10/2000; 07/21/2004



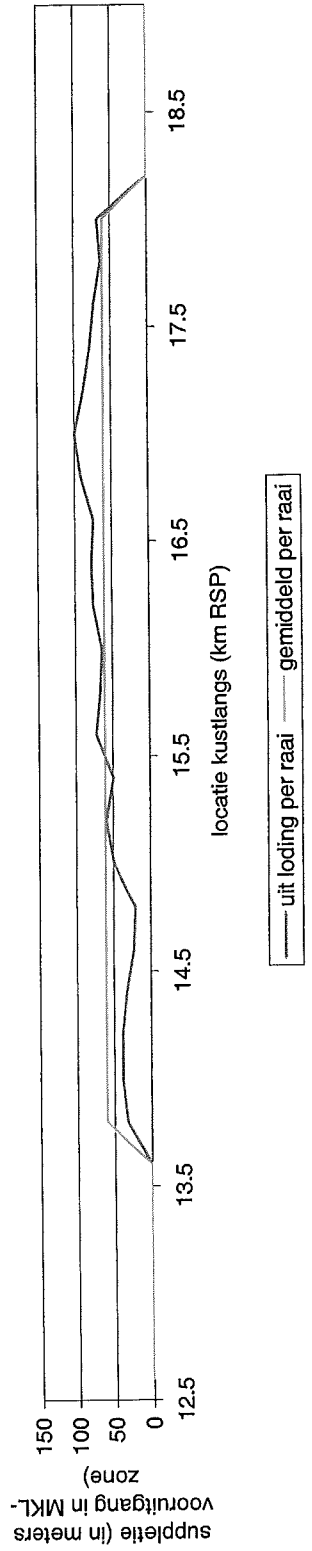
Bodemligging Terschelling (s5); Profiel ontwikkeling RSP raai 15  
 Meting: 07/01/1988; 02/15/1993; 11/17/1993; 04/20/1994; 05/14/1997;  
 05/10/2000; 07/21/2004



Bodemligging Terschelling (s5); Profiel ontwikkeling RSP raai 18  
 Meting: 07/01/1988; 02/15/1993; 11/17/1993; 04/20/1994; 05/14/1997;  
 05/10/2000; 07/21/2004

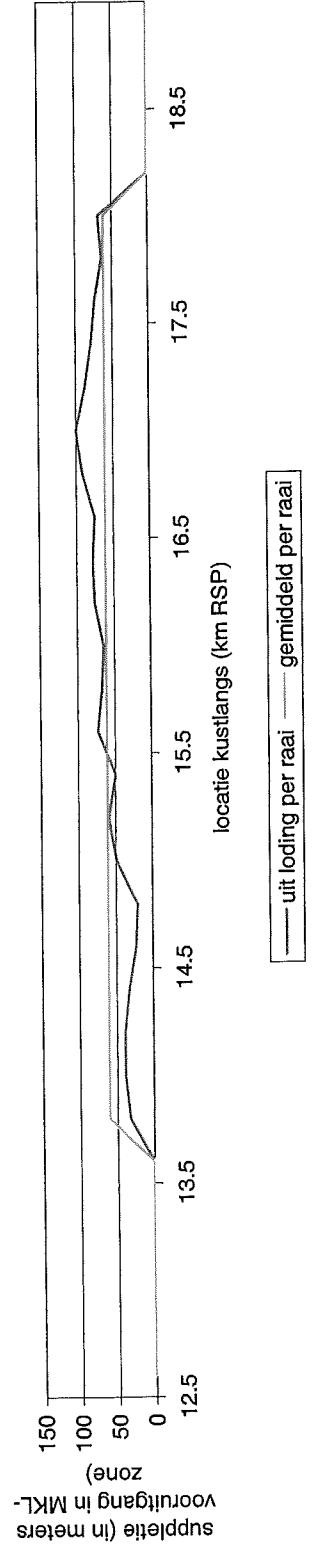
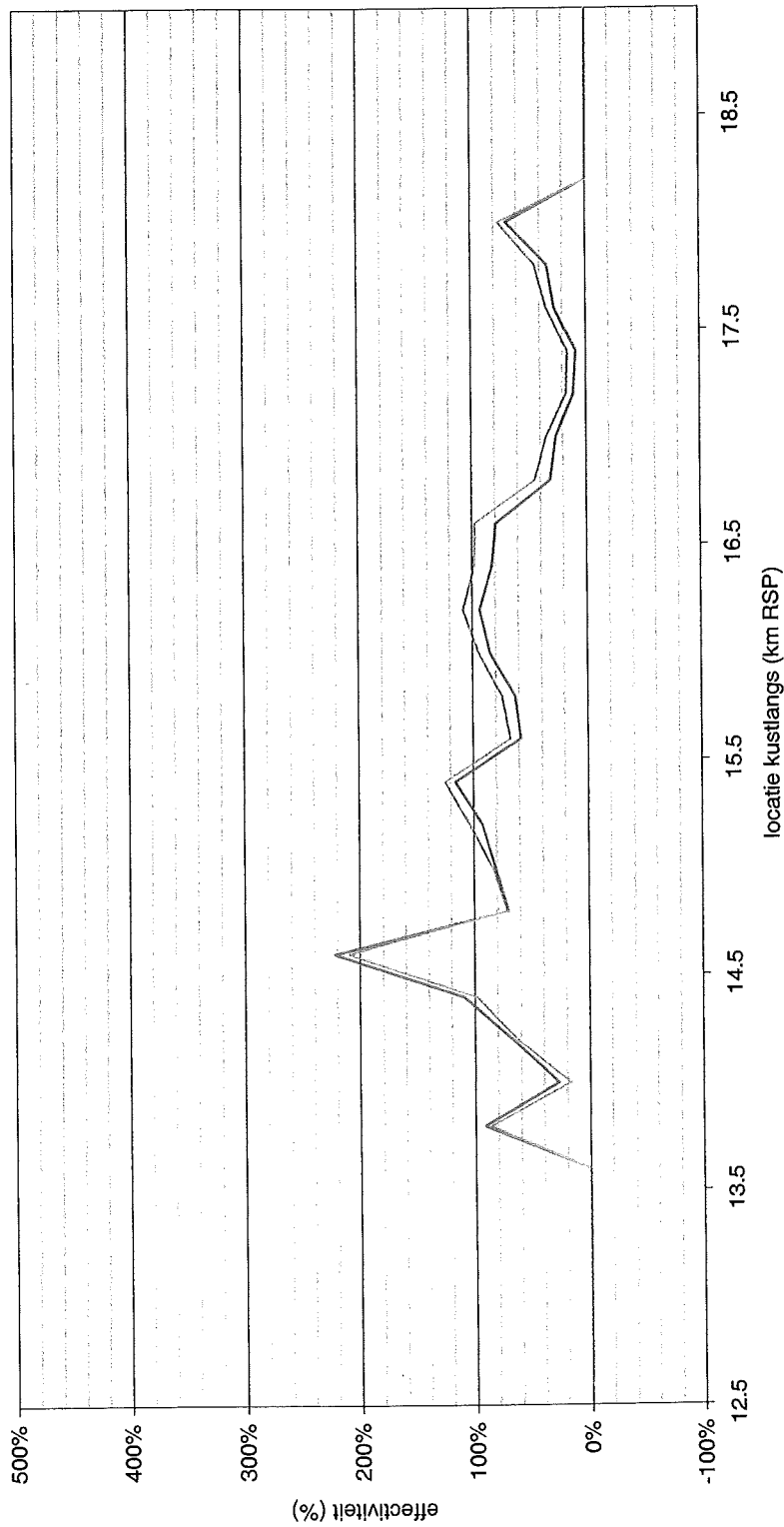


— Verandering in ligging kustlijn tov 1993      - - - - Verandering in ligging kustlijn tov autonome ontwikkeling



— uit loding per raai      - - - - gemiddeld per raai

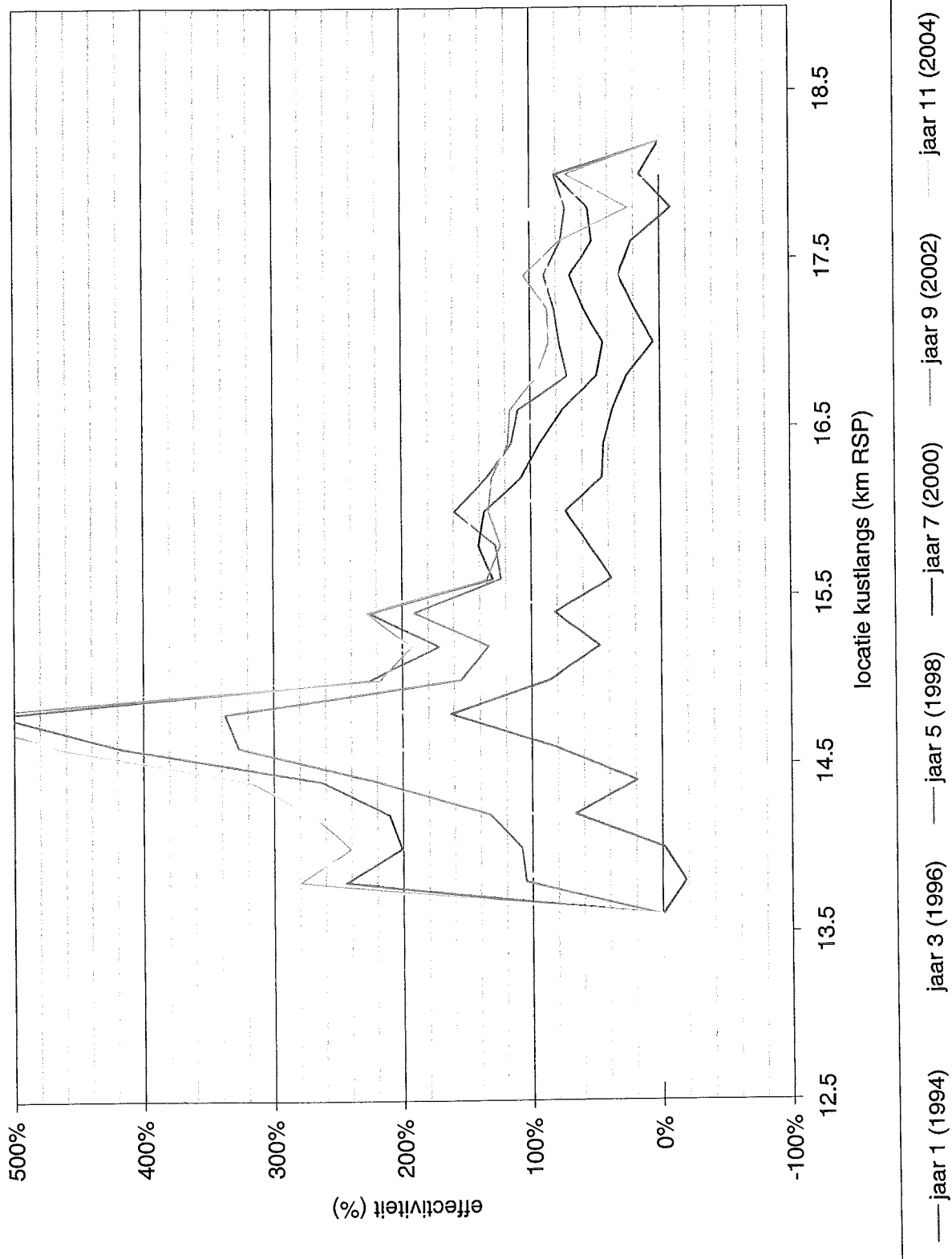
Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Terschelling-midden; kustvak Terschelling  
 jaar 1 (1994)



Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij Terschelling-midden; kustvak Terschelling

jaar 2 (1995)



Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij Terschelling-midden; kustvak Terschelling

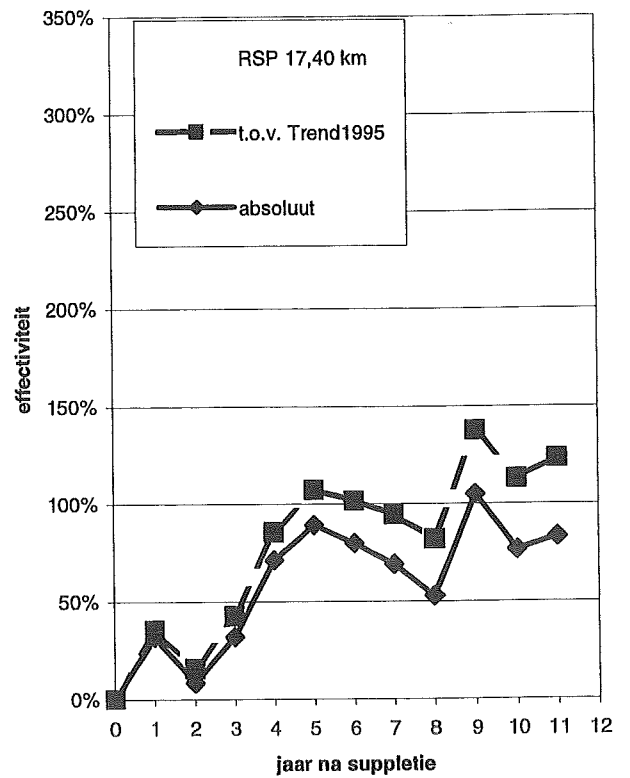
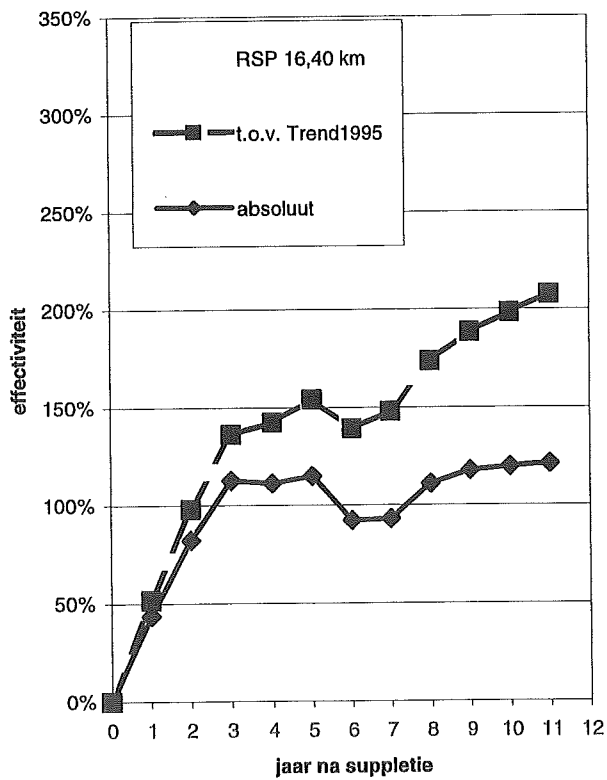
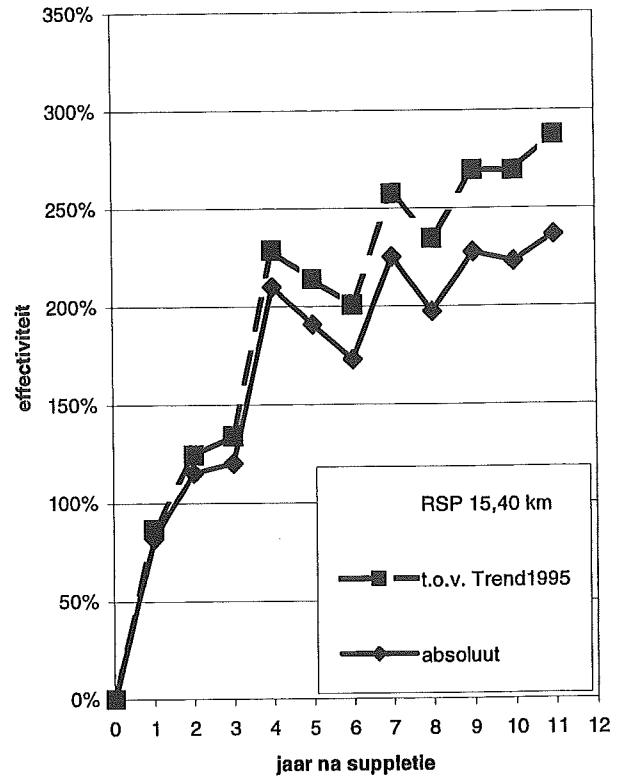
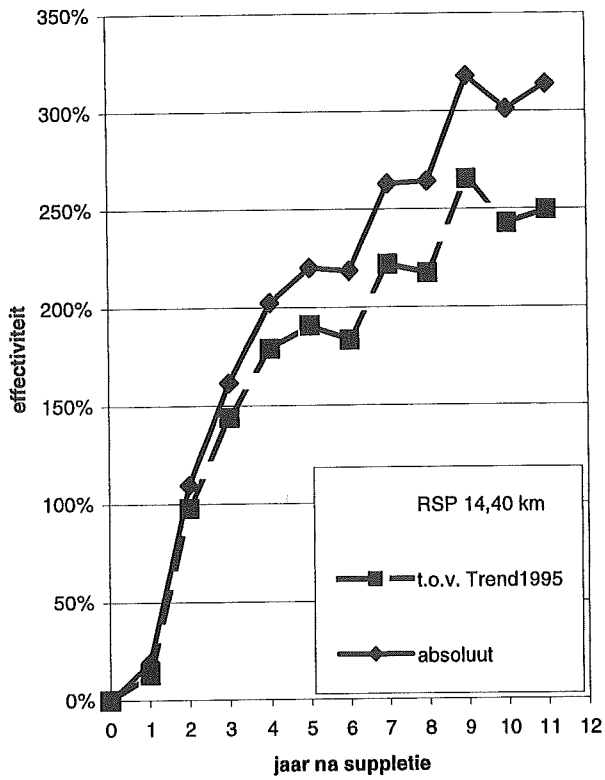
Verandering in ligging kustlijn tov 1993

