

Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen

W.E. van Duin, K.S. Dijkema & J. Zegers

IBN-rapport 326

953135

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO)
Wageningen

IBN - DLO
Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek
Postbus 167
1790 AD DEN BURG - TEXEL

ISSN: 0928-6888
1997



IBN-RAPPORT

INHOUD

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	9
1.1 Algemeen: Kwelders en processen	9
1.2 Gebiedsbeschrijving Peazemerlannen	10
1.3 Vraagstelling en hypothesen	14
2 METINGEN	15
2.1 Sedimentbudget bepalingen	16
2.2 Sedimentation-erosion bar (SEB) metingen	18
2.3 ¹³⁷ Cs-bepaling (Venema 1997)	19
2.4 Hermeting bodemniveau 1964 in 1996 (t.o.v. NAP)	19
2.5 Bepaling korrelgrootte en hoeveelheid afgezet sediment	20
2.5.1 Korrelgrootte grondmonsters	20
2.5.2 Filtermeting	20
3 RESULTATEN EN DISCUSSIE	21
3.1 Sedimentbudget bepalingen	21
3.2 Sedimentation-erosion bar (SEB) metingen	23
3.3 ¹³⁷ Cs-bepaling	25
3.4 Hermeting bodemniveau 1964 in 1996 (t.o.v. NAP)	26
3.5 Bepaling korrelgrootte en hoeveelheid afgezet sediment	28
3.5.1 Korrelgrootte grondmonsters	28
3.5.2 Filtermeting	28
4 CONCLUSIES UIT DE METINGEN	30
5 EFFECTEN VAN BODEMDALING OP DE PEAZEMERLANNEN	33
5.1 Gaswinningsscenario's	33
5.2 Wanneer treedt er een breekpunt op?	33
5.3 Effecten van bodemdaling op de kwelder en primaire pionierzone	34
5.3.1 Effecten op de oeverwallen	35
5.3.2 Effecten op de lage kwelder	35
5.3.3 Effecten op de kommen	35
5.3.4 Effecten op de primaire pionierzone	35
5.3.5 Conclusies effecten bodemdaling	36
5.4 Effecten van bodemdaling op de overige deelgebieden	37
5.5 Effecten van bodemdaling op de opslibbing	37
6 AANBEVELINGEN VOOR MONITORING EN MITIGATIE	38
DANKWOORD	40
LITERATUUR	41
FIGUREN	45
BIJLAGEN	77

SAMENVATTING

De Peazemerlannen

Het buitendijks gelegen natuurterrein de Peazemerlannen ligt aan de Waddenzee in het noordoosten van de provincie Friesland. De eigenaar van het gebied is het Waterschap Friesland en de beheerder is It Fryske Gea.

In de Peazemerlannen zijn de volgende deelgebieden te onderscheiden:

De *zomerpolder*. Een voornamelijk door schapen intensief begraasd grasland dat aan alle zijden door (zomer)dijken omgeven is. Daardoor wordt de overvloedingsfrequentie, en daarmee de opslibbing, sterk verminderd. Lozing van overtollig water vindt plaats door negen klepduikers.

Een *buitendijks kweldergebiedje* (ten westen van het hoofdgebied gelegen) is onder te verdelen in een hooggelegen deel voor de deltadijk dat intensief door schapen wordt begraasd en een laaggelegen deel langs de strekdam, dat extensief wordt beweide.

De *kwelder* (de voormalige noordelijke zomerpolder) achter de doorgebroken bitumen dijk is onbeweid (behoudens incidenten) en onder te verdelen in oeverwallen, een lage kwelder en kommen met secundaire pionierzone.

Een *primaire pionierzone* ligt zeewaarts van de kwelder achter de gaten in de bitumen dijk.

Waarom dit onderzoek?

De zomerpolder en de kwelder zijn qua areaal verreweg de belangrijkste deelgebieden (samen ca. 200 ha) en krijgen in deze studie de meeste aandacht. De primaire pionierzone is door Oost & Dijkema (1993) als kwetsbaar gebied voor bodemdaling aangewezen.

Een evenwicht tussen opslibbing en zeespiegelstijging, en in geval van gaswinning ook bodemdaling, is noodzakelijk willen kwelders kunnen overleven. Behalve met een zeespiegelstijging van 1,8 mm/jaar krijgen de Peazemerlannen in de komende ca. 22 jaar te maken met bodemdaling door gaswinning van naar verwachting 18-26 cm.

In dit onderzoek is nagegaan of de jaarlijkse opslibbing zodanig is dat de Peazemerlannen geen nadelige gevolgen ondervinden van de combinatie zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning.

Resultaten en conclusies van het veldonderzoek

Op grond van de resultaten van veldmetingen konden de volgende conclusies getrokken worden:

- In de Peazemerlannen is de netto opslibbing vergelijkbaar met die langs de rest van de Friese en Groninger kust en bedraagt ruim 1 cm per jaar.
- De spontane verkweldering van het lage deel van de Peazemerlannen na een dijkdoorbraak in 1973 heeft geleid tot een vergroting van de natuurlijkheid

door spontane ontwikkeling naar een gevarieerde kweldervegetatie, natuurlijke opslibbing, inclusief beginnende vorming van kreken, oeverwallen en kommen.

- Achter de gaten in de bitumen dijk treedt klifvorming en terugschrijdende erosie van de kwelder op.
- Een bijzonder kenmerk van de Peazemerlannen is dat op de meeste meetpunten in de kwelder de planten ver boven hun ondergrens groeien. Dit houdt in dat er enige rek in het systeem zit, zodat de opslibbing niet per se elk jaar de bodemdaling + zeespiegelstijging direct volledig dient te compenseren.
- De bepalingen van het sedimentbudget gaven geen aanleiding te concluderen dat er een tekort is aan sediment in het gebied. De netto import van sediment is bij stormen ruim 100 maal hoger dan bij normale tijen. Een uitspraak over de jaarlijkse opslibbing op grond van deze gegevens zou echter te speculatief zijn. Op grond van de hoeveelheid vers sediment gemeten op filters in de kwelder kan geconcludeerd worden dat ook de voormalige zomerkade rond de Peazemerlannen geen belemmering vormt voor de sedimenttoevoer. Meetwaarden van 0,3 cm droog sediment gedurende één stormtij kwamen voor.
- De gemeten jaarlijkse opslibbing voor de gehele kwelder bepaald met verschillende methoden varieerde van 0,81 cm (korte termijn SEB-meting) tot 1,61 cm (lange termijn hermeting van de hoogte). Een lange termijn meting op één meetpunt met behulp van ^{137}Cs , waaruit bleek dat zowel van 1973 tot 1986 als van 1986 tot 1996 de gemiddelde opslibbing in de lage kwelder 1 cm/j was, ondersteunt deze uitkomsten.
- Uit de verschillende meetmethoden is gebleken dat korte termijn metingen een vertekend beeld kunnen geven van de opslibbing.
- In 1995 hebben extreme weersomstandigheden (weinig neerslag, warme zomer, veel oostenwind in de winter, ontbreken van stormtij) in de Peazemerlannen een sterke inklink en een lage netto opslibbing veroorzaakt.
- In het algemeen moet met extreme factoren, zoals o.a. droogte, een onverwacht sterke toename van GHW en een lage slibtoevoer door het ontbreken van stormen, rekening gehouden worden, omdat ze op relatief korte termijn tot verlies van kwelderareaal kunnen leiden.
- In de Peazemerlannen blijkt niet zozeer de overvloedingsfrequentie bepalend voor de ruimtelijke verschillen in netto opslibbing als wel de nabijheid van kreken. Dat heeft zijn weerslag op de aanwezigheid, samenstelling en de bedekking van de vegetatie en op het patroon van oeverwallen en kommen.

Welke gevolgen worden van bodemdaling verwacht?

Uitgaande van de voorwaarde dat de opslibningsbalans op de lage kwelder niet negatief mag worden en op basis van de lange termijn opslibbingsgegevens van de hermeting van de hoogte is de gemiddelde jaarlijkse opslibbing in de Peazemerlannen in het algemeen voldoende om voor de huidige zeespiegelstijging te compenseren en is er ruimte voor bodemdaling door gaswinning. De belangrijkste uitzondering vormt de situatie bij de gaten achter de zomerkade waar nu reeds erosie optreedt.

Theoretisch leidt bodemdaling tot meer opslibbing door het toenemende aantal overvloedingen. Uit de literatuur is echter geen experimenteel onderzoek bekend dat deze hypothese ondersteunt. Daarom wordt met deze mogelijke natuurlijke compensatie van bodemdaling geen rekening gehouden.

De ondergrenzen voor de vegetatie in de Peazemerlannen zijn gebaseerd op gegevens van de vastelandkwelders van de Friese kust en gecorrigeerd voor het lagere GHW ter hoogte van de Peazemerlannen. Deze theoretische ondergrenzen voor de Peazemerlannen komen vrij goed overeen met de waarden die tijdens dit onderzoek voor de verschillende zones gemeten zijn. Aangenomen is dat er een breekpunt in de kwelderontwikkeling optreedt wanneer het bodemniveau van een deel van een bepaalde zone onder het laagste niveau komt te liggen waarop de voor die zone karakteristieke plantensoort nog voorkomt. Indien het bodemniveau onder deze grens komt te liggen wordt de vegetatie vervangen door de dominante soorten uit de zone die eronder ligt.

Per kwelderzone is voor het meetpunt met de laagste maaiveldhoogte grafisch weergegeven hoe het bodemniveau vanaf 1996 in de tijd theoretisch zal veranderen: zonder gaswinning en bij gaswinning gedurende 22 jaar volgens drie verschillende scenario's. Hierbij is het volgende gebleken (zie Fig. 5.1 t/m 5.8):

Oeverwallen

Het blijkt dat de oeverwallen bij geen van de voorgestelde gaswinningsscenario's grote risico's lopen als wordt uitgegaan van de gemiddelde lange termijn opslibbingswaarden.

De laagste gemeten oeverwal, die eigenlijk al onder de normale ondergrens voor Strandkweek (*Elymus athericus*) ligt, zou uitgaande van de korte termijn opslibbingswaarde weliswaar kunnen verschuiven naar een Kweldergras (*Puccinellia maritima*)-vegetatie, maar een verschuiving van oeverwal met *Elymus* naar midden/lage kwelder met *Puccinellia* heeft geen nadelige gevolgen voor de kwelder, omdat dichte meerjarige vegetatie aanwezig blijft en het opslibbingstekort daar snel weer gecompenseerd zal worden.

Lage kwelder

Het bodemniveau van het laagste meetpunt van de lage kwelder blijft bij de lange termijn opslibbing van 1,56 cm/j bij alle scenario's boven de ondergrens voor *Puccinellia*.

Het bodemniveau van het laagst gelegen met *Puccinellia* begroeide meetpunt bij zal bij de korte termijn opslibbing van 0,81 cm/j in het eenvoudigste scenario langzaam naar de ondergrens voor *Puccinellia* te zakken om uiteindelijk op 1 cm onder de ondergrens te eindigen. Bij de overige scenario's ligt het bodemniveau van dit punt echter al na respectievelijk 5 en 7 jaar onder de ondergrens en dit blijft zo gedurende de gehele gaswinningsperiode. Het punt komt maximaal ca. 3 cm onder de ondergrens te liggen. Omdat dit punt dus gedurende lange tijd achter elkaar onder de ondergrens ligt is er op grond van de korte termijn metingen een kans dat er een verschuiving op zal treden van lage kwelder met *Puccinellia* naar pionier zone met eenjarige Zeekraal (*Salicornia spec.*).

Kommen

De laagst gelegen gemeten kom ligt tegen de ondergrens voor *Puccinellia* aan en ligt daarmee zo hoog dat het bodemniveau bij geen van de scenario's en geen

van de voor kommen gemeten opslibbingswaarden onder de ondergrens voor *Salicornia* komt te liggen.

Primaire pionierzone

Het bodemniveau van het laagste meetpunt van de primaire pionierzone zal bij alle scenario's, uitgaande van de lange termijn opslibbingswaarde, onder de ondergrens voor *Salicornia* zakken. Bij de verschillende scenario's respectievelijk na 6, 3 en 4 jaar. Het bodemniveau ligt aan het eind van de gaswinningsperiode bij alle scenario's ca. 10 cm onder de ondergrens. Er zal dus een verschuiving optreden van een *Salicornia*-vegetatie naar vrijwel kaal wad. Op grond van de korte termijn meting zou het effect geringer zijn. Achter de gaten in de zomerkade treedt nu reeds erosie op en hier zal erosie zich nog sneller uitbreiden. Erosie in pionierzones is een algemeen probleem bij vastelandskwelders indien die niet tegen golfenergie worden beschermd.

Aanbevelingen

Om de effecten van bodemdaling te volgen en eventuele negatieve effecten te voorkomen worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- *Monitoring* is met name op de *kwelder* een middel om onzekerheden door eventuele ongunstige natuurlijke omstandigheden (b.v. de geringe opslibbing tijdens de korte termijn metingen) en eventuele onzekerheden in de huidige meetnauwkeurigheid het hoofd te bieden. In het algemeen is een combinatie van frequente puntmetingen en gebiedsdekkende metingen met een langer tijdsinterval aan te bevelen.
Met deze aanbeveling is er voldoende zekerheid om te zeggen dat er weinig effecten van bodemdaling zullen optreden, mits de resultaten van de monitoring consequenties kunnen hebben voor de snelheid van gaswinning.
- De *primaire pionierzone* achter het grote gat in het midden van de bitumen dijk vraagt speciale aandacht. Ook zonder bodemdaling is hier een erosieprobleem dat vergelijkbaar is met andere vastelandskwelders indien daar onvoldoende bescherming tegen golfwerking is. Bij de Peazemerlanden is de vroegere bescherming, in de vorm van een bitumen zomerkade en een netwerk van rijshouten dammen, verloren gegaan. Aanbevolen wordt een *beheersmaatregel* te nemen in de vorm van een eenvoudige structuur om de golfenergie in de pionierzone te verminderen. Gedacht kan worden aan een rijshouten dam direct binnen de weggeslagen zomerkade.
- Vergelijking van de opslibbing in de verkwelderde zomerpolder (na de dijkdoorbraak in 1973) en de huidige *zomerpolder* leert dat zomerpolders als gevolg van zeespiegelstijging moeilijk te handhaven zijn, omdat opslibbing achterwege blijft. Bodemdaling door gaswinning versterkt dit probleem. Aangezien de overvloedingen van de zomerpolder buiten het groeiseizoen plaatsvinden zal dit op korte termijn weinig gevolgen hebben voor de vegetatie van de zomerpolder. Op lange termijn zal het ontbreken van opslibbing en cumulatie met zeespiegelstijging het voortbestaan van zomerpolders in gevaar brengen. *Verkwelderen* is een methode om zomerpolders hun natuurlijke veerkracht terug te geven.

1 INLEIDING

1.1 Algemeen: Kwelders en processen

Omdat kwelders in het bereik van het getij liggen, vindt er sedimentatie en erosie plaats. Als de hoogte door sedimentatie toeneemt, verschijnen spontaan de pionierplanten Langarige zeekraal (*Salicornia dolichostachya*) en Engels slijkgras (*Spartina anglica*)¹: aan de wadzijde van de eilanden vanaf een hoogte van 20 tot 0 cm onder gemiddeld hoog water (GHW), in de bezinkvelden van de vastelandskwelders vanaf een hoogte van 40 tot 20 cm onder GHW. Naast de hoogteligging bepalen de golfenergie en de stevigheid van het sediment de mogelijkheden voor pionierplanten om zich te vestigen (König 1948; Van Eerd 1985; Groenendijk 1986). Rond het niveau van GHW bereikt het meerjarige Kweldergras (*Puccinellia maritima*) voldoende bedekking om de opslibbing op te voeren tot de hoogste waarden in de gehele kwelderontwikkeling (Wohlenberg 1933; Jakobsen 1954; Bouwsema *et al.* 1986; Dijkema *et al.* 1988; Andresen *et al.* 1990), om de ontwikkeling van een natuurlijk krekensysteem in gang te zetten en om erosie van de gevormde kwelder tegen te gaan (Wohlenberg 1953; Kamps 1956, 1962; Von Weihe 1979). Het ontstaan van het krekensysteem is een belangrijke stimulans voor de groei van de meeste kwelderplanten (betere ontwatering) en bevordert de successie naar de opvolgende vegetatietypen in de kwelderontwikkeling. De vegetatie speelt dus een essentiële rol in de kweldervorming.

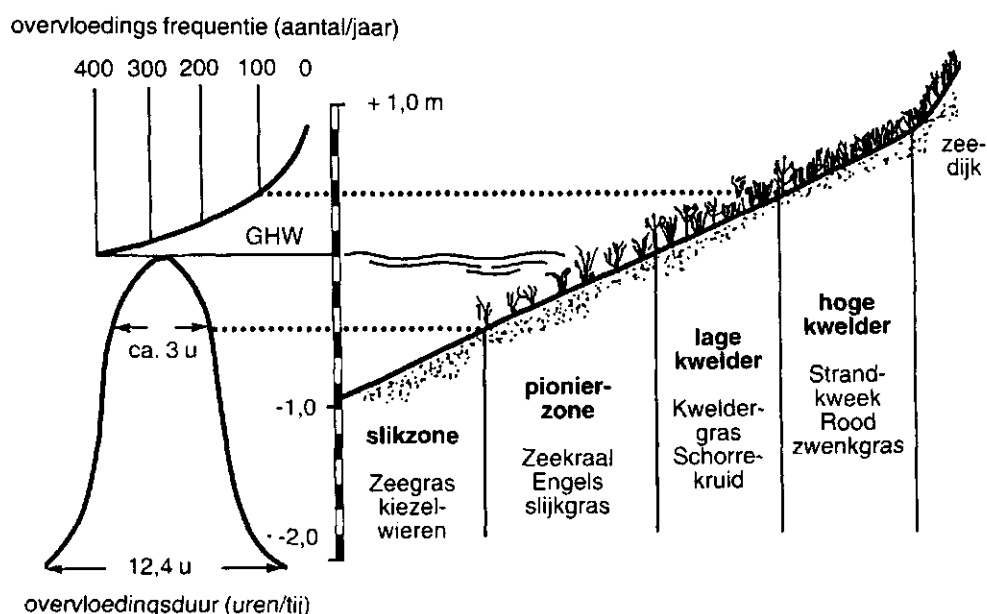


Fig 1.1. Zonering en inundatiefrequentie (naar Erchinger 1985)

¹ Nomenclatuur volgens Van der Meijden *et al.* 1990

Kweldergras markeert de ondergrens van de kwelder die aan de wadkant van de eilanden begint vanaf een hoogte van 10 tot 20 cm boven GHW en in de bezinkvelden van de vastelandskwelders al vanaf een hoogte van GHW tot 15 cm daarboven. De belangrijkste milieuvoorwaarde is bodemdoorluchting (vandaar de toepassing van greppeltjes ter verbetering van de afwatering in de kwelderwerken). Het belangrijkste gevolg van de vestiging van de meerjarige kweldervegetatie is een toename van de opslibbing naar één tot enkele centimeters per jaar. Die opslibbing en de vastlegging van dat slib is echt aan de kweldervegetatie te danken, want eigenlijk zou er door het afnemend aantal overstromingen op deze hoogte minder slib moeten worden vastgelegd. Wordt de kwelder nog hoger dan neemt de opslibbingssnelheid normaliter wel sterk af door het geringer aantal overvloedingen (Fig. 1.1). De zeewaartse rand van hogere kwelders bestaat soms uit een klif dat is ontstaan als gevolg van erosie (in heden of verleden).

Jaar-op-jaar veranderingen in GHW (Fig. 1.2) blijken gevolgen te hebben voor de plantensamenstelling van de kwelderzones (Beeftink 1986; Olff *et al.* 1988). De vegetatiezones zullen uiteindelijk parallel aan de trend in de waterstand opschuiven (afgezien dus van eventuele opslibbing). In de Oostzee is dit voor de bodemstijging daar aangetoond, echter alleen op de lange termijn (Ericson 1980; Cramer & Hytteborn 1987). Binnen een korte termijn van tien jaar blijken de jaar-op-jaar veranderingen van meer belang te zijn. Eén jaar met een verandering in GHW van 5 à 10 cm kan al tot een verschuiving van sommige planten leiden. Deze veranderingen vinden in hetzelfde jaar plaats bij een lager GHW en worden één of meer jaren vertraagd bij een hoger GHW (Beeftink 1986, 1987). Deze vertraagde reactie van de vegetatie op hogere waterstanden biedt de mogelijkheid van een verhoogde opslibbing in de jaren met een hogere relatieve waterstand. De sedimenttoevoer is dan hoger en de beschermende werking van de vegetatie blijft bestaan (Dijkema *et al.* 1990).

In de kwelderwerken in Friesland en Groningen is gebleken dat het verband tussen maatregelen die de opslibbing bevorderen en de vegetatieontwikkeling niet altijd eenduidig is. Dat komt omdat genoemde factoren, zoals GHW-veranderingen, maar b.v. ook weersomstandigheden in het voorjaar, eveneens invloed uitoefenen op de vegetatieontwikkeling en op korte termijn voor belangrijke verschuivingen in het kwelderoppervlak kunnen zorgen. Voor de ontwikkeling van de vegetatie op de lange termijn is de opslibbingsbalans echter van doorslaggevend belang gebleken (Dijkema *et al.* 1990, 1992).

1.2 Gebiedsbeschrijving

Het onderzoeksgebied Peazemerlannen (zie omslagfoto) is gelegen in het uiterste noordoosten van Friesland bij de plaatsjes Paesens (ook wel Peazens) en Moddergat. De eigenaar van het gebied is het Waterschap Friesland en de beheerder is It Fryske Gea. De Peazemerlannen liggen grotendeels ingesloten tussen een in 1974-1976 aangelegde nieuwe deltadijk in het zuiden en een gedeeltelijk verwoeste bitumen dijk (ca. 3,10 m +NAP) in het noorden. Evenwijdig aan en tussen de delta dijk en de noordelijke bitumen dijk loopt een groene zomerkade (ca. 2,25 m +NAP: waarde hermeting) die nog intact is. Net zoals de overige kwelders en zomerpolders langs de Friese en Groninger kust is het gebied voornamelijk via landaanwinningstechnieken ontstaan (Dijkema 1983). Op kaarten van het gebied uit 1861 is al te zien dat er drainagegreppels op het

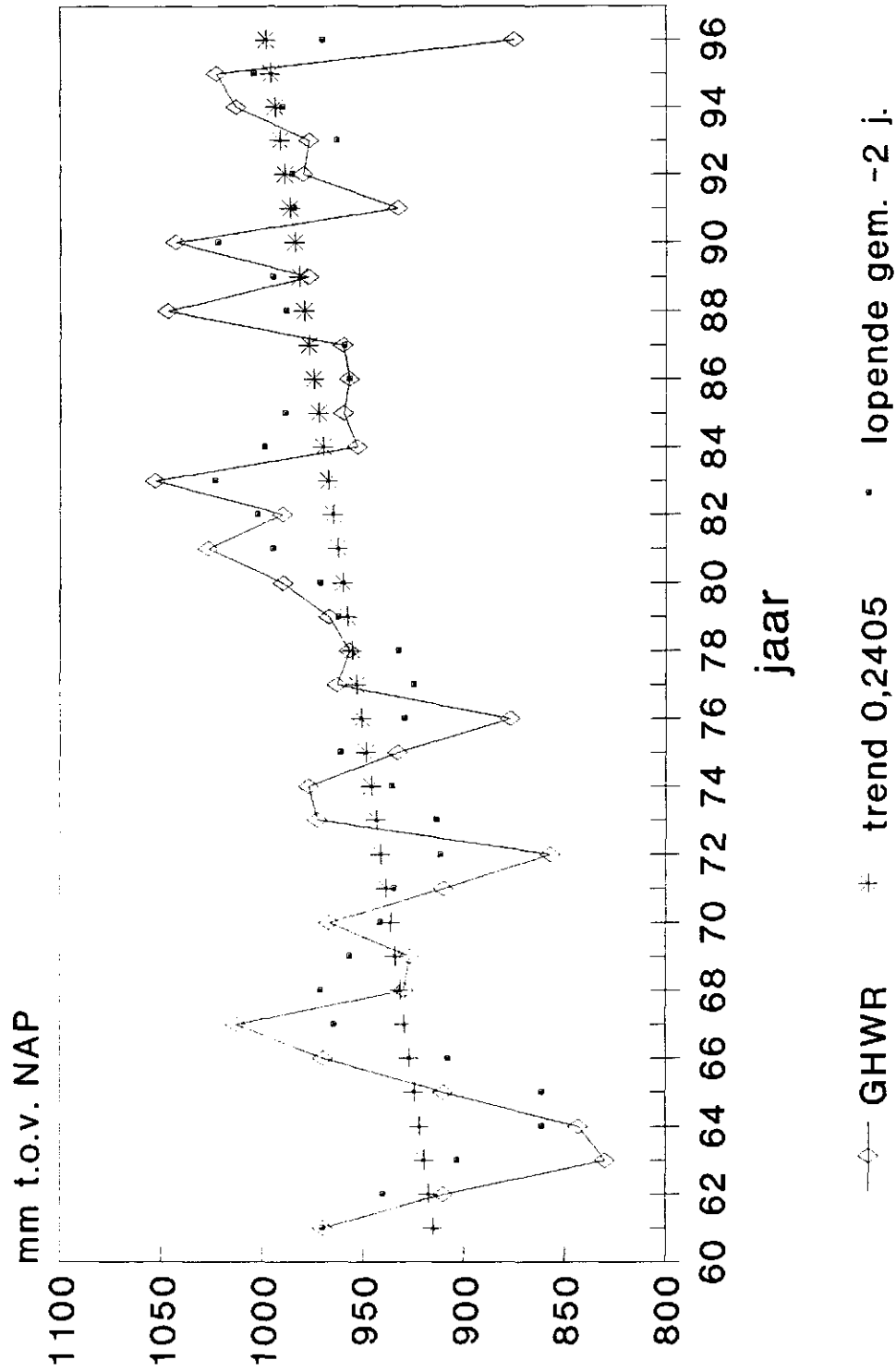


Fig. 1.2. GHW-veranderingen in de Waddenzee over de periode 1961-1996 (gemiddeld voor Harlingen, Halwerd en Schiermonnikoog)

wad waren gegraven en een strekdam was gebouwd op de plaats waar deze nu nog te vinden is. Op een kaart uit 1927-1930 zijn al duidelijk de ontstane akkers waar te nemen, maar er ligt nog geen zomerkade om het gebied. Deze stamt dus in ieder geval van na deze periode. De hoogtij-jaren voor de landaanwinning, met een grootschalige aanpak, waren ongeveer van 1954 tot 1964. Vanaf 1970 is men met de actieve landaanwinning gestopt (De Raad 1993).



Fig. 1.3. Peazemerlannen (mei 1976) 3 jaar na eerste doorbraak in bitumen dijk

Tijdens een storm in april 1973 heeft er in het midden van de bitumen dijk een doorbraak plaatsgevonden. Vanaf dat moment kon er weer een sedimentuitwisseling plaatsvinden tussen de Waddenzee en de noordelijke zomerpolder (Fig. 1.3). In het winterseizoen daarop heeft een groot aantal stormvloedden plaatsgevonden waarna herstelpogingen werden gestaakt (Dhr. G.J. de Weert, voormalig dijkopzichter waterschap De Contributie Zeedijken van Westdongeradeel en hoofd technische dienst waterschap Eastergoa's Sédiken, pers. comm.). In 1979 is een tweede deel van de bitumen dijk (in het westen) weggeslagen waarna zich in de noordelijke zomerpolder nog sneller een kwelder kon ontwikkelen (Fig. 1.4).



Fig. 1.4. Oeverwallen en kommen en meetbrug in de Peazemerlannen in augustus 1996 (Vliegerfoto J. de Vlas)

Anno 1996 zijn in het gebied duidelijk de volgende deelgebieden te onderscheiden:

1. de zomerpolder - intensief, voornamelijk door schapen, begraasd grasland; aan alle zijden door (zomer)dijken omgeven, waardoor de overvloedingsfrequentie, en daarmee de opslibbing, sterk verminderd wordt; lozing van overtollig water vindt plaats door negen klepduikers;
2. het in het westen gelegen buitendijkse kweldergebiedje dat nog onder te verdelen is in:
 - a. het hooggelegen deel voor de deltadijk - net zoals de zomerpolder intensief begraasd door schapen,
 - b. het laaggelegen deel langs de strekdam - extensief beweide.
3. de kwelder (de voormalige noordelijke zomerpolder) achter de doorgebroken bitumen dijk - onbeweid (behoudens incidenten) en nog onder te verdelen in:
 - a. oeverwallen
 - b. lage kwelder
 - c. kommen/secundaire pionierzone
4. de primaire pionierzone achter de gaten in de bitumen dijk.

De zomerpolder (1) en de kwelder (3) zijn qua areaal verreweg de belangrijkste deelgebieden (samen ca. 200 ha). De primaire pionierzone (4) is door Oost & Dijkema (1993) als kwetsbaar gebied voor bodemdaling aangewezen. Daarom worden deze gebieden verder apart behandeld.

