

Reactivatie van de Bruid van Haarlem situatie 2007

Bas Arens



A R E N S

BUREAU VOOR STRAND- EN DUINONDERZOEK



Reactivatie van de Bruid van Haarlem situatie 2007

Bas Arens

ARENS BSDO

RAPPORTNUMMER RAP2007.09

In opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland
December 2007

VOORWOORD

In de winter van 2002/2003 is door nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland het paraboolduin 'De Bruid van Haarlem' gereactiveerd. Het is de tweede grootschalige reactivatie door het PWN in Zuid-Kennemerland. Doel van de reactivatie is om te onderzoeken of dergelijke grootschalige maatregelen duurzame verstuiving tot gevolg hebben, waarmee langs 'natuurlijke' weg nieuwe duinvalleien kunnen uitstuiven.

In november 2003 is de hoogte van het terrein ingemeten, als start van de monitoring van de ontwikkeling. Sindsdien worden ieder voor- en najaar vervolgmetingen uitgevoerd. Resultaten en analyse van de metingen voor 2006 en 2007 worden in dit rapport besproken.

Het onderzoek vindt plaats onder begeleiding van Rienk Slings (PWN).

Bas Arens

Amsterdam, 14 december 2007

INHOUD

VOORWOORD	iii
INHOUD	v
1 INLEIDING & VRAAGSTELLING	1
1.1 de Bruid van Haarlem	1
1.2 de ingreep	2
2 GEGEVENS & METHODEN	3
2.1 hoogtemetingen	3
2.2 luchtfoto-analyse	4
3 ANALYSE EN RESULTATEN	5
3.1 weersomstandigheden	5
3.2 observaties tijdens veldbezoeken	6
3.3 luchtfoto-analyse	11
3.4 hoogtemetingen	11
3.5 Algemene conclusies met betrekking tot dynamisch ontwikkeling	23
4 CONCLUSIES	25
5 AANBEVELINGEN	27
6 REFERENTIES	29
LIJST MET FIGUREN	31
LIJST MET TABELLEN	31

1 INLEIDING & VRAAGSTELLING

Grootschalige reactiveringen als duurzame beheersmaatregel passen binnen het beleid van de nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. Het idee achter reactiveren is dat ingrijpen noodzakelijk is omdat door stabilisering en verruiging de natuurlijke dynamiek volledig is verdwenen en alleen door het verwijderen van bodem en vegetatie terug kan keren. Zonder ingrijpen zullen o.m. waardevolle natte en droge pionierstadia verdwijnen. Actief reactiveringsbeheer ten behoeve van duurzame verstuingen houdt in: het eenmalig ingrijpen in het landschap om natuurlijke geomorfologische processen te reactiveren op een zodanige schaal en wijze dat deze processen in staat zullen zijn zichzelf langdurig in stand te houden waardoor toekomstige vernieuwing binnen het landschap gewaarborgd blijft. Het bijzondere van de PWN-aanpak is dat zoveel mogelijk aangesloten wordt bij de manier waarop grote hoeveelheden zand van nature door het duinlandschap bewegen, d.w.z. doorgaans in de vorm van paraboolduinen of loopduinen. Men hoopt hierdoor te bereiken dat de dynamische processen zichzelf langdurig in stand houden.

Een dergelijk beheer zal alleen zin hebben als het écht grootschalig is, omdat alleen dan nieuwvorming van valleien zal plaatsvinden en met struiken of bos begroeide duinen door extreme depositie plaats zullen maken voor droge pioniervegetaties. Secundaire aantasting van vormen door het ontstaan van stuifkuilen levert wel een interessant landschap op, maar zal nauwelijks bijdragen aan de nieuwvorming van valleien van enige omvang, en zeker niet op de korte (10 jaar) termijn.

Vanwege de nog beperkte ervaring met het reactiveren van paraboolduinen (slechts één locatie: het Verlaten Veld in het Kraansvlak, eveneens in het NPZK), de positieve ervaringen met betrekking tot het herstellen van dynamiek (zie bijv. oorbeeld Arens et al., 2005), en de kans dat paraboolreactivatie een succesvolle en duurzame beheersstrategie kan zijn voor het creëren van zowel natte als droge, voedselarme milieus, is in 2003 een tweede experiment gestart: de Bruid van Haarlem. Dit experiment, met een andere wijze van uitvoering dan het experiment in het Verlaten Veld, zal hopelijk verdere inzichten opleveren ten behoeve van dynamisch duinbeheer, over de mogelijkheid nieuwvorming van grootschalige uitblazingsvalleien te induceren door middel van paraboolreactivatie, en over de effectiviteit van de depositie van zand op bestaande vegetaties.

1.1 de Bruid van Haarlem

De Bruid van Haarlem is een groot, samengesteld paraboolduin. De parabool bestaat uit een lagere, westelijk gelegen lob, en vlak daar achter een hogere kop. Op het moment van stabilisatie was er mogelijk sprake van een kleinere parabool die een grotere parabool aan het inhalen was. Paraboolarmen zijn aanwezig, maar in het veld niet eenvoudig te herkennen. De grote parabool heeft een lange arm aan de noordkant. De kleine en grote parabool zijn aan de zuidkant met elkaar verbonden. Zeewaarts van de parabolen bevinden zich de vallei Langerak en een omvangrijke open ruimte. De ligging ten opzichte van de meest actieve wind (zuidwest-west) is gunstig, de afstand tot zee bedraagt circa 1.3 km. De parabolen waren overwegend begroeid met gras, voornamelijk Helm en hier en daar struweel, voornamelijk Duindoorn.

De loefhelling van de westelijke lob is lang en vrij egaal, en heeft meer de vorm van een loopduinhelling. De aanwezige bodem was beperkt. De loefhelling van de oostelijke parabool is korter en steiler. Deze parabool ligt dicht achter de westelijke lob, vooral aan de zuidkant. Het duin heeft een vlakke top. De achterzijde heeft deels een onregelmatige helling die uit elkaar gewaaid lijkt.

De deflatievallei voor de Bruid is uitgestrekt, maar het grondwater zit niet diep onder de oppervlakte en staat in natte perioden zelfs plaatselijk boven het maaiveld. Reactiveren van deze vallei was daarom geen optie. Bij het Verlaten Veld was bovendien gebleken dat de deflatie van een uitgestrekte vallei niet essentieel is voor de remobilisatie van het duin, en dat voor remobilisatie het juist wenselijk is dat de wind op de loefhelling zand op kan nemen. De vallei is dan ook op een strook van circa 150m breed buiten de ingreep gebleven.