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



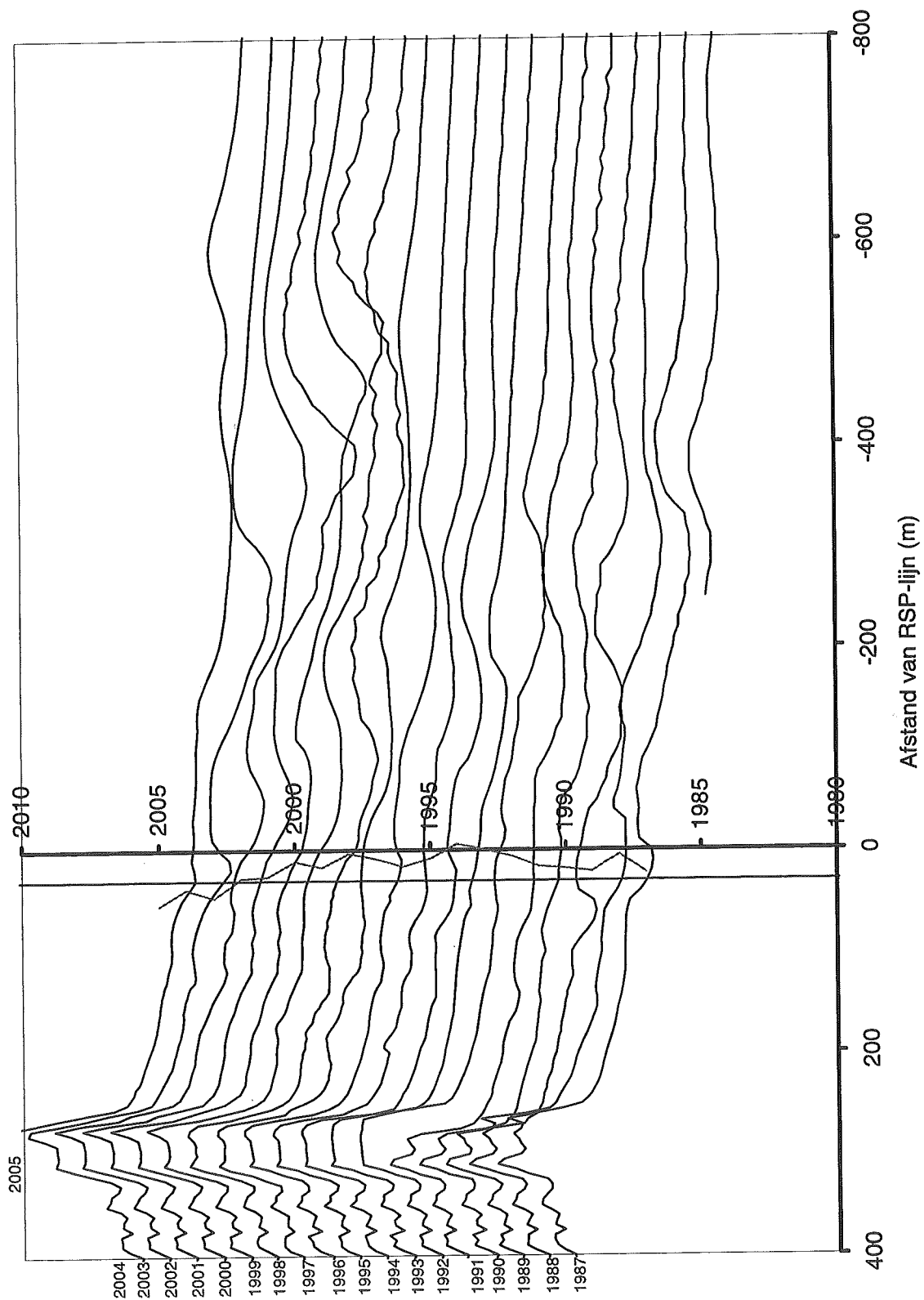
Fig. 3.104



Berekende effectiviteitslijnen voor Terschelling

Voor de raaien: RSP 14,40 km, RSP 15,40 km, RSP 16,40 km en RSP 17,40 km



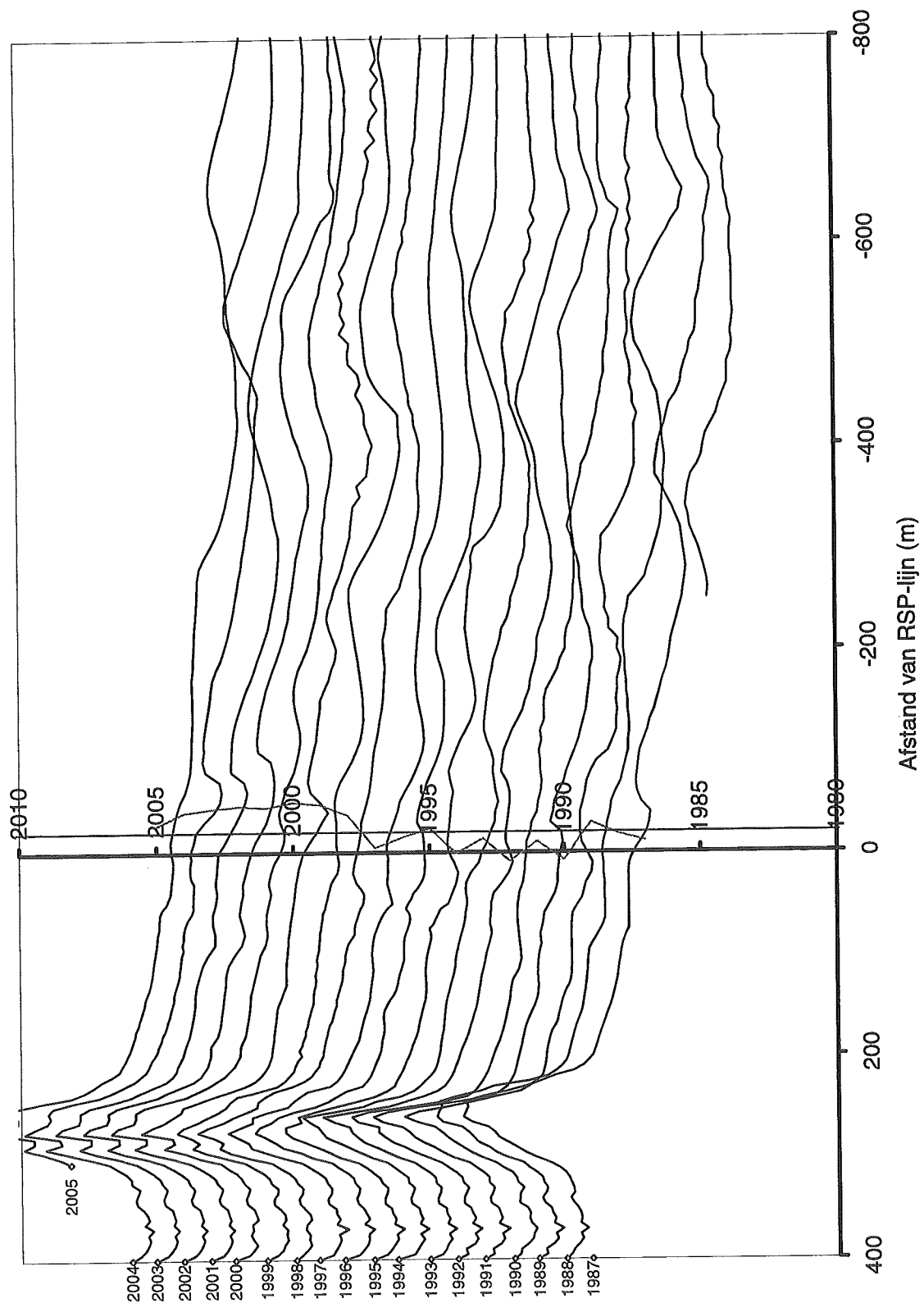


Time-stacks Ameland

RSP raai 12

Raai: 12

Kustvak: Ameland

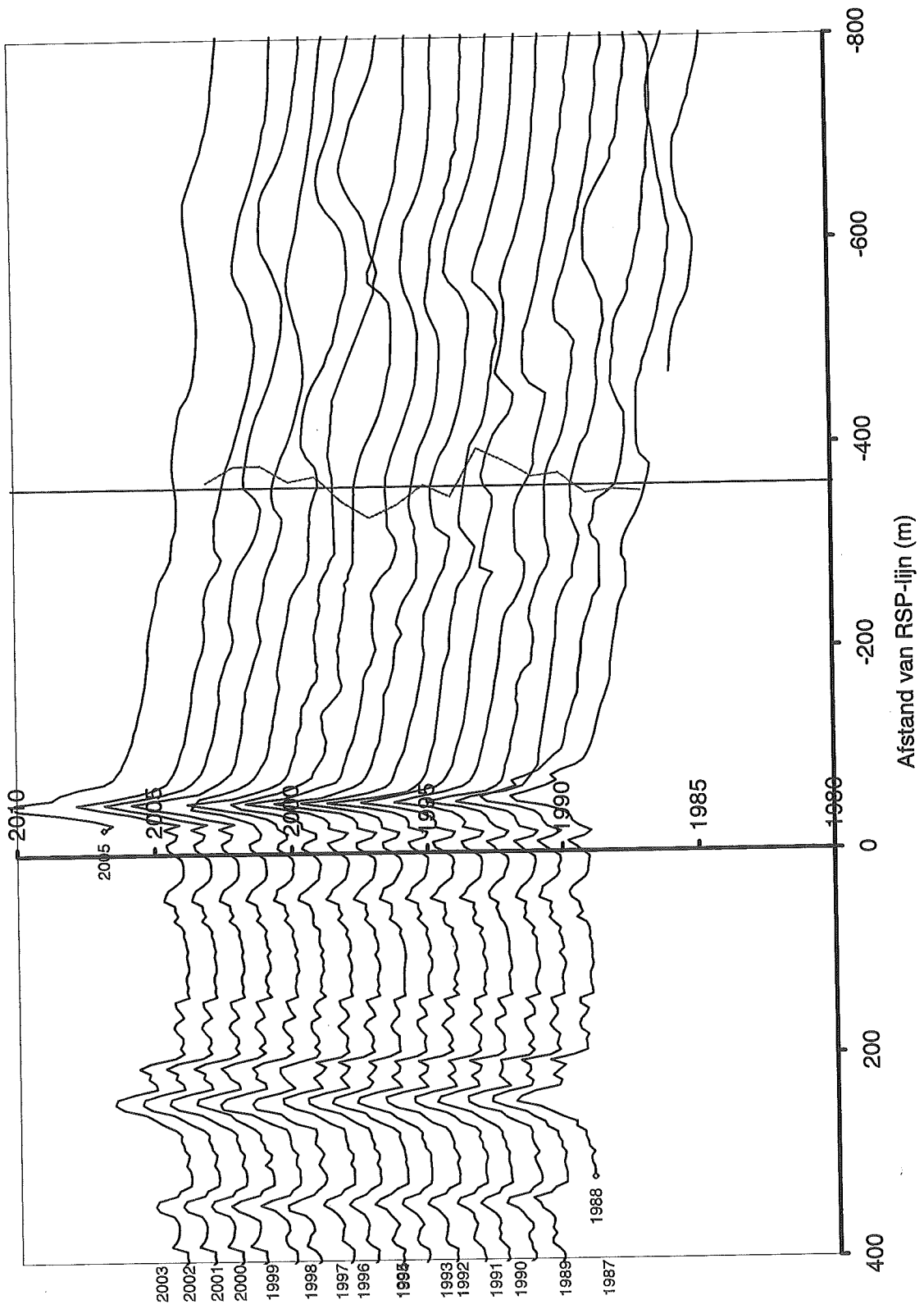


Time-stacks Ameland

RSP raai 17

Raai: 17

Kustvak: Ameland

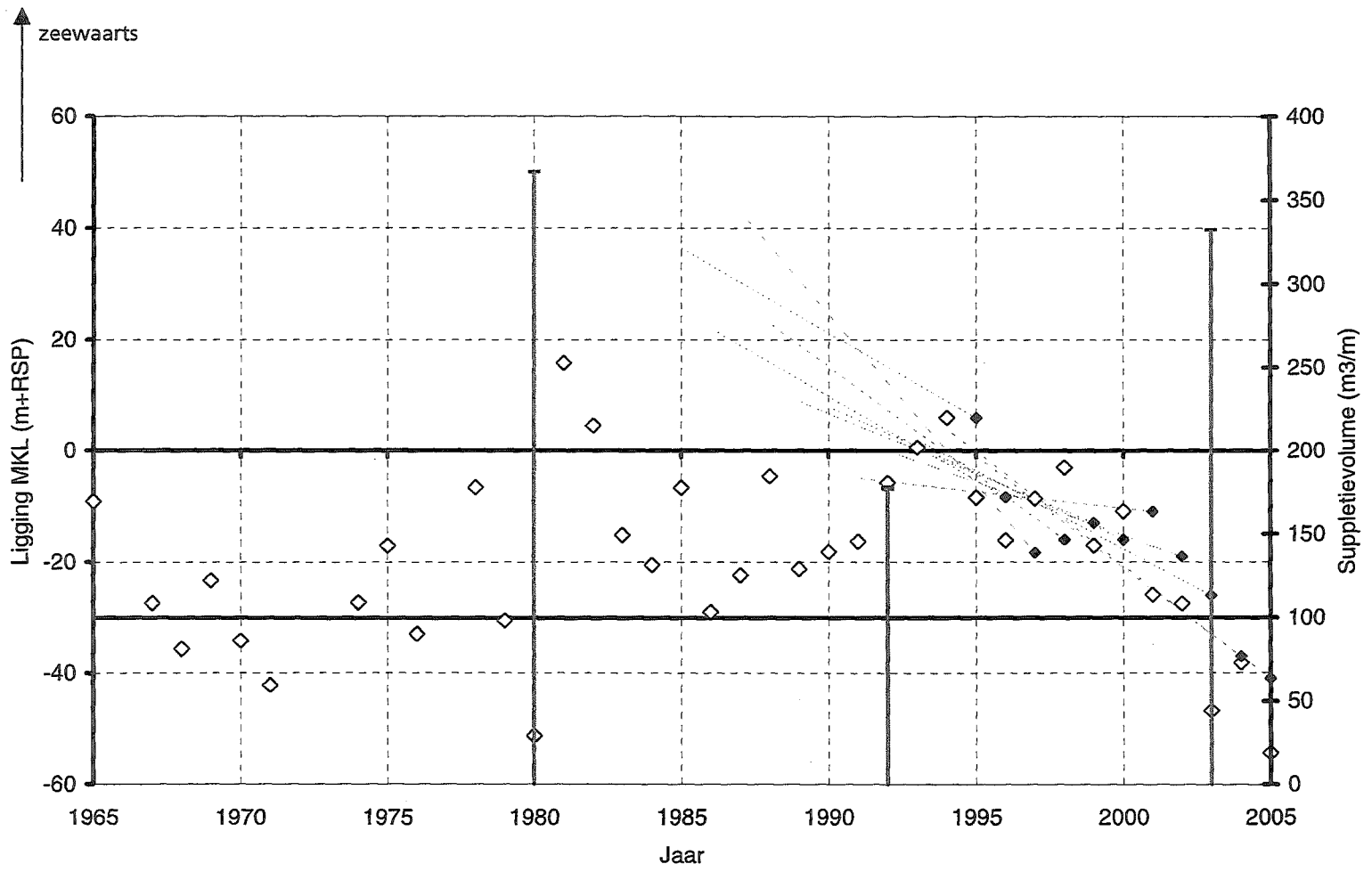


Time-stacks Ameland