1.3 Vraagstelling en hypothesen

Een evenwicht tussen opslibbing en zeespiegelstijging, en in geval van gaswinning ook bodemdaling, is noodzakelijk willen kwelders kunnen overleven (Oost & Dijkema 1993). Behalve met een zeespiegelstijging van 1,8 mm/jaar krijgen de Peazemerlannen in de komende ca. 22 jaar te maken met bodemdaling door gaswinning van naar verwachting in totaal 22 cm. Indien de cumulatie van deze twee effecten zou leiden tot een negatieve opslibbingsbalans kan dit een verlies van vegetatie en van het kwelderareaal tot gevolg hebben.

Dit roept de volgende vragen op:

- Wat is de jaarlijkse opslibbing in de Peazemerlannen?
- Is de opslibbing zodanig dat de Peazemerlannen geen nadelige gevolgen ondervinden van de combinatie zeespiegelstijging en bodemdaling door gaswinning?

Hypothese:

- 1a. In de Peazemerlannen is de netto opslibbing vergelijkbaar met die langs de rest van de Friese en Groninger kust en bedraagt ca. 1 cm per jaar (Oost & Dijkema 1993).
- 1b. Normaal gesproken zullen er geen problemen met de sedimentbalans ontstaan, maar achter de gaten in de bitumen dijk kan het probleem van klifvorming en terugschrijdende erosie van de kwelder ontstaan (Oost & Dijkema 1993).

Nadat in 1995 sedimentgegevens en opslibbingsgegevens verzameld zijn (zie hoofdstuk 3.1 en 3.2) bleek dat door de vrij uitzonderlijke weersomstandigheden in dat jaar de opslibbing zowel in de Peazemerlannen als de referentiegebieden elders bijzonder laag was. Behalve een voortzetting van de metingen uit 1995 heeft dit ertoe geleid dat er is gezocht naar meer meettechnieken om een uitspraak te kunnen doen over hypothese 1. Bovendien is de vraagstelling uitgebreid:

- Welke factoren/processen zijn bepalend voor de opslibbing in deze kwelder?

De volgende hypothesen zijn na 1995 toegevoegd:

2. De restanten van de bitumen dijk rond de Peazemerlannen zorgen voor een reductie van de sedimenttoevoer (o.a. blokkade van het near-bed zandtransport) waardoor de netto opslibbing in het gebied beperkt wordt.
 3. Extreme meteorologische omstandigheden (weinig neerslag, warme zomer, veel oostenwind in de winter, ontbreken van stormtijden) hebben in 1995 in de Peazemerlannen een sterke inklink en een lage netto opslibbing veroorzaakt.
 4. De aanwezigheid, samenstelling en de bedekking van de vegetatie en de netto opslibbing in de Peazemerlannen worden niet uitsluitend door de overvloedingsfrequentie bepaald, maar ook door het patroon van oeverwallen en kommen.
-

2 METINGEN

Bepalend voor de opslibbing op een kwelder zijn: de hoeveelheid sediment die aangevoerd wordt, hydrodynamische omstandigheden (golfhoogte, stroomsnelheid van het water), morfologie (overstromingsfrequentie, afstand tot de Waddenzee, afstand tot de kreken, ligging in het oeverwallen-kommen systeem) en de structuur en biomassa van de vegetatie (Nyman *et al.* 1993). In de Waddenzee is normaal gesproken voldoende sediment aanwezig om voor een hoge opslibbing langs de vastelandskust te zorgen (Kamps 1956, 1962; Van den Bergs *et al.* 1992).

In vergelijking met het kale wad wordt op de begroeide kwelder een hogere opslibbing gevonden. De belangrijkste bijdrage van de vegetatie is, behalve invangen van sediment, het dempen van de golven (Moeller *et al.* 1997).

Er zijn verschillende methoden om opslibbing te meten. De verticale verdeling van radionucliden (bijv. ^{210}Pb) in de grond en pollen analyses kunnen gebruikt worden om een beeld te krijgen van het verloop van de opslibbing over periodes van 100 en 200 jaar (Kearney *et al.* 1994). De activiteit van het radioisotoop ^{137}Cs kan gebruikt worden om de gemiddelde opslibbingsnelheid gedurende enkele decades te bepalen (Ehlers *et al.* 1993; Milan *et al.* 1995). Het cesium-137 dat in de grondlagen wordt aangetroffen is voornamelijk afkomstig van bovengrondse kernproeven tussen 1955 en 1963. Het ongeluk in de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986 had gunstige bijkomstigheid dat er nog een duidelijk dateerbare horizont ontstond met een ^{137}Cs -concentratie die veel hoger ligt dan die veroorzaakt door de 'fall-out' afkomstig van vroegere kernbomproeven. Deze methoden kunnen alleen gebruikt worden als de bodem niet erg dynamisch is. Erosie en andere (plaatselijke) grondverplaatsingen, zoals bij bioturbatie, kunnen namelijk voor een zodanige verstoring van de bodemlagen zorgen dat deze methodes onbetrouwbaar worden.

Gegevens over recente deposities worden vaak verzameld door gebruik te maken van zand-, houtskool- of gravellagen (De Glopper 1981; Stoddart *et al.* 1989), ingegraven bamboe stokjes (Ranwell 1964) of een filtertechniek, zoals bescheven door Reed (1989). Deze laatste methode is bij uitstek geschikt om de hoeveelheid sediment te bepalen die gedurende één (storm) tij of enkele tijen aangevoerd wordt.

Nadeel van veel van de bovengenoemde methoden is dat ze alleen bruikbaar zijn bij opslibbing. In geval van erosie kan de, al dan niet zelf aangebrachte, referentielaaag namelijk worden weggespoeld. De 'sedimentation-erosion bar' (SEB) of 'sedimentation-erosion table' (SET) (Boumans & Day 1993) zijn wel geschikt om beide processen te meten. Bovendien kunnen ze zowel op het kale wad als in de begroeide kwelder gebruikt worden zodat het effect van de vegetatie op opslibbing en erosie mede bepaald kan worden.

Voor het toetsen van de 4 hypothesen is uiteindelijk gebruik gemaakt van 5 verschillende methodes:

hypothese 1: sedimentbudget bepalingen (hoofdstuk 2.1) en Sedimentation-Erosion Bar (SEB) metingen (hoofdstuk 2.2); omdat deze metingen slechts relatief korte tijd gedaan zouden kunnen worden zodat extreme weersomstandigheden in die periode een groot effect op

de uitkomst zouden kunnen hebben is er voor gekozen om nog twee typen lange termijn metingen te verrichten: bepaling van de hoogte waarop de ^{137}Cs -laag voorkomt (hoofdstuk 2.3) en een hermeting bodemhoogte uit 1964 (hoofdstuk 2.4);

hypothese 2: sedimentbudget bepalingen en een filter techniek gecombineerd met korrelgroottebepalingen van afgezet sediment (hoofdstuk 2.5);

hypothese 3: Sedimentation-Erosion Bar-metingen;

hypothese 4: hermeting bodemhoogte uit 1964, gekoppeld aan een vegetatie-opname op de meetpunten en een filter techniek om de gevolgen van uitzonderlijke gebeurtenissen, zoals stormtijden, te bepalen.

2.1 Sedimentbudget bepalingen

De meetapparatuur werd bevestigd aan een uit steigermateriaal opgebouwde brug, die was geplaatst over de hoofdkreek aan de westzijde van de kwelder (Fig. 2.1).

Omdat de stroomsnelheden aan het oppervlak en vlak boven de bodem van de kreek verschillen werden twee digitale stroomsnelheidsmeters gebruikt. De ene werd op ongeveer 30 cm boven de bodem geplaatst en de andere werd aan een drijver bevestigd om de stroomsnelheid op 20 cm onder het wateroppervlak te meten.

De in het water opgeloste deeltjes (voor het grootste deel sediment en een klein gedeelte organisch materiaal) werden gemeten met behulp van een troebelheidsmeter. Om deze waarden om te kunnen rekenen naar werkelijke hoeveelheden sediment werden met behulp van pompjes (één per 50 cm) elke 15 minuten watermonsters genomen gedurende een hoogwatercyclus (vanaf het opkomen van het water tot het weglopen van het laatste water).

Het waterniveau tijdens een tij (Fig. 2.2) werd gemeten met behulp van een drukmeter. Alle apparatuur was verbonden met een datalogger die elke zes seconden een meting deed en het gemiddelde van elke tien metingen opsloeg.

De hoeveelheid water die tijdens een tij de kwelder in komt en er uit gaat wordt berekend door de gemiddelde stroomsnelheid (Fig. 2.3) van de waterkolom te vermenigvuldigen met het gemiddelde oppervlak van de waterkolom op het meetpunt:

Watertransport (m^3/s) = stroomsnelheid (m/s) * oppervlak waterkolom (m^2)

Voor de berekening van het oppervlak is naast de hoogte van de waterkolom per meetcampagne het profiel van de kreek (Fig. 2.1) met behulp van een waterpas-instrument gemeten. In de genomen watermonsters wordt de hoeveelheid sediment bepaald door 250 ml te filtreren over een gedroogd en gewogen $0,45 \mu\text{m}$ Whatman GF/C filter. De filters worden daarna weer gedroogd en gewogen. Het drooggewicht van het residu op de filters geeft een goed beeld van de in het water opgeloste deeltjes.

Tabel 2.1. Hoogwateroverschrijdingsgegevens Peazemerlanden 1941-1994

NAP (m)	1941-1980	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	Cum. gem.
2,95	0.25	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	2	0.1
2,85	0.35	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	2	0.4
2,75	0.50	1	0	0	0	0	1	3	1	0	4	2	1
2,65	0.75	2	0	1	0	0	1	4	1	0	4	3	1
2,55	1.1	2	0	1	1	1	1	5	1	0	4	3	1
2,45	1.6	3	2	1	1	1	1	10	3	0	5	3	2
2,35	2.2	6	3	1	1	3	2	12	3	0	9	3	3
2,25	3.2	10	3	1	2	4	2	13	5	2	10	4	4
2,15	4.4	14	4	3	3	5	2	17	6	3	12	4	5
2,05	6.1	15	5	3	4	7	4	19	8	3	15	6	7
1,95	8.3	19	7	12	7	12	5	29	13	8	17	11	9
1,85	12	22	9	18	7	23	7	34	17	12	21	14	13
1,75	17	29	15	27	11	31	12	43	21	17	28	17	18
1,65	25	33	20	36	19	41	23	56	29	19	34	27	26
1,55	36	50	32	45	35	74	35	63	36	30	43	38	38
1,45	52	65	47	57	53	92	63	90	49	45	55	55	54
1,35	78	87	71	89	76	127	97	119	63	75	76	90	80
1,25	116	119	103	134	122	175	143	151	90	99	103	135	118
1,15	172	179	166	191	182	235	208	216	135	162	147	200	175
1,05	259	267	249	265	274	319	294	295	193	237	200	285	260
0,95	350	365	363	344	365	407	396	375	273	327	294	376	351
0,85	455	445	469	431	452	496	474	468	352	432	393	453	452
0,75	530	515	545	499	530	571	559	551	462	529	499	541	529
0,65	600	587	617	567	592	624	625	610	551	587	583	612	599
0,55	640	641	660	610	635	658	664	650	622	639	626	652	640
0,45	670	668	681	657	666	670	682	677	652	668	668	670	670
0,35	686	683	691	673	681	683	694	689	674	690	679	688	686
0,25	694	695	696	687	686	700	699	697	689	700	687	695	694
0,15	700	702	701	697	693	703	703	702	696	704	694	700	700
0,05	703	705	703	701	698	704	705	703	697	705	699	702	702
Totaal	706	706	705	706	705	707	706	705	705	707	706	706	706

Gebaseerd op hoogwateroverschrijdingsgegevens voor Nes, Ameland (Bron 1941-1993: Tabel 3.1 uit Eysink *et al.*, 1995; 1994 RWS) en aangepast aan hoogwater in de Peazemerlanden dat 5-6 cm lager is dan in Nes.

De vermenigvuldiging van het totale watertransport gedurende een bepaald tijds-interval met de gemiddelde sediment concentratie tijdens die periode levert de totale hoeveelheid sediment op die in die tijd het meetpunt is gepasseerd. Door sommatie van al deze hoeveelheden tijdens vloed en tijdens eb wordt de totale import of export van sediment gedurende een tijd berekend (Dankers *et al.* 1984; Asjes & Dankers 1994). Met de aldus verkregen getallen voor sediment import of export van diverse tijden en hoogwateroverschrijdingsgegevens voor het gebied (zie Tabel 2.1) kan een globale schatting gemaakt worden van de jaarlijkse netto sediment toevoer.

2.2 Sedimentation-erosion bar (SEB) metingen

Per meetveld zijn twee kunststof palen (Ø7,5 cm) in de bodem geslagen tot in de zandlaag (op ongeveer 125 cm diepte) en waterpas gesteld. Van de palen is de hoogte ten opzichte van NAP bepaald (deze hoogte wordt jaarlijks gecontroleerd). Op deze palen wordt de SEB, een 2 m lange aluminium balk met 17 gaten, geplaatst (Fig. 2.4). Met behulp van een meetstok wordt, met een nauwkeurigheid van 1 mm, op deze 17 vaste punten de bodemhoogte bepaald. Door verschillende metingen in een jaar te verrichten kan worden vastgesteld of erosie/inklinking of opslibbing heeft plaatsgevonden in de tussenliggende periode.

In januari 1995 zijn achter het zomerdijkje in het weiland van de zomerpolder 3 veldjes uitgezet. Aangezien hier geen tot nauwelijks opslibbing plaatsvindt, omdat het vrijwel nooit overvloed wordt, zullen deze veldjes een indruk geven van inktlinking/zwelling van de grond. In de kwelder zelf zijn in de dominante vegetatietypes (verdeeld over kommen met *Salicornia*, lage kwelder met *Puccinellia* en oeverwallen met *Elymus*) 17 SEB-velden uitgezet: 12 aan de westzijde en 5 in het midden van het gebied. In maart 1996 is het aantal veldjes in de kwelder met 10 uitgebreid, allen aan de oostzijde van het gebied, zodat het totaal op 30 komt (Tabel 2.2 en Fig. 1.4). De metingen hebben plaatsgevonden tot maart 1997.

Tabel 2.2. NAP-hoogte (m) en indeling op grond van vegetatie en ontwateringstoestand van de 30 SEB-velden bij aanvang van de meetperiode

SEB-veld	NAP (m) 1995	SEB-veld	NAP (m) 1995	SEB-veld	NAP (m) 1996
1 - zomerpolder	1,54	11 - lage kwelder	1,45	21 - lage kwelder	1,31
2 - zomerpolder	1,54	12 - kom	1,21	22 - lage kwelder	1,38
3 - zomerpolder	1,51	13 - lage kwelder	1,35	23 - lage kwelder	1,39
4 - lage kwelder	1,33	14 - kom	1,26	24 - kom/gat	1,13
5 - lage kwelder	1,35	15 - lage kwelder	1,33	25 - kom	1,35
6 - kom	1,29	16 - oeverwal	1,40	26 - lage kwelder	1,51
7 - lage kwelder	1,37	17 - kom	1,31	27 - oeverwal	1,48
8 - kom	1,30	18 - lage kwelder	1,38	28 - oeverwal	1,47
9 - lage kwelder	1,41	19 - kom/gat	1,39	29 - oeverwal	1,44
10 - oeverwal	1,57	20(-2) - oeverwal	1,55 (1,57)	30 - oeverwal	1,50

Zomerpolder: deelgebied 1; Oeverwal: deelgebied 3a; Lage kwelder: deelgebied 3b; Kom: deelgebied 3c; Kom/gat: deelgebied 4

Bij de SEB-velden 1-20 zijn twee maal (september 1995 en augustus 1996) en bij de velden 21-30 één maal (augustus 1996) vegetatie-opnames gemaakt volgens de decimale schaal (Londo 1975) op permanente kwadraten van 2x2 m. Verder is de hoogte van de vegetatie gemeten en de bedekking door de vegetatie geschat (zie bijlagen tabel I).

In dezelfde periode zijn behalve in de Peazemerlannen ook SEB-metingen gedaan in twee referentiegebieden:

a) Neerlands Reid op Ameland (voor een beschrijving zie Eysink *et al.* 1995). Van dit gebied is een SEB-meetreeks vanaf mei 1993 (21 SEB-velden in verschillende vegetatietypen: *Salicornia* in de secundaire pionierzone, *Puccinellia* op de lage kwelder, *Puccinellia/Artemisia* op de midden kwelder en *Elymus/Juncus* op de hoge kwelder).

b) Negenboerenpolder in de Groninger Kwelderwerken (voor een beschrijving zie Dijkema *et al.*, 1991). Hier loopt de SEB-meetreeks vanaf juni 1994 (15 SEB-velden -> 5 SEB-velden in drie vegetatietypen: *Salicornia* in de pionierzone, *Spartina* in de pionierzone en *Puccinellia* op de lage kwelder).

2.3 ¹³⁷Cs-bepaling

In augustus 1996 is een ¹³⁷Cs-bepaling (aanbevolen in Dijkema 1995) verricht aan bodemonsters uit de kwelder van de Peazemerlannen. Na uitzoeken van een representatieve locatie, op grond van reeds verzamelde gegevens, zijn door het IBN en de Rijksgelogische Dienst te Zwolle (nu Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen te Haarlem) twee bodemkernen gestoken in de lage kwelder bij SEB-veld 18. De kernen waren 10x10 cm en liepen van maaiveldhoogte (0 cm) tot 30 cm diep. Aan deze monsters is onder meer een ¹³⁷Cs-bepaling uitgevoerd door het Kernfysisch Versneller Instituut te Groningen. Voor een beschrijving van de methode wordt verwezen naar Venema (1997).

2.4 Hermeting bodemniveau 1964 in 1996 (t.o.v. NAP)

In 1964, toen de bitumen dijk rond de twee zomerpolders nog volledig intact was, is in de polders en in het westelijk gelegen buitendijks kweldergebiedje door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat een gebiedsdekkende waterpassing gedaan waarbij om de 100 m het bodemniveau ten opzichte van NAP bepaald is. Het terrein was in die tijd vrij vlak (Fig. 2.5). In 1996 zijn de posities van de meetpunten vanaf de kaart uit 1964 door de NAM gedigitaliseerd en zijn de coördinaten vastgelegd. Op de aldus van tevoren vastgelegde x en y coördinaten voor 241 punten is in september 1996 in het veld langs 35 raaien een hermeting van het bodemniveau gedaan door de NAM (Boer 1996) met behulp van het Differential Global Positioning System en een lokaal referentie signaal vanaf de delta dijk (nauwkeurigheid hoogtemeting: 1-2 cm). Uit het verschil tussen de waarden uit 1964 en 1996 is de gemiddelde netto opslibbing per jaar berekend. Voor de zomerpolder en de huidige kwelder gaat het om de opslibbing over een periode van 23 jaar (van het moment dat de bitumen dijk doorbrak in 1973 tot 1996). Aangezien het buitendijkse gebied niets met de doorbraak van de bitumen dijk te maken heeft gehad en er materiaal heeft kunnen sedimenteren of eroderen van 1964 tot 1996, is daar de opslibbing berekend over een periode van 32 jaar.

Om oeverwallen, lage kwelder en kommen van elkaar te kunnen onderscheiden is in het kwelderdeel op elk van de meetpunten van de hermeting door het IBN een vegetatieopname gemaakt van de dominante plantensoorten volgens de schattingsmethode van Tansley (Leys 1978; Küchter & Zonneveld 1988). Verder is de hoogte van de vegetatie gemeten, de bedekking geschat en de lokale ontwatering bekeken (zie bijlagen, tabel II t/m IV).

2.5 Bepaling korrelgrootte en hoeveelheid afgezet sediment

2.5.1 Korrelgrootte grondmonsters

Om een idee te krijgen van de korrelgrootte van het sediment dat door overvloedingen afgezet wordt op de kwelder zijn in de Peazemerlannen in maart, mei, augustus, september en november 1995 bij de (toen nog) 20 SEB-meetpunten grondmonsters genomen van de bovenste 3 mm van het bodemoppervlak (recent afgezet sediment). In maart en augustus 1995 zijn in het referentiegebied op Ameland op dezelfde wijze grondmonsters genomen bij de SEB-meetpunten. De korrelgrootte werd bepaald door de monsters te drogen bij 60 °C, te malen en te zeven (maaswijdtes 250µ, 160µ, 125µ, 80µ en 63µ). Vervolgens werd van de verschillende fracties het gewicht bepaald.

2.5.2 Filtermeting

Om een idee te krijgen van de hoeveelheid sediment die na een of enkele tijen op de kwelder wordt afgezet zijn in de Peazemerlannen filters vastgeklemd in filterhouders die geplaatst waren op de bodem bij 20 van de 30 SEB-velden. De methode is een variatie op degene die door Reed (1989) is gebruikt. Per veld werden drie Whatman nr.5 filters met een doorsnede van 11 cm gebruikt. De filters zijn vier maal geplaatst: van 23 oktober tot 1 november 1996, van 14 november tot 5 december 1996, van 12 tot 20 februari 1997 en van 27 februari tot 15 april 1997. Na door een aantal tijen overspoeld te zijn geweest werden de filters opgehaald en gedroogd bij 40 °C. Vervolgens werd het gewicht van het afgezette sediment bepaald. Indien voldoende sediment was afgezet werd de korrelgrootte bepaald op de bij de grondmonsters beschreven wijze.

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 Sedimentbudget bepalingen

Aangezien het, praktisch gezien, niet mogelijk was om sedimentbudgetmetingen te doen voor het hele gebied, heeft het onderzoek zich voor dit aspect gericht op het westelijke deel van de kwelder.

Uit Tabel 2.1 blijkt dat er jaarlijks gemiddeld 706 tijen zijn waarvan gemiddeld 254 tijen lager zijn dan 0,85 m +NAP (daarvan is er één gemeten). Aangezien de wat dichter begroeide pionierzone ongeveer op deze hoogte begint hebben deze lage tijen geen grote directe invloed op de import of export van sediment. Bij de overige 452 tijen, wel hoger dan 0,85 m +NAP, begint overvloeding van de kwelder en kan sediment op de kwelder gebracht worden of afgevoerd worden. Bij tijen boven de 1,75 m +NAP staat vrijwel de gehele kwelder onder water (>90%, zie Fig. 2.5). Van de gemiddeld 434 tijen tussen 0,85 en 1,75 m zijn er twaalf gemeten, van de dertien tijen tussen 1,75 en 2,15 m zijn er twee gemeten en van de vijf tijen hoger dan 2,15 m is er één gemeten. Zie Tabel 3.1 voor de meetdata.

Tabel 3.1. Data brugmetingen, waterhoogte bij HW en netto hoeveelheden water en sediment

Datum	Waterhoogte bij HW (m + NAP)	Water aanvoer (m ³)	Netto sediment import/ export (kg)
22 dec. 1994	0,77	1671	-14
22 dec. 1994	0,98	4126	267
21 dec. 1994	1,01	5199	420
13 juni 1995	1,17	4536	121
20 dec. 1994	1,17	7737	995
21 dec. 1994	1,21	8276	1473
22 nov. 1995	1,21	5217	211
23 nov. 1995	1,27	6341	230
19 dec. 1994	1,34	10272	1098
20 dec. 1994	1,36	14298	2277
27 sept. 1995	1,47	25560	1083
14 juni 1995	1,51	25365	3990
15 juni 1995	1,51	25546	1738
26 sept. 1995	1,78	78590	-1079
30 aug. 1996	1,78	81842	-2467
28 sept. 1995	2,31	189792	125490

Bij rustige weersomstandigheden en waterhoogtes tot ca. 1,5 m +NAP, zoals die gedurende de meetperiodes meestal optraden, is er een netto import van sediment langs het meetpunt geconstateerd.

Hoewel het water bij deze waterstanden ca. 80% van de kwelder overspoelt blijft het meeste slib in de krekken achter omdat de oeverwallen hoger zijn dan 1,5 m +NAP. De aanwezigheid van de "drempel" (=restanten van de doorgebroken bitumen dijk in de vorm van houten palen en stenen) aan het begin van de hoofdkreek lijkt in dit opzicht niet ongunstig voor het vasthouden van het fijne sediment in de kreek. Grof sediment, zoals zand, wordt vlak boven of over het bodemoppervlak getransporteerd (Houwing *et al.* 1995). De restanten van de zomerkade zouden voor dit type sediment een belemmering kunnen vormen waardoor voorkomen wordt dat grof zand vanaf het wad de kwelder binnenkomt. Hier zijn echter geen metingen aan verricht.

Bij een waterniveau tot ca. 1,5 m +NAP is er een duidelijke correlatie tussen de maximum waterhoogte (in m +NAP) per tij en de hoeveelheid sediment die geïmporteerd wordt (Fig. 3.1). De gemiddelde import was 1000 kg per tij.

Bij een waterniveau >1,5 m +NAP beginnen ook oeverwallen overstroomd te raken. Tijdens twee tijen van 1,78 m +NAP werd een netto export van 1750 kg gemiddeld gemeten. Het water stond weliswaar over vrijwel de hele kwelder, maar de stroomsnelheden van het water in de krekken zijn blijkbaar nog te gering om het daar opgehoopte sediment zo te resuspenderen dat het op de kwelder afgezet kan worden. De maximale waarde van de stroomsnelheid van het water bij vloed en eb lag bij beide tijen op respectievelijk ca. 0,78 en 0,76 m/s. Het is echter mogelijk dat bij deze snelheden het sediment over de bodem van de krekken over grote afstanden vervoerd kan worden.

Tijdens een hoge vloed (met een waterstand ruim boven de 2 m) werd een netto import van 125.000 kg sediment gemeten (Tabel 3.1), een hoeveelheid die ongeveer overeenkomt met de import gedurende 125 'normale' tijen. Hoewel dit sediment ook deels van het voorliggende wad afkomstig zal zijn wordt een groot deel ook gemobiliseerd uit de krekken waar het zich verzameld heeft tijdens de gemiddelde tijen. De stroomsnelheden tijdens dit tij liepen op tot maximaal 1,5 m/s bij opkomend water en 1,4 m/s bij afgaand water. Het sediment wordt tijdens deze extreme tijen veelal op de oeverwallen afgezet (zie hoofdstuk 3.5).

Hoewel er ook sediment-exporterende stormtijden kunnen voorkomen (Dankers *et al.* 1984; Asjes & Dankers 1994) zijn die in deze meetrondes niet waargenomen.

Een schatting van de potentiële jaarlijkse opslibbing op grond van de metingen van de sedimentbudgetten (Tabel 3.1) en de gemiddelde hoogwateroverschrijdingen voor het gebied (Fig. 3.2 en Tabel 2.1) zou te speculatief zijn, omdat er te weinig gegevens zijn van de tijen uit de hoge regionen. Derhalve wordt er geen uitspraak gedaan over hypothese 1.

Wel is veel duidelijk geworden over het proces van sedimentatie in de Peazemerlannen. De verzamelde gegevens ondersteunen het uitgangspunt dat er voldoende sediment beschikbaar is voor een opslibbing zoals die in het algemeen op vastelandskwelders plaatsvindt. Hoge (storm-) vloed en spelen een allesbepalende rol bij sedimentverplaatsingen op de kwelder: één zeer hoge vloed van 2,31 m +NAP bracht net zoveel sediment op de kwelder als 125 normale tijen tussen 0,98 en 1,51 m +NAP.

3.2 Sedimentation-erosion bar (SEB) metingen

In een, wat het weer betreft, gemiddeld jaar is het soms voldoende om per seizoen één SEB-meting te doen om een goed beeld te krijgen van de jaarlijkse veranderingen van de bodemhoogte. In de Peazemerlannen waren de weersomstandigheden in het eerste meetjaar, 1995, echter vrij uitzonderlijk: een warme zomer met sterke krimpings van de bodem door uitdroging (tot ca. 2 cm). Onder invloed van waterabsorptie en waterverlies kunnen oude, gerijpte bodems een variatie in bodemhoogte vertonen van 3-4 cm (Veenstra 1965; De Glopper 1973). De mate van fluctuatie hangt sterk samen met de hoeveelheid neerslag en dus het vochtgehalte van de bodem. Bij een binnendijkse uitgerijpte bodem is de zomerse inklink (vrijwel) geheel reversibel (pers. comm. De Glopper 1997).

Dat zomerse inklink van de bodem niet uitsluitend optreedt in de Peazemerlannen (Fig. 3.3), maar ook elders, blijkt uit de figuren van de SEB-metingen in de referentiegebieden Neerlands Reid (Fig. 3.4) en Negenboerenpolder (Fig. 3.5) waarvan al een langere meetreeks beschikbaar is. In alle zomers is er in mindere of meerdere mate inklink geweest.

Herstel treedt meestal vrij snel op na weer nat worden van de bodem door neerslag of overvloeding. In de herfst trad dan ook enig herstel op. Echter, de winter van 1995 werd vrijwel net zo uitzonderlijk als de zomer: de Waddenzee was gedurende lange tijd geheel met ijs bedekt en de wind kwam vrijwel uitsluitend uit het oosten waardoor er nauwelijks overvloedingen (en zeker geen stormtijden) plaatsvonden in deze voor opslibbing normaal gesproken belangrijke tijd. Bovendien was de neerslag ook zeer gering. Vandaar dat gedurende 1995 in plaats van een verwachte opslibbing een daling van het bodemniveau werd gemeten van gemiddeld 5 mm. In de referentiegebieden is dezelfde trend waargenomen en ook op Schiermonnikoog, waar door de Rijksuniversiteit van Groningen SEB-metingen worden verricht (pers. comm. Prof. Dr. J.P. Bakker).