1.2 de ingreep

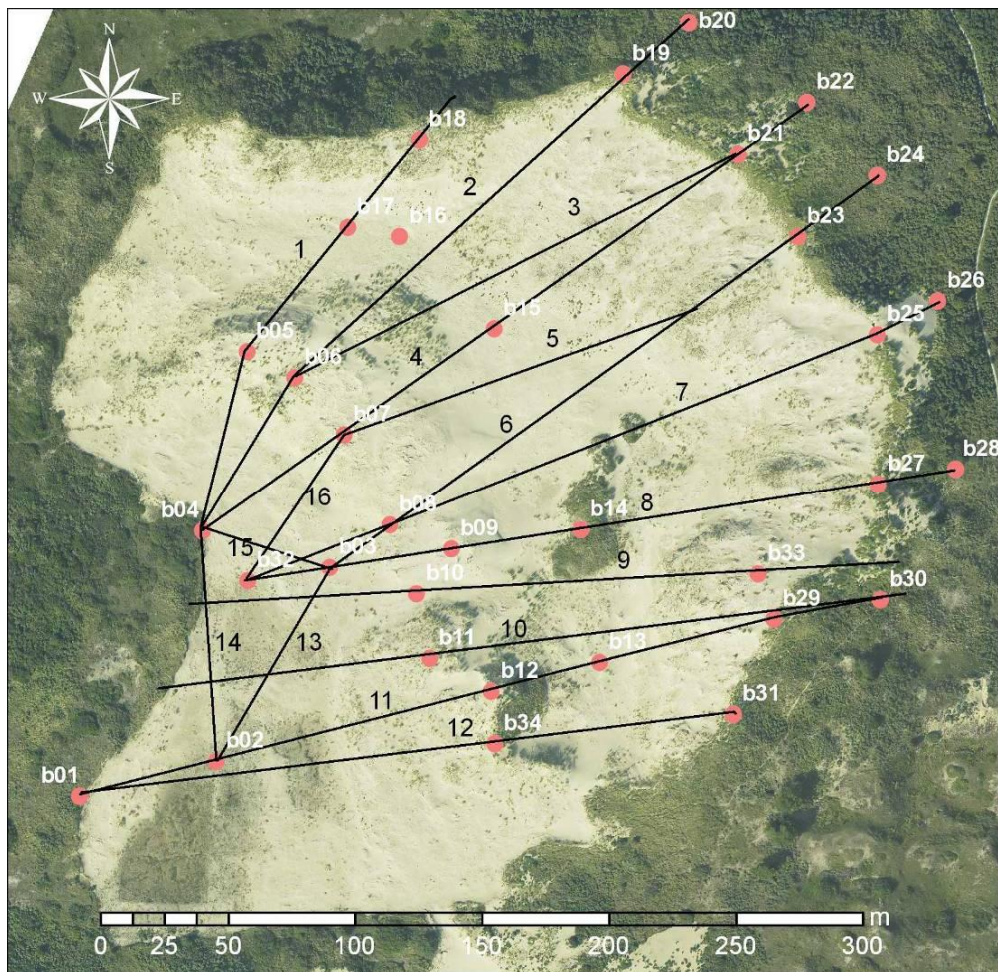
Vegetatie en bodem zijn verwijderd over een groot oppervlak (7.8 ha). Een klein deel van de deflatievallei is in de ingreep betrokken. De werkzaamheden hebben zich beperkt tot de loefzijde van de parabool. De achterzijde van de parabool is intact gelaten. Idee hierachter is dat deze door massale overstuiving vanzelf bedekt raakt met vers zand. Bovendien blijft de kam van de parabool intact en zal deze gelijk zand gaan invangen. De vegetatie op de kam zal hier op reageren, waardoor de kam mogelijk in hoogte gaat toenemen, of in ieder geval niet uiteen zal waaien. Doorwaaien van zand verder oostwaarts wordt hier waarschijnlijk door beperkt. Dit is een belangrijk verschil met Het Verlaten Veld, waar de kam wel afgeplagd is, en deze door erosie verschillende meters verlaagd is. Bovendien was in het Verlaten Veld de kam beplant met dicht naaldbos, zodat hier ook geen helmwortels zijn achtergebleven. Ook op de westelijke, lagere lob van de Bruid van Haarlem is op een deel van de lijhelling en tussen de twee duinenrijen vegetatie en bodem achter gebleven. Deze begroeide stukken raken steeds sterk overstoven, maar de vegetatie blijft door de overstuiving heen groeien.

2 GEGEVENS & METHODEN

Voor de monitoring wordt gebruik gemaakt van luchtfoto's, laseraltimetrie en hoogtemetingen.

2.1 hoogtemetingen

De hoogtemetingen worden zowel met een total station (tachymeter) als met een nauwkeurig GPS-systeem uitgevoerd. Over de parabool zijn 12 profielen getrokken. Zeven van de profielen lopen door tot de achterzijde, drie profielen zijn kruiselings opgenomen en liggen tussen twee andere profielen in. In de deflatievallei zijn drie aparte profielen opgenomen. Daarnaast lopen verschillende van de profielen over de parabool door tot in de vallei.



Figuur 2.1. Ligging en nummering van de profielen. De rode stippen geven de vaste punten weer. Achtergrond: luchtfoto 2005.

De vaste punten (34 stuks) zijn gemarkeerd met stalen buizen van 2 tot 2.5 m lang die 1 tot 1.5m de grond in zijn gedreven. Vervolgens is de bovenkant van de buizen ingemeten met GPS. De rijksdriehoekskoördinaten zijn hiermee bekend. De metingen van de profielen zijn grotendeels uitgevoerd met behulp van een total station, vanaf twee standplaatsen. Hiermee is de gehele loefzijde van de parabool in te meten. Van deze metingen zijn met behulp van een aantal vaste punten de RD-coördinaten berekend. De achterzijde van de

parabool was vanwege de onregelmatigheid van het reliëf moeilijker met een total station in te meten, omdat dan veel meer standplaatsen nodig zouden zijn. Daarom is ervoor gekozen de delen van de profielen die zich aan de lijzijde bevinden met GPS in te meten. De twee met verschillende methoden gemeten delen overlappen, en sluiten goed op elkaar aan.

In oktober 2007 is een test gedaan om metingen op een andere manier uit te voeren. Wanneer gebruik gemaakt wordt van een module voor het meten van transecten tussen van tevoren opgegeven punten, dan is het eenvoudiger de locationele betrouwbaarheid van de metingen zo groot mogelijk te maken. Vóór het meten van een punt kan dan namelijk al vastgesteld hoe het punt in het transect ligt, waardoor voorkomen kan worden dat te ver vanaf het transect gemeten gaat worden. De metingen kunnen zowel met GPS als met de tachymeter (met robot-module) worden uitgevoerd. Bijkomend voordeel is dat twee personen nu niet samen één profiel hoeven te meten, maar ieder één profiel kunnen meten, waardoor de benodigde tijd korter wordt.

De metingen van 2006 zijn uitgevoerd op 19 en 20 april en 26 en 27 oktober, die van 2007 op 1 en 2 mei en 17 oktober.

2.2 luchtfoto-analyse

Hoewel het de bedoeling was dat in 2007 nieuwe luchtfoto's zouden worden gemaakt, is dit door weers- en andere omstandigheden niet gebeurd. Overigens maakt luchtfoto-analyse geen deel uit van de monitoringsopdracht voor 2006 en 2007. Inmiddels is gebleken dat voor 2006 wel false colour luchtfoto's beschikbaar zijn. De schaal hiervan is echter iets minder gedetailleerd ($0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ pixels), waardoor minder nauwkeurige kartering mogelijk zal zijn. Deze foto's zullen ten behoeve van het project Duurzame Verstuiving Fase 2 worden geanalyseerd, waarbij op iets globalere schaal het verloop van dynamiek zal worden bestudeerd.

3 ANALYSE EN RESULTATEN

Voor dit rapport is gebruik gemaakt van in het veld verrichte hoogtemetingen uit voor - en najaar 2006 en 2007. Meteorologische gegevens zijn afkomstig van het KNMI via hun internetsite (www.knmi.nl).

3.1 weersomstandigheden

Gegevens over de seizoenen zijn ontleend aan de site van het KNMI (http://www.knmi.nl/klimatologie/maand_en_seizoenoverzichten).

De periode oktober 2005-oktober 2007 was er een vol records. De herfst van 2005 was zeer zacht. De winter van 2005/2006 was aan de koude kant en droog. Door hogedrukgebieden was er deze periode veel rustig weer. De lente van 2006 was zonnig en nat. De zomer van 2006 was zeer warm en zonnig. Juli was de warmste maand sinds het begin van de metingen in 1706. Augustus zeer nat. De herfst van 2006 was de zachtste in 300 jaar, net als de winter van 2006/2007. De winter was ook zeer nat, en met veel wind. Op 30-12, 11-1 en 18-1 stormde het. Bij de laatste storm was zelfs enige tijd sprake van zware storm (10Bft). Ook de lente van 2007 was de zachtste in 300 jaar. In april en de eerste week van mei viel geen neerslag. De zomer was vrij warm en zeer nat en wisselvallig. Er was de gehele zomer geen sprake van fraai en stabiel zomerweer. De herfst was qua temperatuur eindelijk weer normaal en droog.