RSP raai 22

Raai: 22

Kustvak: Ameland



Berekende MKL-posities voor Ameland

RSP raai 12

Raai: 12

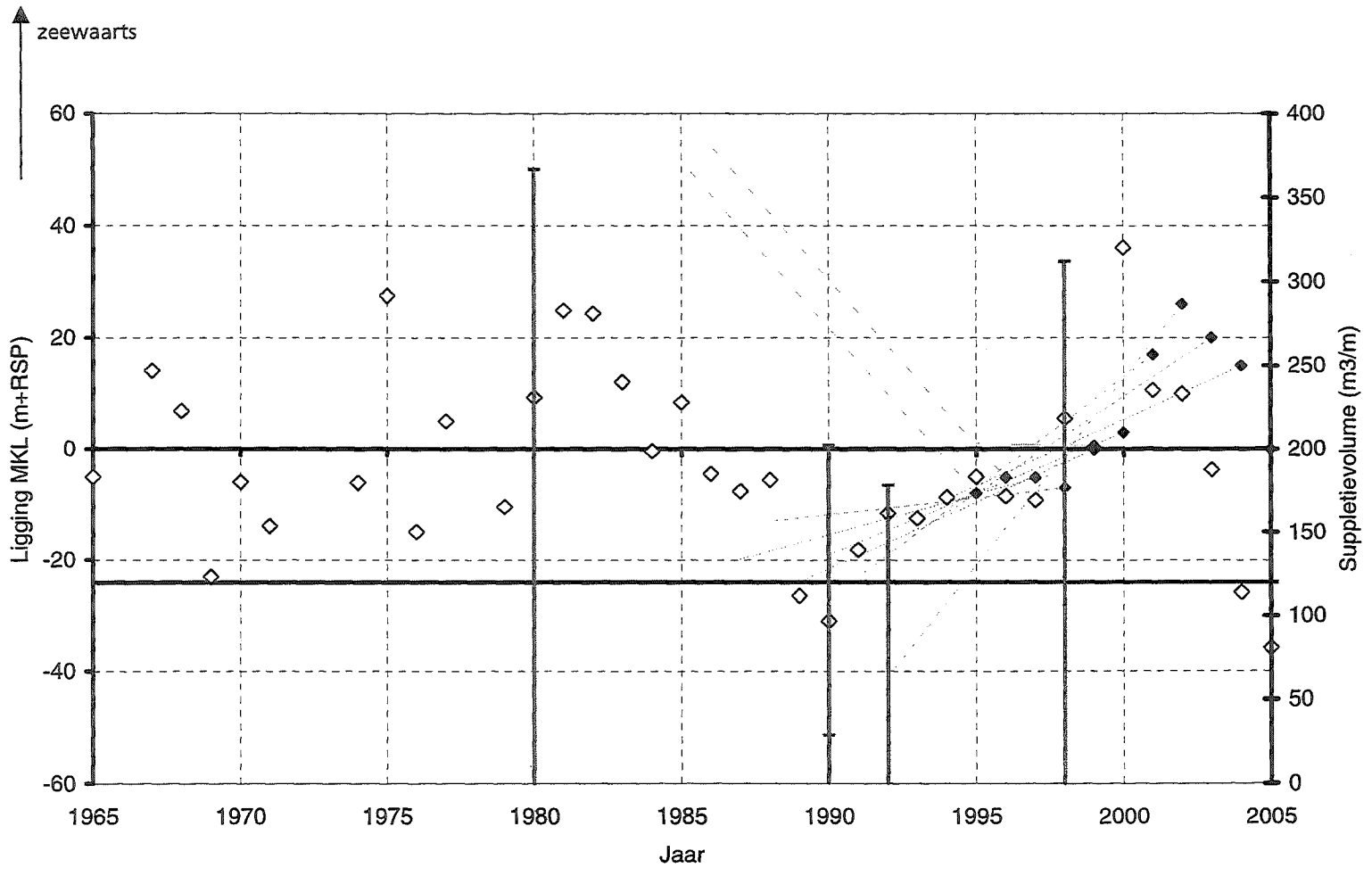
Kusttrak: Ameland

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.110



Berekende MKL-posities voor Ameland

RSP raai 15

Raai: 15

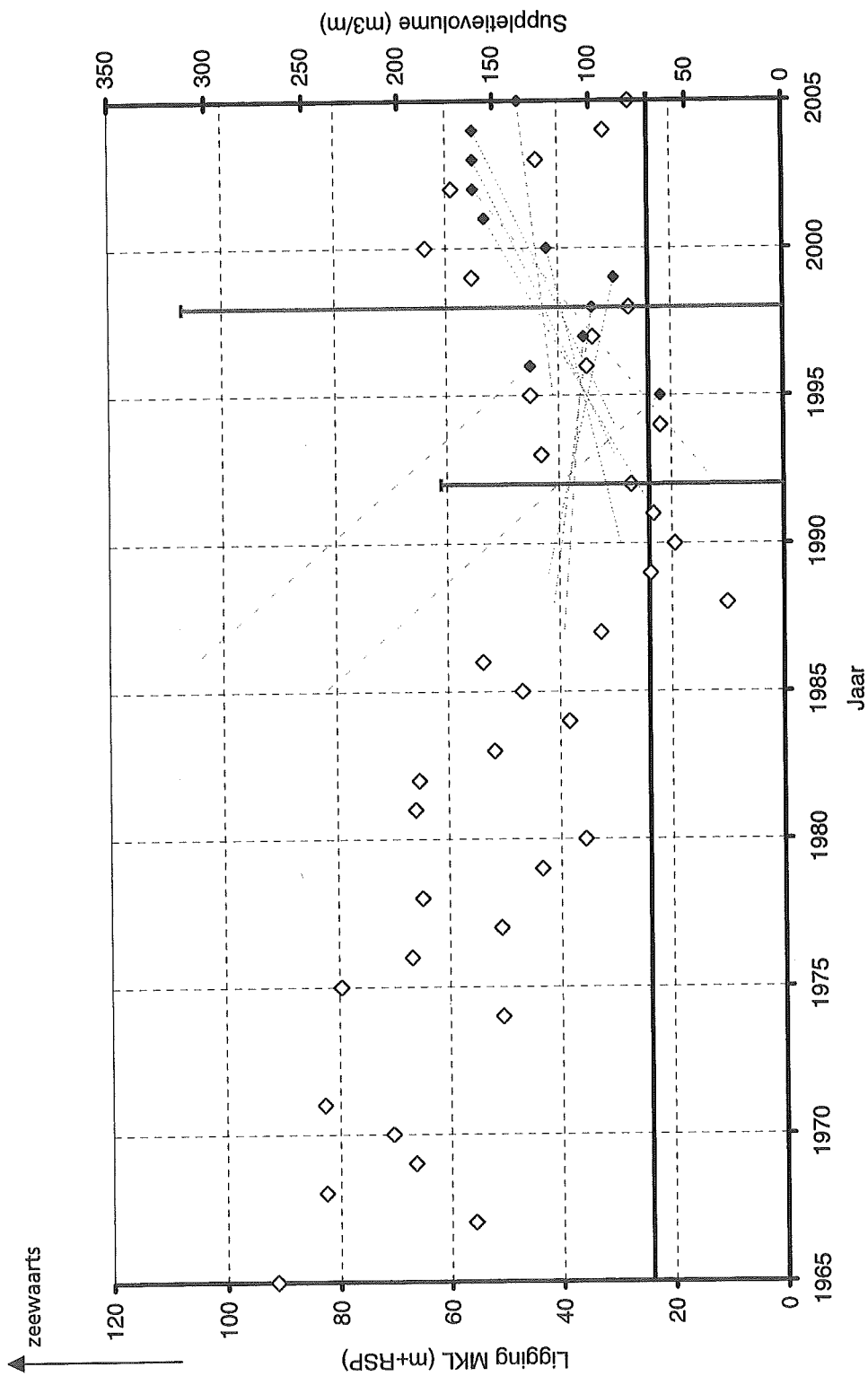
Kustvak: Ameland

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETTIES

A1539

Alkyon

Fig. 3.111



Berekende MKL-posities voor Ameland

RSP raai 18

Raai: 18

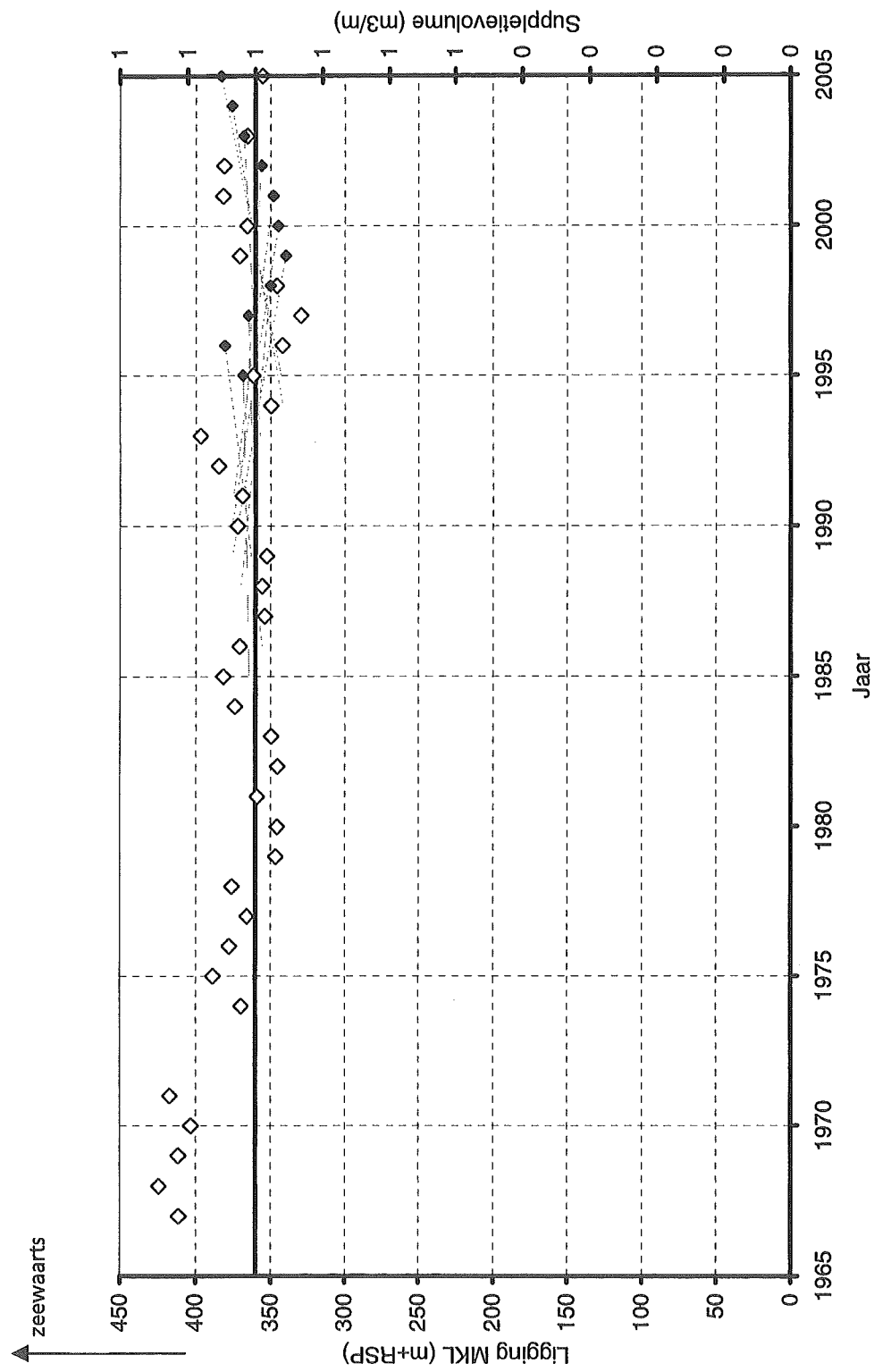