Deze bijzondere weersomstandigheden vormden één van de redenen om naast de SEB-metingen naar alternatieven te zoeken om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over de gemiddelde jaarlijkse opslibbing over een langere periode in de Peazemerlannen (zie hoofdstuk 3.3 en 3.4).

Het tweede meetjaar was meteorologisch iets minder extreem. Verder zijn de 10 SEB-velden in het oostelijk deel van de kwelder pas in januari 1996 toegevoegd aan de meetreeks. Hierdoor hebben deze een jaar minder met inklink te maken gehad en juist wel met de eerste grote sedimentimport sinds lange tijd. Uiteindelijk heeft dit tot de volgende gemiddelde eindresultaten voor de SEB-metingen geleid. Daar waar de SEB-velden op de hogere delen van de kwelder lagen (o.a. oeverwallen met *Elymus*) was de jaarlijkse opslibbing iets meer dan 1 cm. Op de door *Puccinellia* gedomineerde lage kwelder bedroeg de jaarlijkse opslibbing 0,8 cm en in de kommen (secundaire pionierzone met *Salicornia* en *Suaeda*) 0,4 cm (Tabel 3.2).

Gemiddeld voor de kwelder (3) komt de jaarlijkse opslibbing op 0,8 cm. Aangezien dit lager is dan 1 cm/j wordt hypothese 1 op grond hiervan verworpen: de opslibbing in de twee meetjaren is lager dan die langs de Friese en Groninger kust en er zijn problemen met de opslibbingsbalans te verwachten.

Op grond van vergelijking van de eindresultaten van de SEB-metingen met de referentiemetingen is eind 1995 besloten ook naar langjarige gegevens te zoeken. Uitgangspunt daarbij was de toegevoegde hypothese (3), dat extreme weersomstandigheden de opslibbing hebben beïnvloed.

Tabel 3.2. Gemiddelde netto opslibbing/erosie (cm/j), gemiddelde hoogteligging (m+NAP) en het aantal SEB-metpunten per deelgebied in de Peazemerlannen (januari 1995-maart 1997) en de 2 referentiegebieden (maart 1995-maart 1997) gemeten met de sedimentation-erosion-bar

Deelgebied/Zone	Peazemerlannen			Neerlands Reid			Negenboerenpolder		
	gem. cm/jaar	gem. m + NAP	n	gem. cm/jaar	gem. m + NAP	n	gem. cm/jaar	gem. m + NAP	n
Zomerpolder (1)	- 0,70	1,53	3	-	-	-	-	-	-
Oeverwal (3a) / Hoge kwelder	1,08	1,48	6 ^a	-0,08	1,78	5	-	-	-
Midden kwelder	-	-	-	0,46	1,45	5	-	-	-
Lage kwelder (3b)	0,81	1,38	11 ^b	0,49	1,43	4	1,26	1,22	5
Kom (3c) / Sec. pionier zone	0,41	1,29	6	0,66	1,22	6 ^c	-	-	-
Primaire pionier zone (<i>Spartina</i>)	-	-	-	-	-	-	1,00	0,97	5
Gat (4) / Primaire pionier zone (<i>Salicornia</i>)	1,23	1,28	2	-	-	-	0,48	0,93	5

a) SEB-veld 20: weggelaten wegens afbreken palen

b) SEB-veld 4: weggelaten wegens betreding door schapen

c) SEB-veld 5: weggelaten wegens betreding door koeien

De figuren waarin voor alle SEB-velden van de Peazemerlannen afzonderlijk de verandering in de bodemhoogte is weergegeven ten opzichte van die aan het begin van de meetperiode (januari 1995 voor de velden 1-20 en maart 1996 voor de velden 21-30) zijn te vinden in de Bijlagen.

In figuren 3.3 t/m 3.5 zijn de gemiddelde bodemhoogteveranderingen per vegetatietype (kwelderzone) weergegeven voor de drie meetgebieden.

Het is aannemelijk dat op een kwelder de overvloedingsfrequentie hoofdzakelijk bepalend is voor de mate van opslibbing (Fig. 1.1). Het aangevoerde water is immers bepalend voor het beschikbare sediment. Dit is ook te zien in het referentiegebied Neerlands Reid waar de opslibbing afneemt met de hoogte (Fig. 3.6) en de Dollard (Esselink *et al.* 1998).

De gemiddelde opslibbing in het grootste deel van de kwelder van de Peazemerlannen neemt echter toe met de hoogte van de bodem (Fig. 3.7). Dit is te verklaren als wordt aangenomen dat de opslibbing afhankelijk is van speciale gebeurtenissen ('events'): bij normale tijen vindt een ophoping van sediment in kreken plaats en pas tijdens extreme tijen wordt dit sediment op de kwelder afgezet. Dit gebeurt dan vooral op de oeverwallen en andere plaatsen die dicht bij kreken liggen waarin zich het sediment heeft kunnen ophopen. Ook Esselink *et al.* (1998) vonden voor de Dollard dat de opslibbing afnam naarmate de afstand tot kreken groter werd.

De twee velden achter gaten in de zomerkade (primaire pionierzone met *Salicornia*) vertoonden wat betreft de opslibbing in de Peazemerlannen een afwijkend beeld: zij hadden de hoogste opslibbing (1,2 cm per jaar), terwijl één van de twee, SEB-

veld 24, wat NAP-hoogte betreft het laagst gelegen veld is. Echter, voor het op termijn vastleggen van dit sediment is de soort vegetatie die aanwezig is van groot belang. In het referentiegebied de Negenboerenpolder (Fig. 3.5) is bijvoorbeeld duidelijk te zien dat er in de winter van 1994/1995 een grote erosie heeft plaatsgevonden in de pionierzone, vooral in de meetvakken met de eenjarige *Salicornia* en in mindere mate bij de meerjarige *Spartina*. In de meerjarige *Puccinellia*-vegetatie van de lage kwelder is in deze periode juist veel sediment afgezet. Door de dichte structuur van zowel bovengrondse uitlopers als ondergrondse wortels van deze soort wordt het sediment goed vastgelegd. Aangezien bij SEB-veld 24 de vegetatie uitsluitend uit eenjarige *Salicornia* bestaat, is het zeer waarschijnlijk dat dit sediment gedurende 1997 naar elders wordt getransporteerd.

Uit de SEB-metingen in alle drie de gebieden blijkt dat de winter de essentiële periode is voor bodemhoogteveranderingen, zowel opslibbing als werkelijke erosie (dus geen inklink).

Voor de drie SEB-velden in de zomerpolder van de Peazemerlanden was er na twee jaar een netto gemiddelde daling van de bodem van 0,7 cm per jaar. Er is hier vrijwel geen opslibbing mogelijk, omdat er zelden overvloedingen plaatsvinden. Als er in een jaar bovendien weinig neerslag valt leidt dit ertoe dat inklink slechter herstelt dan in de kwelder. Alleen lokaal, achter de sluisjes in het zomerdijkje tussen kwelder en zomerpolder, wordt nog wel eens sediment de zomerpolder binnengebracht bij hoge tijden.

3.3 ¹³⁷Cs-bepaling (uitgevoerd door het Kernfysisch Versneller Instituut)

Voor een volledige beschrijving van alle resultaten wordt verwezen naar Venema (1997).

Hier wordt alleen een deel van de resultaten van de -spectrometrie analyse behandeld, aangezien daar zeer duidelijke aanwijzingen over de opslibbing over een langer tijdsbestek uit verkregen konden worden.

De activiteitsconcentraties gemeten in de 30 cm diepe bodemkernen (Figuur 3.8) vertonen twee scherpe pieken in het ¹³⁷Cs-profiel. Eén op 10 cm diepte (veroorzaakt door cesium-afzetting na het ongeluk bij Tsjernobyl in 1986) en één op 22 cm diepte (veroorzaakt door cesium-afzettingen vóór de dijkdoorbraak in 1973). Van zowel 1973 tot 1986 als van 1986 tot 1996 was de gemiddelde netto opslibbing op de lage kwelder 1 cm/j, waarmee deze lange termijn meting hypothese 1 ondersteunt. Het blijkt hieruit wel dat de opslibbing op dit meetpunt, met het toenemen van de hoogte van ongeveer 1,16 m in 1973 tot 1,38 m in 1996, constant is gebleven. Omdat het gebied na de dijkdoorbraak vrij laag lag voor een kwelder (zie Fig. 2.5) en er na de dijkdoorbraak dus tijdelijk een relatief grote overvloedingsfrequentie was, werd verwacht dat de opslibbing gedurende de eerste jaren hoger zou zijn. Uit de verkregen gegevens blijkt dit echter niet het geval te zijn geweest. Er moet niet vergeten worden dat de bodemkern weliswaar op een representatieve plek op de lage kwelder genomen is, maar wel slechts op 1 plaats (in duplo). Als het monster bijvoorbeeld op een oeverwal genomen was, zou er vermoedelijk een ander, waarschijnlijk hoger, getal voor de gemiddelde jaarlijkse opslibbing uitgekomen zijn.

Uit de twee scherpe pieken, zonder 'brede schouders', blijkt dat er in de bodem van de Peazemerlannen waarschijnlijk weinig bioturbatie of uitzakking van cesium is geweest. Dat maakt de meting betrouwbaar. Het is niet aannemelijk dat op de plek waar het monster genomen is sprake geweest is van grote dynamiek door golfenergie.

3.4 Hermeting bodemniveau 1964 in 1996 (t.o.v. NAP)

Bij de huidige berekeningen is de aanname gedaan dat eventuele zomerse inklink in de periode '64-'73 reversibel was en dat daarom het bodemniveau in 1973 nog ongeveer hetzelfde was als in 1964. De resultaten van de hermeting voor de zomerpolder ondersteunen deze aanname (Fig. 3.9).

Bij het verwerken van de gegevens is de indeling in deelgebieden uit hoofdstuk 1.2 aangehouden. Aangezien de meting gebiedsdekkend was en de meetdichtheid 1 punt per hectare, is het aantal meetpunten tevens een schatting van het areaal per deelgebied.

In de zomerpolder (1) liggen 89 meetpunten in maaiveldhoogte variërend van 0,91 tot 2,92 m +NAP (gemiddeld $\pm$ standaarddeviatie: $1,60 \pm 0,35$), inclusief enkele punten op de groene zomerkade; de hermeting leverde een gemiddelde netto lange termijn daling van het bodemniveau op van 0,03 cm (o.a. door inklink en betreding).

Het in het westen gelegen buitendijkse gebied valt, ook wat verandering in bodemhoogte betreft, duidelijk uiteen in twee delen:

2a) De 15 hooggelegen meetpunten voor de deltadijk, maaiveldhoogte variërend van 1,31 tot 1,91 m +NAP (gem. $1,64 \pm 0,16$), met een gemiddelde lange termijn opslibbing van 0,50 cm/j.

2b) De 4 laaggelegen meetpunten langs de strekdam, maaiveldhoogte variërend van 0,80 tot 1,07 m +NAP (gem. $0,92 \pm 0,11$), met een lange termijn erosie van 2,12 cm/j.

In 1973 werd het eerste gat in de bitumen dijk geslagen. Als er van uit gegaan wordt dat er vanaf dat moment een goede water- en sedimentuitwisseling tussen wad en het gebied kon plaatsvinden resulteert dit in een gemiddelde netto lange termijn opslibbing voor de 115 meetpunten in de hele kwelder (3 en 4) van gemiddeld 1,6 cm per jaar. Op grond hiervan kan hypothese 1 aangenomen worden: de lange termijn opslibbing is vergelijkbaar met de rest van de Friese en Groninger kust en problemen met de opslibningsbalans zijn niet te verwachten.

Voor de afzonderlijke kwelderzones, ingedeeld op grond van de vegetatie-opnames en de ontwateringstoestand, zijn gemiddelde opslibbingcijfers voor de lange termijn gevonden die soms zelfs meer dan twee maal zo hoog zijn als die gemeten zijn met de twee korte termijn methodes (sedimentbudget-, SEB-meting) en de andere lange termijn ^{137}Cs -meting (Tabel 3.3):

3a) Oeverwallen; hooggelegen met Strandkweek (*Elymus athericus*) als dominante soort: 2,25 cm/jaar (47 meetpunten; maaiveldhoogte 1,26 tot 2,14 m +NAP, gemiddeld $1,56 \pm 0,20$).

3b) Lage kwelder; met Kweldergras (*Puccinellia maritima*) als dominante soort: 1,56 cm/jaar (29 meetpunten; maaiveldhoogte 1,23 tot 2,02 m +NAP, gemiddeld $1,40 \pm 0,14$).

3c) Kommen/secundaire pionierzone; met Zeekraal (*Salicornia spec.*) als domi-

nante soort: 1,09 cm/jaar (24 meetpunten; maaiveldhoogte 1,14 tot 2,14 m +NAP, gemiddeld $1,33 \pm 0,22$).

4) De primaire pionierzone; gelegen achter de gaten in de zomerkade: 0,54 cm/jaar (15 meetpunten; maaiveldhoogte 0,88 tot 1,35 m +NAP, gemiddeld $1,06 \pm 0,15$). Hoewel de vegetatie in deze categorie overeenkomt met die in de kommen is er toch een aparte groep van gemaakt omdat de punten in de primaire pionierzone door een grotere blootstelling aan golfenergie veel gevoeliger zijn voor erosie. Dat blijkt uit de geringere vegetatiebedekking en de lagere gemiddelde opslibbing.

Tabel 3.3. Gemiddelde netto opslibbing/erosie (cm/jaar) in de Peazemerlannen gemeten tijdens de hermeting, met de sedimentation-erosion bar (SEB) en met de ^{137}Cs -methode

Deelgebied	Hermeting	n	SEB	n	^{137}Cs	n
Kwelder	1,61	115	0,81	25		
Oeverwal	2,25	47	1,08	6		
Lage kwelder	1,56	29	0,81	11	1,00	2
Kom (sec. pionier)	1,09	24	0,41	6		
Gat (prim.pionier)	0,54	15	1,23	2		
Buitendijks		19				
Voor deltadijk	0,50	15				
Langs strekdam	- 2,12	4				
Zomerpolder	- 0,03	89	- 0,70	3		

In de figuren 3.9 t/m 3.11 is voor de zomerpolder, het buitendijkse gebiedje en de kwelder de bodemhoogte t.o.v. NAP uit 1964 uitgezet tegen die in 1996. Voor de meeste punten uit de zomerpolder geldt dat ze vrijwel onveranderd zijn in hoogte. Inklank, zoals die gemeten is met de SEB, is hier dus blijkbaar vrijwel geheel reversibel. De punten in het buitendijkse gebiedje liggen merendeels boven de lijn wat duidt op een netto opslibbing. De vier punten die het verste onder de lijn liggen (=netto erosie) zijn de punten langs de strekdam.

In de kwelder is bij slechts één punt, achter een gat in de zomerkade, een netto erosie gevonden, maar bij de overige punten een netto opslibbing.

Als wordt gekeken naar punten die in 1964 op hetzelfde maaiveldniveau lagen blijkt de uiteindelijke totale opslibbing per punt in 1996 soms aanzienlijk te verschillen. Uit de vegetatie-opnames die zijn gemaakt blijkt dat de opslibbing hoger is geweest op wat uiteindelijk oeverwallen zijn geworden (Fig. 3.12). In 1964 was het hele gebied vrij vlak en varieerde de bodemhoogte van 0,60 tot 1,40 m+NAP. Bij de meting in 1996 valt op dat er meer hoogteverschillen zijn (0,85 tot 2,15 m +NAP). Het aantal oeverwallen is toegenomen of reeds bestaande oeverwallen zijn verder opgehoogd en hierdoor, en omdat er niet meer gegreppeld wordt, zijn ook meer slecht gedraineerde stukken (kommen) ontstaan. Dit is geheel in overeenstemming met de resultaten voor de Dollard van Esselink *et al.* (1998), ook een vastelandskwelder waar het greppelonderhoud is gestopt.

Uit de vegetatie-opnames kan verder de hoogteligging van de zonering in 1996 worden berekend: *Salicornia* en *Suaeda* zijn (co)dominant tussen 0,88 en 1,30 m +NAP, *Puccinellia* is dominant tussen 1,20 en 1,55 m+NAP en *Elymus* tussen 1,42 en 2,15m +NAP (Fig. 3.13). Er zijn twee punten waar *Elymus*, door zeer gunstige locale omstandigheden, zelfs al op 1,26 en 1,29 m +NAP voorkomt.

De situatie achter de gaten in de zomerkade wijkt sterk af van het beeld op de rest van de kwelder. Net boven de ondergrens van de vegetatie zijn de hydrodynamische condities erg ongunstig en is de bedekking van *Salicornia* en *Puccinellia* minimaal. Achter het gat is zelfs op een hoogte van 1,23 m+NAP nog maar slechts 50% van het bodemoppervlak begroeid met *Salicornia* als enige soort, terwijl *Puccinellia* daar normaal gesproken al dominant en bodembedekkend had behoren voor te komen. *Puccinellia* wordt echter pas vanaf 1,34 m +NAP codominant, bij een bedekking van slechts 40%. Daarom is een apart deelgebied onderscheiden: de primaire pionierzone (=4). De planten in deze zone zullen een geringere bijdrage aan optimalere condities voor de sedimentatie kunnen leveren. De pionierzone van vastelandskwelders is als hét probleemgebied bij zeespiegelstijging en/of bodemdaling beschreven (Dijkema *et al.* 1990; Oost & Dijkema 1993; Dijkema 1997).

3.5 Bepaling korrelgrootte en hoeveelheid afgezet sediment

3.5.1 Korrelgrootte grondmonsters

Er zijn weinig duidelijke verschillen gevonden tussen de korrelgroottes van bodemonsters bij de verschillende SEB-meetpunten (als voorbeeld Fig. 3.14). Misschien is deze methode te grof, maar een aspect dat zeker ook niet in het voordeel van deze methode heeft gewerkt is dat er tussen de monsterperiodes weinig echt hoge tijen zijn geweest. Mogelijk is er dus te weinig nieuw sediment afgezet om eventueel een verschil te veroorzaken.

Op de 250 µm zeef lag voornamelijk grof organisch materiaal (spruit- en wortelresten). Daarom zijn in de figuren (zie Bijlagen) alleen de vijf fracties <250 µm weergegeven.

Over hypothese 2 - "De restanten van de bitumen dijk rond de Peazemerlannen zorgen voor een reductie van de sedimenttoevoer (o.a. blokkade van het nabed zandtransport) waardoor de netto opslibbing in het gebied beperkt wordt" - kan weinig gezegd worden.

3.5.2 Filtermeting

Een week nadat de filters voor de eerste maal waren geplaatst kwam de eerste hoge vloed sinds meer dan een jaar. Op 30 oktober 1996 werd een vrij extreme waterstand gemeten van 2,68 m +NAP. Het sediment dat zich een jaar lang in de kreek had verzameld werd door de enorme waterverplaatsing op de kwelder getild. Zodra het water over de kreekrand stroomt neemt de stroomsnelheid van het water sterk af waardoor het in het water gesuspendeerde sediment kan bezinken. Dit heeft tot gevolg gehad dat het meeste sediment terecht is gekomen op de filters die dicht bij kreekten geplaatst waren (op oeverwallen) ondanks het feit dat deze punten hoog liggen ten opzichte van NAP (Fig. 3.15). Het vers afgezette sediment was plaatselijk bijna een centimeter dik en na drogen bleef er op enkele

filters een grondlaag van 0,3 cm over. Omgerekend naar droog sediment per m² was er maximaal ca. 4 kg afgezet. Ook hieruit blijkt weer (zie ook hoofdstuk 3.1) het grote effect van een enkel extreem tij ('event').

De filters waar tijdens deze meting weinig sediment op aangetroffen is lagen óf blootgesteld aan grote golfenergie, omdat ze dicht bij een van de gaten in de zomerkade lagen (bij de SEB-metevelden 10, 19, 22, 24), óf helemaal achteraan in de kwelder (bij de SEB-metevelden 15, 16, 21), zodat het meeste sediment al op de kwelder afgezet was tegen de tijd dat het water deze filters bereikte.

Tijdens de drie andere meetperiodes werd geen verband gevonden tussen hoogteligging van de meetpunten en de hoeveelheid afgezet sediment (zie figuren Bijlagen).

De hoeveelheden afgezet sediment in de periodes van 14 november tot 5 december 1996 en van 20 tot 27 februari 1997 waren zeer gering. Dit werd grotendeels veroorzaakt door het feit dat langere tijd weinig overvloedingen van de kwelder plaatsvonden waardoor ook nauwelijks sediment werd afgezet op de filters.

Er is vrijwel geen grof sediment (zand) aangetroffen, zelfs niet bij de SEB-metevelden 19 en 24 achter de gaten in de zomerkade. Dit zou een aanwijzing kunnen zijn (ten gunste van hypothese 2 - "De restanten van de bitumen dijk rond de Peazemerlannen zorgen voor een reductie van de sedimenttoevoer (o.a. blokkade van het near-bed zandtransport) waardoor de netto opslibbing in het gebied beperkt wordt") dat zand toch wordt tegengehouden, zelfs door de schamele zomerkaderestanten die hier aanwezig zijn. Echter langs de overige vastelandskwelders heeft de ervaring geleerd dat er meestal slib op de kwelder komt en slechts tijdens een enkel stormtij zand. Aangezien stormtij gemiddeld minder dan één maal per jaar voorkomen is de kans zeer groot dat dergelijke tijen niet hebben plaatsgevonden tijdens een van de meetperiodes. Over hypothese 2 kan ook hier dus geen uitspraak gedaan worden.

Als aanvulling op het bovenstaande kan nog worden gemeld dat Verhoeven & Akkerman (1967) voor de Quarlespolder in Zeeland opperden dat een steile onderwateroever transport van zand mogelijk verhindert. Een dergelijke blokkade van zandtransport zou zich door de nabijheid van de Zoutkamperlaag ook bij de Peazemerlannen kunnen voordoen.

Net zoals bij de sedimentbudgetmetingen blijkt bij deze metingen het grote belang van een enkel hoog tij ('event'). Hypothese 4 - "De aanwezigheid, samenstelling en de bedekking van de vegetatie en de netto opslibbing in de Peazemerlannen worden niet uitsluitend door de overvloedingsfrequentie bepaald, maar ook door het patroon van oeverwallen en kommen" - kan dan ook zeker aangenomen worden. Daarbij kan nog verwezen worden naar dezelfde bevindingen van Esselink *et al.* (1998) in de Dollard.

4 CONCLUSIES UIT DE METINGEN

1. De bepalingen van het sedimentbudget gaven geen aanleiding te concluderen dat er een tekort is aan sediment in het gebied. Een uitspraak over de jaarlijkse opslibbing op grond van de met deze methode verzamelde gegevens zou echter te speculatief zijn. Op grond van de samenstelling van vers sediment gemeten op filters in de kwelder kan hypothese 2 - "De restanten van de bitumen dijk rond de Peazemerlannen zorgen voor een reductie van de sediment-toevoer (o.a. blokkade van het near-bed zandtransport) waardoor de netto opslibbing in het gebied beperkt wordt"- niet worden aangenomen.
2. Uit de variatie in gemeten waardes voor de gemiddelde opslibbing bij de verschillende meetmethoden is gebleken dat korte termijn metingen een vertekend beeld kunnen geven als men een idee wil krijgen van de opslibbing in een bepaald gebied. Zowel een lage opslibbing (hoofdstuk 3.2 SEB-metingen) als een hoge opslibbing (hoofdstuk 3.2 SEB-metingen en hoofdstuk 3.5 filters) kunnen veroorzaakt zijn door extreme omstandigheden. Hypothese 3 - "Extreme meteorologische omstandigheden (weinig neerslag, warme zomer, veel oostenwind in de winter, ontbreken van stormtijden) hebben in 1995 in de Peazemerlannen een sterke inklink en een lage netto opslibbing veroorzaakt." - kan daarom worden aangenomen. Lange termijn metingen geven wat dat betreft een beter beeld, omdat grote fluctuaties uitgemiddeld worden. Toch zijn de frequente korte termijn metingen onmisbaar, omdat hierdoor processen zoals de grote effecten van speciale gebeurtenissen (stormen en inklink) aan het licht komen. Bovendien blijken extreme omstandigheden niet alleen een positief effect (bijv. grote sediment import) te kunnen hebben op de opslibbing, maar ook een negatief effect (bijv. inklink, erosie).
3. De gemeten jaarlijkse opslibbing voor de gehele kwelder bepaald met de verschillende methoden varieerde van 0,81 cm (korte termijn SEB-meting) tot 1,6 cm (lange termijn hermeting). Hypothese 1 - "In de Peazemerlannen is de jaarlijkse netto opslibbing vergelijkbaar met die langs de rest van de Friese en Groninger kust en bedraagt ca. 1 cm" - kan daarom mede op grond van het aanvaarden van hypothese 3 met zekerheid worden aangenomen. De lange termijn meting met behulp van ^{137}Cs , waaruit bleek dat zowel van 1973 tot 1986 als van 1986 tot 1996 de gemiddelde opslibbing op de lage kwelder 1 cm/j was, ondersteunt deze uitkomst.
4. Extreme factoren waar rekening mee gehouden moet worden, omdat ze op relatief korte termijn tot verlies van kwelderareaal kunnen leiden zijn o.a. droogte, een onverwacht sterke toename van GHW en stormen:
 - In 1996 was er weinig neerslag en een lage overvloedingsfrequentie waardoor er op grote delen van de kwelder een verschuiving optrad van begroeiing met het bodembedekkende overblijvende gras *Puccinellia* naar eenjarige *Atriplex prostrata* en *A. littoralis*. Indien *Puccinellia* bijvoorbeeld volledig afgestorven is en *Atriplex* een volgend jaar niet meer voorkomt door een normale, maar voor *Atriplex* te hoge, overvloedingsfrequentie kunnen grote kale plekken ontstaan die gevoelig zijn voor erosie.
 - Uit Figuur 1.2 met het langjarige gemiddelde GHW voor Waddenzee blijkt dat

er van 1963-1967 een stijging in GHW is geweest van 18 cm in 4 jaar (van 0,83 naar 1,01 m +NAP). Dit heeft geen nadelige gevolgen gehad voor de kweldervegetatie in de Friese en Groninger kwelderwerken. Van 1976 tot 1983 heeft er een stijging van 17 cm plaatsgehad, van 0,88 naar 1,05 m +NAP, in 7 jaar. Deze stijging heeft echter een desastreus effect op de vegetatie in de Friese en Groninger kwelderwerken gehad, waardoor 300 ha kwelder verloren is gegaan.

- Een storm zal in de Peazemerlannen, door de meestal optimale vegetatiebedekking en beschutte ligging van het grootste deel van de kwelder, veelal voor een sedimentimport zorgen. Hoewel een op grote schaal sediment exporterend tij onwaarschijnlijk lijkt moet er rekening mee gehouden worden dat het vastleggen van sediment achter de gaten in de zomerkade, door de schaarse, meest eenjarige vegetatie, verre van optimaal is, waardoor erosie plaatselijk zeer goed mogelijk is.

Het is tijdens bodemdaling door gaswinning dus van groot belang om alle factoren die een effect hebben op de opslibbingsbalans door middel van monitoring te meten. Door de vinger aan de pols te houden kan bijgestuurd worden indien er regressie dreigt.

5. De spontane verkweldering van de helft van de Peazemerlannen na een dijkdoorbraak in 1973 heeft geleid tot een vergroting van de natuurlijkheid door spontane ontwikkeling naar een gevarieerde vegetatie, natuurlijke opslibbing, inclusief beginnende vorming van kreken, oeverwallen en kommen.
 6. In de Peazemerlannen blijkt niet zozeer de overvloedingsfrequentie bepalend voor de netto opslibbing als wel de nabijheid van kreken. Hypothese 4 - "De aanwezigheid, samenstelling en de bedekking van de vegetatie en de netto opslibbing in de Peazemerlannen worden niet uitsluitend door de overvloedingsfrequentie bepaald, maar ook door het patroon van oeverwallen en kommen" - kan dan ook aangenomen worden.
 7. Een zeer gunstige omstandigheid voor de Peazemerlannen is dat tijdens de hermeting in combinatie met de vegetatie-opnames bleek dat op de meeste punten in de kwelder de planten ver boven hun ondergrens groeien. Dit houdt in dat er enige rek in het systeem zit, zodat de opslibbing niet per se elk jaar de bodemdaling + zeespiegelstijging direct volledig dient te compenseren. Deze situatie is vergelijkbaar met die op Ameland waar Eysink *et al.* (1995) geen effecten door bodemdaling op de vegetatie hebben gevonden hoewel de opslibbing onvoldoende was om de daling volledig te compenseren.
 8. De ^{137}Cs -meting is als test zeer nuttig geweest, omdat het een zeer nauwkeurige en bruikbare methode is gebleken om snel een waarde te krijgen voor de gemiddelde opslibbing over een langere periode op een locatie. Door deze methode op grotere schaal toe te passen kunnen zeer waardevolle gegevens verzameld worden omtrent opslibbingssnelheden in het nabije verleden en de effecten van bodemdaling op opslibbing (zie ook hoofdstuk 6: de aanbevelingen).
 9. Uitgaande van de voorwaarde dat de opslibbingsbalans op de lage kwelder niet negatief mag worden en op basis van de lange termijn opslibbingsgegevens
-

van de hermeting is de gemiddelde jaarlijkse opslibbing in de Peazemerlannen in het algemeen voldoende om voor de huidige zeespiegelstijging te compenseren en is er ruimte voor bodemdaling door gaswinning. De belangrijkste uitzondering vormt de situatie bij de gaten achter de bitumen dijk. Oost & Dijkema (1993) hebben er al op gewezen dat door de plaatselijk slechte staat van deze dijk aan de oostzijde van de Peazemerlannen een probleem met klifvorming en terugschrijdende erosie van de kwelder zou kunnen ontstaan.