Lokale neerslag wordt gemeten bij Overveen, maar hier zijn nog geen recente gegevens van beschikbaar. Wel zijn gegevens beschikbaar van Tilanuspad, in de Amsterdamse Waterleidingduinen. De verschillen tussen beide locaties zijn gering. De periode 2006 -2007 was wat betreft neerslag bijzonder te noemen. April 2006 was droog, juli was zeer droog (en extreem heet, dus met een extreme verdamping), maar werd gevolgd door de natste maand augustus ooit (216mm neerslag). Na een vrij natte herfst en winter volgde een extreem droge april 2007, zonder enige neerslag. De zomer van 2007 was juist weer nat. Gemiddeld waren de jaren 2006 en 2007 iets natter dan normaal. Het bijzondere zat hem vooral in de verdeling van de neerslag.

Tabel 3.1. Jaarlijkse neerslag voor Tilanuspad (AWD, bron Waternet).

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
januari	117	9	6	83	85	41	62	63	89	120	34	9	104
februari	76	50	52	21	57	84	84	93	18	67	53	55	86
maart	78	14	22	93	84	61	79	25	12	36	59	81	73
april	24	8	27	89	56	49	74	52	81	33	70	35	0
mei	43	42	52	34	23	70	36	35	69	22	36	86	64
juni	50	21	98	116	88	26	34	66	31	46	56	40	113
juli	73	39	49	51	28	65	34	57	32	81	121	20	130
augustus	30	108	51	69	70	33	180	132	21	183	128	216	28
september	120	37	36	173	110	121	182	61	68	62	83	18	92
oktober	18	93	108	132	108	145	38	94	95	87	95	137	27
november	42	152	53	103	84	193	103	99	78	69	108	84	15+pm
december	42	47	73	89	144	112	79	98	90	56	75	89	pm
totaal	711	621	628	1050	937	1000	983	875	684	862	916	870	730+

Met behulp van windsnelheden voor de Kooy (dagelijkse gemiddelde windsnelheid) en een transportformule kan een schatting worden gemaakt van het potentiële zandtransport door de wind, dat transport dat zou kunnen treden onder ideale omstandigheden. In Tabel 3.2 is per jaar de verhouding van het potentiële transport ten opzichte van het gemiddelde van 1991 t/m 2006 weergegeven. Als de waarde in een jaar 100% bedraagt, dan is het potentiële transport in dat jaar dus gelijk aan het langjarig gemiddelde. Gegevens voor 2007 zijn nog niet beschikbaar. Uit de tabel blijkt duidelijk dat 2005 en 2006 jaren waren met minder transport dan gemiddeld. Windroosgegevens van het KNMI wijzen uit dat januari, mei, juni en juli 2007 maanden waren met meer wind dan gemiddeld, zodat mogelijk 2007 in zijn totaal relatief op een hoger zandtransport uit zou kunnen komen.

Tabel 3.2. Relatief eolisch transport per jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar .

1991	139	%	1999	110	%
1992	132	%	2000	104	%
1993	117	%	2001	62	%
1994	133	%	2002	113	%
1995	105	%	2003	53	%
1996	89	%	2004	103	%
1997	84	%	2005	69	%
1998	108	%	2006	80	%

3.2 observaties tijdens veldbezoeken

19 en 20 april 2006

Er zijn veel wortels en helm, maar er zijn ook veel sporen van heftige erosie. De meeste veranderingen lijken tussen de profielen in te liggen, m.n. stuifkuilachtige ontwikkelingen, waar de profielen net tussen doorlopen (Figuur 3.1). De erosieverschijnselen zijn dus lokaal en kleinschalig, maar hier en daar wel heftig, dat wil zeggen ze zullen lokaal tot grote veranderingen hebben geleid. Het totaal oppervlak aan stuifkuilachtige ontwikkeling is niet groot.



Figuur 3.1. Erosieverschijnselen. Links loef- en lijhelling van mobiel duin. Rechts stuifkuilvorm.

Blijkbaar krijgt de wind alleen lokaal echt vat op het zand, en is het oppervlak voor de rest enigszins beschermd door hetzij dode, hetzij levende wortels. Hangt dit nu samen met begroeiing die er stond, dat wil zeggen, stond er op de plekken waar nu de erosie zich concentreert andere begroeiing dan op de rest? Dit is een interessante vraag om nog eens

aan de hand van luchtfoto's te beantwoorden, bijvoorbeeld in de tweede fase van het project Duurzame Verstuiving.

Er staat grondwater in het laagste stuk, profiel 12 loopt er net langs. In de zone tussen de twee duinenrijen komt geen grondwater aan het oppervlak, wel de capillaire zone.



Figuur 3.2. Sterke depositie op de kam (links) en erosie op de loefhelling (rechts) met sporen van vroegere stuifbestrijding.

Er is één stuk van de lijfhelling waar een echte, massale storthelling wordt gevormd, in het centrum van de parabool (Figuur 3.2). De verplaatsing is minimaal. In oktober stond er een buis op de rand van de storthelling, die staat nu eigenlijk nog steeds op de rand. Er is ook nauwelijks of geen overstuiving van het pad dat onderlangs de kop loopt waarneembaar.

Op de voorkant van de eerste rug is aan de zuidkant op twee hellingen nog steeds een regelmatig patroon van aanplant te zien (Figuur 3.2). Blijkbaar was dit aanplant van duindoorn o.i.d., in ieder geval houtige wortels. Dit geeft wel aan dat in ieder geval deze rij door de mens gestabiliseerd is. Op de tweede rij heb ik (nog) geen sporen van aanplant gevonden.

Om de grootschalige dynamiek in stand te houden lijkt het me noodzakelijk deze zomer wortels en helm weg te halen. Er schijnt al helm weggehaald te zijn, maar ik zie daar eigenlijk niks van.

26 en 27 oktober 2006

Het is erg nat, er staat meer water aan het oppervlak dan ooit, ongetwijfeld door de extreem natte augustus. Er zijn verschillende plassen, de grote, permanente plas in de vallei is nu een heus duinmeer.

De kam is wel overstoven, maar ziet er op dit moment niet echt dynamisch uit. Achter de kam ligt op verschillende plaatsen zand op de blaadjes. Vooral de eerste duinenrij is mobiel, en daar dan weer vooral het middendeel van. Hier ligt een echt wandelend schildduin (Figuur 3.3). Mogelijk zijn de duinen door verstuiving wel kleiner geworden. Blijkbaar ontstaan bij dit soort geïsoleerde, kale koppen geen storthellingen, maar geleidelijke depositiehellingen, met windstroming die om het duin heen loopt.

Op 26 oktober stuift het behoorlijk hard. Dan valt pas goed op op hoeveel plaatsen het NIET stuift. Blijkbaar levert de ruwheid door begroeiing (veel Helm, lokaal duindoorn, veel

dauwbraam, geen loogkruid, kruipwilg eigenlijk vooral op de natte delen of de overstoven delen, Figuur 3.3), maar op veel plekken ook door wortels een behoorlijke belemmering, ondanks dat de bedekking vaak helemaal niet zo groot is, orde 10 -20% of misschien zelfs lager.

Op de voorste duinenrij gebeurt het meest. Veel erosie, maar ook hier zorgen vooral uitgestoven wortels voor een flinke beperking. Er slingert een kerf, ten noorden van P6 naar boven en er liggen op verschillende plaatsen stuifkuilachtige gaten in de hellingen. De helling van de tweede duinenrij is veel meer begroeid. De grote erosieve helling is nog steeds erosief. Er stort ook aan de bovenkant wat helling af.

Vooraf het noordelijk deel en net voorbij het midden van de tweede duinenrij begint erg begroeid te raken. Er staat veel Helm, en er ligt veel zaad van Helm overal tussen.