Kustvak: Ameland

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.112



Berekende MKL-posities voor Ameland

RSP raai 22

Raai: 22

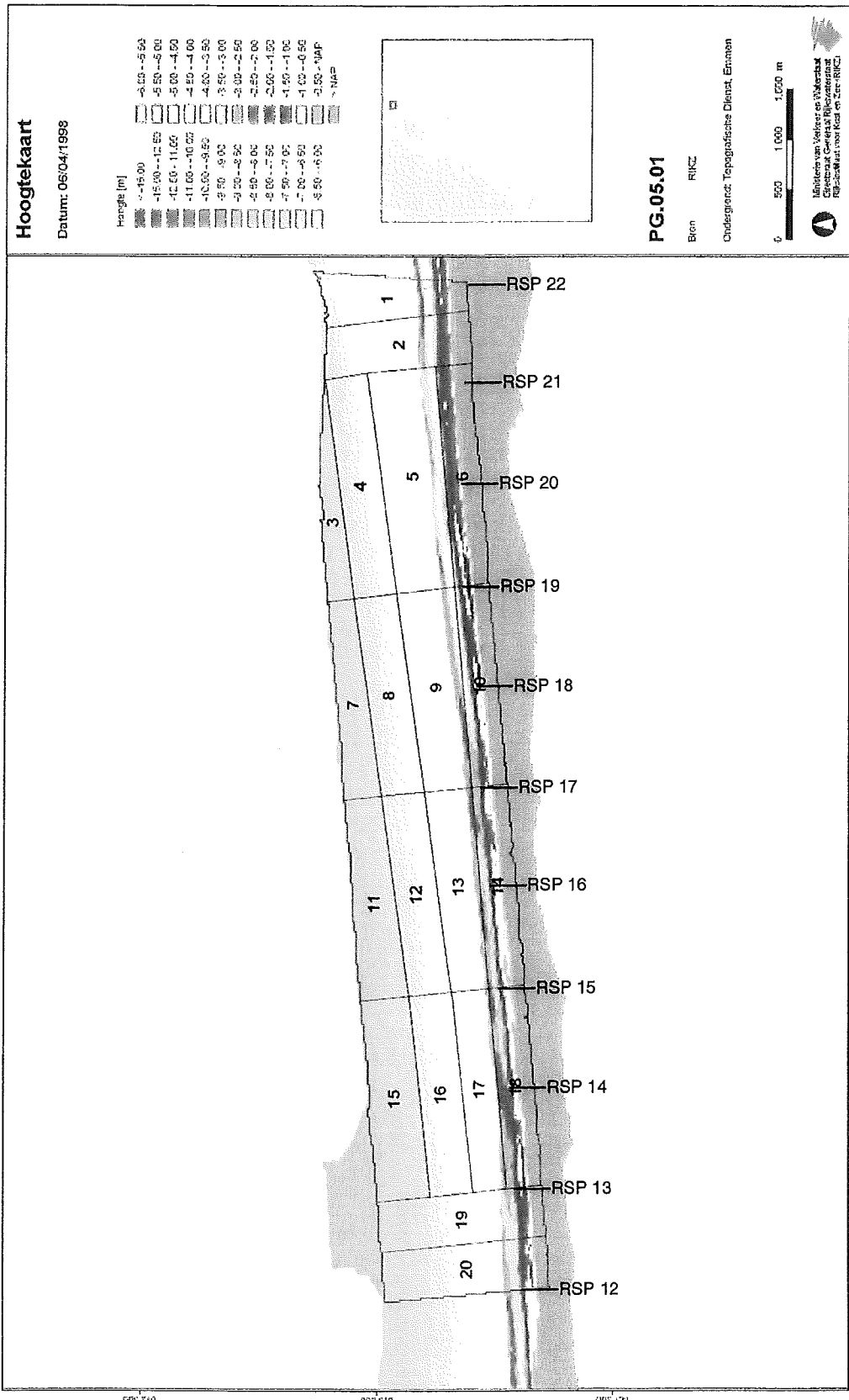
Kustvak: Ameland


EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

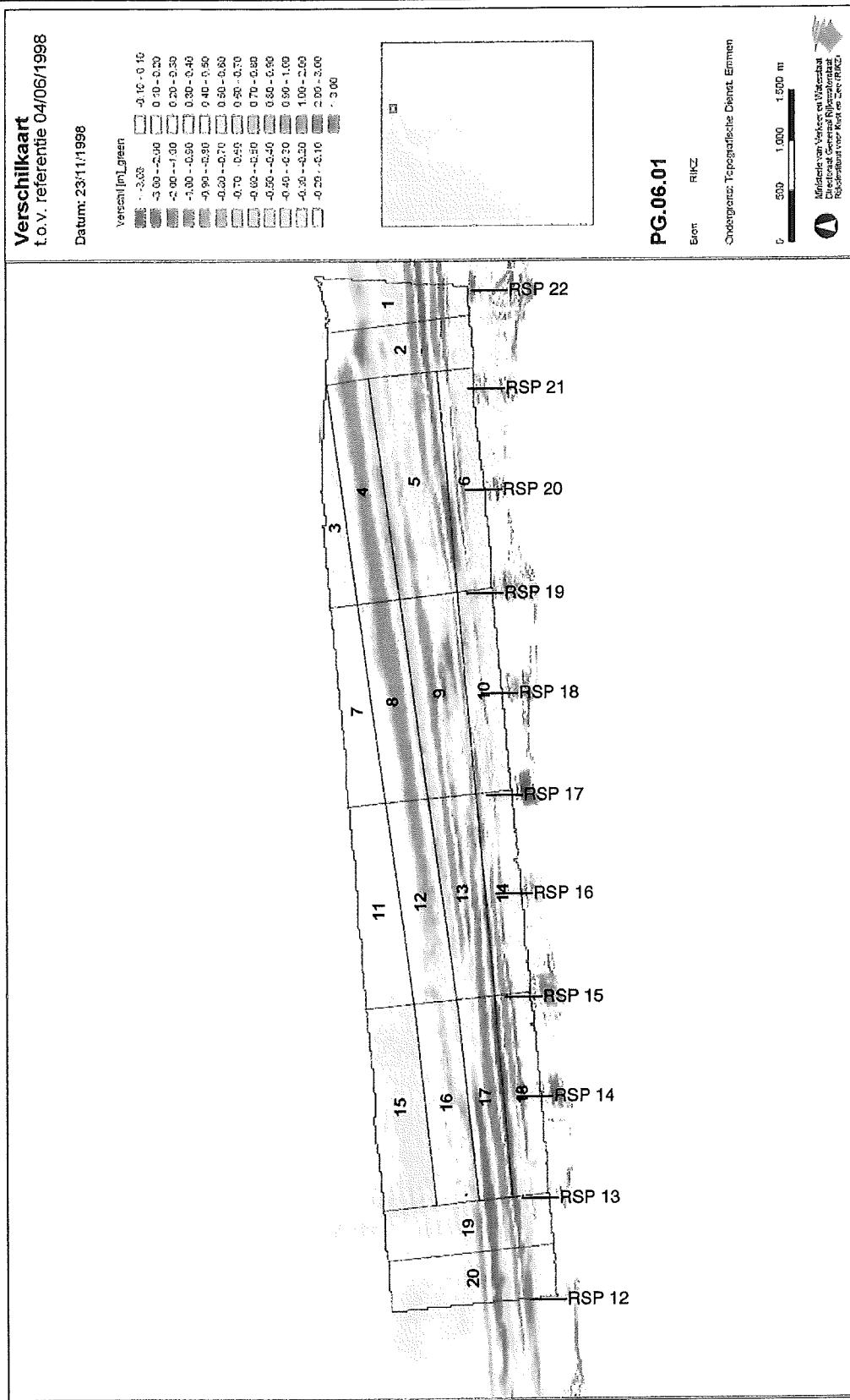
 Alkyon

Fig. 3.113



<p>Bodemopname Ameland</p>		
<p>Datum: 6 april 1998</p>		
<p>Vòòr de suppletie</p>		
<p>EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES</p>	<p>A1539 </p>	<p>Fig. 3.114</p>