5 EFFECTEN BODEMDALING OP DE PEAZEMERLANNEN

In dit hoofdstuk zal, op grond van de verzamelde opslibbingsgegevens uit hoofdstuk 3, in detail worden besproken in hoeverre drie concrete gaswinningsscenario's effecten zullen hebben op de opslibbingsbalans en de vegetatie in de Peazemerlannen.

5.1 Gaswinningsscenario's

In geval van gaswinning zal er onder de Peazemerlannen ongeveer 22 cm bodemdaling optreden. Op grond van dit gegeven zijn door de NAM drie gaswinningsscenario's opgesteld. Op grond van de voorspelling van Oost & Dijkema (1993) dat de gemiddelde jaarlijkse opslibbing in de Peazemerlannen 1 cm zou bedragen is als basis-scenario (1) aangenomen om gedurende 22 jaar elk jaar zoveel gas te winnen dat de bodem 1 cm daalt. Twee andere mogelijke scenario's staan in Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Mogelijke gaswinningsscenario's

Scenario 2				Scenario 3			
Winnings-jaar	Aantal jaar	Daling cm/jaar	Totaal cm	Winnings-jaar	Aantal jaar	Daling cm/jaar	Totaal cm
0-2	2	1	2	0-2	2	1	2
3-5	3	3	9	3-7	5	2	10
6-10	5	1	5	8-12	5	1	5
11-22	12	0.5	6	13-22	10	0.5	5
Totaal:	22		22	Totaal:	22		22

5.2 Wanneer treedt er een breekpunt op?

Aangenomen is dat er een breekpunt in de kwelderontwikkeling optreedt wanneer het bodemniveau van een deel van een bepaalde zone onder het laagste niveau komt te liggen waarop de voor die zone karakteristieke plantensoort nog voorkomt. Indien het bodemniveau onder deze grens komt te liggen wordt de vegetatie vervangen door de dominante soorten uit de zone die eronder ligt. Hierbij kunnen zich twee ongewenste situaties voordoen:

1. een teruggang van lage kwelder (met meerjarige, goed sediment vastleggende *Puccinellia*) naar pionierzone (met éénjarige, weinig sediment invangende *Salicornia*) of
2. een teruggang van pionierzone naar geheel onbegroeid wad.

De ondergrenzen voor de vegetatie in de Peazemerlannen zijn gebaseerd op waarden die van de vastelandkwelders van het midden van de Friese kust bekend zijn (Tabel 5.2) en gecorrigeerd voor een (ca. 6 cm) lager GHW in de Peazemerlannen. Ter vergelijking staan in Tabel 5.2 ook de ondergrenzen van de vegetatiezones op Ameland en van de vastelandkwelders van de westzijde van Noord-Groningen.

De theoretische ondergrenzen voor de Peazemerlannen komen vrij goed overeen met de waarden die voor de verschillende zones gemeten zijn tijdens de hermeting van de hoogte. De enige opvallende uitzondering vormt een punt op een oeverwal waar *Elymus* al op 1,26 m +NAP voorkomt en dus eigenlijk groeit onder de theoretische ondergrens van 1,29 m +NAP. Dit duidt er op dat er plaatselijk een zeer goede ontwatering moet zijn.

Tabel 5.2. Ondergrens vegetatiezones in een aantal Waddenzeekwelders (m +NAP) gecorrigeerd voor de GHW-trend

Vegetatiezone	Bedekking	Ameland ¹	Friesland midden ²	Groningen west ²	Peazemerlannen ³
Midden kwelder		1,46	1,35	1,36	1,29
Lage kwelder	Puc > 5%	1,21	1,22	1,14	1,16
Pre-laag	Puc < 5%	1,12	1,12	1,04	1,06
Pionierzone	Sal > 5%	0,86	0,90	0,80	0,84
Pre-pionier	Sal < 5%	0,82	0,64	0,59	0,58

¹⁾ Tabel 5.3 in Eysink et al. (1995)

²⁾ Tabel 4.6 en 4.7 in Dijkema et al. (1991)

³⁾ Berekend uit 2) en gecorrigeerd voor 6 cm lager GHW

5.3 Effecten van bodemdaling op de kwelder en primaire pionierzone

In de figuren 5.1 t/m 5.8 is per kwelderzone voor het punt met de laagste maai-veldhoogte (hermeting 1996: gat achter zomerkade 0,88 m +NAP, kom 1,14 m +NAP, lage kwelder 1,23 m +NAP en oeverwal 1,26 m +NAP, zie ook hoofdstuk 3.4) uitgezet hoe het bodemniveau vanaf 1996 in de tijd **theoretisch** zal veranderen zonder gaswinning en bij gaswinning gedurende 22 jaar volgens de drie scenario's. Als getal voor de gemiddelde opslibbing per jaar zijn in eerste instantie de waarden gebruikt die voor de verschillende zones verkregen zijn via de hermeting, omdat deze lange termijn waarden het meest betrouwbaar zijn. Hiernaast zijn ook nog de opslibbingswaarden gebruikt die verkregen zijn met de SEB-meting (zie Tabel 3.3). Aangezien deze getallen over het algemeen lager liggen, geven ze een beeld van de weliswaar meest ongunstige, maar zeker niet ondenkbare, situatie. Alle opslibbingscijfers zijn verminderd met de huidige zeespiegelstijging van 0,18 cm/jaar.

Per figuur is voor de hele periode van 22 jaar één opslibbingsgetal gebruikt, waardoor de opslibbinglijnen dus oneindig door lijken te lopen. Met de ¹³⁷Cs-meting, werd weliswaar gedurende twee opeenvolgende periodes van ongeveer 10 jaar dezelfde opslibbing gevonden, maar boven een bepaald niveau neemt de opslibbing echter ongetwijfeld asymptotisch af. Kwelders hoger dan 1 m boven GHW komen nauwelijks voor.

5.3.1 Effecten op de oeverwallen

Het blijkt dat de oeverwallen bij geen van de voorgestelde gaswinningsscenario's grote risico's lopen als wordt uitgegaan van de gemiddelde lange termijn opslibingswaarden verkregen met de hermeting (Fig. 5.1).

Uitgaande van de lagere gemiddelde waarde verkregen met de SEB-metingen (1,08 cm/j) zou bij de laagste oeverwal uit de hermeting, die eigenlijk al onder de normale ondergrens voor *Elymus* ligt, een verschuiving naar een *Puccinellia*-vegetatie kunnen optreden (Fig. 5.2). Een verschuiving van oeverwal met *Elymus* naar midden/lage kwelder met *Puccinellia* heeft geen nadelige gevolgen voor de kwelder, omdat dichte meerjarige vegetatie aanwezig blijft en het opslibingsstekort daar snel weer gecompenseerd zal worden.

5.3.2 Effecten op de lage kwelder

Het bodemniveau van het tijdens de hermeting gemeten laagste punt van de lage kwelder blijft bij een opslibing van 1,56 cm/j bij alle scenario's boven de ondergrens voor *Puccinellia* (Fig. 5.3).

Uitgaande van een netto opslibing van 0,81 cm/j, zoals gemeten met de SEB, blijkt het bodemniveau van het laagst gelegen met *Puccinellia* begroeide punt bij scenario 1 langzaam naar de ondergrens voor *Puccinellia* te zakken om na 19 jaar gaswinning onder de ondergrens te duiken en uiteindelijk op 1 cm onder de ondergrens te eindigen (Fig. 5.4). Bij scenario 2 en 3 ligt het bodemniveau van dit punt echter al na respectievelijk 5 en 7 jaar onder de ondergrens en dit blijft zo gedurende de gehele gaswinningsperiode. Het punt komt maximaal ca. 3 cm onder de ondergrens te liggen. Omdat dit punt dus gedurende lange tijd achter elkaar onder de ondergrens ligt is er in dit geval een kans dat er een verschuiving op zal treden van lage kwelder met *Puccinellia* naar pionier zone met eenjarige *Salicornia*.

5.3.3 Effecten op de kommen

De laagst gelegen kom van de hermeting ligt tegen de ondergrens voor *Puccinellia* aan en ligt daarmee zo hoog dat het bodemniveau bij geen van de drie scenario's onder de ondergrens voor *Salicornia* komt te liggen, niet als wordt uitgegaan van een jaarlijkse opslibing van 1,09 cm (hermeting) (Fig. 5.5), noch als wordt uitgegaan van 0,41 cm/j (SEB-meting) (Fig. 5.6).

5.3.4 Effecten op de primaire pionierzone

Achter de gaten in de zomerkade treedt nu reeds kliferosie op. Het bodemniveau van het laagste punt van de primaire pionierzone blijkt, uitgaande van een opslibing van 0,54 cm/j (hermeting), bij alle scenario's onder de ondergrens voor *Salicornia* te zakken (Fig. 5.7). Bij scenario 1, 2 en 3 respectievelijk na 6, 3 en 4 jaar. Het bodemniveau komt gedurende de rest van de gaswinningsperiode niet meer boven de ondergrens en ligt aan het eind van de gaswinningsperiode bij alle drie scenario's nog steeds 10 cm onder de ondergrens. Op dit punt zal dus bij alle scenario's zeker een verschuiving optreden van een *Salicornia*-vegetatie naar vrijwel kaal wad.

Uitgaande van de met de SEB gemeten hogere gemiddelde netto opslibingswaarde van 1,23 cm/j zakt het bodemniveau bij scenario 2 na 5 jaar gaswinning

net onder de ondergrens voor *Salicornia* en bij scenario 3 na 7 jaar (Fig. 5.8). Respectievelijk 9 en 7 jaar later (dus voor beiden na totaal 14 jaar gaswinning) komt het bodemniveau bij beide scenario's weer boven de ondergrens. Ook in dit geval zal er dus (tijdelijk) een periode zijn zonder vrijwel enige vegetatie.

5.3.5 Conclusies effecten bodemdaling

1. Uitgaande van de jaarlijkse netto opslibbingswaarden van de hermeting treden er voor de oeverwallen, lage kwelder en kommen in de meeste gevallen geen problemen op. Voor de in de figuren gebruikte laagste punten van een zone wordt de ondergrens van een vegetatietype soms wel dicht benaderd of bereikt. Dit betekent dat er voor deze punten niet meer veel speling overblijft voor eventuele ongunstige natuurlijke omstandigheden.
2. Doordat de meeste punten in een vegetatiezone boven de ondergrens voor deze vegetatie liggen blijft een negatieve opslibbingsbalans (Tabel 5.3) meestal zonder nadelige gevolgen.

Tabel 5.3. Negatieve opslibbingsbalans (cm) die kan optreden per vegetatiezone, het scenario waarbij dit plaatsvindt, het aantal jaren na aanvang van de gaswinning wanneer maximale daling optreedt, het totale aantal punten dat tijdens de hermeting per vegetatiezone gemeten is en het aantal punten hiervan dat bedreigd wordt, uitgaande van de gemiddelde jaarlijkse netto opslibbingswaarden zoals die gemeten zijn tijdens de hermeting en de SEB-meting

Opslibbingswaarden hermeting	Negatieve opslibbingsbalans (cm)	Scenario	Tijdstip van maximale daling (jaar na aanvang gaswinning)	Totaal aantal punten zone (n)	Bedreigde punten * (n)
Oeverwal	0	2	5	47	0
Lage kwelder	4	2	5	29	0
Kom	7	2	5	24	0
Prim. pionierzone	14	1, 2, 3	22	15	4
Opslibbingswaarden SEB					
Oeverwal	7	2	5	47	2
Lage kwelder	10	2	10	29	2
Kom	17	1, 2, 3	22	24	0
Prim. pionierzone	6	2	5	15	2

* Bedreigde punten zijn alle punten die lager liggen dan de ondergrens voor een bepaalde vegetatiezone + de maximale daling die kan optreden. (Er moet rekening mee gehouden worden dat hier de gemiddelde opslibbing per zone gebruikt is, waardoor de opslibbing voor sommige kwetsbare punten mogelijk iets gunstiger lijkt dan werkelijk het geval is.)

3. De figuren laten een niet vermoedde bedreiging voor vastelandskwelders zien. Met het toenemen van de leeftijd gaat de natuurlijke successie naar de vegetatie van de hoge kwelder. Daardoor neemt de biodiversiteit van een volledige scala aan zoutplantenvegetaties af (mondelinge mededeling Paul Adam: auteur "Saltmarsh Ecology", 1990). Bodemdaling door gaswinning vertraagt deze successie.

4. De situatie in de primaire pionierzone (gaten achter de zomerkade) vraagt duidelijk om een aparte aanpak, zoals al gesteld in Oost & Dijkema (1993), mede omdat nu (zonder bodemdaling) in het terrein al kliferosie waarneembaar is.

5.4 Effecten van bodemdaling op de overige deelgebieden

Hoewel de kwelder van de Peazemerlannen het belangrijkste gebied is zullen over de zomerpolder en het buitendijkse deelgebied ook nog enige opmerkingen gemaakt worden. Uit de hermeting is gebleken dat de gemiddelde jaarlijkse netto verandering in bodemhoogte in de zomerpolder nihil is, wat er op duidt dat eventueel optredende inklink reversibel is. Daarom zal de zomerpolder, inclusief zomerdijkje, na gaswinning 22 cm lager liggen waardoor het gemiddelde aantal overvloedingen toe zal nemen van ca. 4 naar ca. 7 per jaar (Tabel 2.1). Aangezien de overvloedingen van de zomerpolder buiten het groeiseizoen liggen zal dit voorlopig weinig gevolgen hebben voor de vegetatie van de zomerpolder. Op lange termijn zal het ontbreken van opslibbing en cumulatie met zeespiegelstijging het voortbestaan van zomerpolders in gevaar brengen.

Hetzelfde geldt in iets mindere mate voor het hooggelegen buitendijkse begraasde stuk, omdat er opslibbing kan plaatsvinden. De vier punten (=4 ha) langs de strekdam zijn zelfs zonder bodemdaling al ernstig bedreigd. Bij een bodemdaling van 22 cm zal de begroeiing hier verdwijnen.

5.5 Effecten van bodemdaling op de opslibbing

Er zijn twee belangrijke processen die het moeilijk maken om een uitspraak te doen over de vraag of bodemdaling tot meer opslibbing zal leiden:

- 1) De gemiddelde hoogwaterstand over een jaar heeft invloed op de vegetatiezonering (Dijkema *et al.* 1992). Dit proces interfereert met de bodemdaling.
- 2) 'Events' = hoge vloed en zorgen voor sedimentatie. Dit proces compenseert de bodemdaling.

Theoretisch leidt bodemdaling tot meer opslibbing door het toenemende aantal overvloedingen. Dijkema *et al.* (1990) postuleren dat als gevolg van een vertraagd effect van de vegetatie op zeespiegelstijging of bodemdaling, dit extra sediment ook vastgelegd kan worden. Uit de literatuur is echter geen experimenteel onderzoek bekend dat deze hypothese ondersteunt. Daarom wordt met deze mogelijke natuurlijke compensatie van bodemdaling geen rekening gehouden.

6 AANBEVELINGEN VOOR MONITORING EN MITIGATIE

Bodemdaling in de Peazemerlannen zou mogelijk een negatief effect kunnen hebben (1) op plaatsen waar de vegetatie op de ondergrens van het verspreidingsgebied staat, (2) op plaatsen waar de golfenergie hoog is en (3) in de zomerpolder. Om de effecten van bodemdaling te volgen en eventuele negatieve effecten te voorkomen worden de volgende aanbevelingen voor monitoring en mitigatie gedaan:

1. **Monitoring** is noodzakelijk om onzekerheden door eventuele ongunstige natuurlijke omstandigheden (weer, getij) en eventuele onzekerheden in de huidige meetnauwkeurigheid het hoofd te bieden. Een monitoring-programma kan worden opgezet in de geest van Ameland (Eysink *et al.* 1993), de strategische notitie van Dijkema (1995) en de ervaringen in de Peazemerlannen (dit rapport). In het algemeen is een combinatie van frequente puntmetingen (a) en gebiedsdekkende metingen met een langer tijdsinterval (b) aan te bevelen:
 - a. Bestaande SEB-netwerk (inclusief SEB-netwerk in de referentiegebieden op Ameland en in Groningen) continueren met vier metingen per jaar en combineren met vegetatieopnames.
 - b. Gebiedsdekkende metingen met een langer tijdsinterval:
 - hermeting in combinatie met Tansley vegetatie-opnames op de kwelderpunten (in de beginperiode van gaswinning elke 3 jaar).
 - vegetatiekaarten RWS Meetkundige Dienst (5 jaar).
2. De **primaire pionierzone** achter het grote gat in het midden van de bitumen dijk vraagt speciale aandacht. Ook zonder bodemdaling is hier een erosieprobleem dat vergelijkbaar is met andere vastelandskwelders zonder voldoende bescherming tegen golfwerking. Bij de Peazemerlannen is de vroegere bescherming, in de vorm van een bitumen dijk en een netwerk van rijshouten dammen, verloren gegaan. Aanbevolen wordt een beheersmaatregel te nemen in de vorm van een eenvoudige structuur om de golfenergie in de pionierzone te verminderen. Gedacht kan worden aan een rijshouten dam direct binnen de weggeslagen bitumen dijk (zoals al voorgesteld door Oost & Dijkema 1993). In verband met het mitigeren van de effecten van bodemdaling door gaswinning zal een dam 22 cm hoger geconstrueerd moeten worden dan zonder bodemdaling het geval zou zijn geweest.

Voor de monitoring zouden enkele SEB-velden toegevoegd kunnen worden achter het grote gat in de bitumen dijk, omdat dit gebied het meest kwetsbaar is. De kliferosie achter het gat in de zomerkade zou in detail gemeten moeten worden.
3. Vergelijking van de opslibbing in de verkwelderde zomerpolder (na dijkdoorbraak in 1973) en de huidige zomerpolder leert dat **zomerpolders** in een tijd van zeespiegelstijging moeilijk te handhaven zijn, omdat opslibbing achterwege blijft. Bodemdaling door gaswinning versterkt dit probleem. Overwogen kan worden de zomerpolder in fasen te verkwelderen om een juiste balans te vinden tussen herstel van de opslibbing en eventuele kliferosie aan de zeezijde.

4. Op Ameland vindt bodemdaling plaats vanaf 1986. De kennis die is opgedaan met de monitoring in het bodemdalingsgebied op Ameland, aangevuld met ^{137}Cs -metingen om een beeld te krijgen van de opslibbing, zou tot nieuwe kennis op dit terrein kunnen leiden. Met ^{137}Cs -onderzoek kan de opslibbing van 1963 tot 1986 en van 1986 tot heden worden gemeten. Daarmee kan de opslibbing voor en na bodemdaling met elkaar vergeleken worden. De tijdperioden zijn voldoende lang om een kans te hebben dat natuurlijke fluctuaties in opslibbing zijn uitgemiddeld. Dit is een mogelijkheid om een duidelijker beeld te krijgen van de relatie van bodemdaling met de opslibbing.

Met deze maatregelen is er voldoende zekerheid om te zeggen dat er weinig effecten van bodemdaling zullen optreden, mits de resultaten van de monitoring consequenties kunnen hebben voor de snelheid van gaswinning.

Verder wordt er gewezen op het belang van aanvullend onderzoek op Ameland om een relatie te kunnen leggen tussen opslibbing en bodemdaling: Neemt de opslibbing toe door bodemdaling?

DANKWOORD

Dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de welwillende medewerking van J. van der Ploeg (Waterschap Friesland), L. Dijkstra en U. Hosper (It Fryske Gea) bij het verlenen van toestemming de Peazemerlannen voor dit onderzoek te betreden.

G. Mast (Directie LNV Noord) wordt bedankt voor het verlenen van de NB-wet vergunning.

L. Boer, J.-T. Sikkema en E. Pasma (afdeling Exploratie van de NAM) worden bedankt voor de prettige samenwerking tijdens de hermeting en het leveren van de kleurenfiguren.

J. Marquenie (afdeling Exploratie van de NAM) wordt bedankt voor de enthousiaste manier van meedenken over de wetenschappelijke kant van het project.

A. Sleutel (IBN-Texel) wordt bedankt voor het maken van een belangrijk deel van de veldmeetapparatuur, het helpen plaatsen van de SEB-palen en het samen met P.-W. van Leeuwen (IBN-Texel) helpen opbouwen en afbreken van de meetbrug.

LITERATUUR

- Adam, P. 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 461 p.
- Andresen, H., J.P. Bakker, M. Brongers, B. Heydemann & U. Irmier 1990. Long-term changes of salt-marsh communities by cattle grazing. *Vegetatio* 89: 137-148.
- Asjes, J. & N.M.J.A. Dankers 1994. Variations in tidal exchange processes between a Dutch salt marsh, the Slufter, and the North Sea. In: W.J. Mitsch (ed.), *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier Science B.V., Amsterdam: 201-214.
- Beeftink, W.G. 1986. De betekenis van de factor getij voor de schorrevegetatie. In: J. Rozema (ed.), *Oecologie van estuariene vegetatie*. Vrije Universiteit, Amsterdam; Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. 45 p.
- Beeftink, W.G. 1987. Vegetation responses to changes in tidal inundation of salt marshes. In: J. van Andel, J.P. Bakker & R.W. Snaydon (eds.), *Disturbance in grasslands*. Junk Publishers, Dordrecht, 97-117.
- Bergs, J. van den, J.H. Bossinade & K.S. Dijkema 1992. De effecten van het "uitpolderen" van zomerpolders op de kweldervorming binnen de kwelderwerken in de Waddenzee. RWS Directie Groningen, Nota GRAN 1992-2001. DLO- Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel, RIN-rapport 92/20. 50 p.
- Boer, L. 1996. Resultaten en bevindingen 1996 Paesumerlannen: GPS-RTK survey. Interne notitie Nederlandse Aardolie Maatschappij, Assen. 30 p. (inclusief bijlagen)
- Boumans, R.M.J. & J.W. Day Jr. 1993. High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion-table. *Estuaries* 16: 375-380.
- Bouwsema, P., J.H. Bossinade, K.S. Dijkema, J.W.Th.M. van Meegen, R. Reenders, & W. Vrieling 1986. De ontwikkeling van de hoogte en van de omvang van de kwelders in de landaanwinningswerken in Friesland en Groningen. Nota ANA-86.05, Rijkswaterstaat Directie Groningen; RIN-rapport 86/3, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Wageningen. 58 p.
- Cramer, W. & H. Hytteborn, 1987. The separation of fluctuation and long-term change in vegetation dynamics of a rising seashore. *Vegetatio* 69: 157-167.
- Dankers, N., M. Binsbergen, K. Zegers, R. Laane & M. van der Loeff 1984. Transportation of water, particulate and dissolved organic matter between a salt marsh and the Ems-Dollard Estuary, The Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 19: 143-165.
- Dijkema, K.S. 1983. The salt-marsh vegetation of the mainland coast, estuaries and halligen. In: K.S. Dijkema & W.J. Wolff (eds.), *Flora and vegetation of the Wadden Sea islands and coastal areas*, Report 9. Stichting Veth tot Steun aan Waddenzee-onderzoek, Leiden; 185-220.
- Dijkema, K.S. 1995. Strategische notitie over de huidige en toekomstige monitoring van kwelders in de Waddenzee i.v.m. de exploitatie van nieuwe gasvelden. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel. 14 p.
- Dijkema, K.S. 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction. *Journal of Coastal Research* 13:1294-1304.
- Dijkema, K.S., J. van den Bergs, J.H. Bossinade, P. Bouwsema, R.J. de Glopper, & J.W.Th.M. van Meegen 1988. Effecten van rijzendammen op de opslibbing en de omvang van de vegetatiezones in de Friese en Groninger landaanwinningswerken. Nota GRAN 1988-2010, Rijkswaterstaat Directie Groningen; RIN-rapport 88/66, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Texel; RIJP-rapport 1988-33 Cbw., Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad. 119 p.
-

- Dijkema, K.S., J.H. Bossinade, P. Bouwsema & R.J. de Glopper 1990. Salt marshes in the Netherlands Wadden Sea: rising high-tide levels and accretion enhancement. In: J.J. Beukema, W.J. Wolff & J.J.W.M. Brouns (eds.), Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems. Kluwer Publishers, Dordrecht; 173-188.
- Dijkema, K.S., J.H. Bossinade, J. van den Bergs & T.A.G. Kroeze 1992. Experiment natuurbeheer kwelderwerken. Jaarverslag medio 1991- medio 1992. Rijkswaterstaat Directie Groningen; DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. 24 p.
- Eerdt, M.M. van 1985. The influence of vegetation on erosion and accretion in salt marshes of the Oosterschelde, The Netherlands. *Vegetatio* 62: 367-373.
- Ehlers, J., K. Nagorny, P. Schmidt, B. Stieve & K. Zietlow 1993. Storm surge deposits in North Sea salt marshes dated by ^{134}Cs and ^{137}Cs determination. *Journal of Coastal Research* 9: 698-701.
- Erchinger, H.F. 1985. Dünen, Watt und Salzwiesen. Der Niedersächsische Ministerie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover, 1-59.
- Erchinger, H.F. 1995. Intaktes Deichvorland für Küstenschutz unverzichtbar. *Wasser und Boden* 47: 48-53.
- Ericson, L. 1980. The downward migration of plants on a rising Bothnian seashore. *Acta Phytogeographica Suecica* 68: 61-72.
- Esselink, P., K.S. Dijkema, S. Reents & G. Hageman 1998 (in press). Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Ems Dollard Estuary, The Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14.
- Eysink, W.D., N. Dankers, K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, C.J. Smit & J. de Vlas 1995. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen en Texel, Waterloopkundig Laboratorium, Lelystad. 66 p.+ figuren, tabellen en appendix.
- Glopper, R.J. de 1973. Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuider Zee and in the brackish and marine forelands in The Netherlands. Van Zee tot Land 50, Rapporten en mededelingen inzake de droogmaking, ontginning en sociaal-economische opbouw der IJsselmeerpolders. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 205 p.
- Glopper, R.J. de 1981. De snelheid van de opslibbing en van de terugschrijdende erosie op de kwelders langs de noordkust van Friesland en Groningen. *Flevobereicht* 163, 2A, 50 jaar onderzoek door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad, 43-57.
- Groenendijk, A.M. 1986. Establishment of a *Spartina anglica* population on a tidal mudflat: a field experiment. *Journal of Environmental Management* 22: 1-12.
- Houwing, E.-J., Y. van der Waaij, J.H.J. Terwindt, P.G.E.F. Augustinus, K.S. Dijkema, & J. Bossinade 1995. Salt marshes and sea level rise: plant dynamics in relation to accretion enhancement techniques. IMAU-report R95-27. 146 p.
- Jakobsen, B. 1954. The tidal area in south-western Jutland and the process of the salt marsh formation. *Geografisk Tidsskrift* 53: 49-61.
- Kamps, L.F. 1956. Slibhuishouding en landaanwinning in het oostelijk waddengebied. Rijkswaterstaat Directie Landaanwinning, Baflo. 93 p.
- Kamps, L.F. 1962. Mud distribution and land reclamation in eastern wadden shallows. *Rijkswaterstaat Communications* 4: 1-73.
- Kearney, M.S., J.C. Stevenson & L.G. Ward 1994. Spatial and temporal changes in marsh vertical accretion rates at Monie Bay: Implications for sea-level rise. *Journal of Coastal Research* 10: 1010-1020.
- König, D. 1948. *Spartina townsendii* an der Westküste von Schleswig-Holstein. *Planta* 36: 34-70.
- Küchter, A.W. & I.S. Zonneveld (eds.), 1988. Vegetation mapping. Kluwer, Dordrecht. 635 p.