Figuur 3.3. Mobiele duinenrij (links) en stagnerend transport door wortels en Helm (rechts).

1 en 2 mei 2007

Het grondwater staat zeer hoog, ondanks de kurkdroge en zonnige maand april (Figuur 3.4). Er staat nu nog veel water, en het heeft nog veel hoger gestaan, ca 70cm hoger (?). Ook in het middendeel staat water. Bij de hoogste grondwaterstand is er “afslag” geweest.



Figuur 3.4. Grondwater boven het oppervlak in de vallei (links) en het middendeel (rechts) .

April was zonnig, zeer droog en met veel oostenwind. Dat is goed te zien aan de actieve duinen: allerlei transversaalduintjes die de verkeerde kant op gaan (Figuur 3.5 en Figuur

3.6). Vooral bij het mobiele middenduin, waarvan uit de eigenlijke lijhelling nu allemaal wortels steken. Blijkbaar is al het zand dat hier sinds de ingreep is afgezet (moet heel wat zijn geweest) nu weggewaaid, en ook een deel van het oorspronkelijke oppervlak. Ook het middenstuk van de hoofdkam heeft transversaalstructuren die uit de grote, actieve lijhelling weer omhoog lijken te zijn gewaaid (Figuur 3.6). Op de echte lijhellingen van het noordelijk middenduin zijn Zandzegge- en Helmwortels uitgeblazen.



Figuur 3.5. Transversaalduintjes in het middendeel.

Het is opvallend dat nu pas, bij deze omstandigheden transversa alduintjes zijn gevormd. Blijkbaar is daar toch een grote zandbron voor nodig, en was die bij oostenwind beschikbaar in de vorm van de uitgestrekte, kale depositiezones aan de oostkant van de eerste duinenrij.



Figuur 3.6. Transversaalduintjes op de hoofdkam, stuiven met oostenwind terug.

Er lijkt verder niet heel veel gebeurd, d.w.z. het ziet er niet overdreven gezandstraald, geschuurd of dynamisch uit, maar toch heb ik de indruk dat er wel veel gebeurd is. Er zijn nu weinig echte stuifkuil- of kerfachtige vormen te vinden, maar het lijkt dat deze vormen allemaal veel wijder en groter zijn geworden en daarom nu minder opvallen. De steile erosiehelling is een beetje verbrokken. Er is niet meer echt duidelijk een steile, klifachtige helling.

De toppen van de kam lijken weinig veranderd, maar wel hier en daar opgehoogd. De kam staat overwegend stijf in de Helm, behalve op het middenstuk. De depositie achter de kam lijkt nog grotendeels dezelfde patronen te volgen als op de luchtfoto van 2005. De toppen

van het meest noordelijk en zuidelijk middenduin lijken opgehoogd, met depositie in Helm. In het midden zijn de koppen kaal.

De lij van de grote kam ziet er niet heel dynamisch uit, maar hieruit is heel veel zand teruggewaaid. Aan het oppervlak liggen megaribbels (etereem grote ribbels, vele malen groter dan de 'gewone' windribbel) met grove schelpresten. Aan de onderkant is op de overgang naar de begroeiing goed te zien dat het oppervlak hier even omhoog gaat, omdat hier geen zand uit is gestoven. De buis steekt nog net boven het zand.

Veel zand is ook vanuit de mobiele middenduinen richting vallei en water gestoven, en op die manier onttrokken (nu het zo nat is, komt misschien weer vrij als het opdroogt, hoewel ook een en ander in de begroeiing in de vallei is ingevangen).

Er is Helm getrokken, maar nog lang niet genoeg, en het is ook niet goed te zien waar er nu wat weggehaald is. Al met al staat er veel begroeiing op veel plaatsen, en als het nu niet goed weggehaald wordt, begint het wel erg ver richting stabilisatie te gaan.

17 oktober 2007

Alleen op het laagste plekje staat water, de rest van de vallei is droog.

Er ligt een kleine storthelling achter de top in het centrum van de parabool. De buis onderaan de lijhelling is nu eindelijk begraven. Op de hoofdkam ligt verder niet al te veel recente depositie.

De voorste duinenrij is in het midden het meest dynamisch en mobiel (Figuur 3.7). Er ligt een lange depositiestaart aan de achterzijde, maar aan de bovenkant van de helling aan de achterzijde steken wortels uit. De topjes verlagen flink, vooral via stuifkuilerosie. De buizen steken een flink eind uit. Stuifkuilachtige vormen zijn de meest dynamische elementen in het landschap, met uitzondering van de mobiele duinen van de voorste rij, en de kleine storthelling op de hoofdkam, bij profiel 7.



Figuur 3.7. Mobiele duinen in de voorste rij.

In profiel 6 ligt op de loefhelling van de grote duinenrij, net voorbij het einde van profiel 5 een klein stuifkuiltje.

De Helmbegroeiing op de loefhelling van de hoofdkam is verder toegenomen (Figuur 3.8). Op de eerste duinenrij is vooral de bedekking met uitgestoven wortels toegenomen.



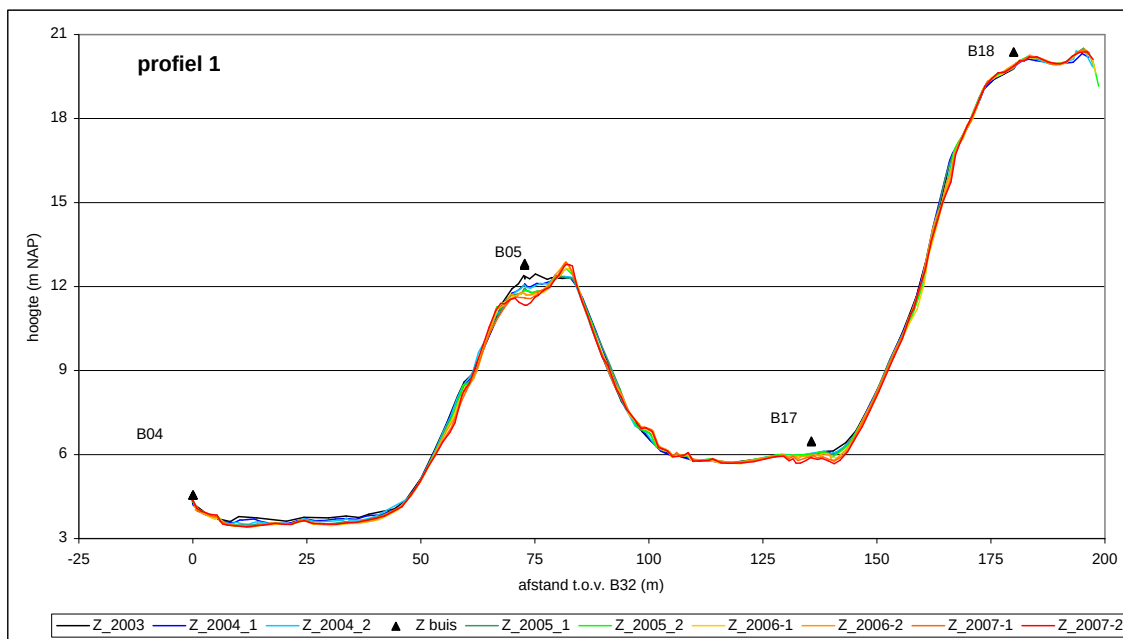
Figuur 3.8. Dichtgroeide hellingen langs de hoofdkam.

3.3 luchtfoto-analyse

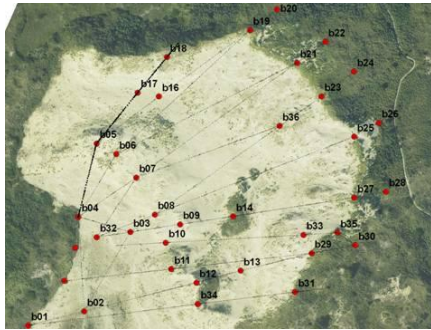
Er zijn in 2007 geen luchtfoto's gevlogen, waardoor er een breuk in de foto-serie is, met opnamen iedere twee jaar. Inmiddels is wel gebleken dat er (minder) gedetailleerde luchtfoto's van 2006 beschikbaar zijn. Deze zullen in fase 2 van het project Duurzame Verstuiving verder worden geanalyseerd.