Verschilkaart Ameland ten opzichte vanm 6 april 1998

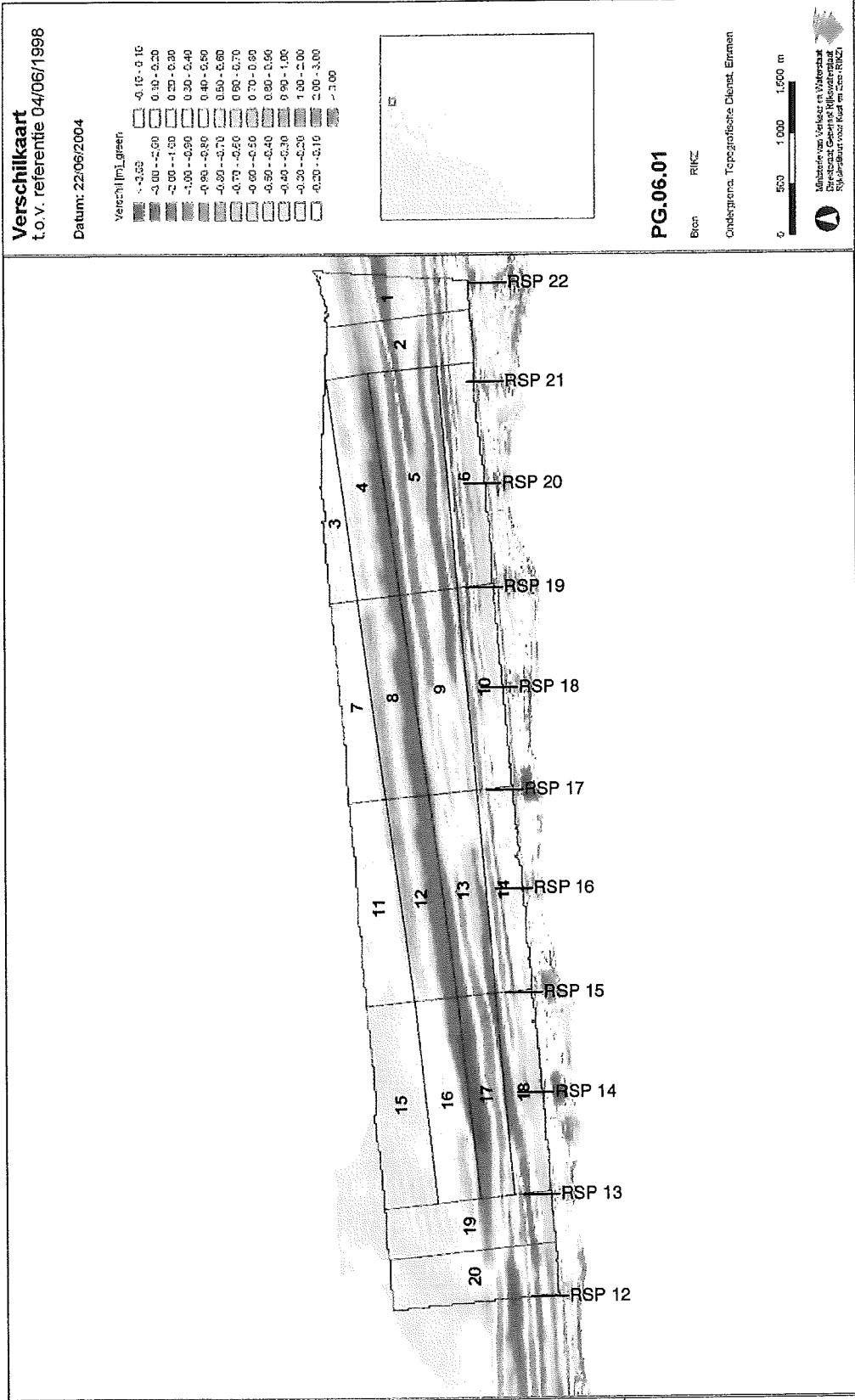
Datum: 23 november 1998

Vòòr en ná de suppletie

EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES

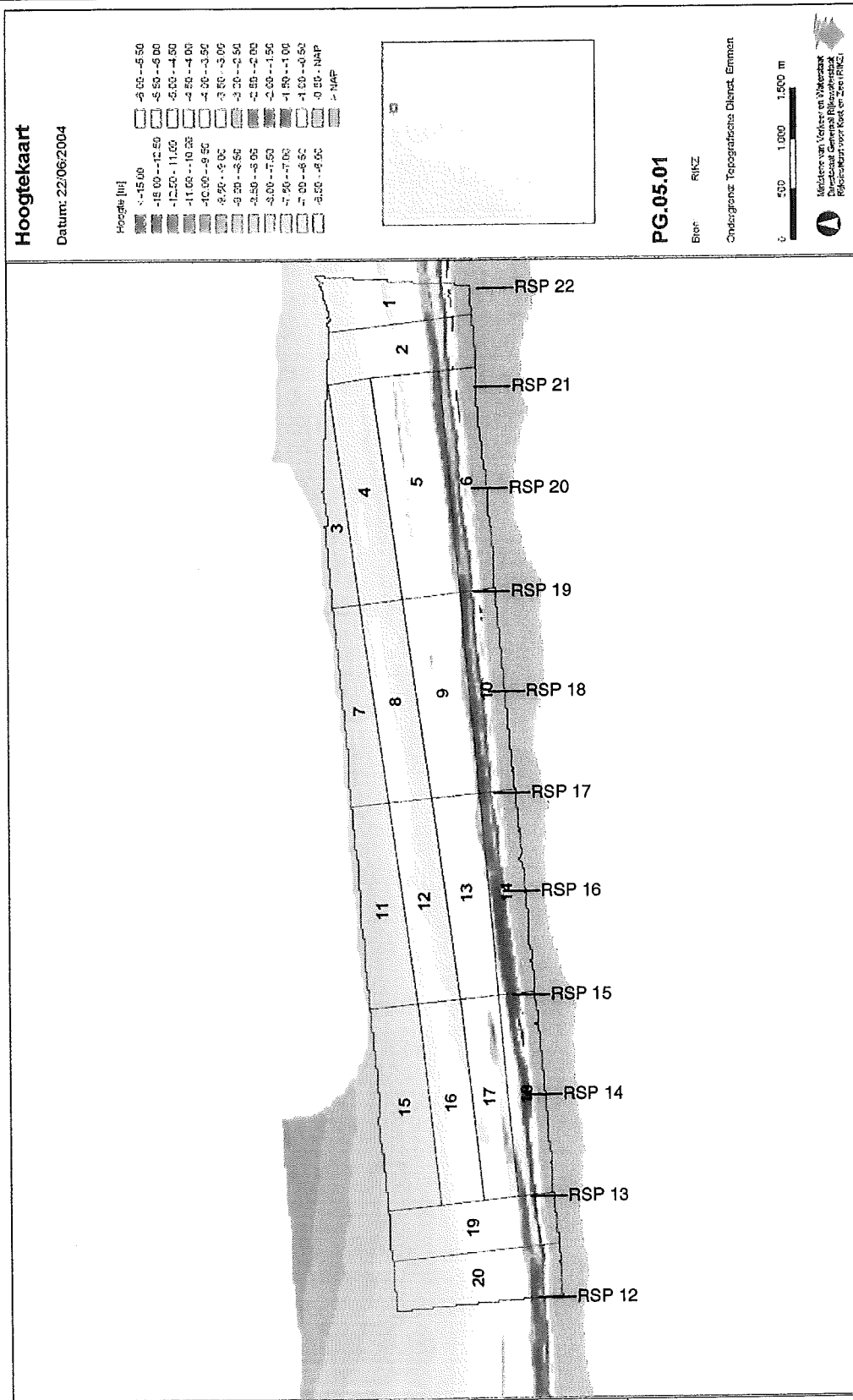
A1539 Alkyon

Fig. 3.115

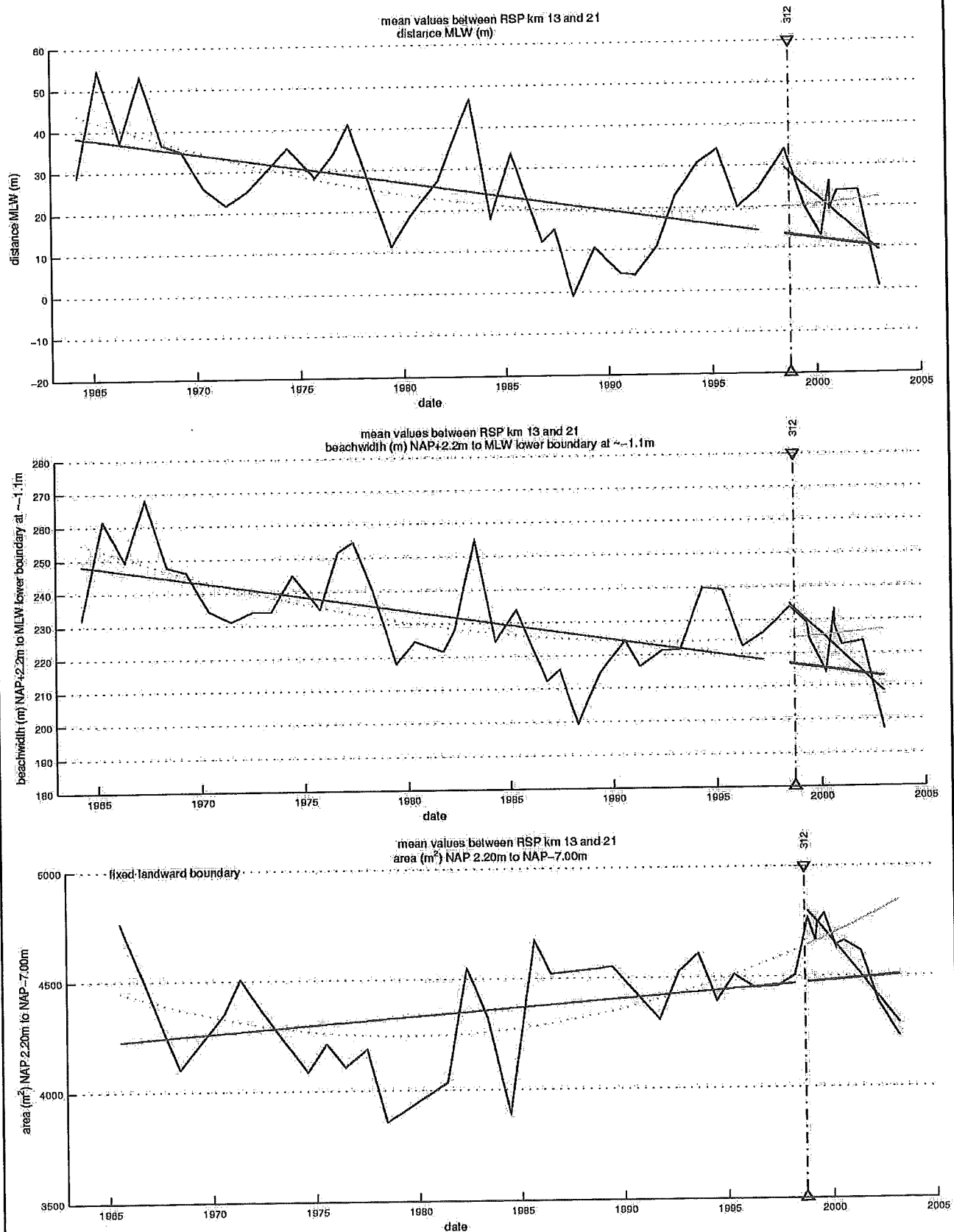


Verschilkaart Ameland ten opzichte vanm 6 april 1998	
Datum: 22 juni 2004	
Vòòr en zes jaar na de suppletie	
<b>EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES</b>	<b>A1539</b> <b>Alkyon</b>

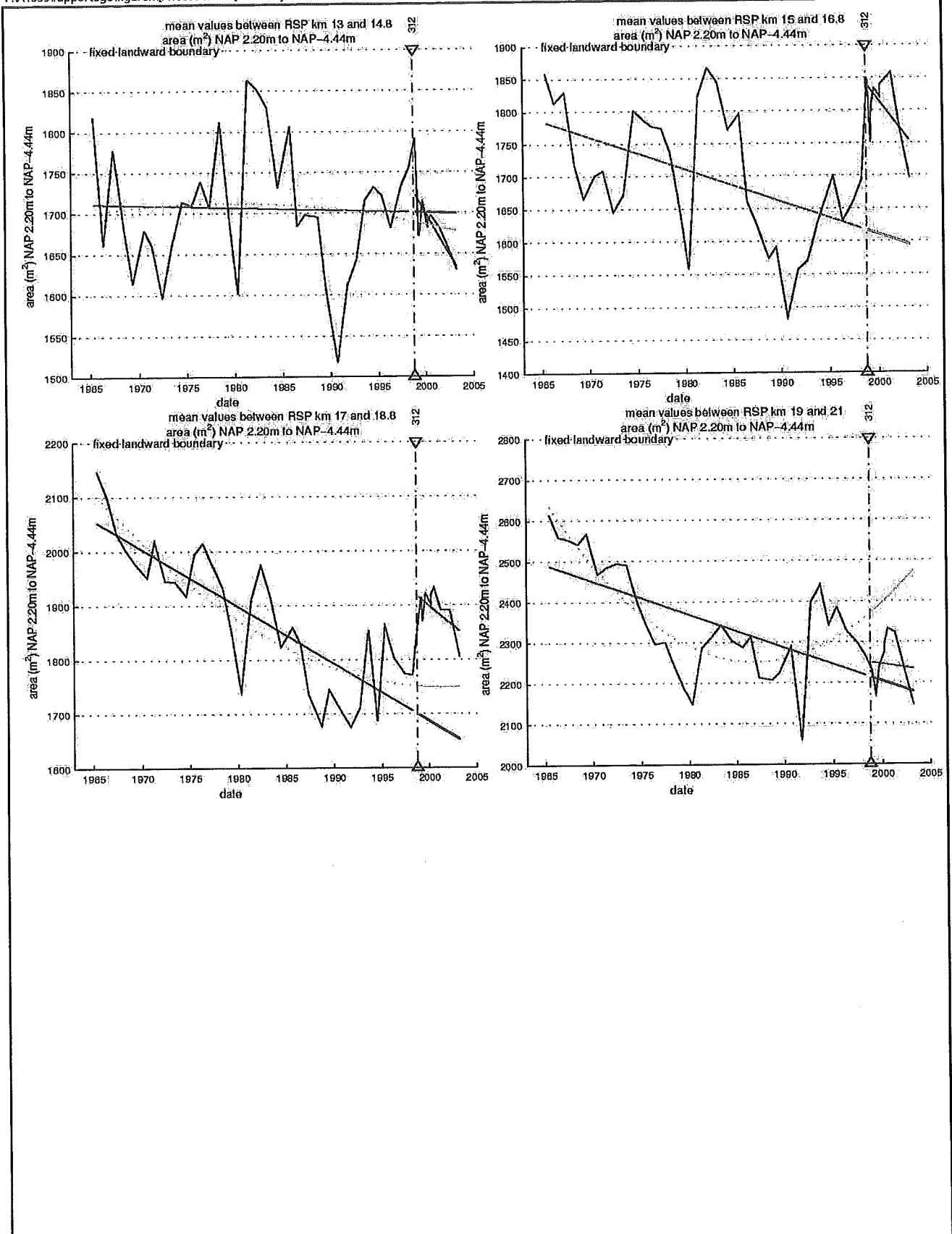
Fig. 3.116



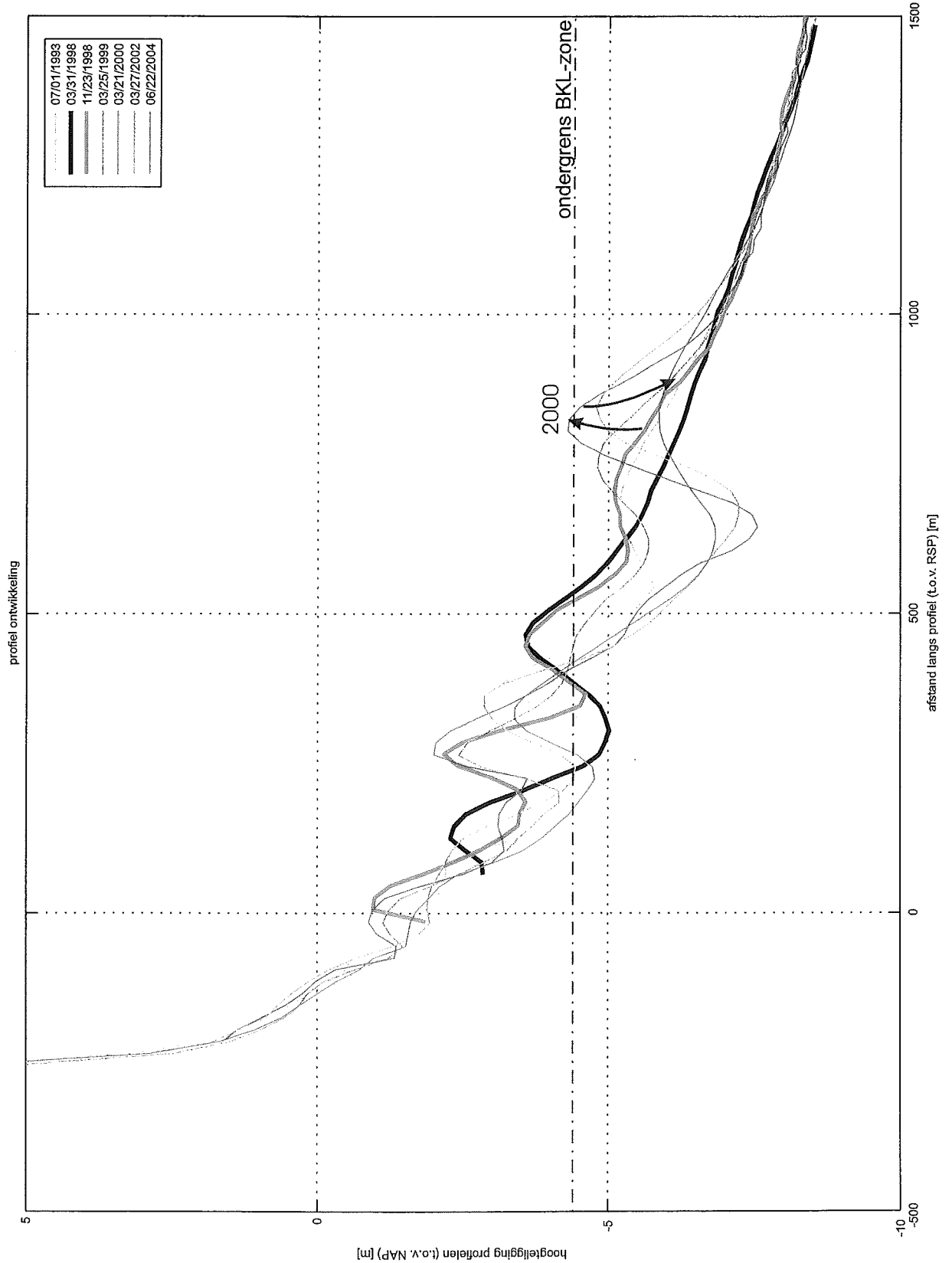
Bodemopname Ameland		
Datum: 22 juni 2004		
Zes jaar na de suppletie		
EVALUATIES ONDERWATERSUPPLETIES	A1539	Alkyon
		Fig. 3.117