- Leys, H.N. 1978. Handleiding ten behoeve van vegetatiekarteringen. K.N.N.V. Wetenschappelijke mededeling 130. 52 p.
- Londo, G., 1975. De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. *Gorteria* 7: 101-106.
- Meijden, R. van der, E.J. Weeda, W.J. Holverda & P.H. Hovenkamp 1990. Flora van Nederland, 21ste druk. Wolters-Noordhoff, Groningen. 662 p.
- Milan, C.S., E.M. Swenson, R.E. Turner & J.M. Lee 1995. Assessment of the ^{137}Cs method for estimating sediment accumulation rates: Louisiana salt marshes. *Journal of Coastal Research* 11: 296-307.
- Moeller, I., T. Spencer & J.R. French 1997. Wind wave attenuation over salt marsh surfaces: Preliminary results from Norfolk, England. *Journal of Coastal Research* 12: 1009-1016.
- Nyman, J.A., R.D. DeLaune, H.H. Roberts & W.H. Patrick Jr. 1993. Relationship between vegetation and soil formation in a rapidly submerging coastal marsh. *Marine Ecology Progress Series* 96: 269-279.
- Olf, H., J.P. Bakker & L.F.M. Fresco 1988. The effect of fluctuations in tidal inundation frequency on a salt marsh vegetation. *Vegetatio* 78: 13-19.
- Oost, A.P. & K.S. Dijkema 1993. Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee. IBN-rapport 025. DLO-Institute for Forestry and Nature Research, Texel and Utrecht University. 134 p.+8 suppl.
- Raad, H. de 1993. De dijk op hoogte. Waterschap Fryslân, Harlingen. 143 p.
- Ranwell, D.S. 1964. *Spartina* salt marshes in Southern England. II. Rate and seasonal pattern of sediment accretion. *Journal of Ecology* 52: 79-94.
- Reed, D.J. 1989. Patterns of sediment deposition in subsiding coastal salt marshes, Terrebonne Bay, Louisiana: The role of winter storms. *Estuaries* 12: 222-227.
- Stoddart, D.R., D.J. Reed & J.R. French 1989. Understanding salt-marsh accretion, Scolt Head Island, Norfolk, England. *Estuaries* 12: 228-236.
- Stumpf, R.P., 1983. The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 17: 495-508.
- Veenstra, K. 1965. De invloed van het vochtgehalte van de grond op de hoogte van het maaiveld bij een zware vaste kleigrond. Intern rapport Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Baflo.
- Venema, L.B. 1997. Vergelijkend onderzoek dateringsmethoden voor sediment Paesumerlannen. Kernfysisch Versneller Instituut rapport Z57, Utrecht. 32 p.
- Verhoeven, B. & J. Akkerman 1967. Buitendijkse mariene gronden, hun opbouw, bedijking en ontginning. Van Zee tot Land 45, Rapporten en Mededelingen inzake de Droogmakerijen, Ontginning en Sociaal-Economische Opbouw der IJsselmeerpolders, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Tjeenk Willink, Zwolle. 93 p.
- Weihe, K. von 1979. Morphologische und ökologische Grundlagen der Vorlandsicherung durch *Puccinellia maritima* (Gramineae). *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 32: 239-254.
- Wohlenberg, E. 1933. Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. *Wiss. Meeresunters. NF. Abt. Helgoland* 19:1-11.
- Wohlenberg, E. 1953. Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. *Die Küste* 2: 33-94.

FIGUREN

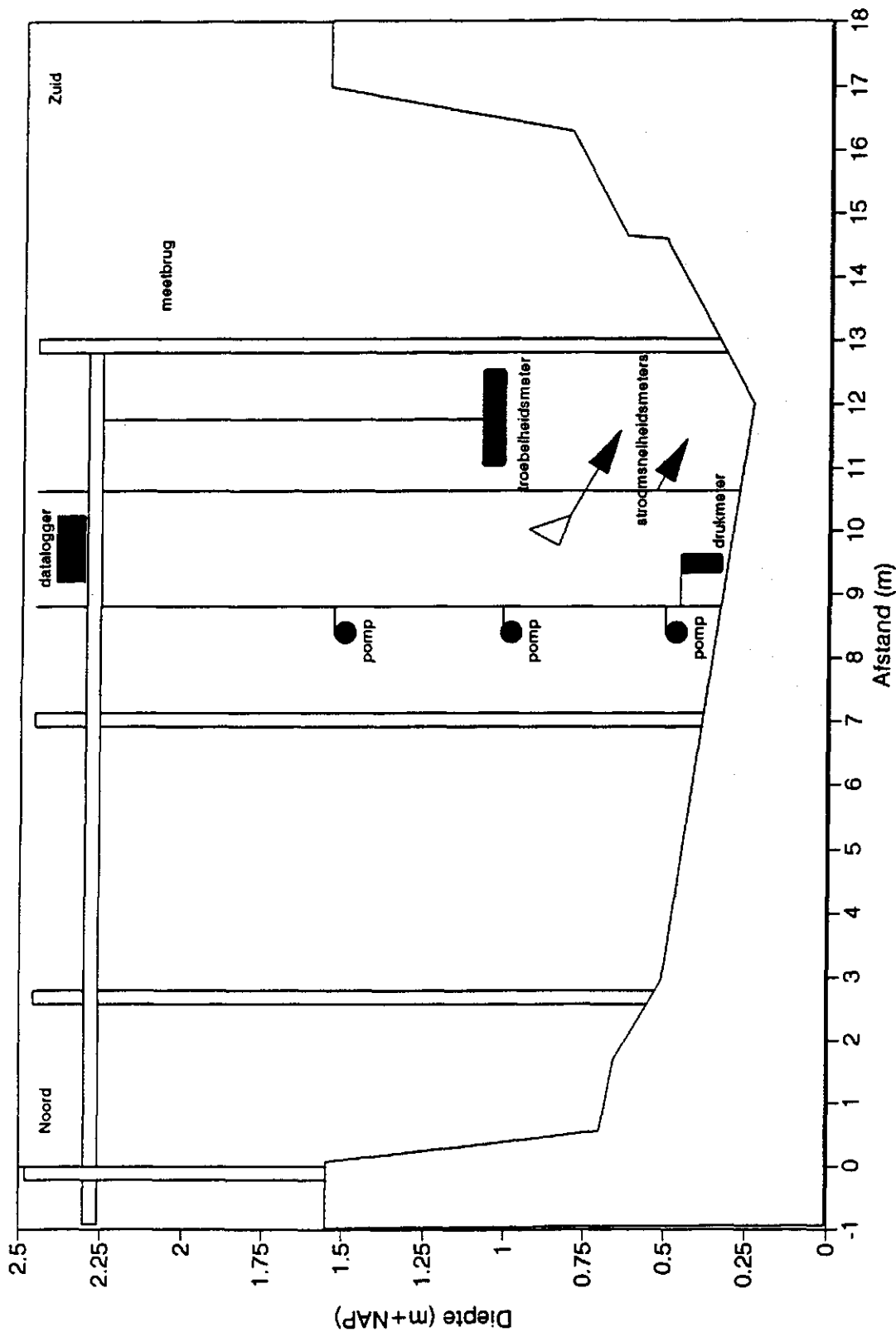


Fig. 2.1. Meetbrug met apparatuur en profiel van de kreek in de Peazemerlannen

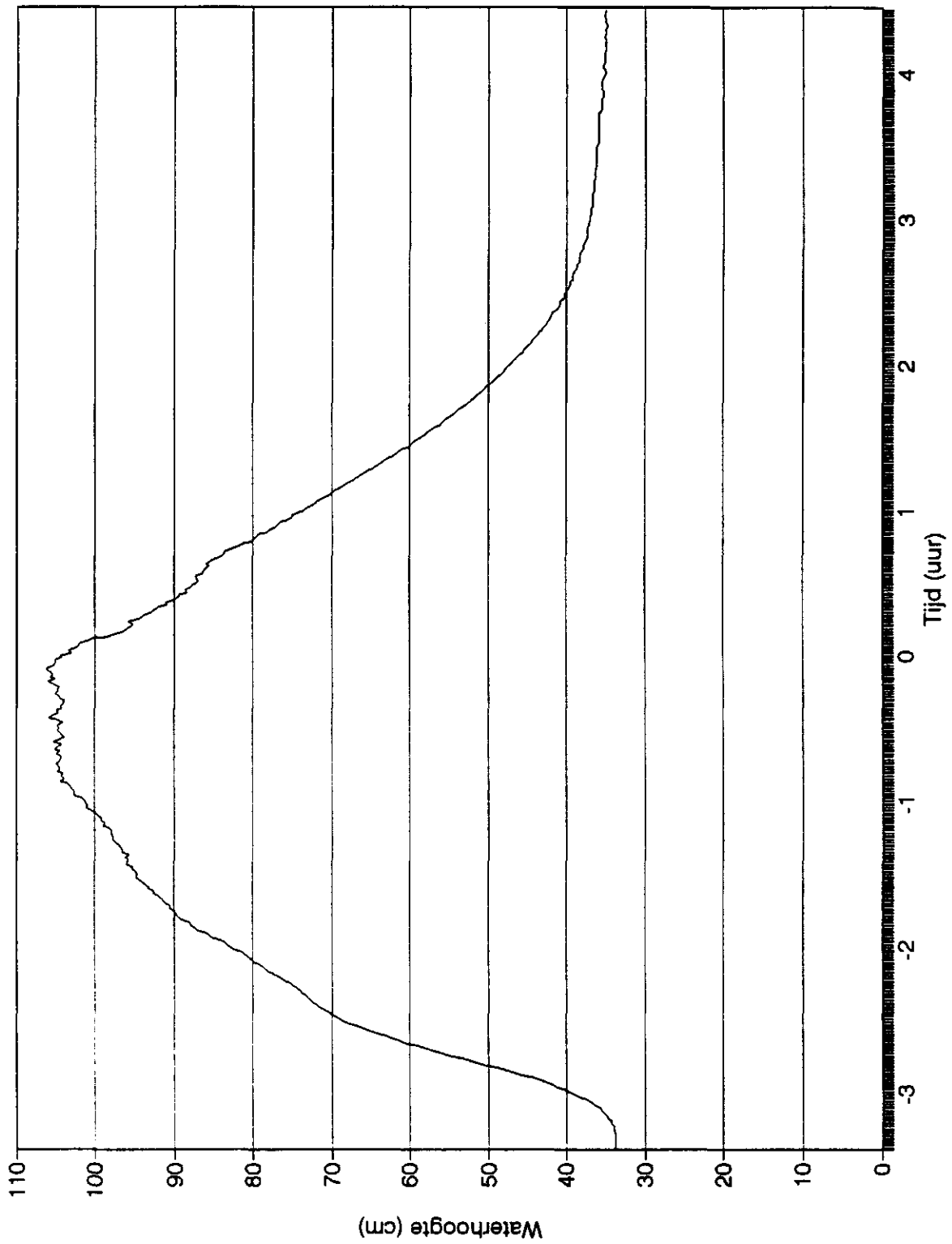


Fig. 2.2. Ge tij-curve op 20 december 1994 in de Peazemeerlannen (T_0 =hoogwater).

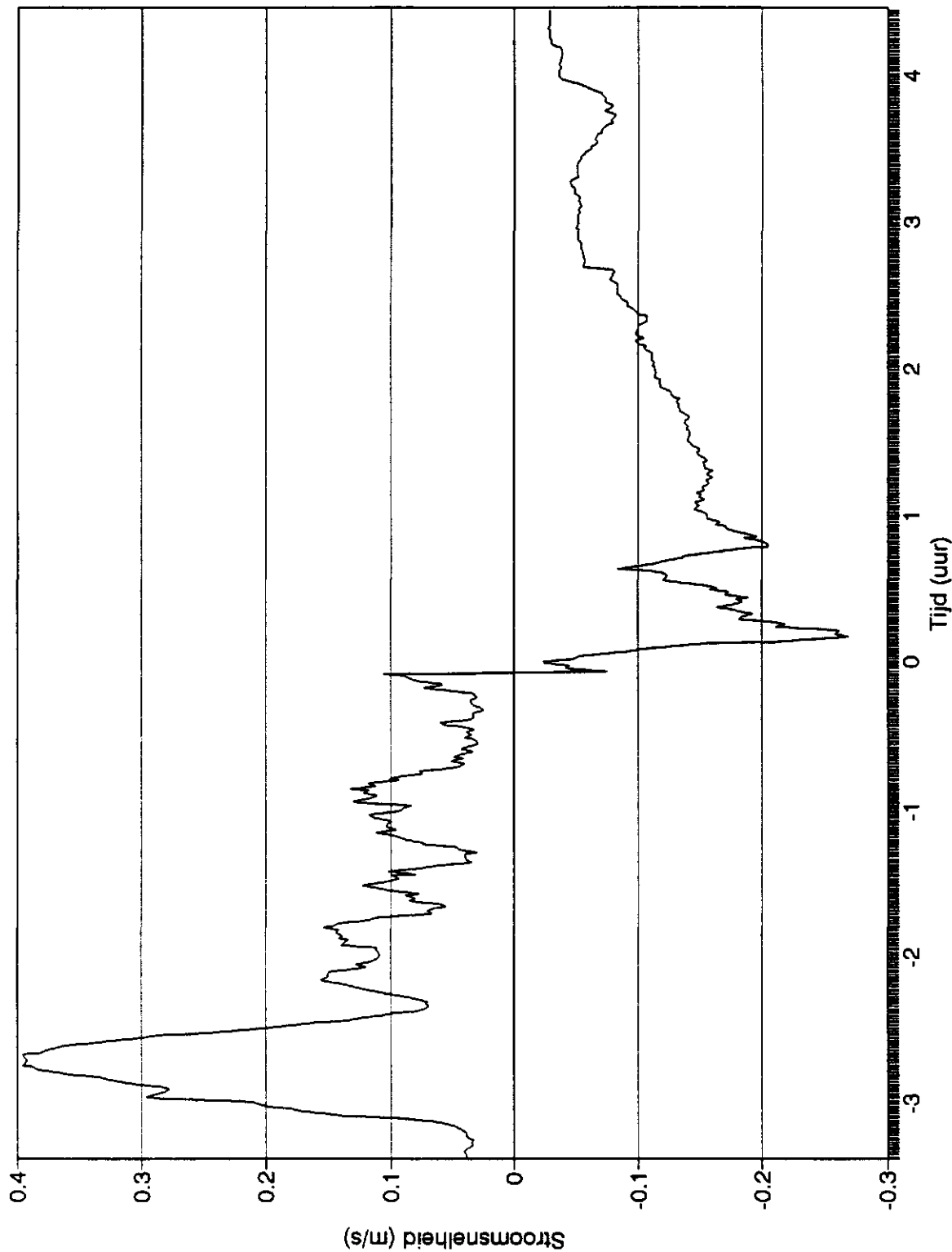


Fig. 2.3. Stroomsnelheden tijdens vloed en eb op 20 december 1994 in de Peazemerlannen (T_0 =hoogwater)

Sedimentation Erosion Bar

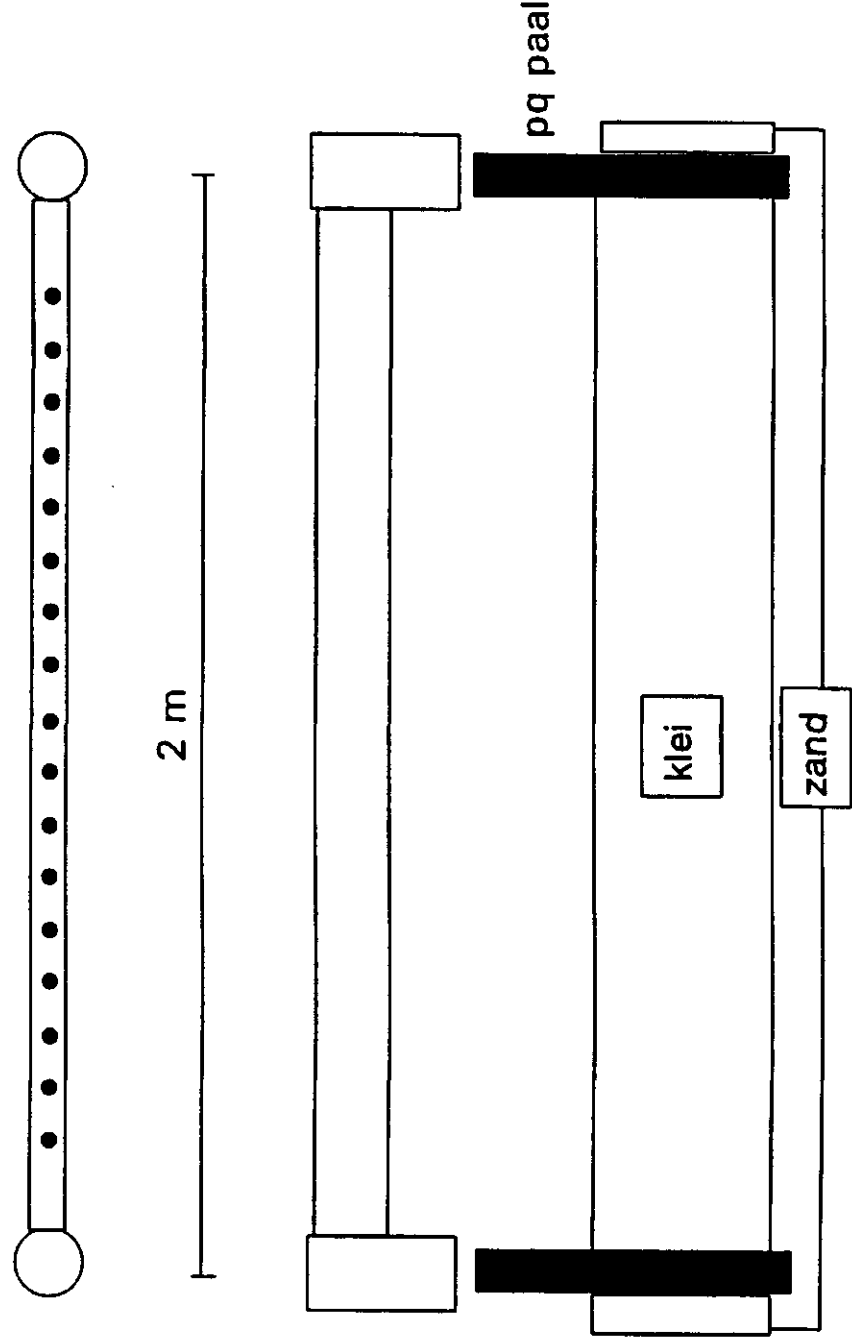


Fig. 2.4. Sedimentation-erosion bar

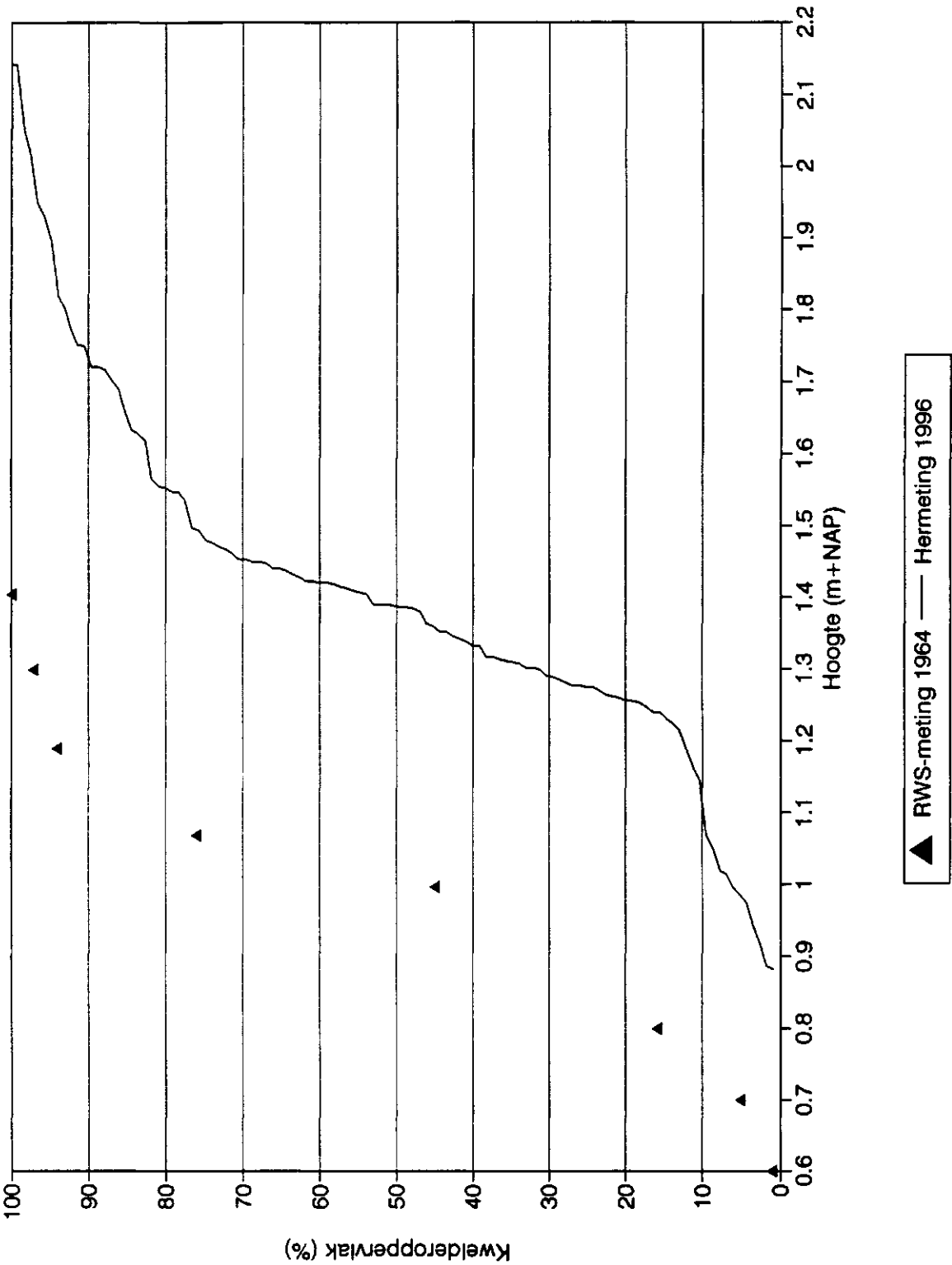


Fig. 2.5. Hoogte t.o.v. NAP zoals gemeten door RWS in 1964 en tijdens de hermeting in 1996 met bijbehorend kwelderoppervlak (%) in de Peazemerlannen

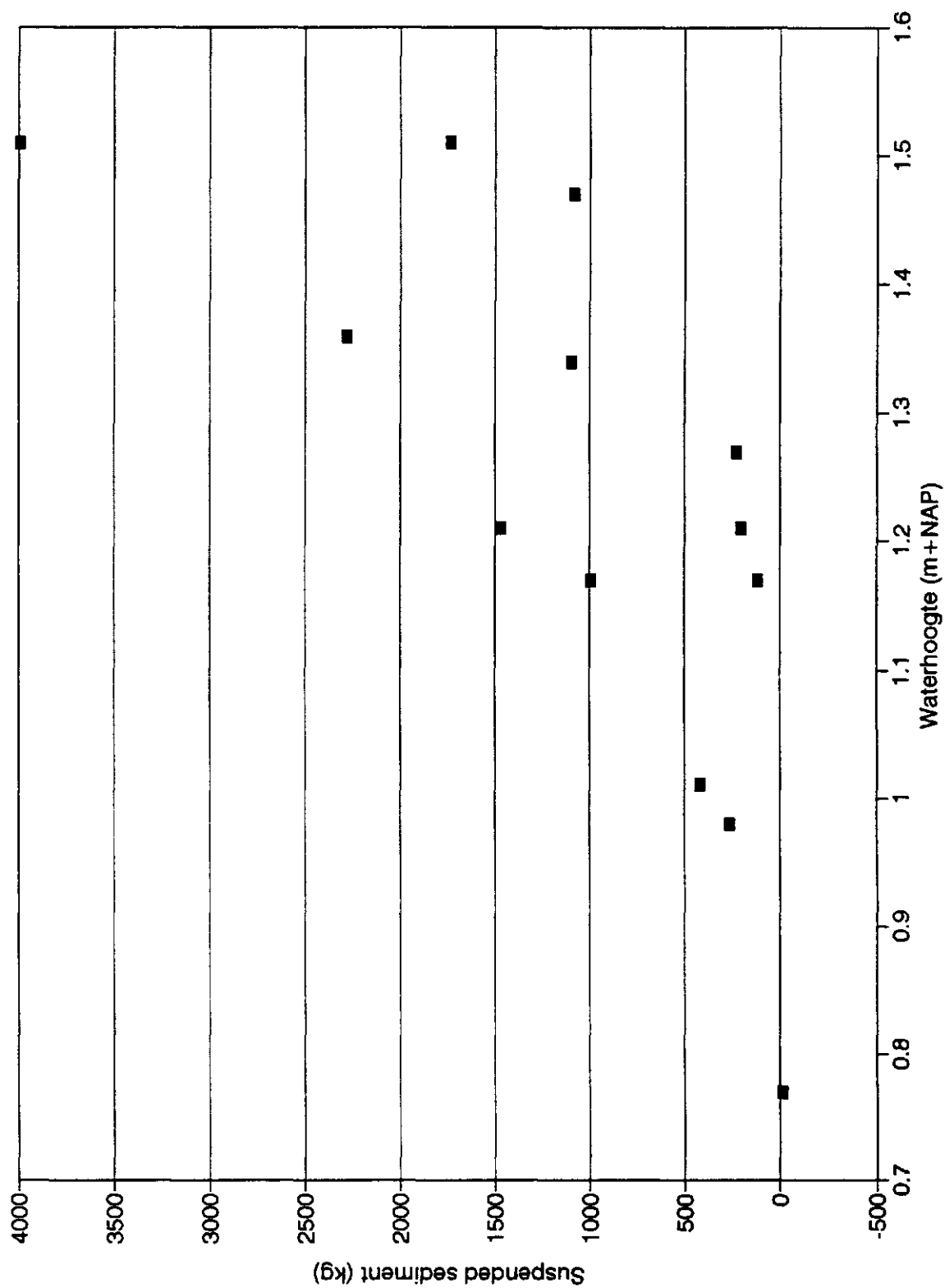


Fig. 3.1. Correlatie tussen maximum waterhoogte (m +NAP) en de netto hoeveelheid geïmporteerd of geëxporteerd sediment (kg) in de Peazemerlannen bij 13 tijen tot ca. 1,50 m +NAP

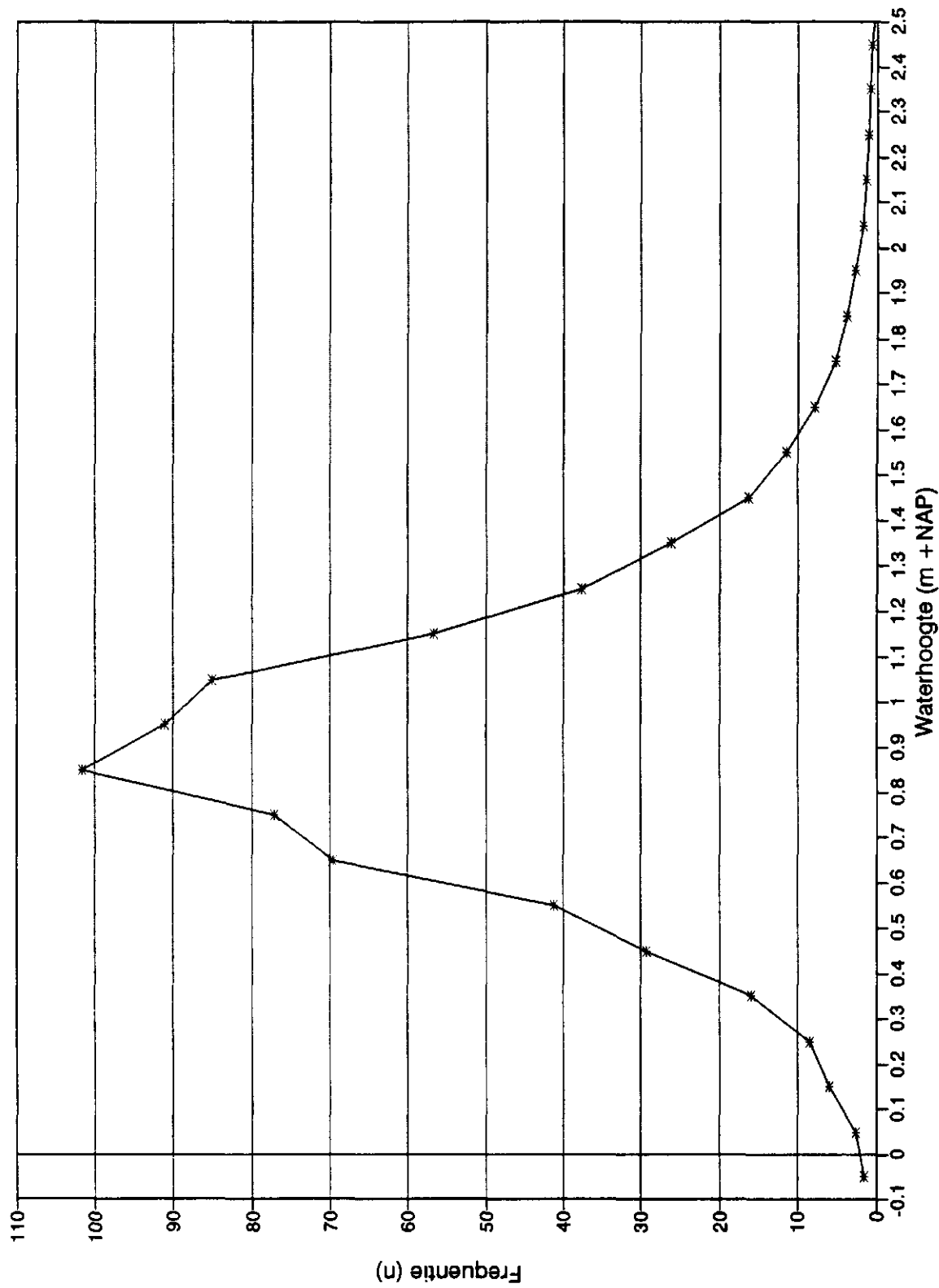


Fig. 3.2. Hoogwateroverschrijdingen in de Peazemerlannen (gemiddeld over 1941- 1980 en 1984- 1994). Gegevens 1941-1993 zijn gebaseerd op Tabel 3.1 uit Eysink et al. (1995) met hoogwateroverschrijdingen voor Nes, Ameland; de gegevens van 1994 voor Nes zijn afkomstig van RWS