3.4 hoogtemetingen

De locationele nauwkeurigheid van de punten is over het algemeen goed is. De metingen van mei 2007 zijn wat hun positie betreft perfect, omdat nu op een andere manier wordt gemeten. Tijdens het meten wordt de positie ten opzichte van het transect bepaald, en wanneer de afstand ten opzichte van de lijn kleiner is dan 0.3m wordt het punt ingemeten.



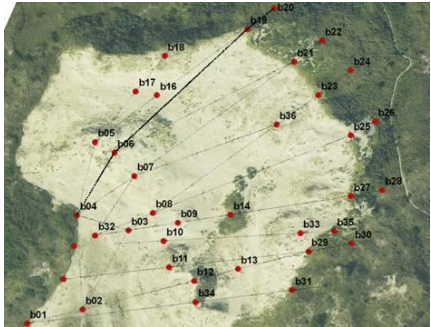
Figuur 3.9. Profiel 1.



profiel 1

Het profiel is geknikt, het knikpunt ligt bij B05. Erosie in de vallei is gestagneerd. Het oppervlak is nu stabiel, met een zeer lichte toename in 2007, mogelijk als gevolg van de oostenwind. De laagste hoogte is in oktober 2005 3.44m NAP. De eerste duinenrij is onderaan de loefhelling licht erosief, bovenaan zeer licht accumulatief. Op de kop is in 2006 een stuifkuil tot ontwikkeling gekomen, die uitstuift. Aan de achterzijde is alleen helemaal onderaan sprake van beperkte duinvorming. De voet van de loefhelling van

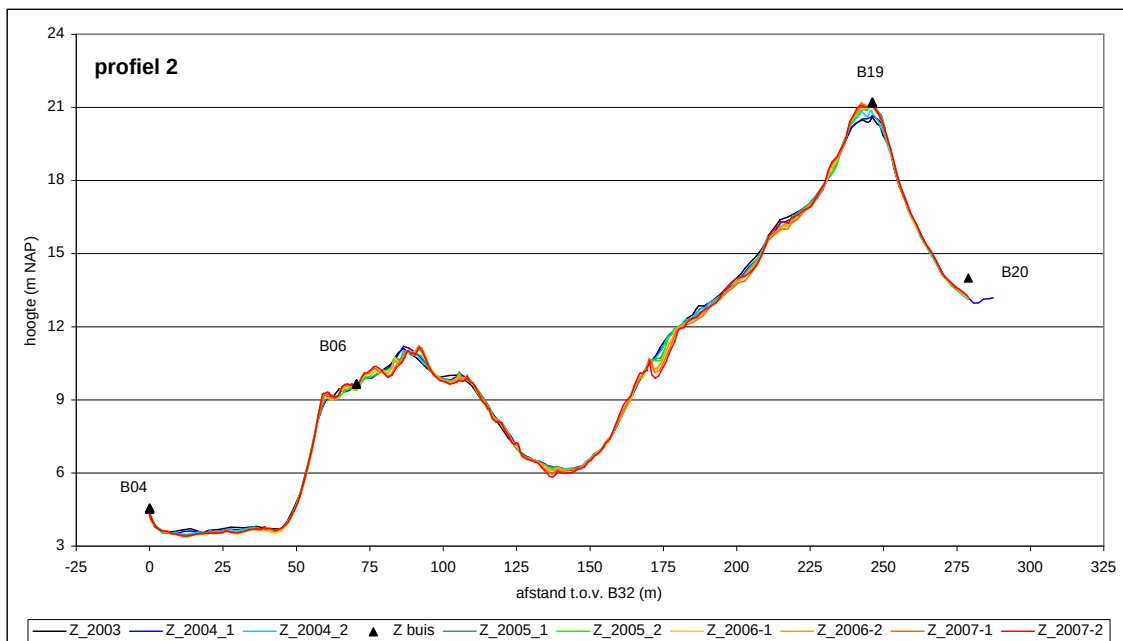
de hoofdkam erodeert sinds 2005. De helling zelf is bijna stabiel, met een zeer geringe erosie tegen de bovenkant aan. De top is stabiel.



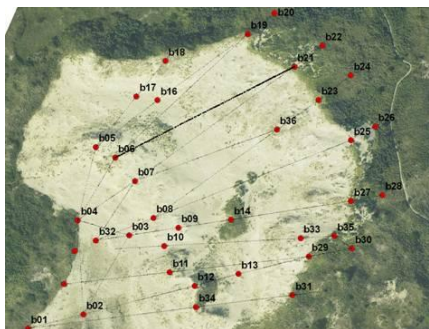
profiel 2

Profiel 2 is geknikt, het knikpunt ligt bij B06. De vallei is stabiel, met uitzondering van enige mogelijke terugwaai in 2007, aan de voet van de eerste duinenrij. De loefhelling van de eerste duinenrij is stabiel en is inmiddels gedeeltelijk begroeid. De top is accumulatief en erosief, met een stuifkuilvorm in het midden. De lijzijde is vrijwel geheel begroeid en stabiel. Aan de onderkant, en in de overgang naar de zone tussen eerste en tweede duinenrij is er enige erosie. Aan de voorzijde van de tweede duinenrij

ontwikkelt zich een stuifkuil, en is het beeld verder wisselend. De top was tot 2005 sterk accumulatief, maar is nu grotendeels stabiel.



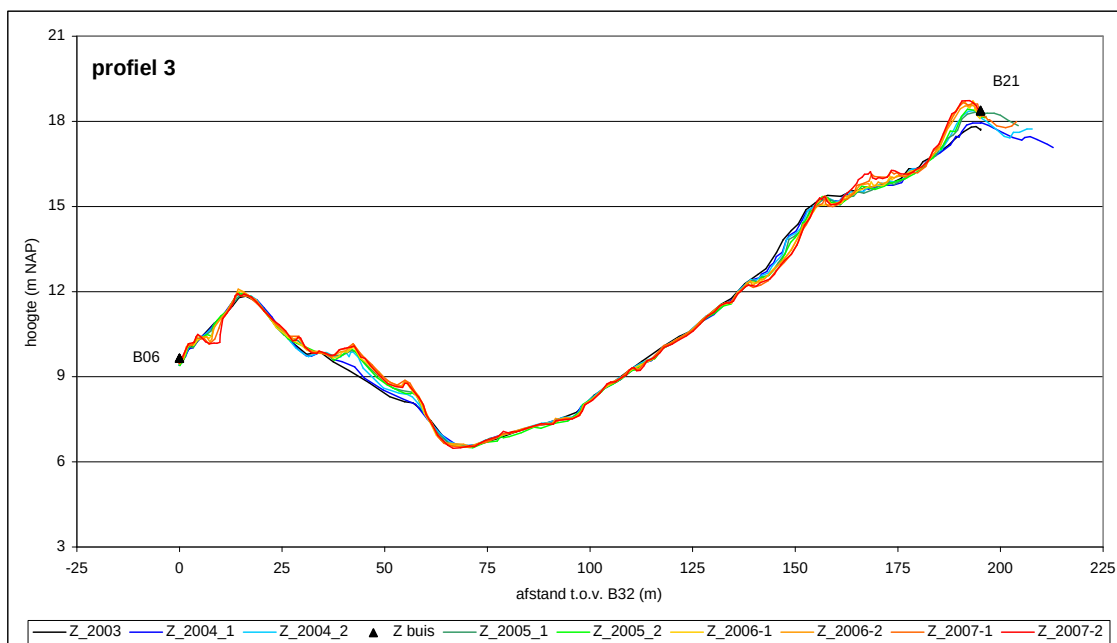
Figuur 3.10. Profiel 2.