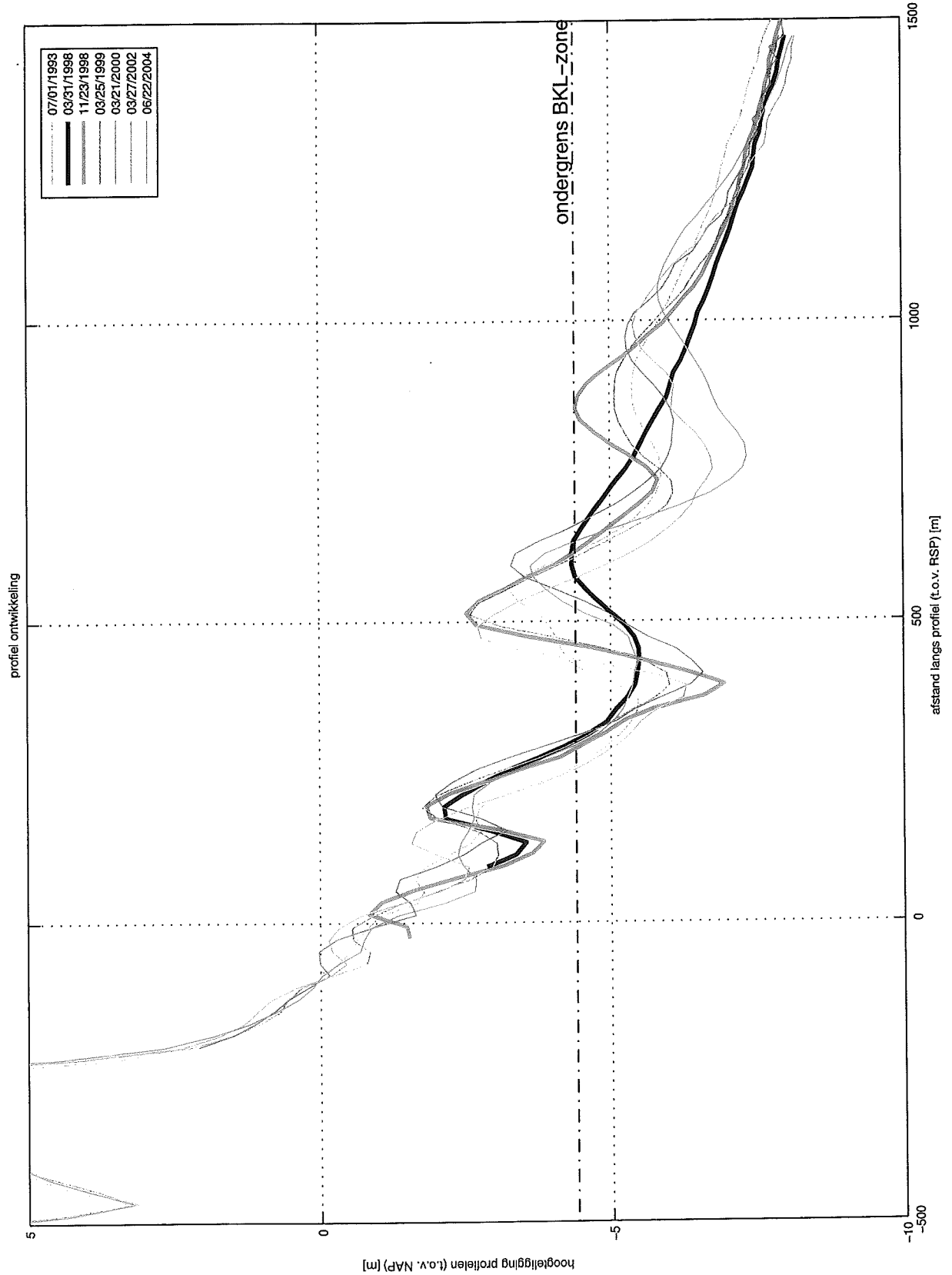
Posities MLW, natte strandbreedte en zandvolume NAP +3 m / NAP -7 m



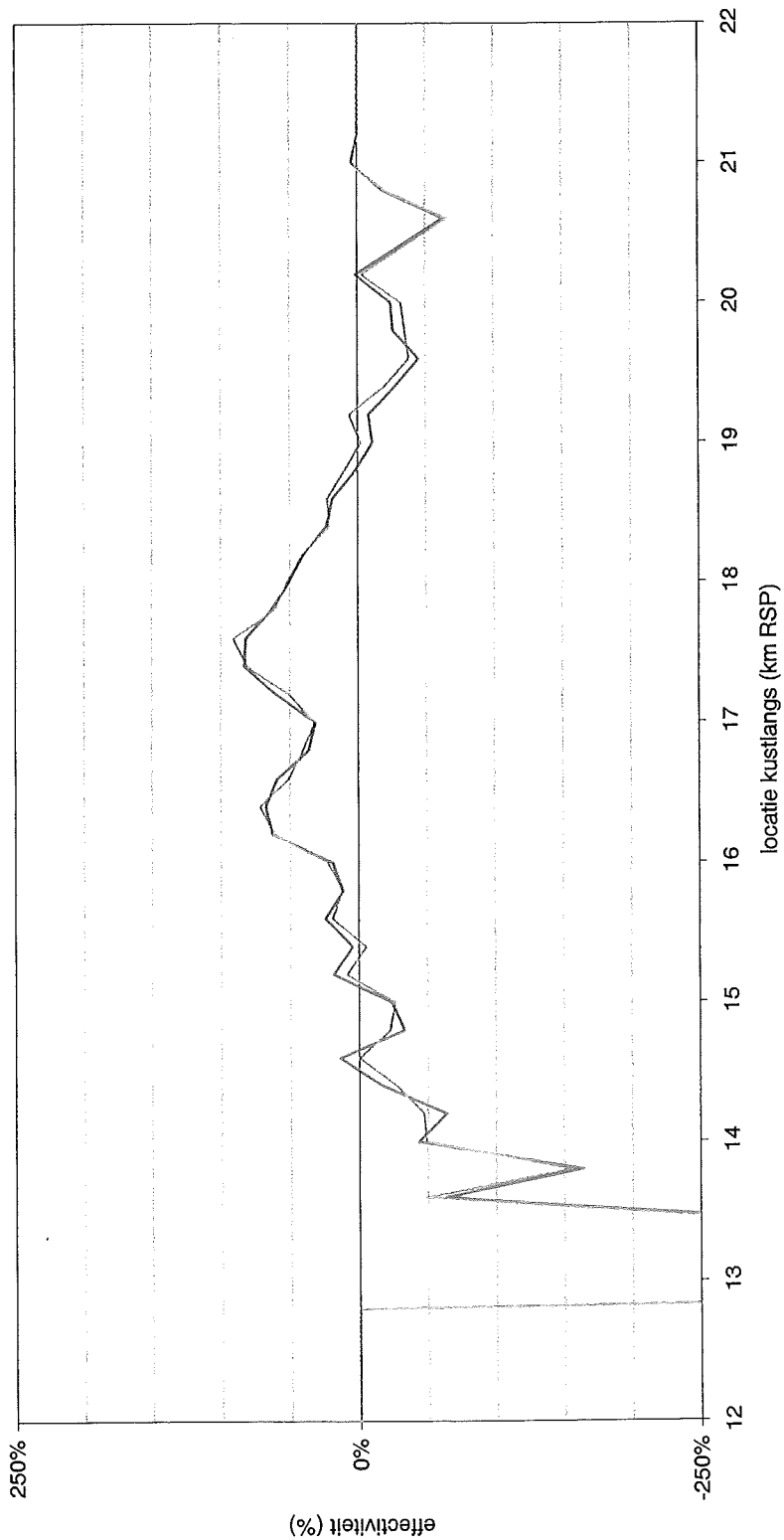
Zandvolume NAP + 3m / NAP -4,4 m in vier kustvakken



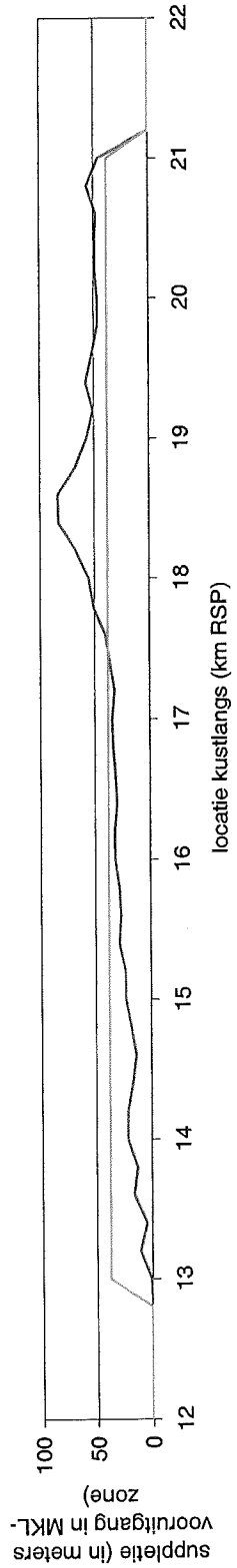
Bodemligging Ameland (s6); Profiel ontwikkeling RSP raai 15  
 Meting: 07/01/1993; 03/31/1998; 11/23/1998; 03/25/1999; 03/21/2000;  
 03/27/2002; 06/22/2004



Bodemligging Ameland (s6); Profiel ontwikkeling RSP raai 18  
 Meting: 07/01/1993; 03/31/1998; 11/23/1998; 03/25/1999; 03/21/2000;  
 03/27/2002; 06/22/2004



Verandering in ligging kustlijn tov 1998 — Verandering in ligging kustlijn tov autonome ontwikkeling



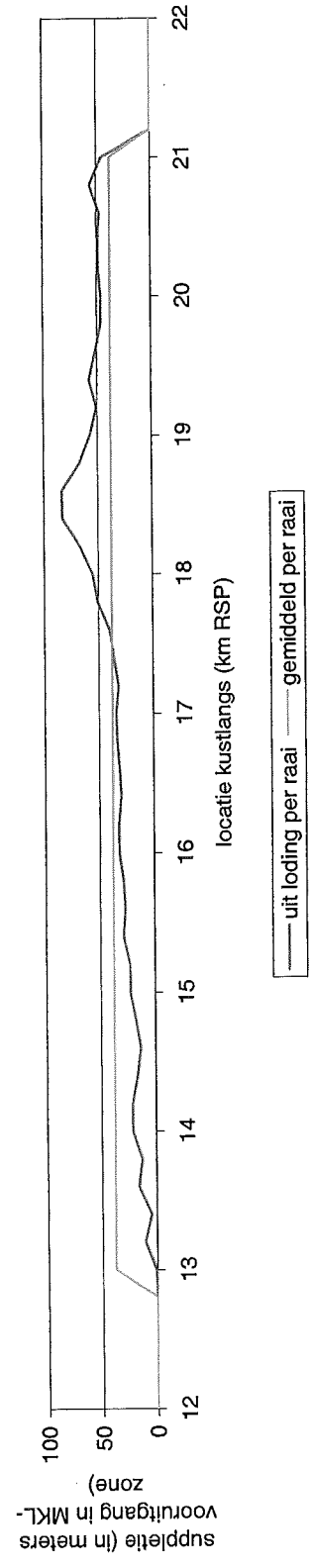
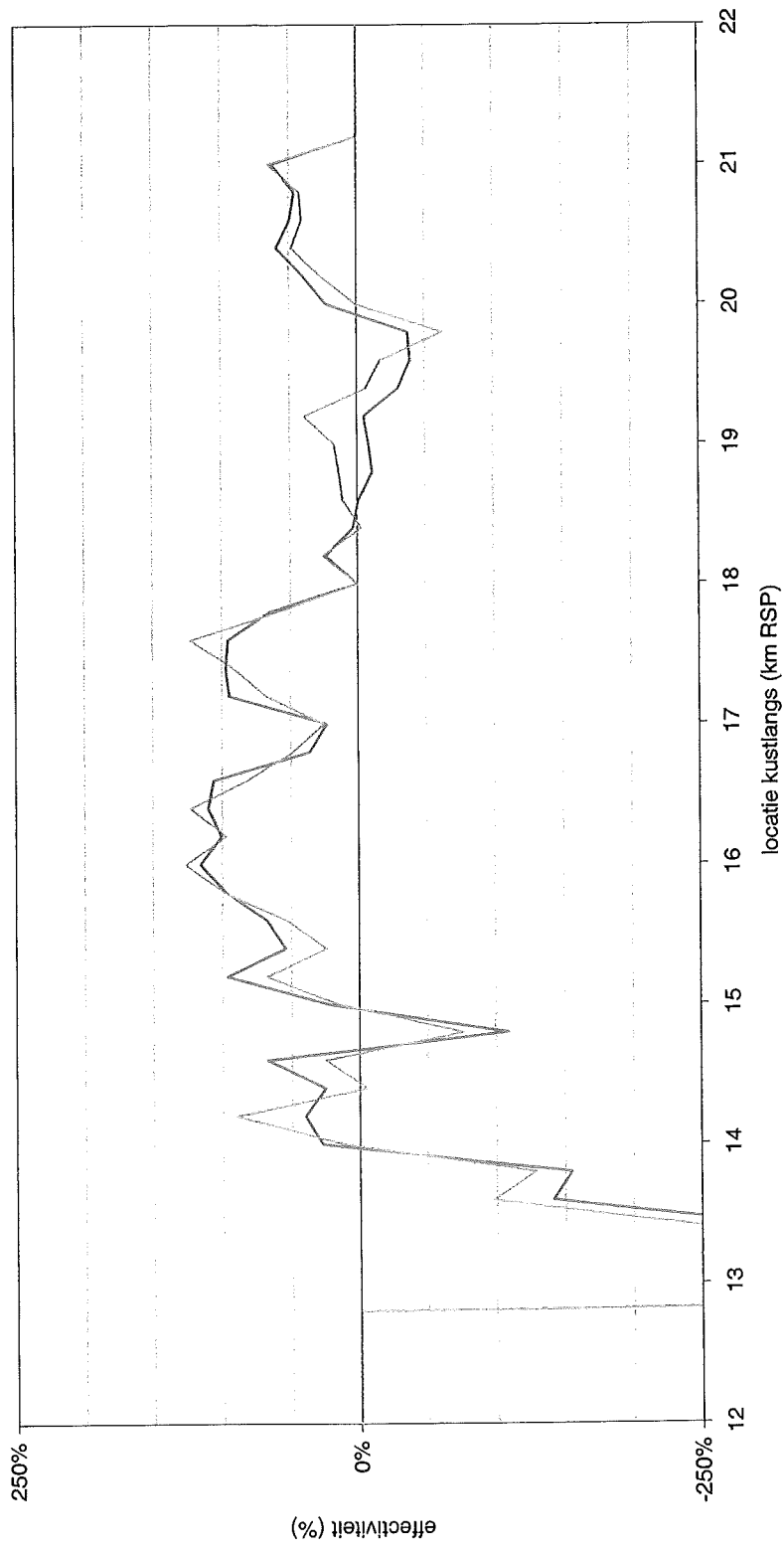
uitloeding per raai — gemiddeld per raai