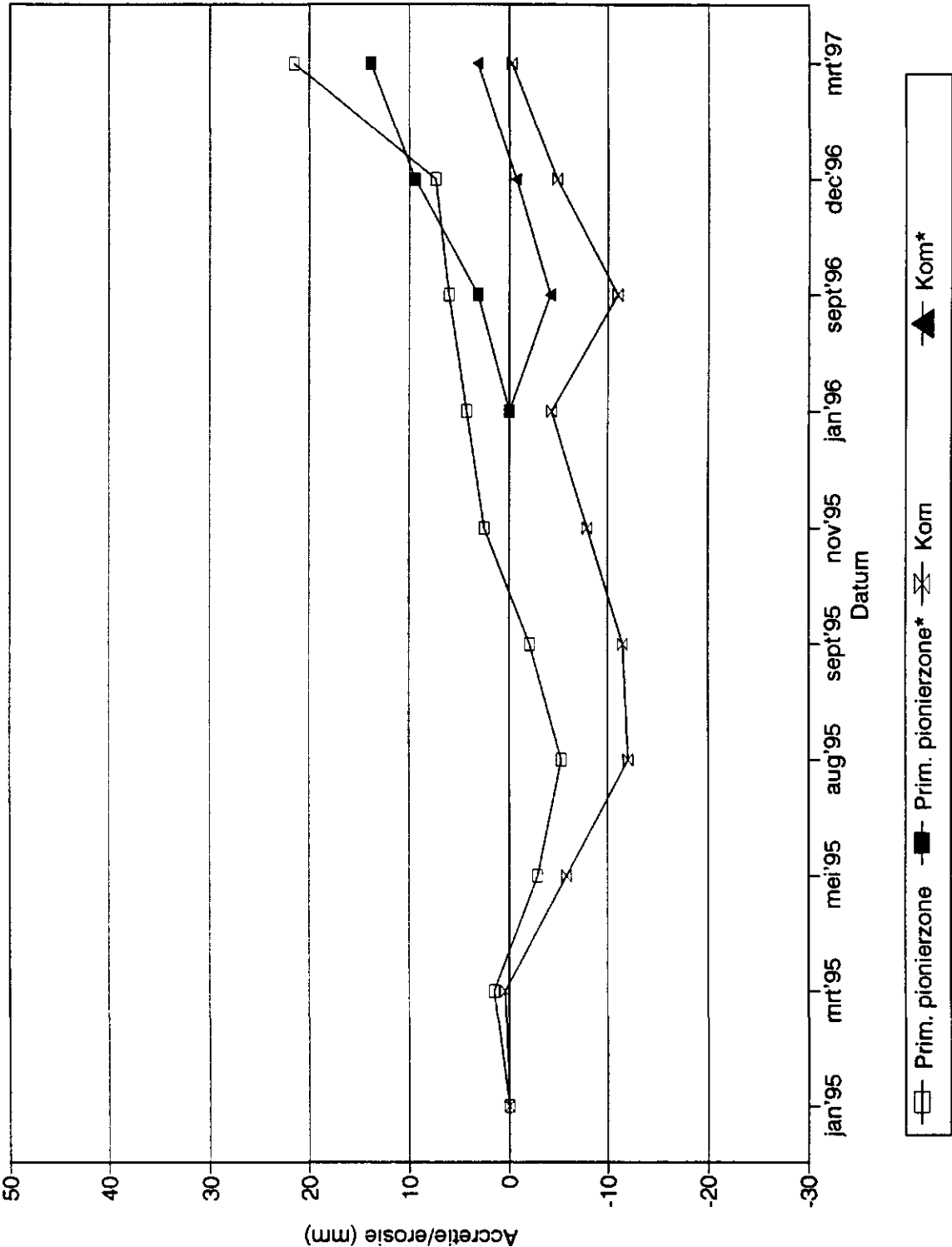


Fig. 3.3a. Gemiddelde netto veranderingen in bodemhoogte gemeten met de sedimentation-erosion bar in de primaire pionierzone (gat achter de dijk) en de secundaire pionier zone (kommen) van de Paezemerlannen van januari 1995 of 1996 (*) tot maart 1997

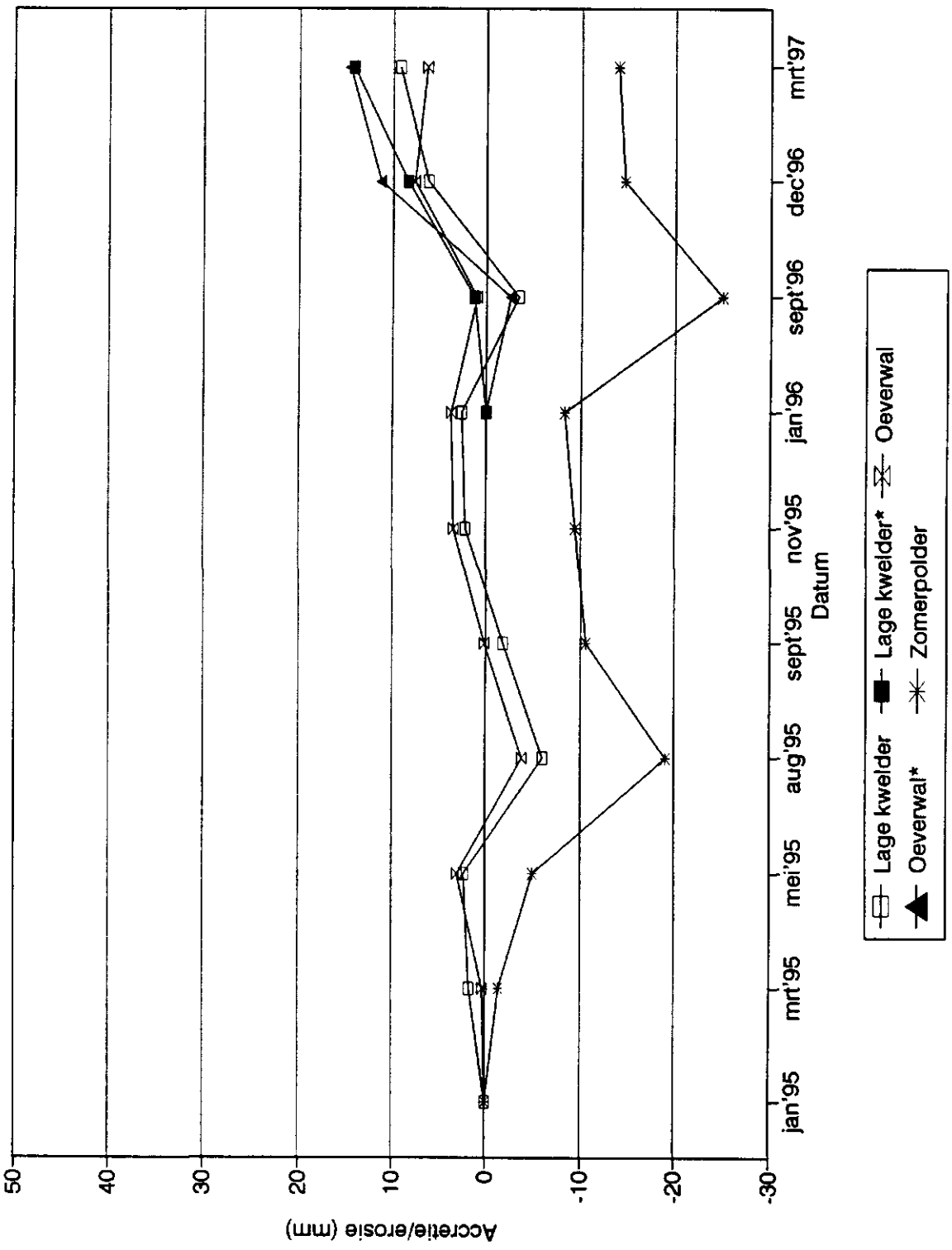


Fig. 3.3b. Gemiddelde netto veranderingen in bodemhoogte gemeten met de sedimentation-erosion bar op de lage kwelder, de oeverwallen en in de zomerpolder van de Peazemerlannen van januari 1995 of 1996 (*) tot maart 1997

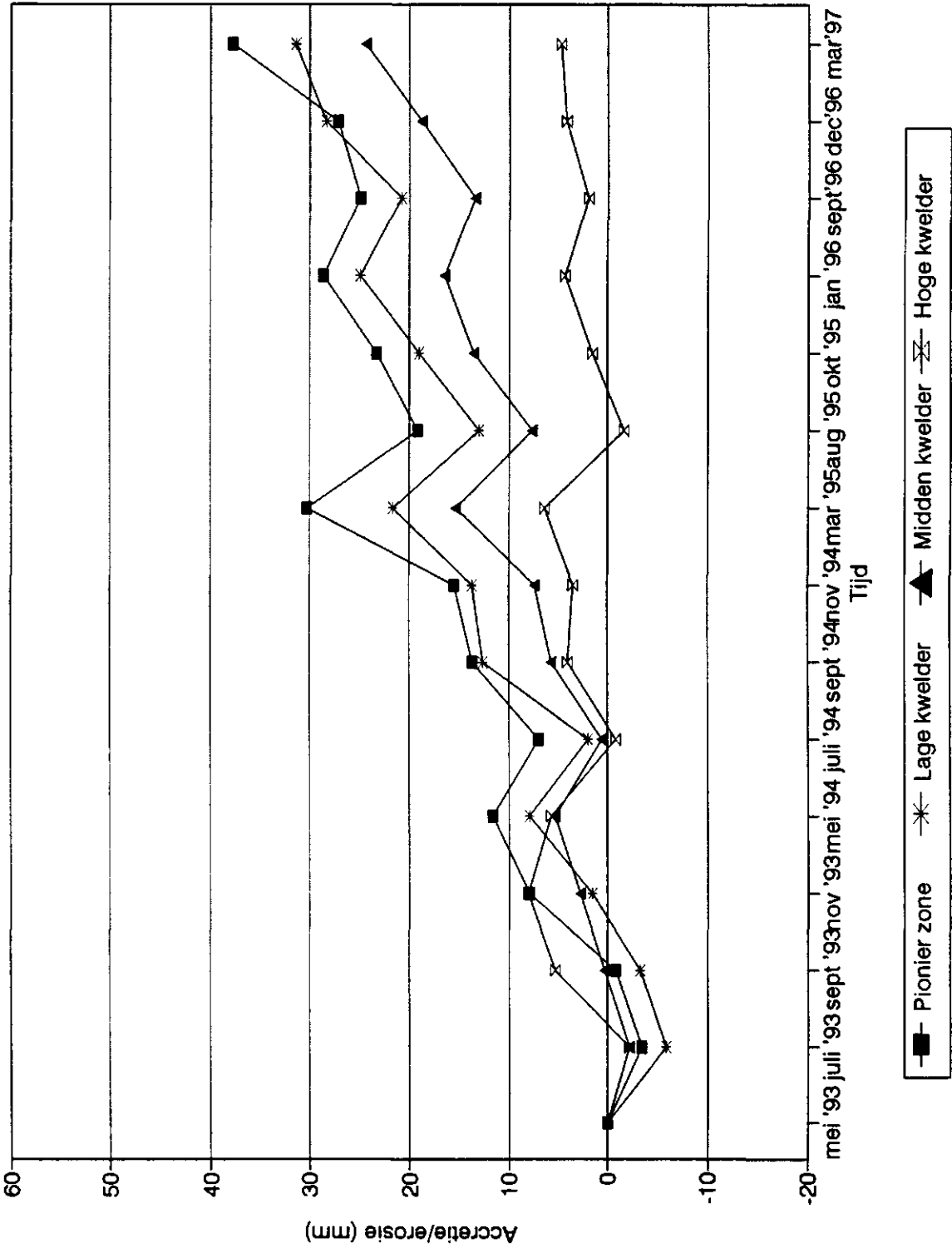


Fig. 3.4. Gemiddelde netto veranderingen in bodemhoogte gemeten met de sedimentation-erosion bar in de vier kwelderzones in Neerlands Reid op Ameland van mei 1993 tot maart 1997

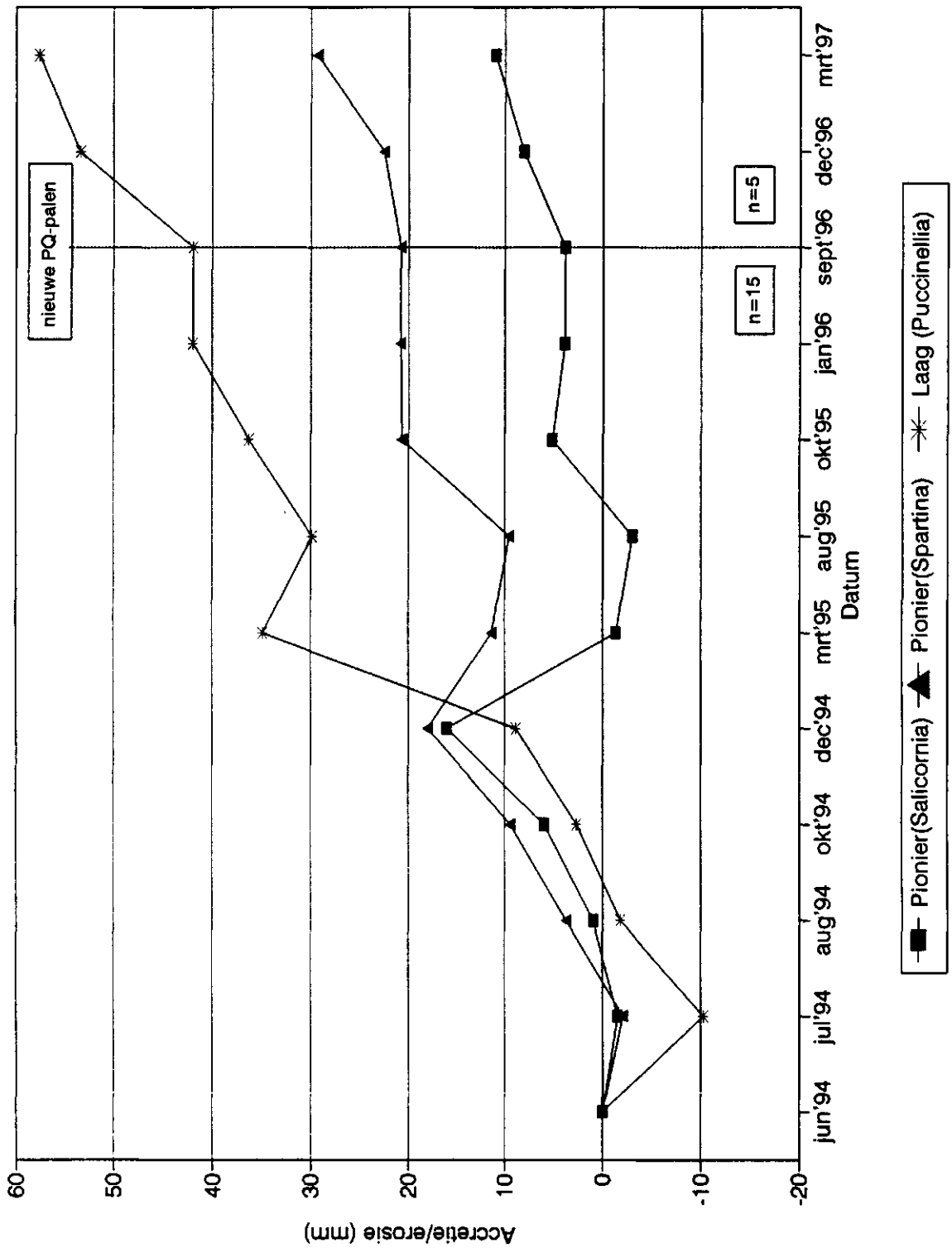


Fig. 3.5. Gemiddelde netto veranderingen in bodemhoogte gemeten met de sedimentation-erosion bar in de drie kwelderzones in de Negenboerenpolder in Groningen van juni 1994 tot maart 1997

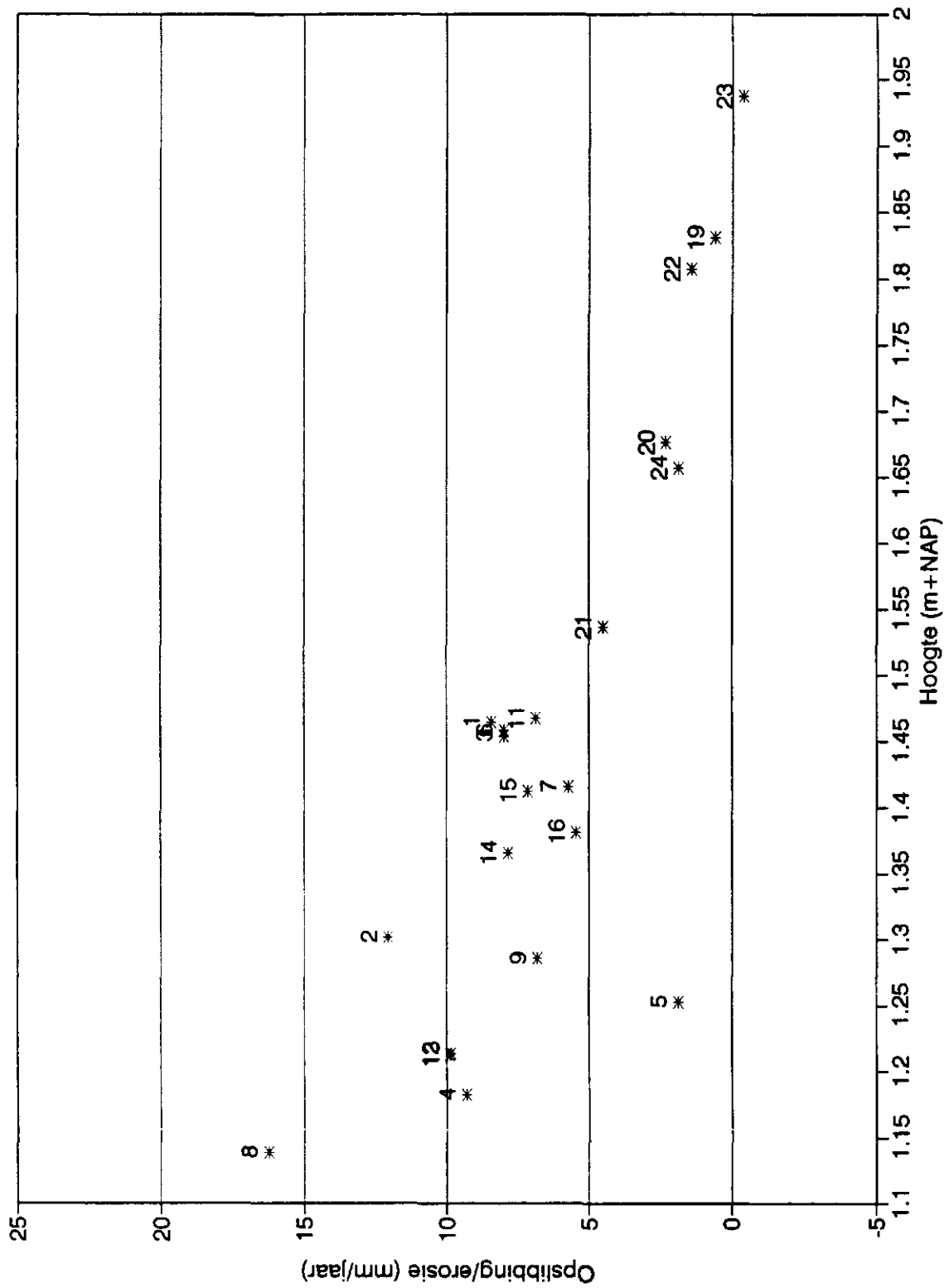


Fig. 3.6. Correlatie tussen netto opslibbing of erosie per jaar (mm) en de bodemhoogte (m +NAP) per SEB-meetpunt in Neerlands Reid op Ameland

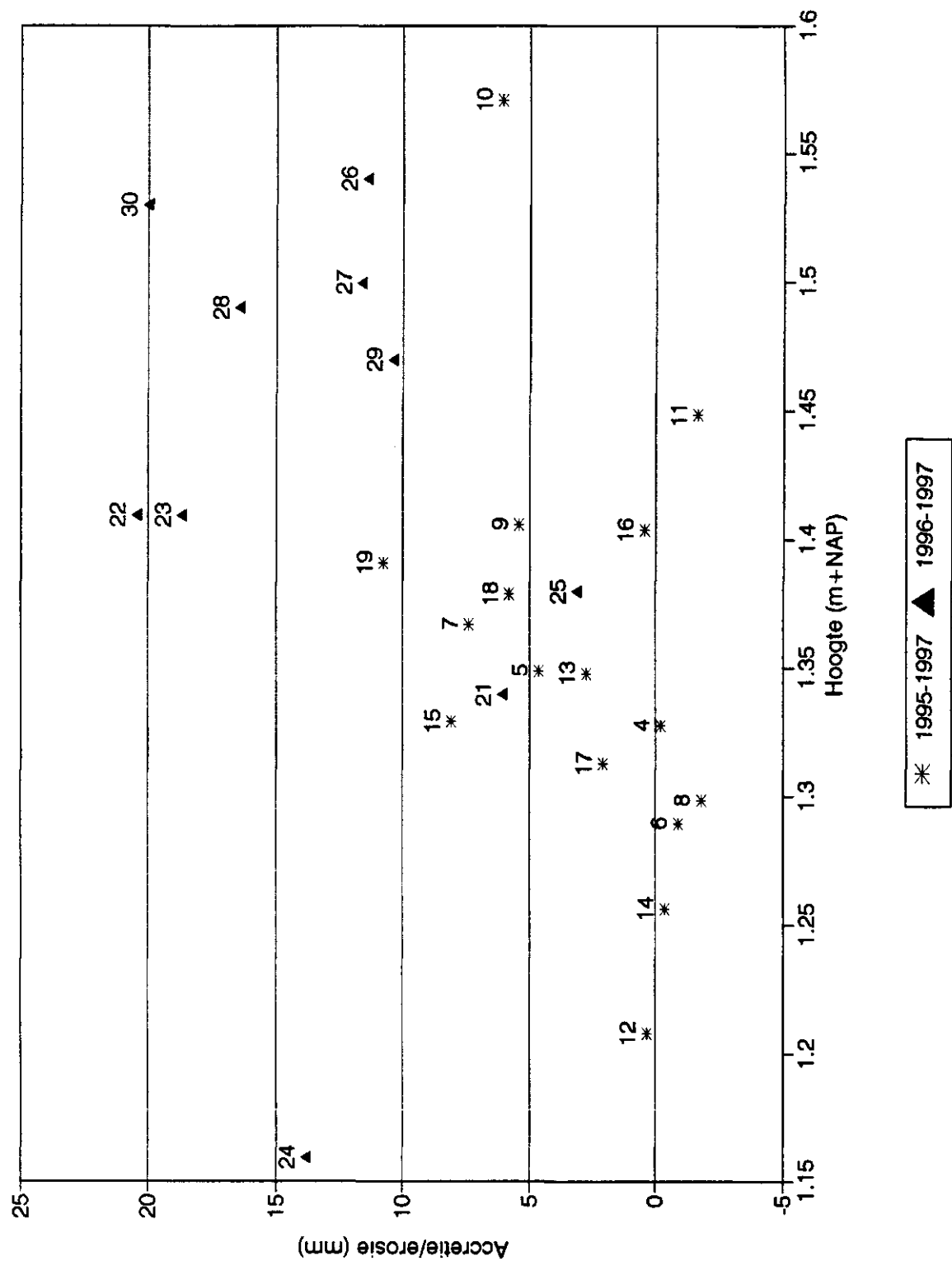


Fig. 3.7. Correlatie tussen netto opslibbing of erosie per jaar (mm) en de bodemhoogte (m+NAP) per SEB-meetpunt in de Peazemerlannen

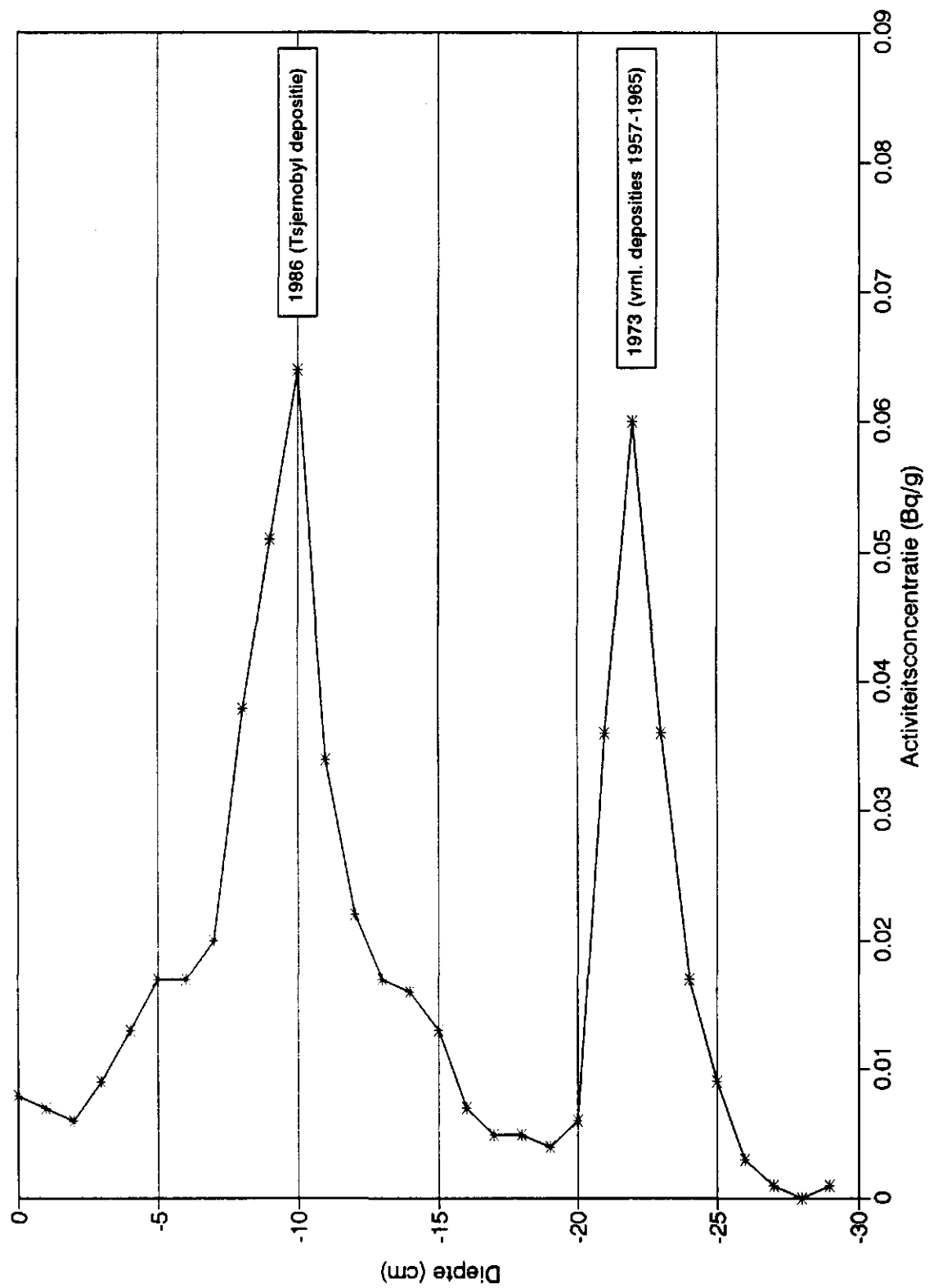


Fig. 3.8. Activiteitsconcentratieprofiel van ¹³⁷Cs van de bodemkern gestoken bij SEB- meetpunt 18 in de Peazemeerlannen