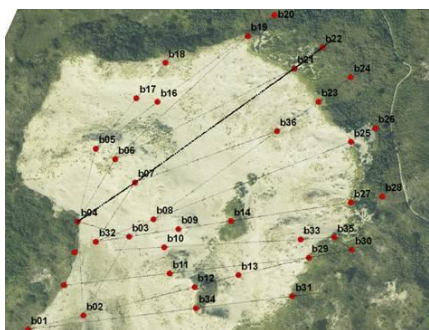
profiel 3

Aan de voorzijde van de eerste duinenrij is een erosieve plek uitgegroeid tot een stuifkuil. De sterke depositie achter de eerste duinenrij zet in 2006 door en neemt in 2007 iets af. Dit is dezelfde zone als waar profiel 2 doorsnijdt, het verschil in depositie is opvallend. De zone tussen de duinenrijen is overwegend stabiel, met hier en daar lichte erosie. Mogelijk groeit dit ook nog uit tot een stuifkuilontwikkeling. De bovenkant van de helling is erosief, maar waar de helling flauwer wordt, wordt

juist zand afgezet. De top neemt in hoogte toe, de totale toename sinds 2003 is 0.9m. De lijzijde achter de top is onderdeel van profiel 4.



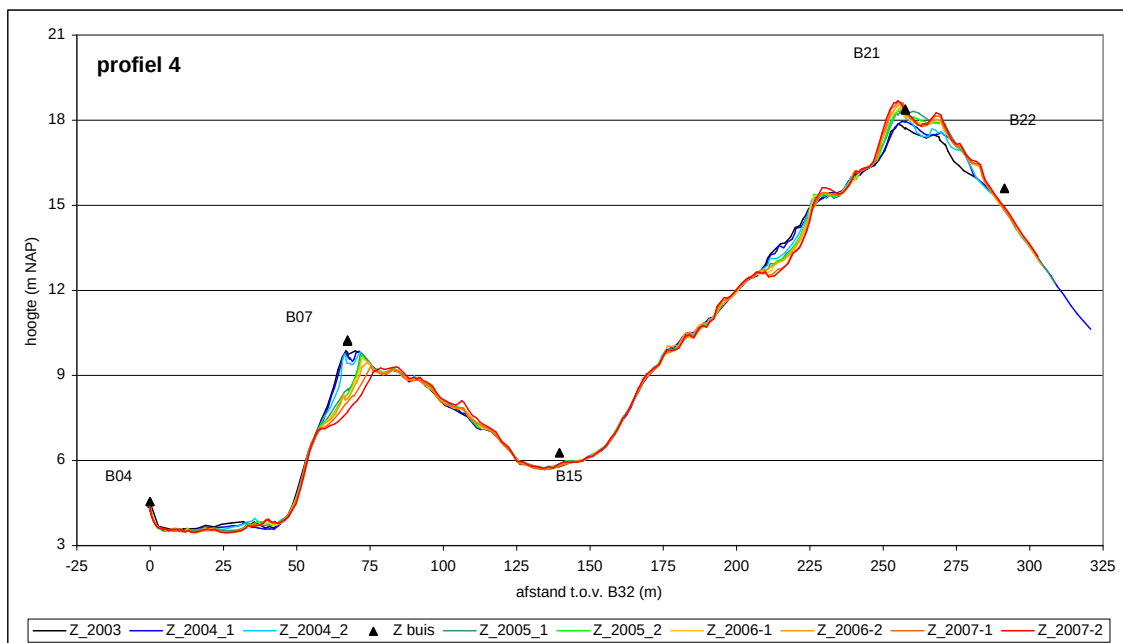
Figuur 3.11. Profiel 3.



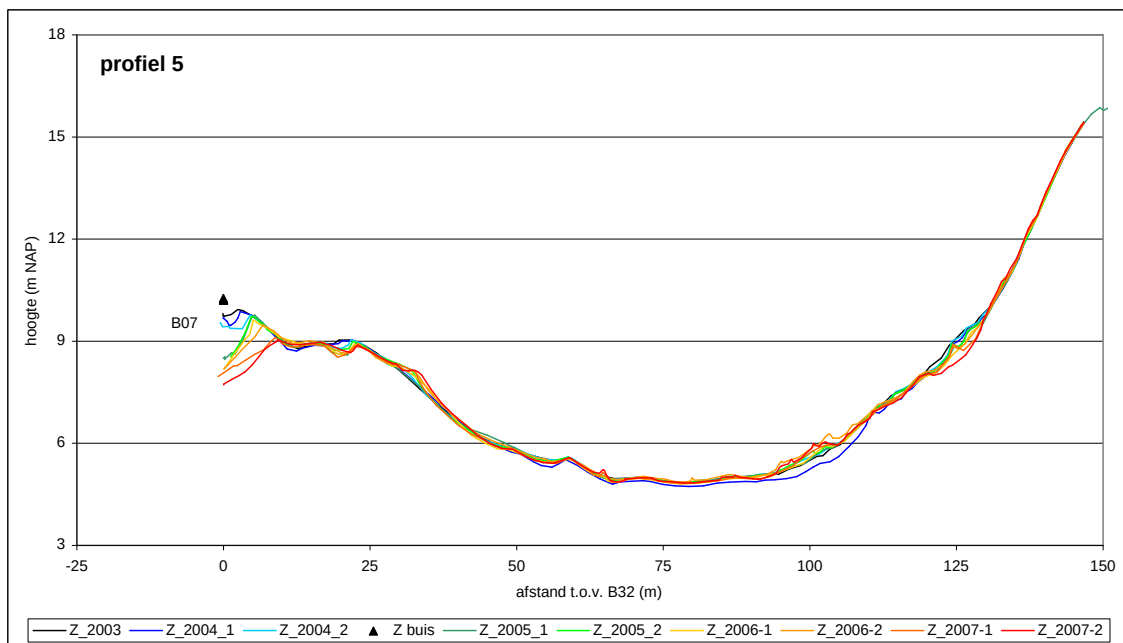
profiel 4

In profiel 4 vindt in het midden van de vallei nog enige erosie plaats. Aan de voet van de helling van de eerste duinenrij is sprake van kleinschalige duinontwikkeling. Ook hier is in de kop van de eerste duinenrij een stuifkuil ontstaan, waardoor de kop sterk erodeert, en naar achteren lijkt te verplaatsen. Dit is één van de twee mobiele duinen die in de eerste duinenrij zichtbaar zijn. Door de erosie van de duinenrij valt deze op de luchtfoto op vanwege een grote hoeveelheid uitgestoven wortels. Het zand wordt niet

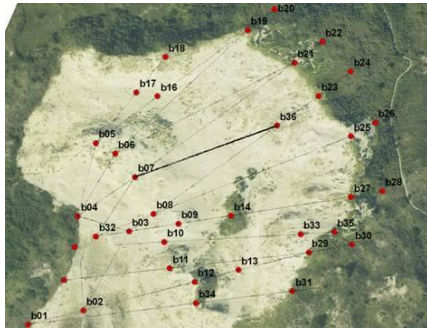
binnen het profiel afgezet, maar in oktober 2007 lijkt hier verandering in op te treden, dan is er wel sprake van depositie achter de top. Ook in het hogere deel van de helling van de tweede duinenrij ontstaat een stuifkuil. De top groeit langzaam in hoogte. De maximale toename is ca 0.7m. De depositie beperkt zich tot een vrij smalle zone van ca 25m breed. Op de lijhelling is nauwelijks of niet sprake van accumulatie.



Figuur 3.12. Profiel 4.