Effectiviteit per jaar

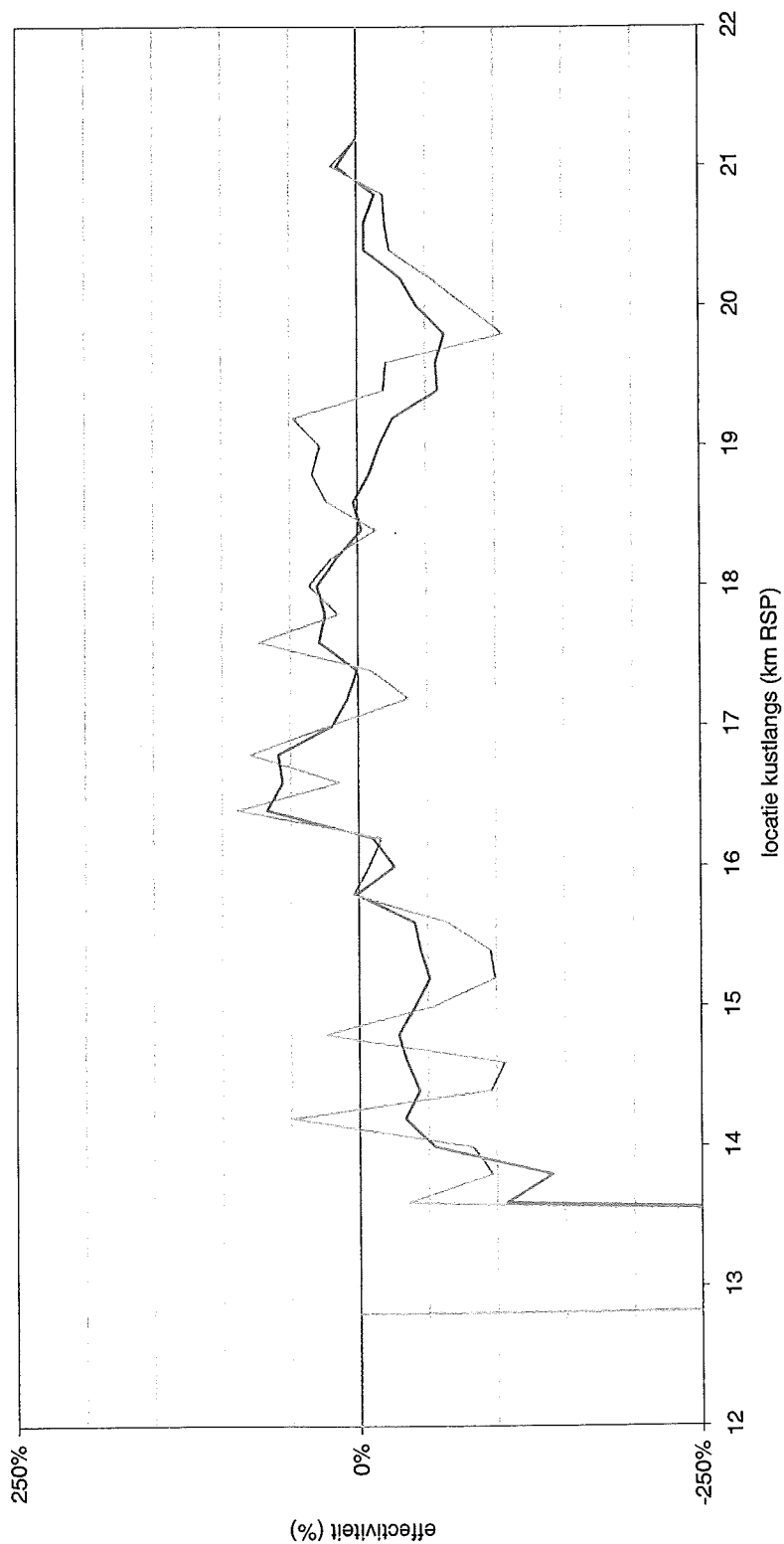
Suppletie nabij Ameland-midden; kustvak Ameland

jaar 1 (1999)

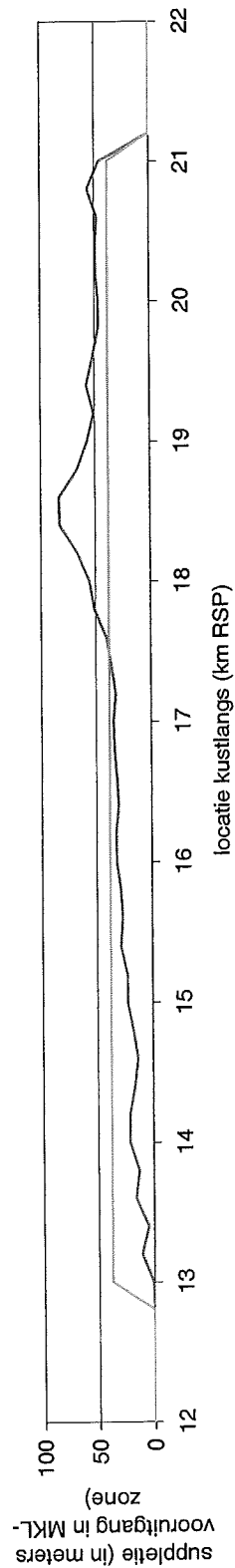




Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Ameland-midden; kustvak Ameland  
 jaar 3 (2001)



— Verandering in ligging kustlijn tov 1998      — Verandering in ligging kustlijn tov autonome ontwikkeling



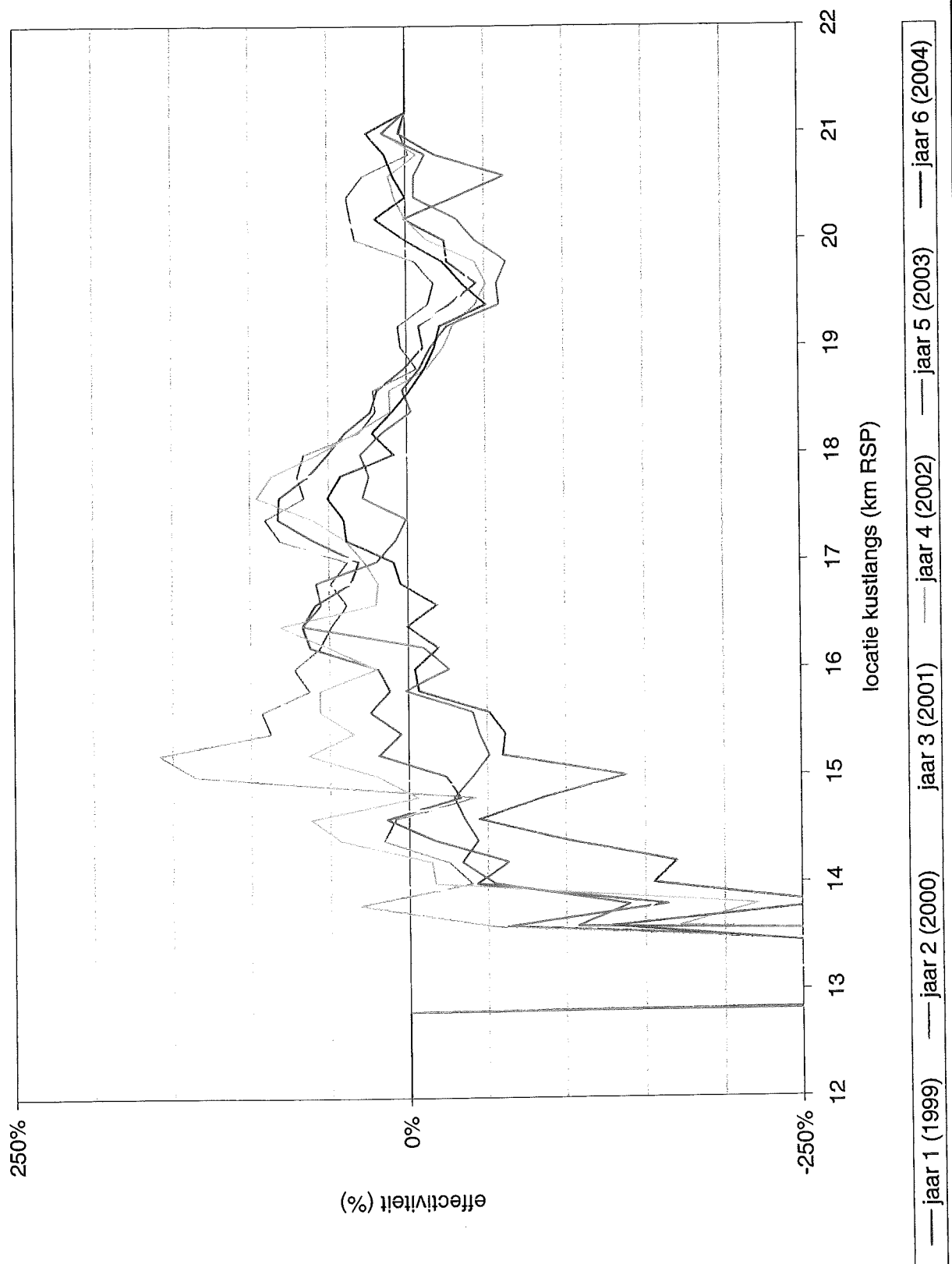
— uit loding per raai      — gemiddeld per raai

Effectiviteit per jaar  
 Suppletie nabij Ameland-midden; kustvak Ameland  
 jaar 5 (2003)  
 EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539



Fig. 3.124



Effectiviteit per jaar

Suppletie nabij Ameland-midden; kustvak Ameland

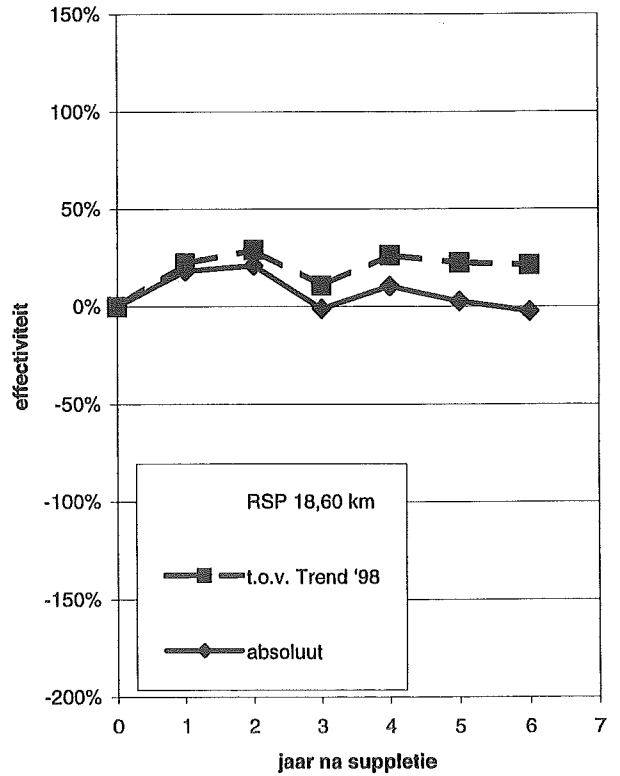
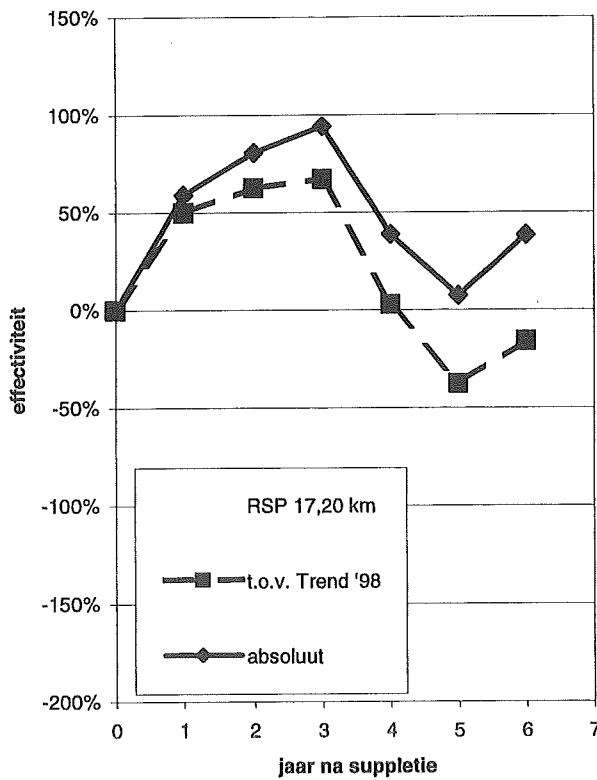
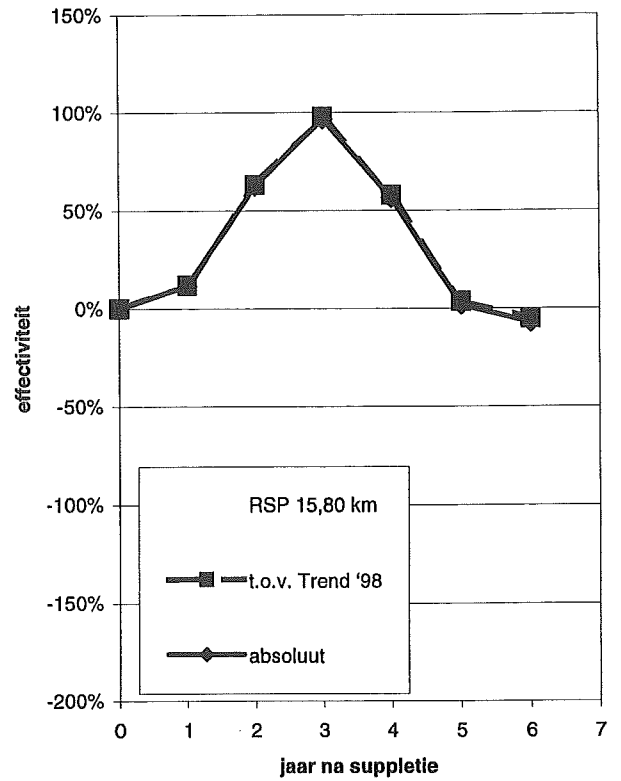
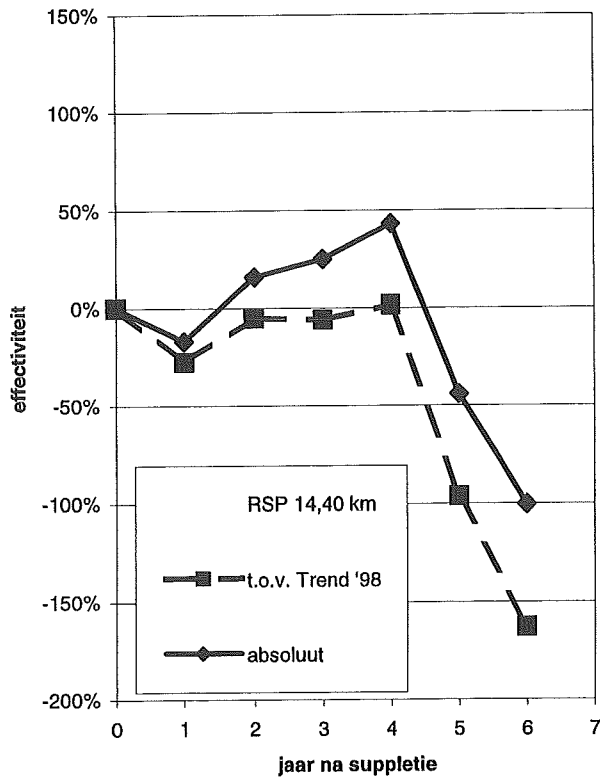
Verandering in ligging kustlijn tov 1998