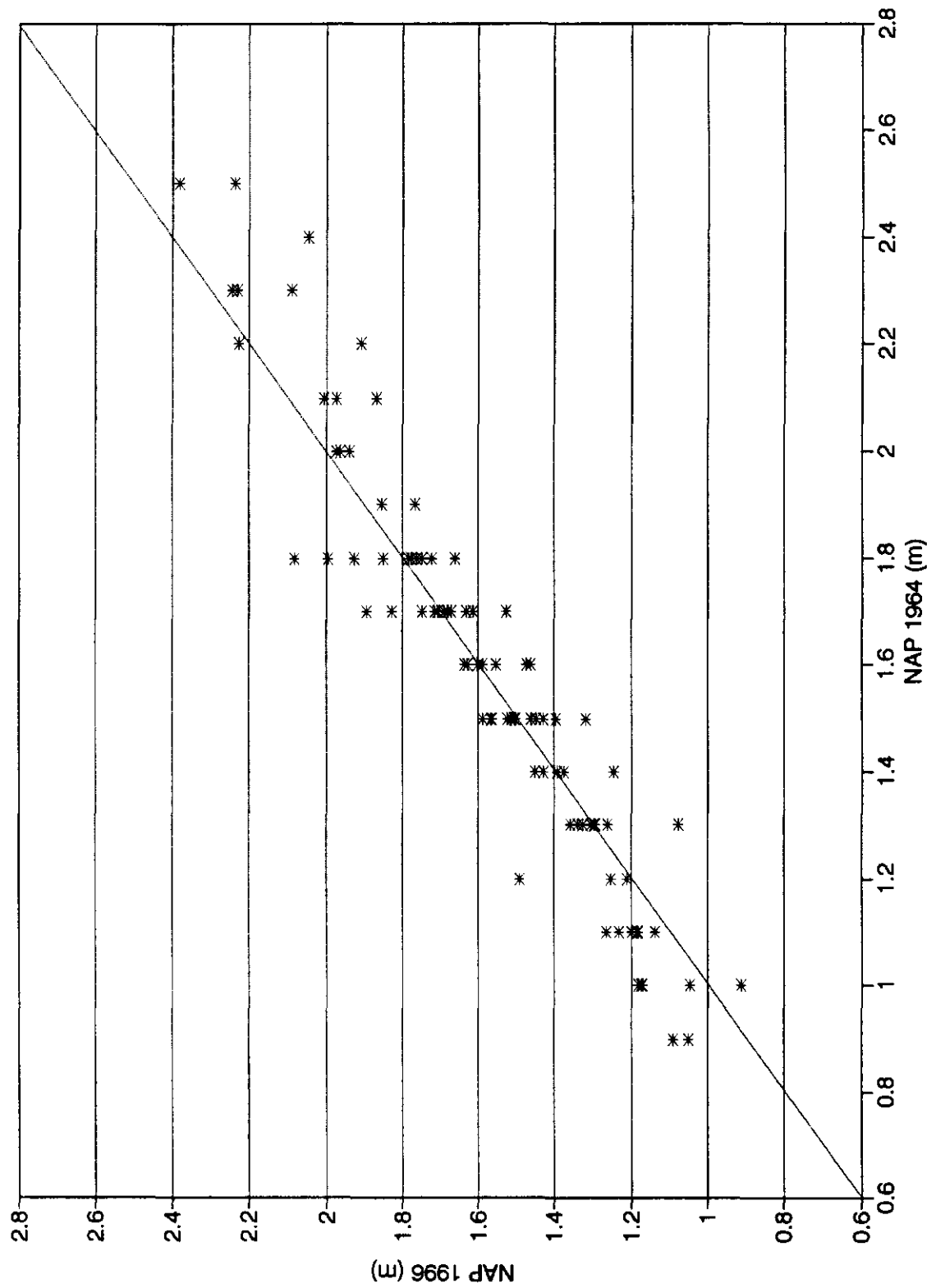


Fig. 3.9. Bodemhoogte t.o.v. NAP in 1964 versus bodemhoogte t.o.v. NAP 1996 van de meetpunten in de zomerpolder in de Peazemerlanden

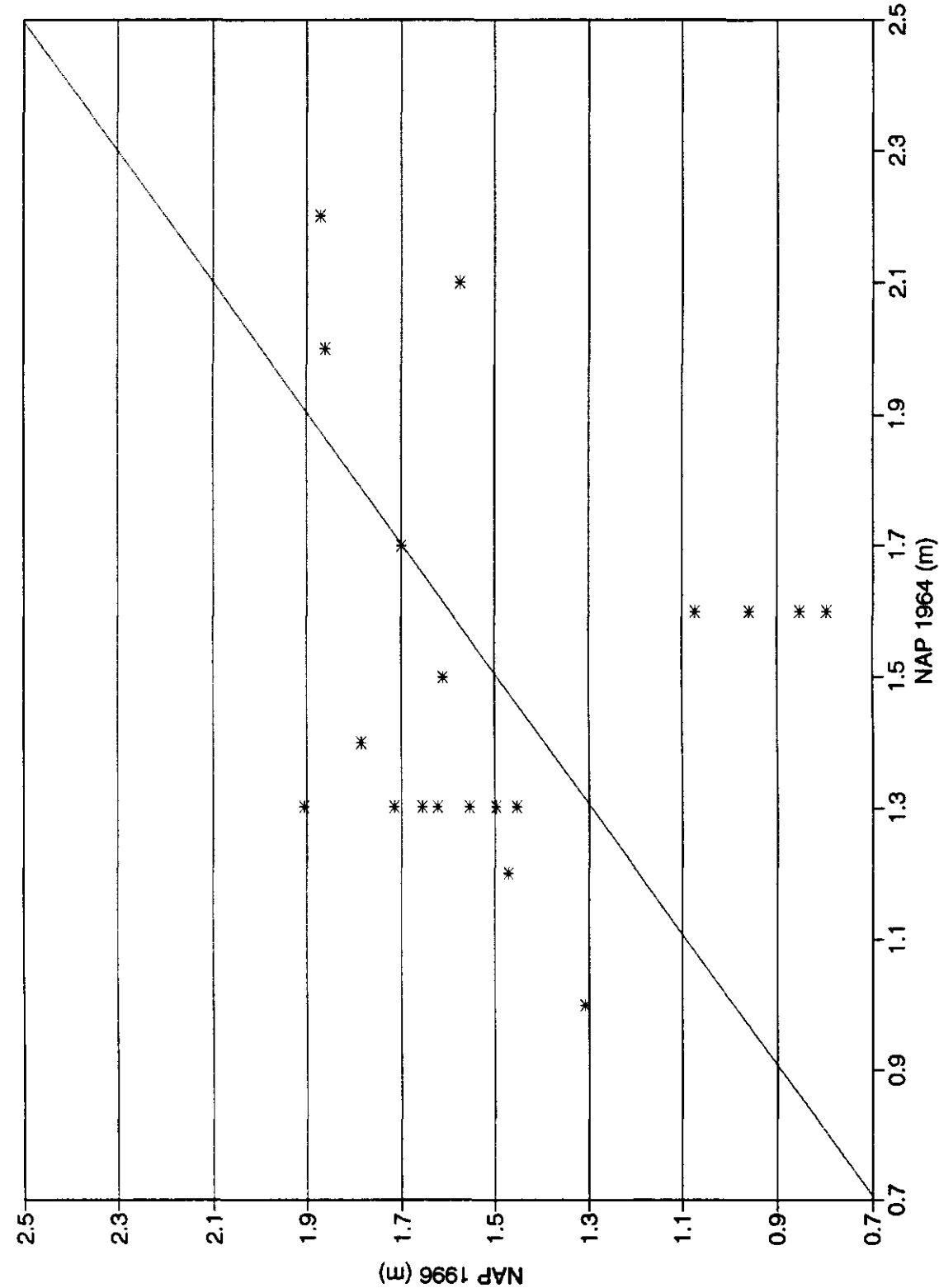


Fig. 3.10. Bodemhoogte t.o.v. NAP in 1964 versus bodemhoogte t.o.v. NAP 1996 van de meetpunten het buitendijkse gebied in de Peazemerlannen

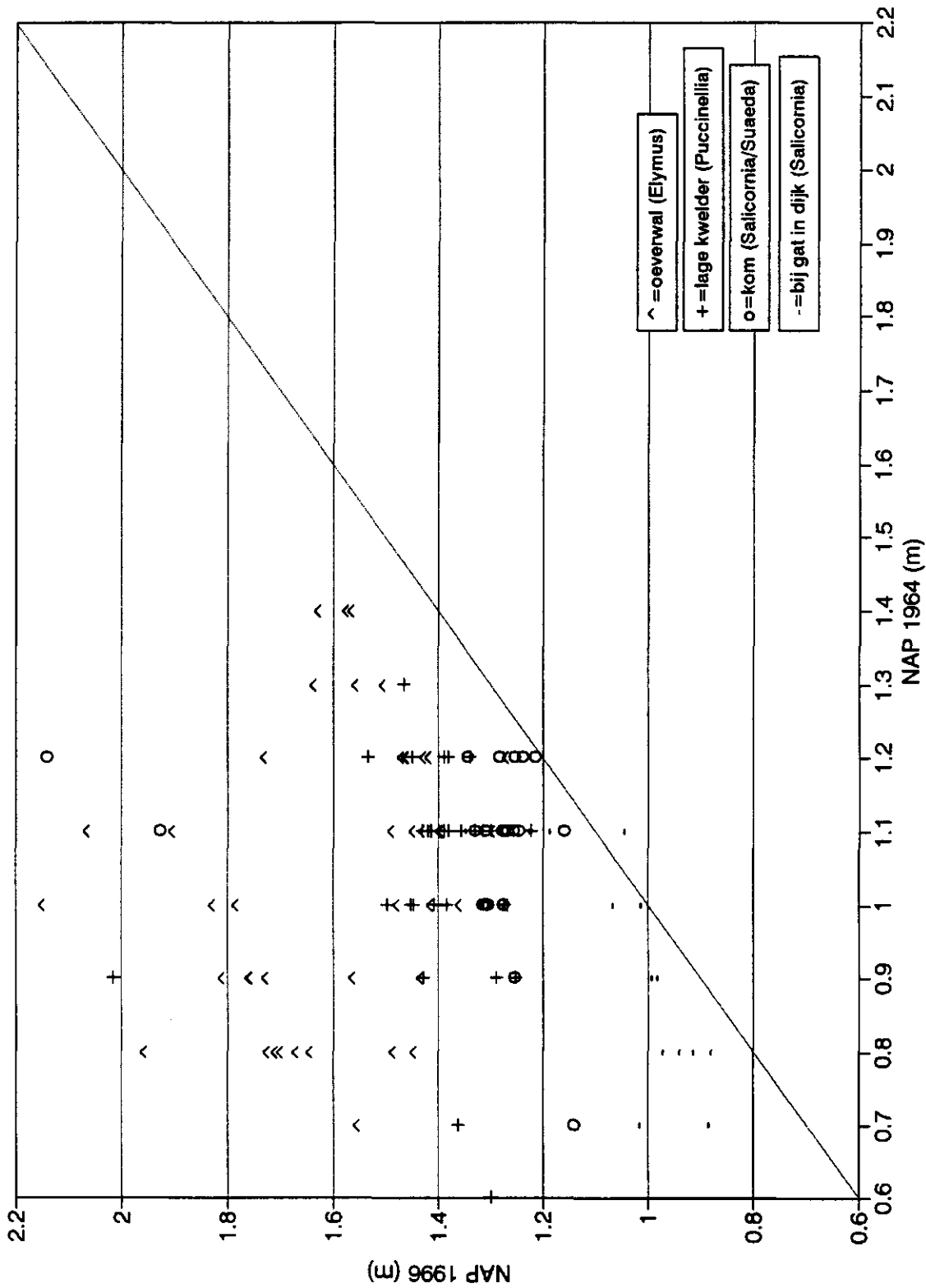


Fig. 3.11. Bodemhoogte t.o.v. NAP in 1964 versus bodemhoogte t.o.v. NAP 1996 van de meetpunten in de kwelder in de Peazemerlannen

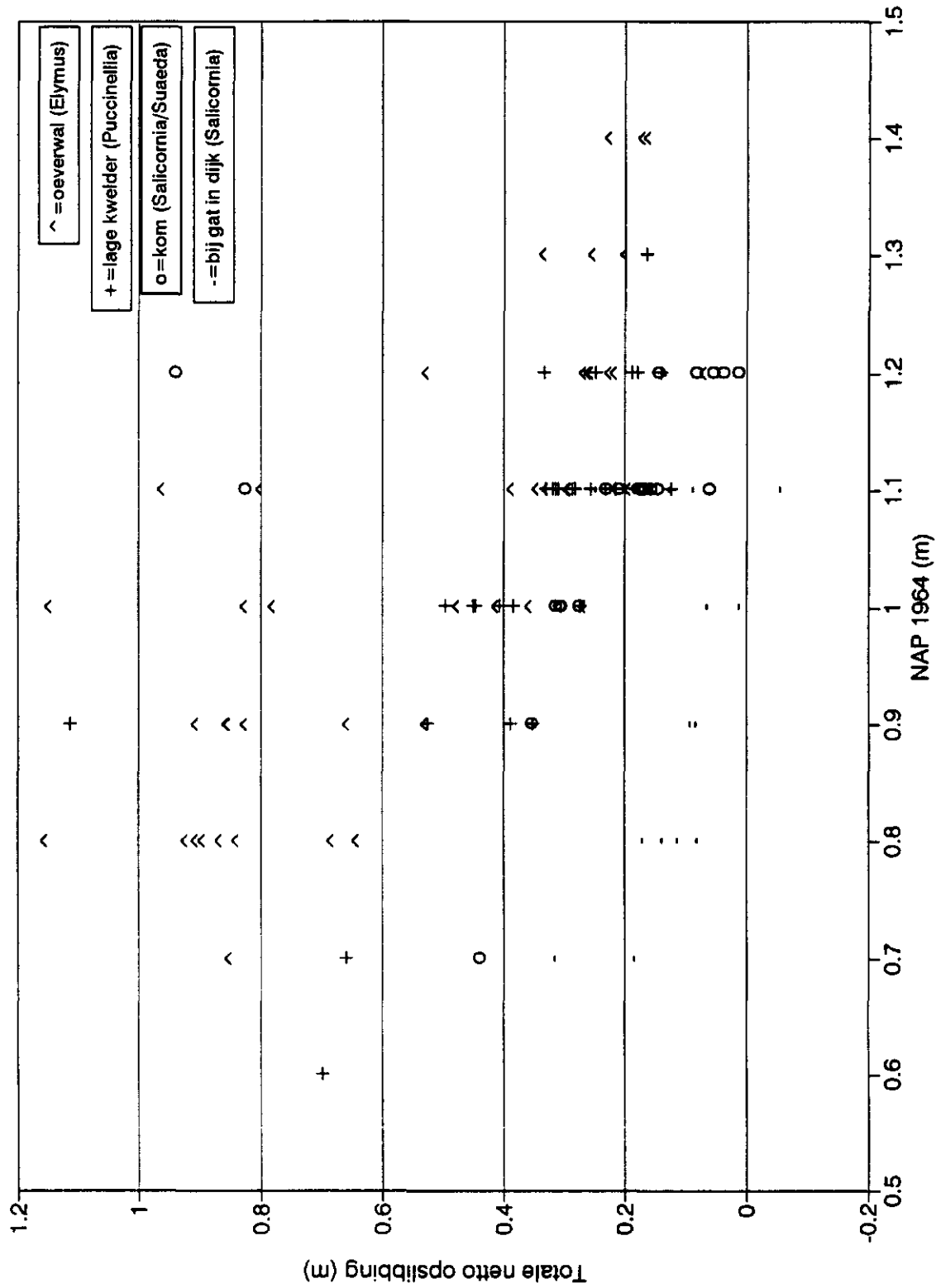


Fig. 3.12. Totale netto opslibbing (m) van 1973-1996 versus de oorspronkelijke bodemhoogte (m +NAP) uit 1964

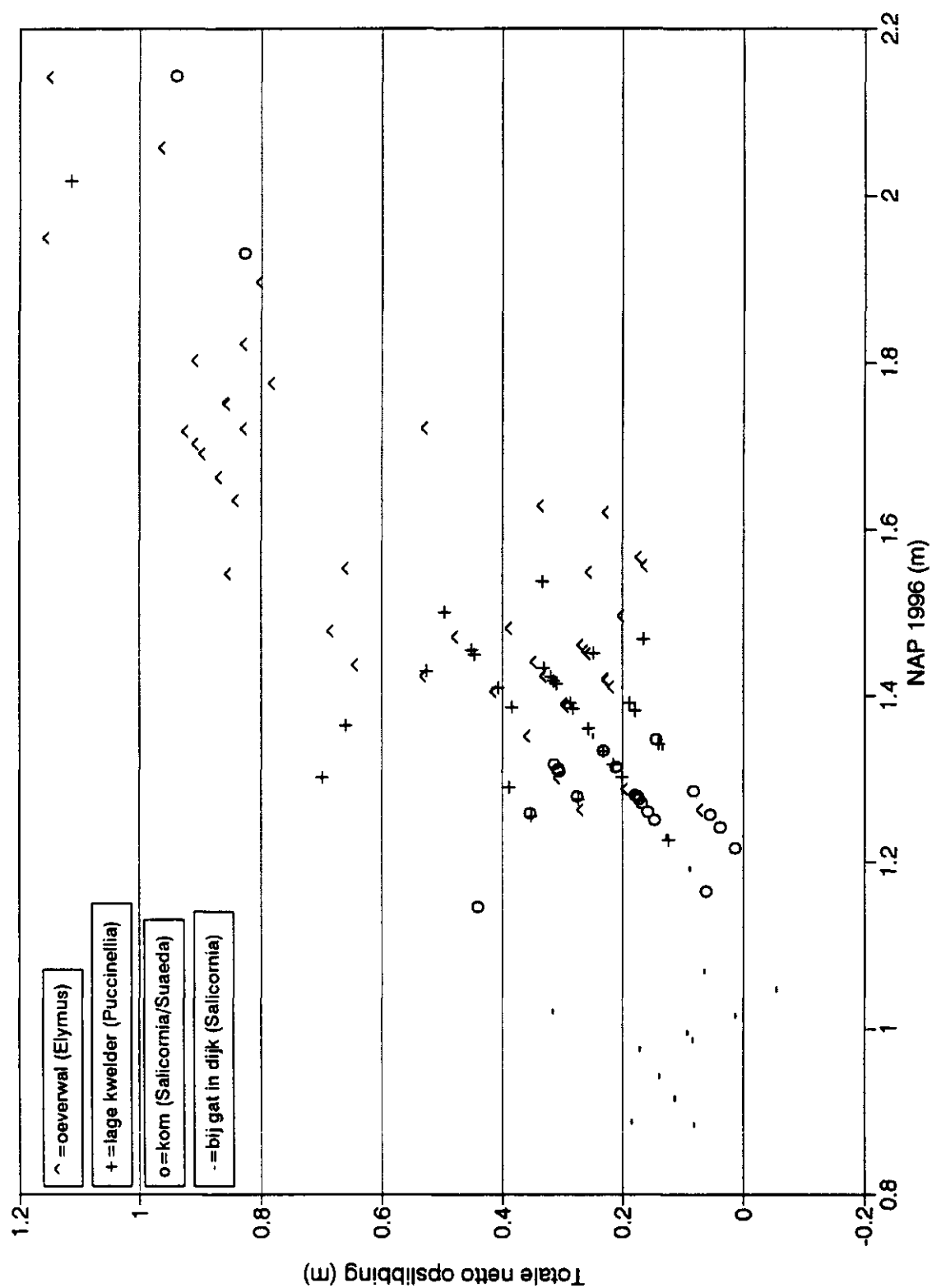


Fig. 3.13. Totale netto opslibbing (m) van 1973-1996 versus de bij de hermeting gemeten bodemhoogte (m $\rightarrow$ NAP) uit 1996

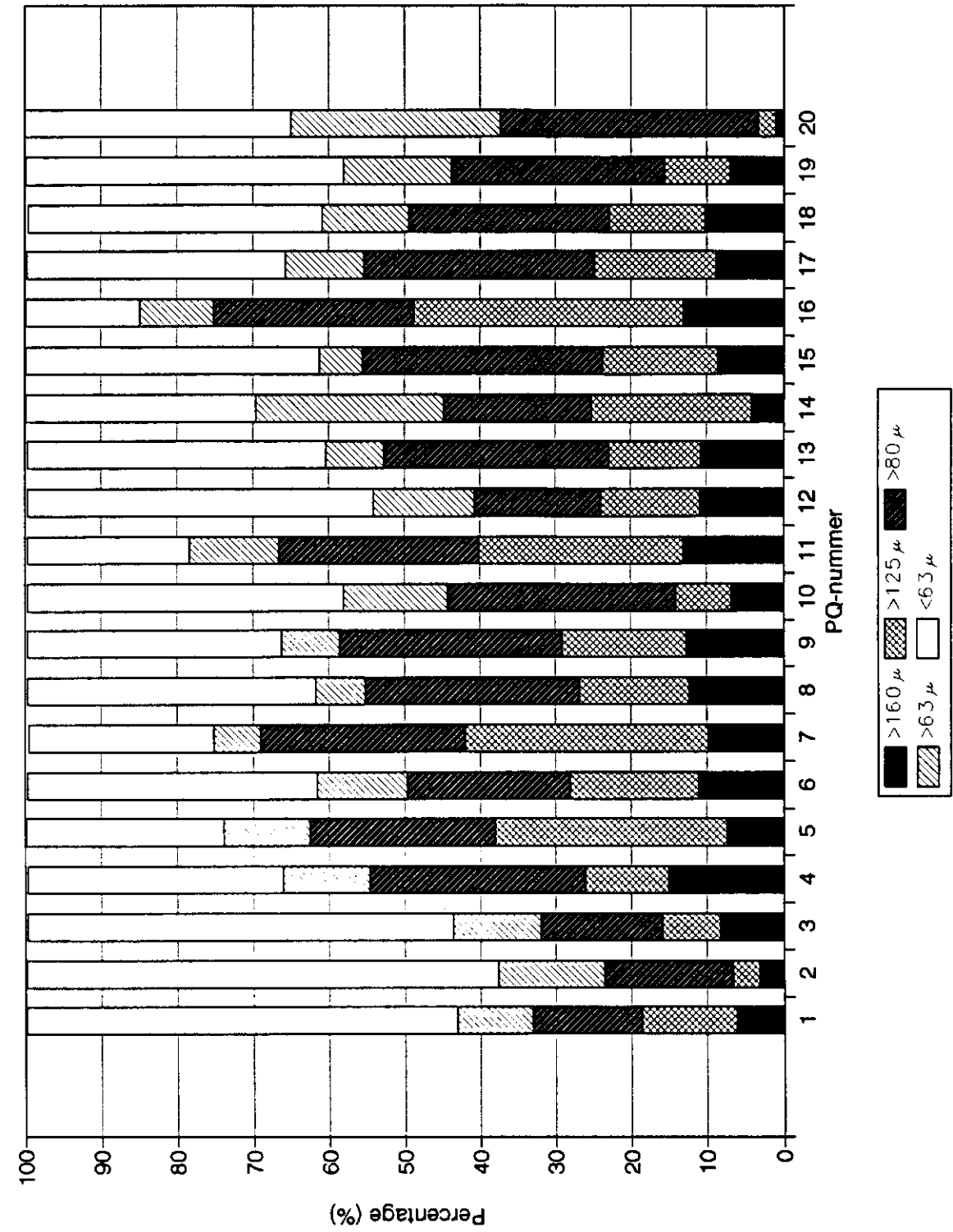


Fig. 3.14. Korrelgrootteverdeling van de grondmonsters genomen bij SEB-meeetveld 1 t/m 20 in de Peazemerlannen in maart 1995

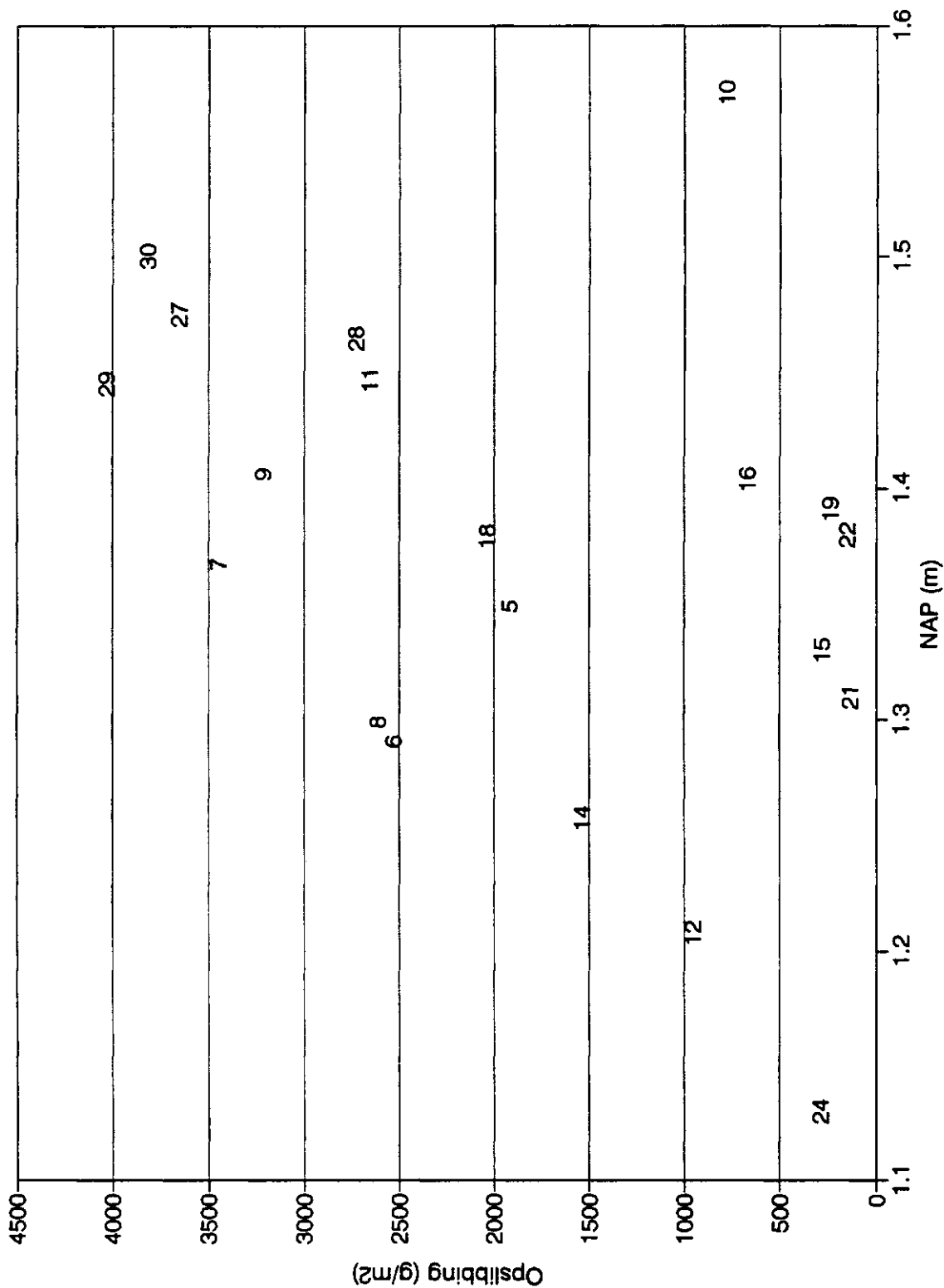


Fig. 3.15. Hoeveelheid sediment (g/m²) afgezet bij 20 SEB-meeelpunten van 23 oktober 1996 tot 1 november 1996 in relatie tot de hoogteligging van de bodem

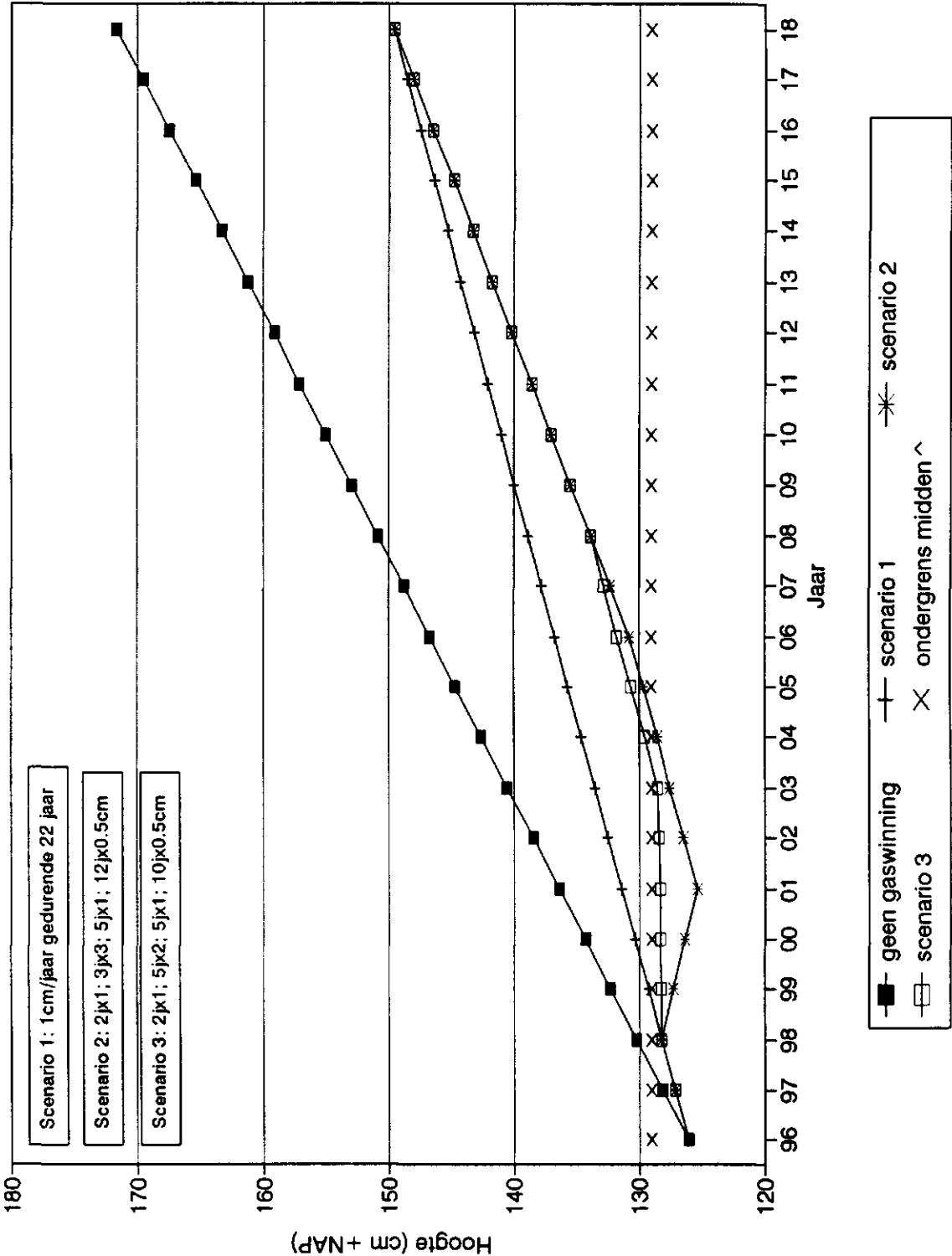


Fig. 5.1. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt op een oeverwal waar *Elymus athericus* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 2,25 cm per jaar (hermeting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 2,07 cm/j)