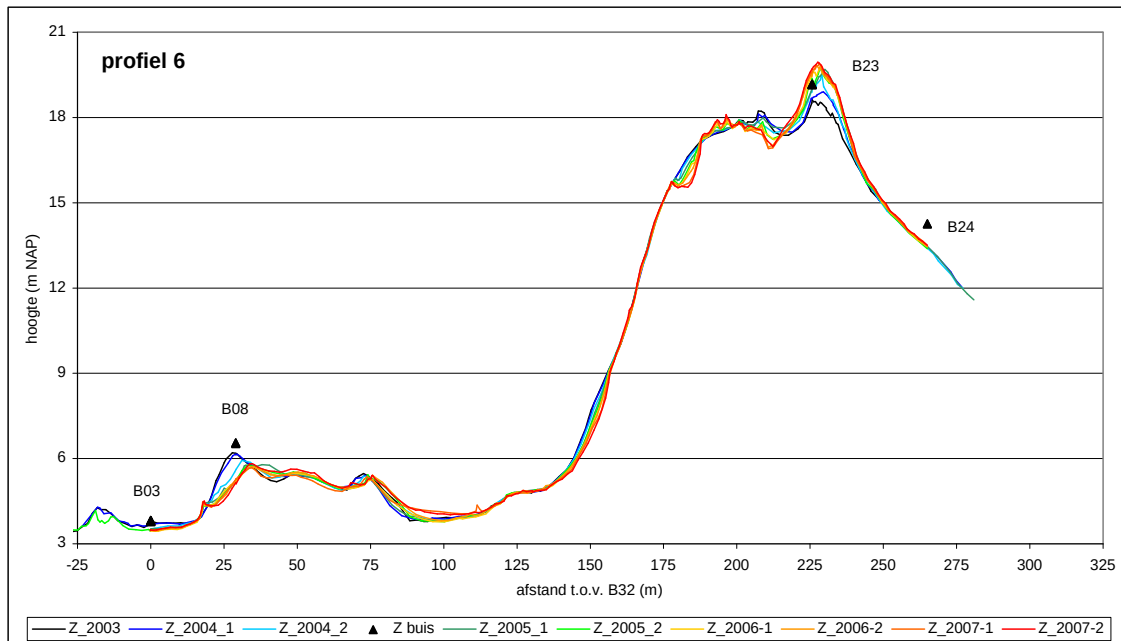
Figuur 3.13. Profiel 5.



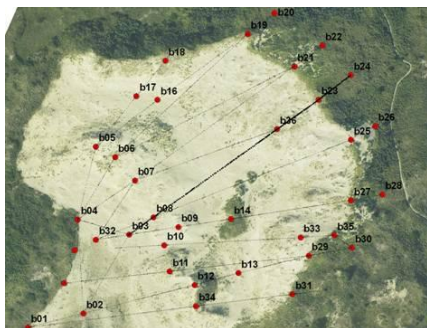
profiel 5

Dit profiel begint in de stuifkuil in de kop van de eerste duinenrij waar ook profiel 4 doorheen loopt. De erosie is fors, bijna 2m sinds de start. Depositie aan de achterzijde is ook hier zeer beperkt. Op de lijhelling is wel een beperkte zone waar in 2006 de overstuiving toe is genomen. In de zone tussen de duinenrijen gebeurt niet veel, maar op de overgang ontstaan duintjes, in een zone waar ook duindoorn groeit. Verder op de helling begint in 2007, na aanvankelijke depositie, een erosiegat te ontstaan. Hoger op de

helling gebeurt niet veel. Hier dreigt het oppervlak te stabiliseren door begroeiing en wortels.



Figuur 3.14. Profiel 6.

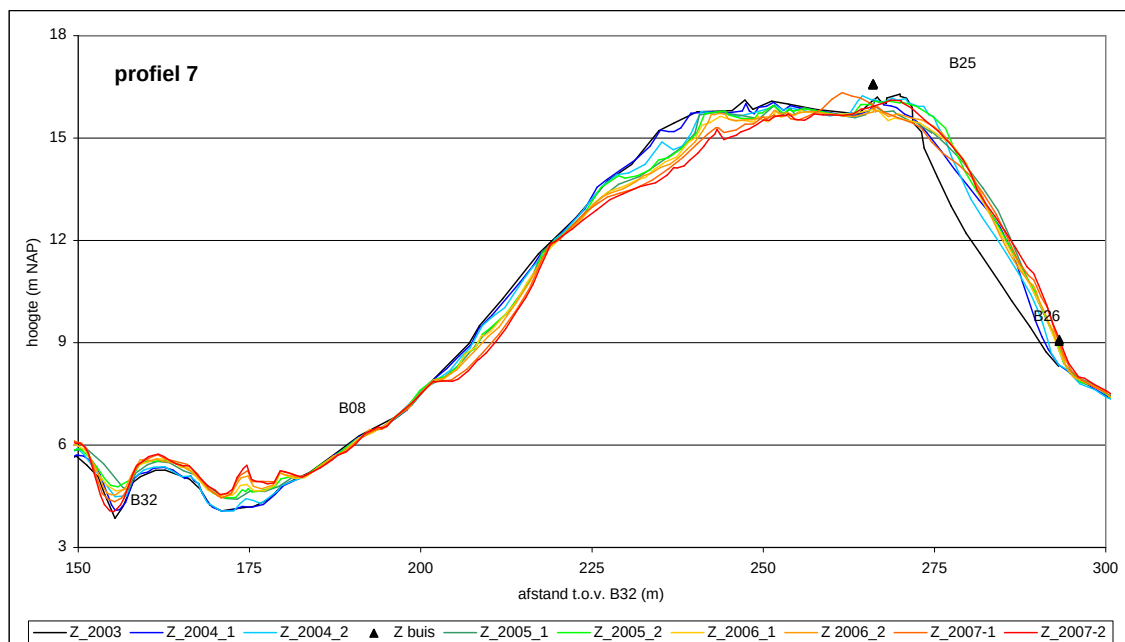
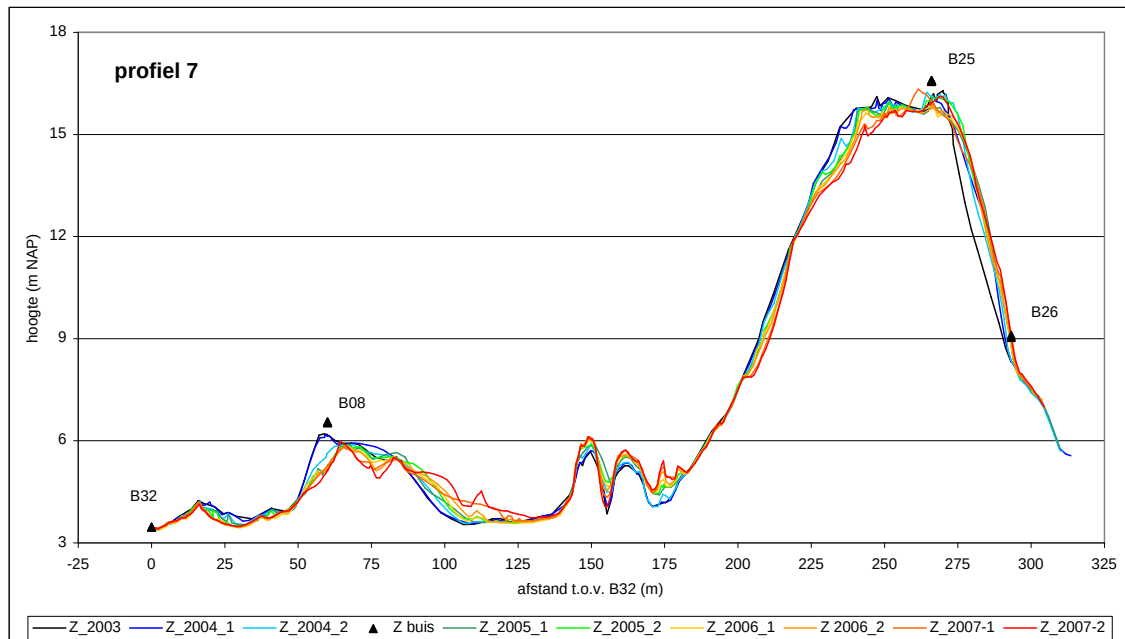