EVALUATIE ONDERWATERSUPPLETIES

A1539

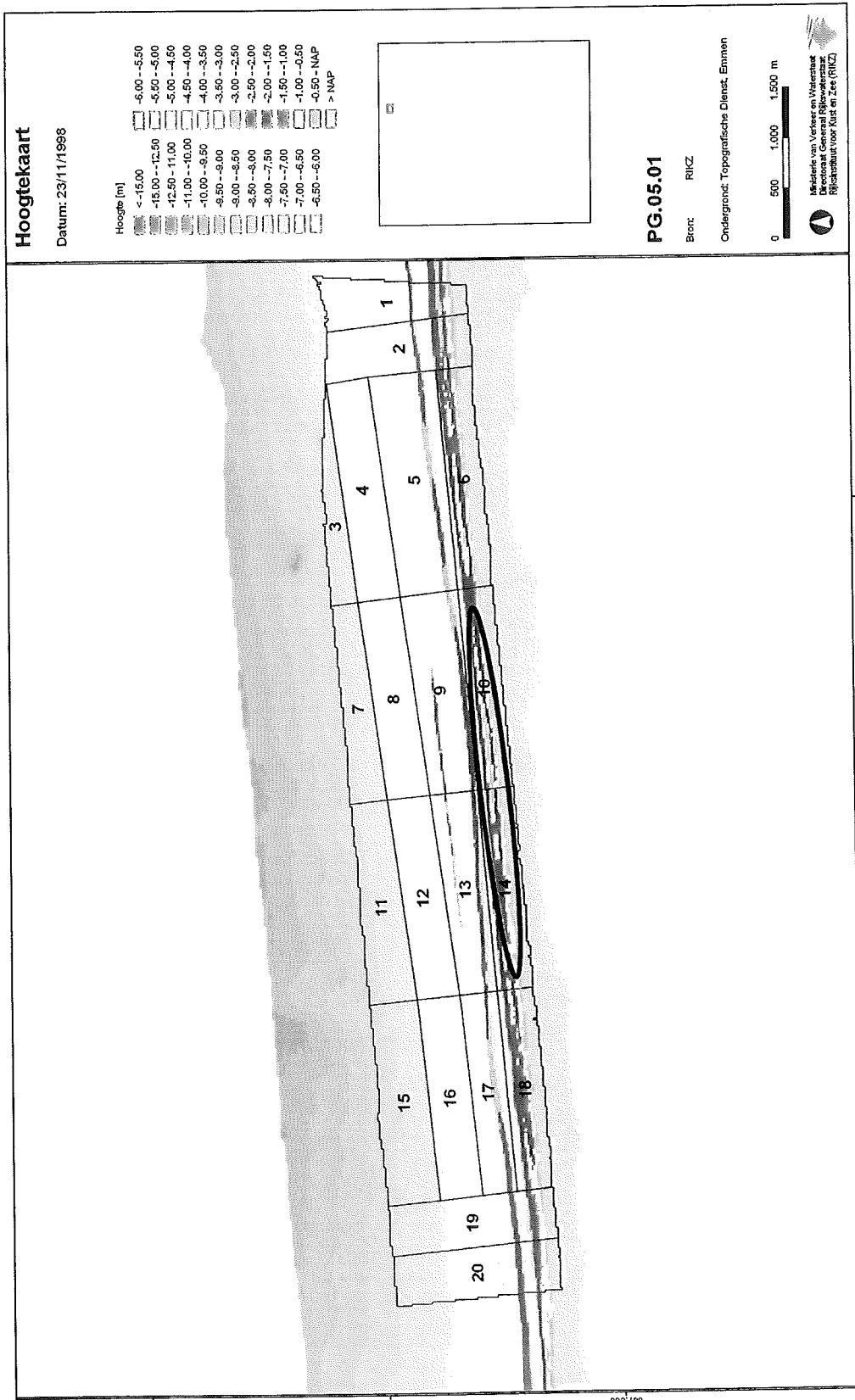


Fig. 3.125



Berekende effectiviteitslijnen voor Ameland

Voor de raaien: RSP 14,40 km, RSP 15,80 km, RSP 17,20 km en RSP 18,60 km



Bodemligging kustvak Ameland na de suppletie (november 1998)

**Bijlage A**  
**Verslag van de expert meeting**

# Bijlage A

## Verslag van de Expert meeting

Datum: 27 oktober 2005  
Plaats: Alkyon - De Voorst  
Verslag: RS (Alkyon)

Tijdens de expert meeting zijn de voorlopige resultaten van het onderzoek aan een panel van experts gepresenteerd en bediscussieerd. Doel van de bijeenkomst was om gezamenlijk naar de geanalyseerde gegevens te kijken en om de opgestelde hypothesen te toetsen en waar mogelijk bij te stellen.

Ter voorbereiding op de meeting was een eerste concept versie van het rapport aan de deelnemers toegestuurd.

### Deelnemers:

- Ing. P. Roelse (RIKZ)
- Ir. R. Spanhoff (RIKZ)
- Drs. A. de Kruif (RIKZ)
- Dr. G. Ruessink (RUU)
- Dr. ir. A. Reniers (TUD)
- Dr. ir. J. van de Graaff (TUD)
- Ir. R.C. Steijn (Alkyon)

### Agenda (zoals gevolgd):

- 10.30 - 10.50 Toelichting op studie, doel bijeenkomst
- 10.50 - 11.20 Methoden voor kwantificering van effectiviteit
- 11.20 - 12.00 Gegevensanalyse voor Callantsoog (gegevens en begripvorming).
- 12.00 - 12.50 Idem voor Texel (ZW-TEXEL en De Koog).
- 12.50 - 13.10 Lunch
- 13.20 - 13.50 Gegevensanalyse voor Vlieland-Oost (gegevens en begripvorming).
- 13.50 - 14.30 Idem Terschelling (Ameland is niet aan bod gekomen)
- 14.30 - 15.15 Verschillen, overeenkomsten, onderzoeksdoelen, nabranders

### Conclusies / gemaakte opmerkingen

Hieronder worden de belangrijkste opmerkingen zoals gemaakt tijdens de expert meeting genoemd. Opmerkingen van meer redactionele aard zijn hieronder niet weergegeven.

- *Over effectiviteit, effecten en het doel van (vooroever-)suppleties*

Om de effectiviteit van een vooroeversuppletie te kunnen beschouwen moet eerst duidelijk zijn welk doel met de suppletie wordt gediend. Als bijvoorbeeld de suppleties dienen om de strandbreedte zo groot mogelijk te houden, dan moet de effectiviteit daarop zijn gericht. Er is intensief stilgestaan bij het doel van suppleties en de wijze waarop dit in de benadering van het begrip effectiviteit moet worden meegenomen.

Binnen de kustlijn zorg wordt door middel van suppleties de structurele erosie bestreden. Daarbij gaat het om de zandvoorraad in de actieve zone van het kustprofiel, dat wil zeggen vanaf (en inclusief) de duinen tot ongeveer NAP - 8m. Dit primaire uitgangspunt is vertaald in een toetsingsmethode die hier wordt aangeduid met "MKL-methode".

Daarin wordt naar het zandvolume gekeken in een kleinere dieptezone, namelijk van de duinvoet (dus exclusief de duinen) tot ongeveer NAP -5 m (afhankelijk van de lokale GLW-niveau). De toetsingsmethode ten behoeve van kustlijn­zorg bekijkt dus een gedeelte van de actieve zone (in die zin is de methode dus "enger").

Het is niet duidelijk of er bij het ontwerpen van suppleties altijd naar meer wordt gekeken dan louter naar de resultaten van de toetsingsmethode (positie TKL ten opzichte van de BKL, zoals gepresenteerd in de Kustlijnkaarten). Bij de definitie van effectiviteit in hoofdstuk 2 van dit rapport, wordt wel alleen op de MKL-methode ingespeeld. Daarmee is het doel van de suppleties in dit onderzoek feitelijk verengd tot het in standhouden van een zeker volume zand in de BKL-rekenschijf. De aanwezigen zijn van mening dat er desondanks naar meer effecten moet worden gekeken om daarmee op termijn betere ontwerprichtlijnen te kunnen opstellen. Probleem hierbij is dat dan wel eerst duidelijkheid moet zijn over de doelen van de suppletie. Een zekere focus is dus van belang. De in dit rapport gekozen focus wordt door sommigen als te smal gezien, met de kanttekening dat een bredere focus aanzienlijk meer onderzoeksinspanning zou vergen.

Uit recent gehouden interviews bij kustlijnbeheerders is gebleken dat de totstandkoming van een suppletieschema regionaal sterk verschilt. Soms wordt gekeken naar de structurele erosie in brede zin van het woord (rekening houdende met mogelijke autonome veranderingen) en soms wordt meer naar de resultaten van de TKL ten opzichte van de BKL aangehouden. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er geen eenduidig doel wordt aangehouden. Of in ieder geval bestaat daarover onder de aanwezigen geen eensluidend oordeel. Afsproken is dat de definitie van effectiviteit, zoals in dit rapport wordt gehanteerd, voorlopig wordt aangehouden. Aanvullend zal ook naar het verloop van het zandvolume in een grotere kuststrook worden gekeken. Daarvoor wordt de zone van duinen tot en met NAP -8 m genomen. In dit rapport is dit verwerkt voor de suppleties Callantsoog, Molengat en De Koog.

Aanvullend op het voorgaande wordt geconstateerd dat er geen ontwerpplannen worden gemaakt van vooroeversuppleties. De verwachtingen van de *performance* van de suppletie is dus niet van tevoren vastgelegd, evenmin als de overwegingen die aan de verschillende ontwerpen ten grondslag hebben gelegen. Als dergelijke ontwerpplannen wel zouden bestaan, dan zou daarmee mogelijk ook een duidelijke focus aan de evaluatie kunnen worden gegeven. Het lijkt verstandig om voortaan bij iedere vooroeversuppletie eerst een "motivatie-rapport" te maken. Daarin zou dan ook een voorspelling moeten worden opgenomen van de verplaatsingen van het suppletiezand en de te verwachten effecten op de omgeving.

Effectiviteit volgens de definitie uit hoofdstuk 2 is primair een benadering op raainiveau. (N.b. alleen bij de vaststelling van de TKL wordt een lopend gemiddelde genomen). Dat is dus sterk geënt op de methode van de MKL-berekening. Het nadeel van deze methode is dat er geen effectiviteit kan worden berekend in de aangrenzende kustvakken. Om dat toch te kunnen doen zou aanvullend een effectiviteit "op vakniveau" kunnen worden uitgerekend. Het totale zandvolume van de suppletie is dan de potentiële (maximale) bijdrage aan het zandvolume in de BKL-zone. Door de daadwerkelijke volumeveranderingen van het hele vak (BKL-zone) te relateren aan dit maximaal mogelijke zandvolume, kan een effectiviteitsverloop in de tijd worden berekend. Afsproken is om deze vakbenadering voor tenminste twee van de zes suppleties uit te voeren en daarbij niet alleen het suppletievak te nemen maar ook een groter kustvak.



In de rapportage zouden ook effectiviteitslijnen moeten worden opgenomen zoals gepresenteerd in de hoofdstuk 2 van de rapportage. Daarvoor zouden enkele karakteristieke raaien kunnen worden genomen.

In de rapportage zou iets meer mogen worden gezegd over de effecten van de verschillende suppleties. Dit is weliswaar in de successievelijke paragrafen van hoofdstuk 3 geprobeerd, maar de beschrijvingen zijn summier. Daardoor blijft de evaluatie te beperkt tot de wat enge definitie van effectiviteit volgens hoofdstuk 2 (zie eerdere opmerkingen).

- *Over zandverplaatsingen en de dynamiek van brekerbanken*

In grote lijnen zien we dat de brekerbanken na aanleg van de vooroeversuppletie een landwaartse migratie laten zien. Dit suggereert dat er ter plaatse van de meest zeewaarts gelegen bank iets meer landwaarts dwarstransport optreedt. Kennelijk betekent dit ook dat de verhouding van bruto zeewaarts en bruto landwaarts dwarstransport op de binnenste bank is verstoord ten gunste van het landwaarts transport (dus iets minder zeewaarts transport). Uiteindelijk is het netto resultaat wat we zien, maar omdat het netto transport de resultante is van twee veel grotere bruto bijdragen is het niet eenvoudig om de daarvoor maatgevende processen aan te geven.

Zodra een brekerbank dichterbij de waterlijn komt te liggen, verbrokkeld de bank. De lang-gerekte structuur valt dan uiteen. Kennelijk wordt de bank bij een te hoge ligging op het kustprofiel instabiel. Er is geen kwantitatieve maat aan te geven wanneer dit zich voordoet. Zou die maat er wel zijn, dan zou hier mogelijk een interessante ontwerp eis uit kunnen volgen. De gedachte daarbij is dat je bijvoorbeeld geen vooroeversuppletie moet aanbrengen in situaties waarbij de brekerbank voor de kust bepaalde geometrische karakteristieken heeft (waaronder bijvoorbeeld de afstand uit de kust). Als je in die "ongunstige situatie" toch een vooroeversuppletie aanbrengt dan moet (bijvoorbeeld) rekening worden gehouden met een tijdelijke versmalling van het strand als gevolg van een migrerende en verdiepende trog tussen het strand en de brekerbank. Vooralsnog lijkt het echter niet mogelijk om aan een dergelijke ontwerp eis een nadere invulling te kunnen geven.

Het volgende dilemma werd aan de orde gesteld. In de tijd veranderen de kustprofielen zowel autonoom als ten gevolge van de vooroeversuppletie. Neemt door de toevoer van zand nu het kustwaartse zandtransport toe? Oftewel wordt ongeacht de profielveranderingen dit zand kustwaarts getransporteerd? Of zijn het de (veranderde) profielveranderingen, die het kustwaartse zandtransport laten toenemen? Dit lijkt op een "kip-of-ei" probleem, waar tijdens de bijeenkomst geen verdere uitspraken over konden worden gedaan.

- *Over toekomstige ontwerp richtlijnen*

Het ontwerp van een vooroeversuppletie bestaat uit vele parameters, waaronder volume per strekkende meter kust, positie in het kustprofiel, hoogte, lengte breedte, korrelkarakteristieken, aaneengesloten of juist niet, enz. We zijn nog lang niet zo ver dat we deze ontwerp parameters kunnen koppelen aan specifieke locatieparameters (zoals vorm van kustprofiel, golfenergie, aanwezigheid getijstrooming, enz.). En als dat in fysische zin (op lange termijn) al zou kunnen, dan is het daarnaast van belang om de doelen van de suppletie veel duidelijker te definiëren. De aanwezigen hebben niet de illusie dat op korte termijn definitieve ontwerp richtlijnen kunnen worden opgesteld. Wel mogelijk een nuttige eerste aanzet daartoe, hetgeen dan ook nadrukkelijk in die hoedanigheid zou moeten worden gepresenteerd.

### Slotwoord

Een expert meeting in deze vorm is een goede gelegenheid om met collega-deskundigen ideeën te delen en ze bij te stellen. Het voorbereiden van de presentaties dwong bovendien de onderzoeker tot structuur en focus, hetgeen diens projectuitvoering ten goede is gekomen. Hij is de deelnemers van de expert meeting dan ook zeer erkentelijk.