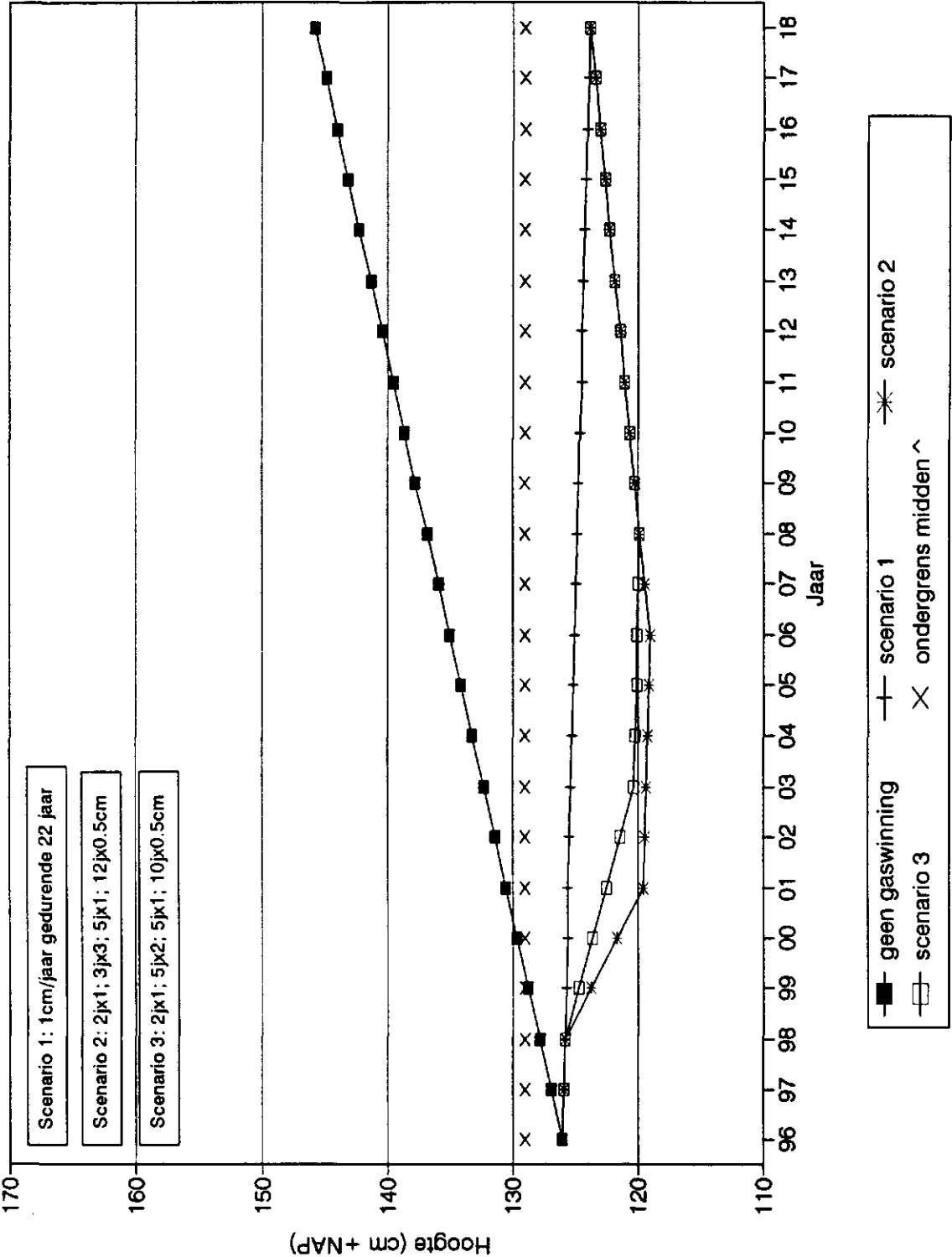


Fig. 5.2. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt op een oeverwal waar *Elymus athericus* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 1,08 cm per jaar (SEB-meting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 0,90 cm/j)

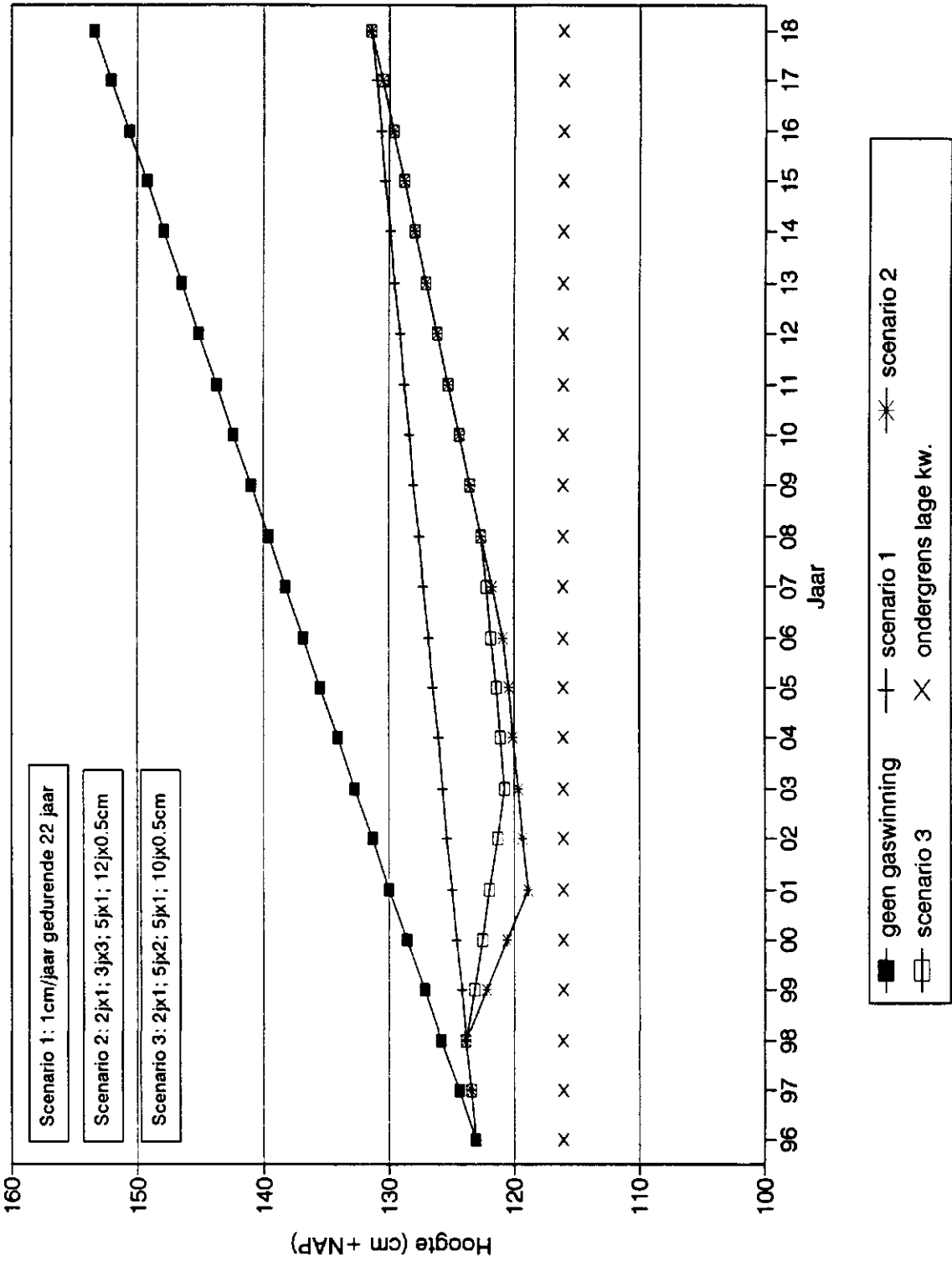


Fig. 5.3. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de lage kwelder waar *Puccinellia maritima* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 1,56 cm per jaar (hermeting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 1,38 cm/j)

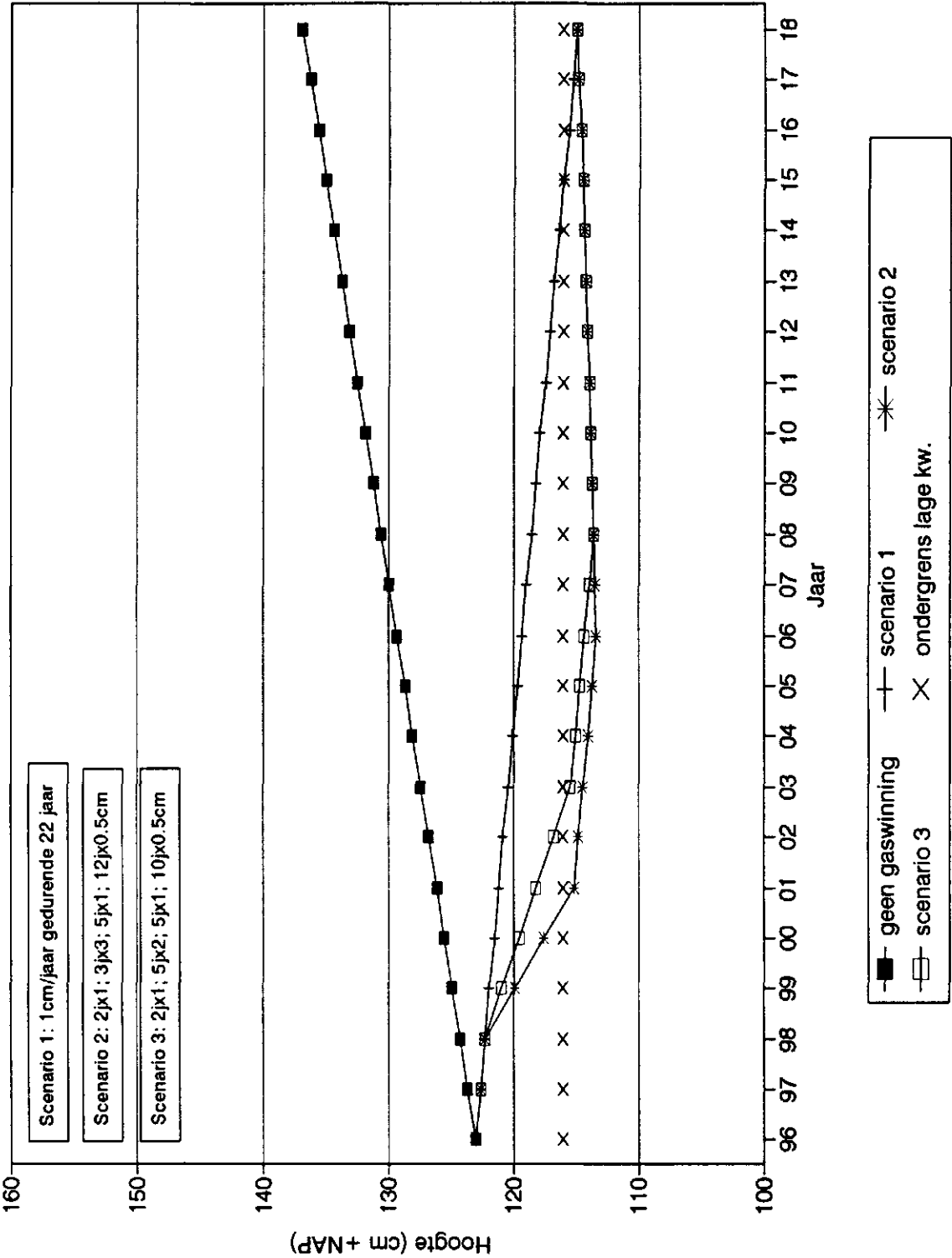


Fig. 5.4. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de lage kwelder waar *Puccinellia maritima* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 0,81 cm per jaar (SEB-meting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 0,63 cm/j)

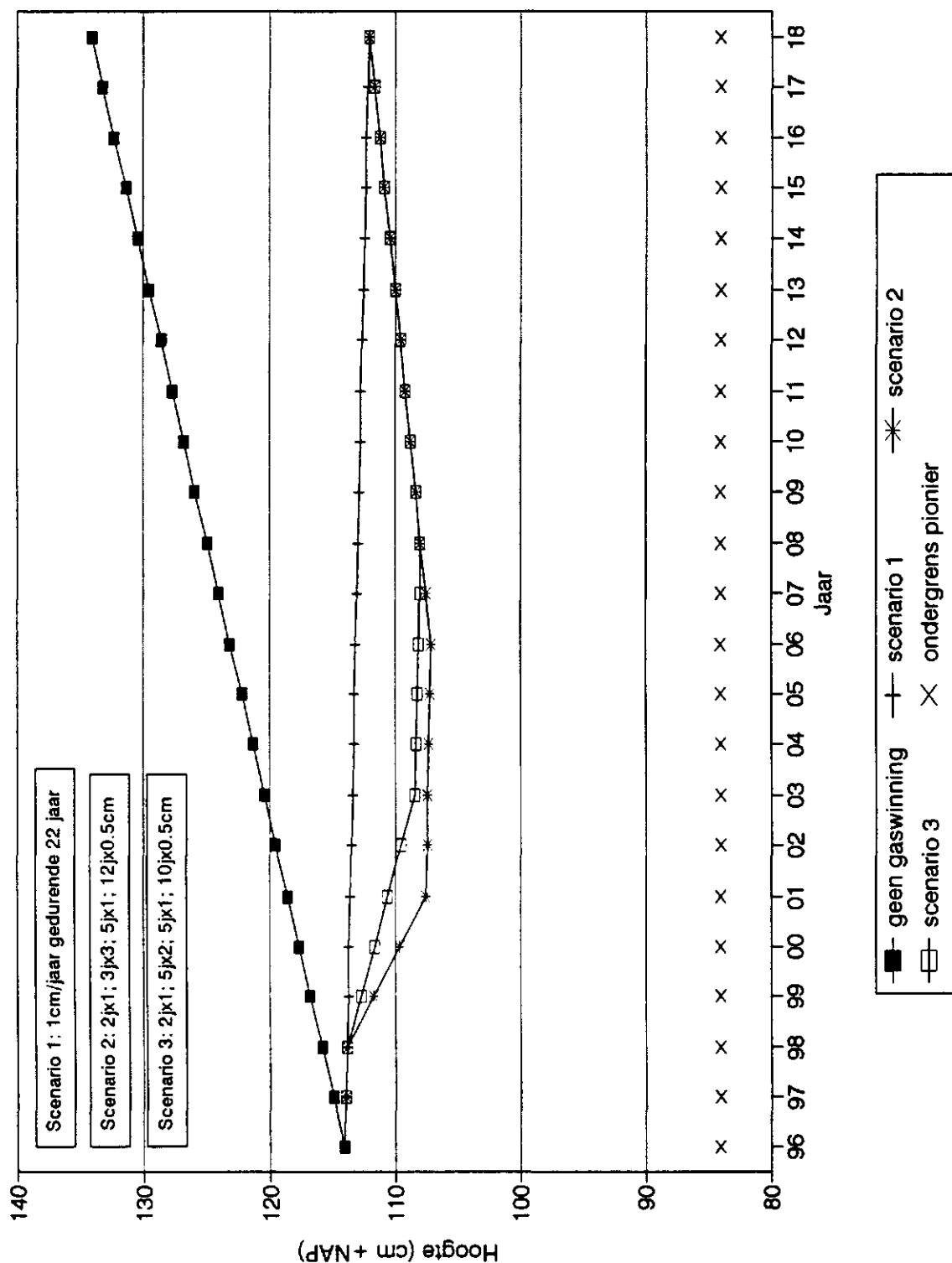


Fig. 5.5. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de secundaire pionierzone (kom) waar *Salicornia dolichostachya* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 1,09 cm per jaar (hermeting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 0,91 cm/j)

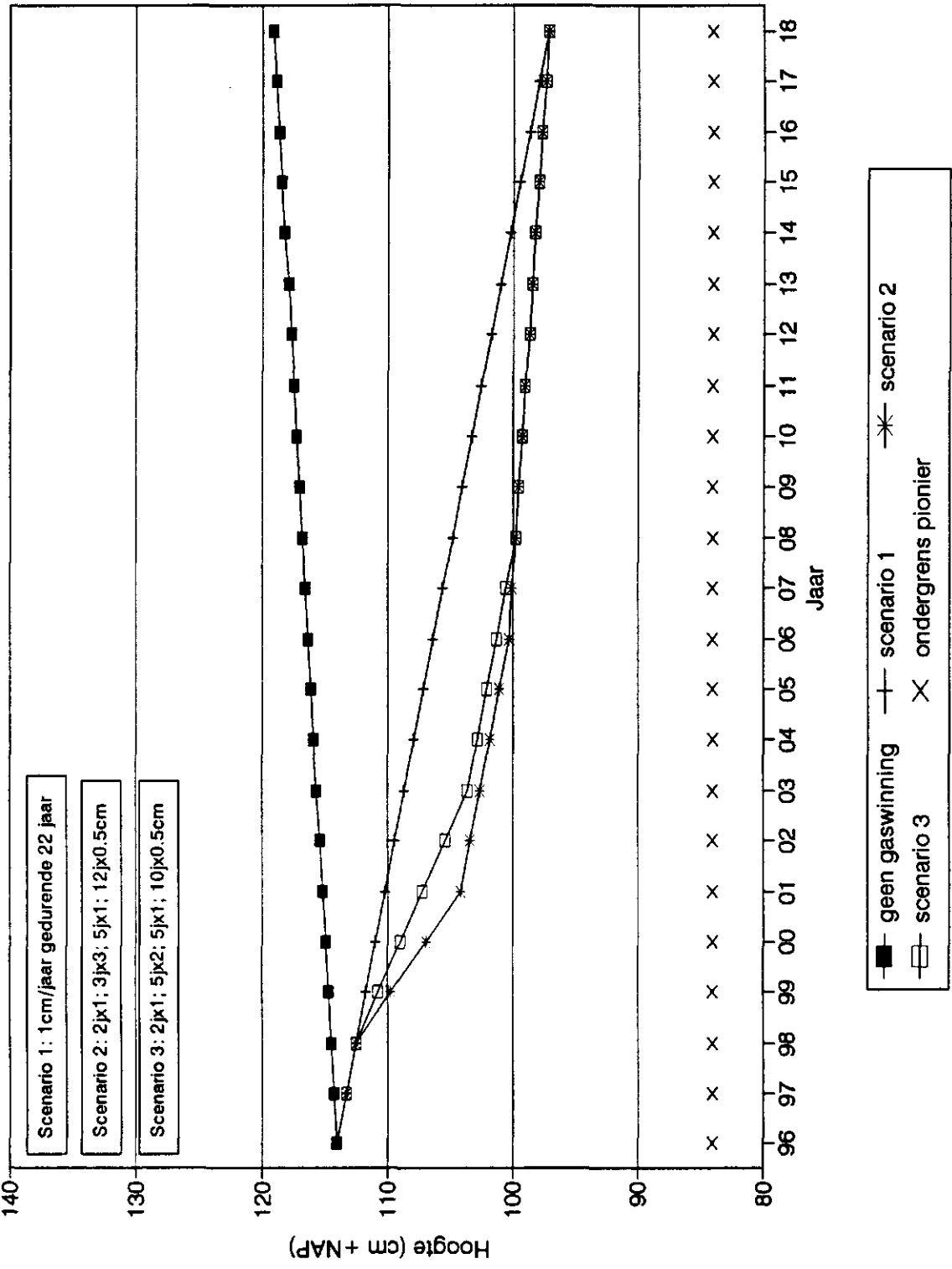


Fig. 5.6. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de secundaire pionierzone (kom) waar *Salicornia dolichostachya* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 0,41 cm per jaar (SEB-meting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 0,23 cm/j)

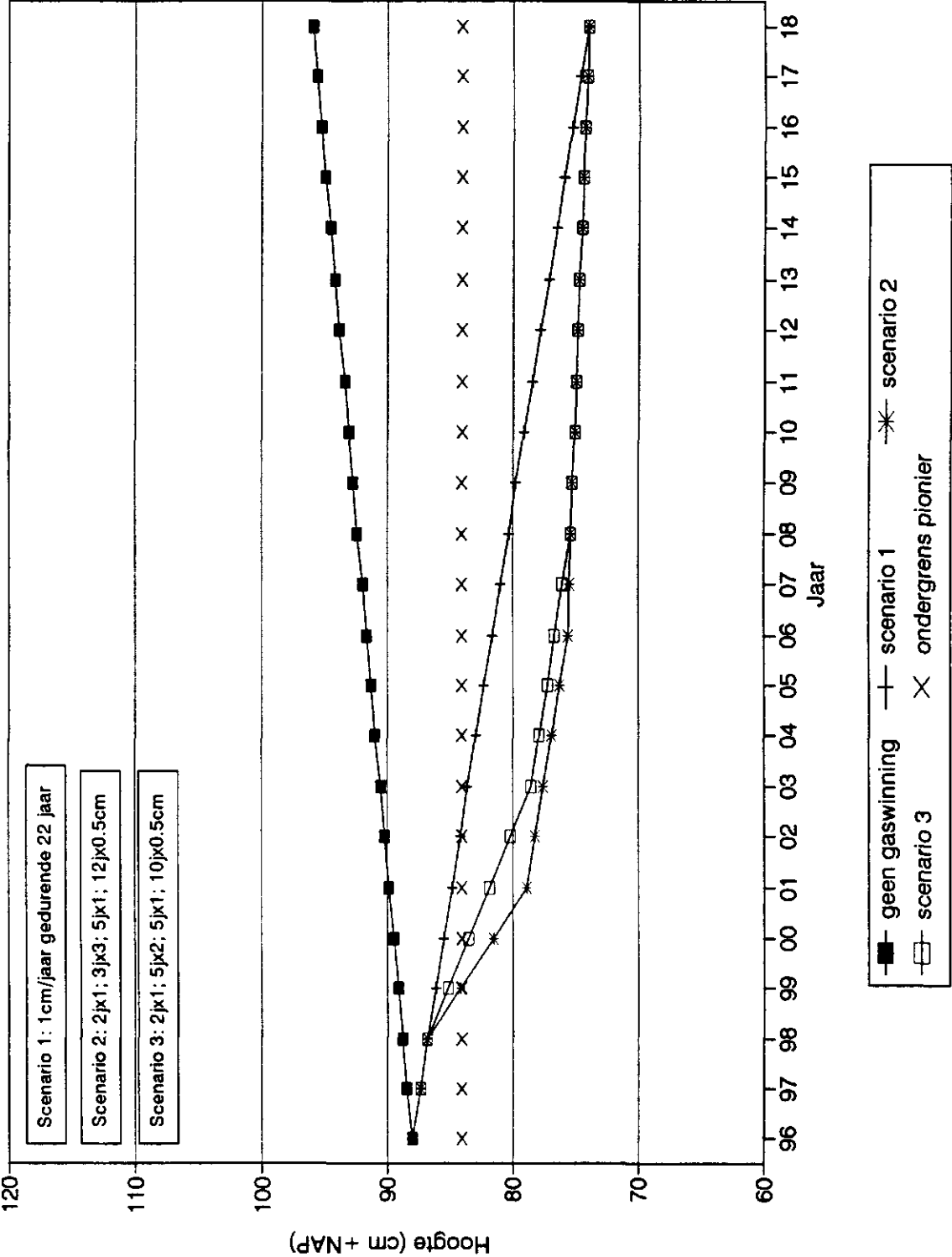


Fig. 5.7. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de primaire pionierzone (achter een gat in de dijk) waar *Salicornia dolichostachya* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 0,54 cm per jaar (hermeting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 0,36 cm/j)

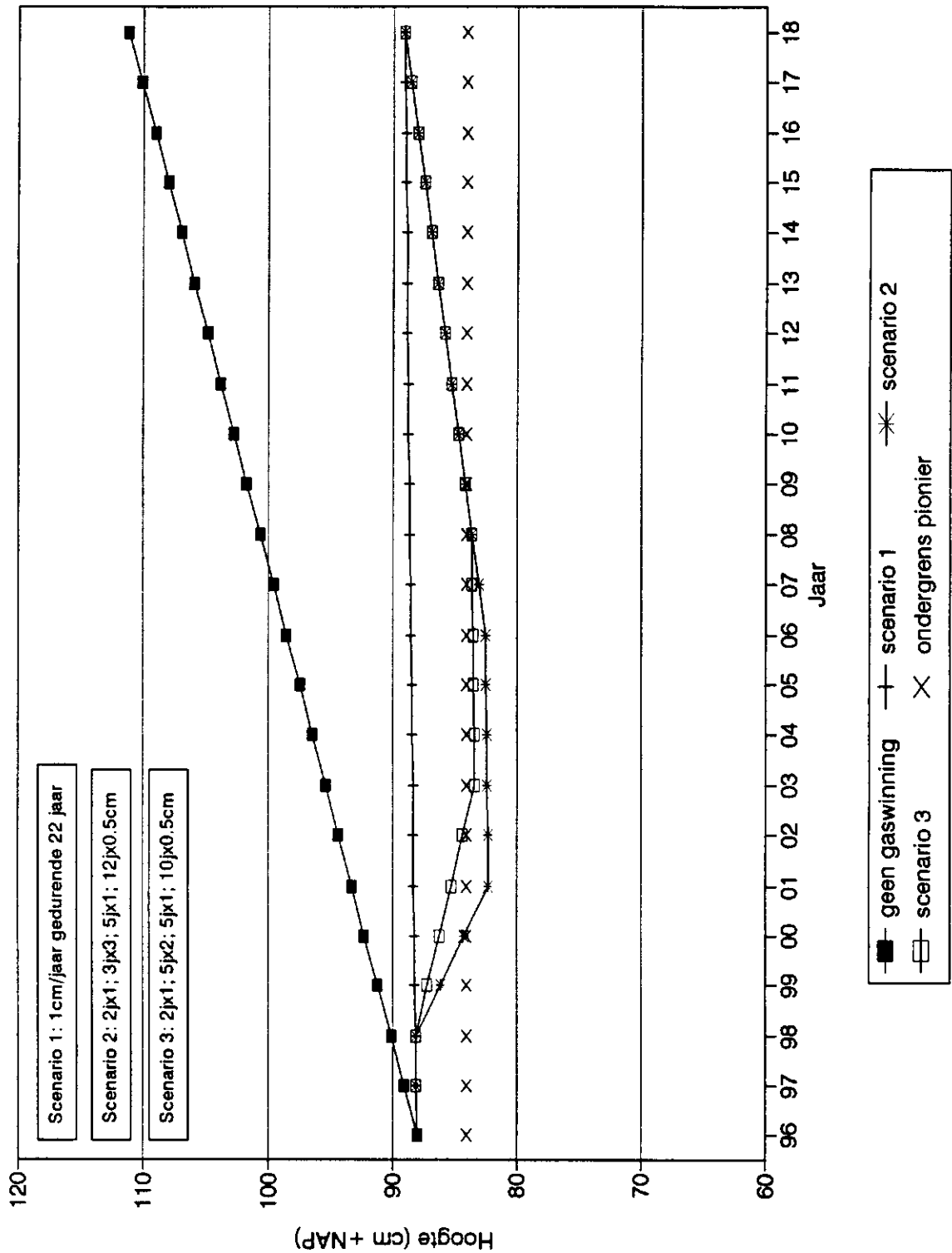


Fig. 5.8. Verandering in bodemhoogte gedurende 22 jaar bij drie gaswinningsscenario's voor het tijdens de hermeting laagste gemeten punt van de primaire pionierzone (achter een gat in de dijk) waar *Salicornia dolichostachya* dominant is en bij een gemiddelde opslibbing van 1,23 cm per jaar (SEB-meting) en 0,18 cm zeespiegelstijging per jaar (netto 1,05 cm/j)