profiel 6

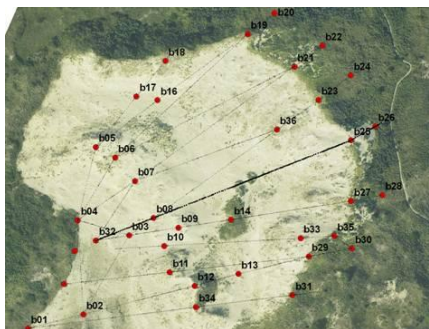
Profiel 6 loopt door een lagere zone in de eerste duinenrij, tussen de twee mobiele vormen door. Ook hier erodeert de top. Aan de voorkant lijkt echter een vast punt te zitten, waar de hoogte juist iets toeneemt, waarschijnlijk in samenhang met de begroeiing die er voor staat. De achterzijde kent een rommelig verloop met erosie en depositie, maar gemiddeld een (geringe) hoogtetoename over een uitgestrekte zone. De schommelingen zijn reëel en niet het gevolg van onnauwkeurige plaatsbepalingen.

Waarschijnlijk is hier een verband met de windrichting, gecombineerd met het feit dat er in de lijhelling een grote hoeveelheid los, kaal zand zit. De verlaging in mei 2007 net achter de top is waarschijnlijk het gevolg van "terugstuiven" met oostenwind. Op de helling van de tweede duinenrij vindt zowel aan de voet als aan de bovenkant erosie plaats. Aan de onderkant is het een lichte uitschuring van de helling, aan de bovenkant een stuifkuilontwikkeling. De tussenliggende zone is stabiel en begroeid. De ontwikkeling

van de top is complex. Achter de stuifkuil in de bovenkant van de helling ligt een beperkte zone met depositie, en daarachter ontstaat een tweede stuifkuil. De top is sterk accumulatief, hoewel de hoogtetoeename in het begin snel ging, en na 2004 beperkt is. De totale hoogtetoeename bedraagt 1.3m. De overstuiving dooft aan de lijzijde snel uit, over een zone van ca 20m.



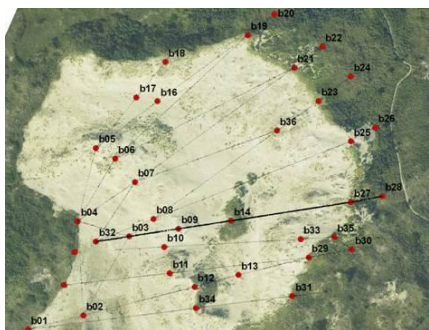
Figuur 3.15. Profiel 7.



profiel 7

Profiel 7 loopt door de as van de parabool en is wellicht daarom één van de meest spectaculaire profielen. De veranderingen zijn groot. De voorzijde van de eerste duinenrij is erosief en de achterzijde accumulatief. Het beeld komt overeen met dat van een migrerende duinenrij, maar een deel van de depositie op de achterzijde is het gevolg van driedimensionale stroming, (zie bijvoorbeeld de hoogteafname in profiel 8) maar ook door het “gat” in de eerste duinenrij waar profiel 6 doorheen loopt. Op

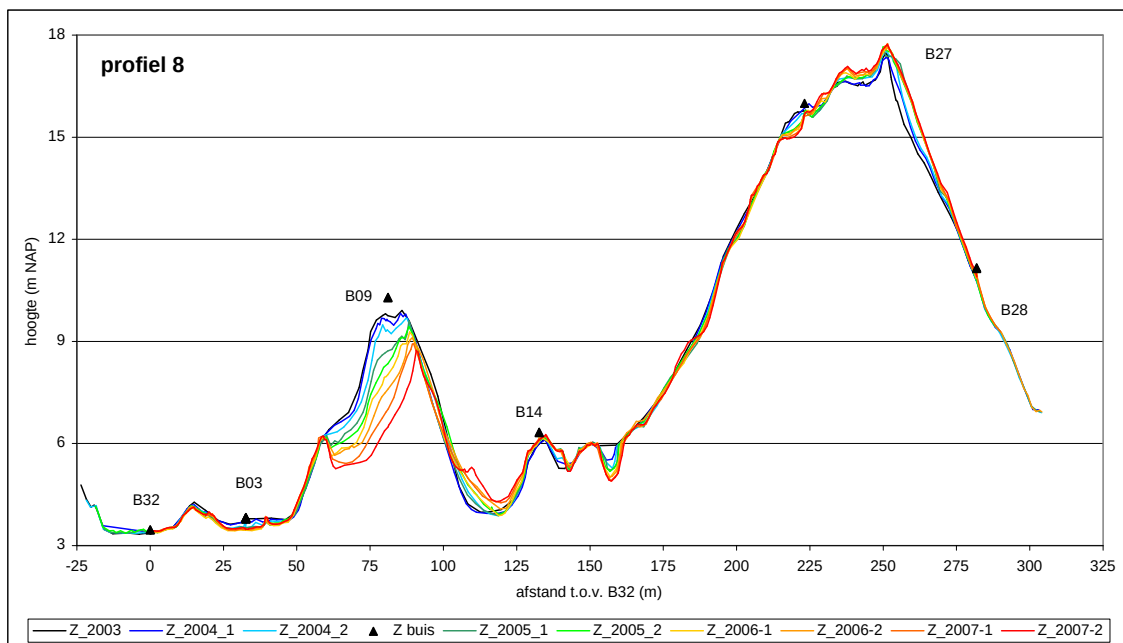
de kop zelf, rechts van B08, is in 2006 een stuifkuil ontstaan. De depositie aan de achterzijde is vooral in 2007 enorm, met plaatselijk een hogtetoeename van 0.4m tussen mei en oktober. De kleine duintjes in het midden vangen, dankzij de vegetatie (kruipwilg) die hier niet verwijderd is, zand in. De hoogte is nu groter dan die van de eerste duinenrij. Tussen de twee duintjes ligt een smalle zone die aanvankelijk opvulde, maar nu ieder jaar weer dieper wordt. De beperkte zone tussen deze duinen en de loefhelling van de tweede duinenrij raakt opgevuld en is qua dimensies nu vergelijkbaar met de kruipwilgduintjes. Hier is de duinvormer echter Helm. Opvallend is het morfologische verschil tussen de drie duintjes, als gevolg van een andere zandbinder. De loefhelling is over een groot deel erosief, deze zone breidt zich ieder jaar iets uit. Alleen de onderste 20m is nog stabiel, de bovenste 50m is over vrijwel het gehele traject erosief, met uitzondering van één punt halverwege waarvan de hoogte ook stabiel blijft. Dit hangt waarschijnlijk samen met achtergebleven wortels. Depositie op de top is beperkt. Het duintje dat in mei 2007 met oostenwind is gevormd is duidelijk in het profiel zichtbaar. In oktober is dit weer geheel “terug” gewaaid. Door het ontbreken van vegetatie op dit deel van de kam blijft het zand in beweging, en neemt de hoogte hier niet toe, in tegenstelling tot het grootste deel van de rest van de kam. Depositie achter de top is fors, hoewel de hoogteveranderingen niet heel groot lijken. De helling blijft echter kaal en steil, en ontwikkelt zich als een echte storthelling. Deze helling is vanaf het fietspad bijna altijd als witte helling binnen een overwegend groene kam zichtbaar. De onderkant van de helling is eindelijk zover verschoven dat de buis ondergestoven is. De verplaatsingssnelheid is daarmee bijna 3m sinds de start, waarbij het grootste deel tussen 2004 en 2005. In 2005 en 2006 is de verplaatsing verwaarloosbaar, in 2007 bijna 0.5m.



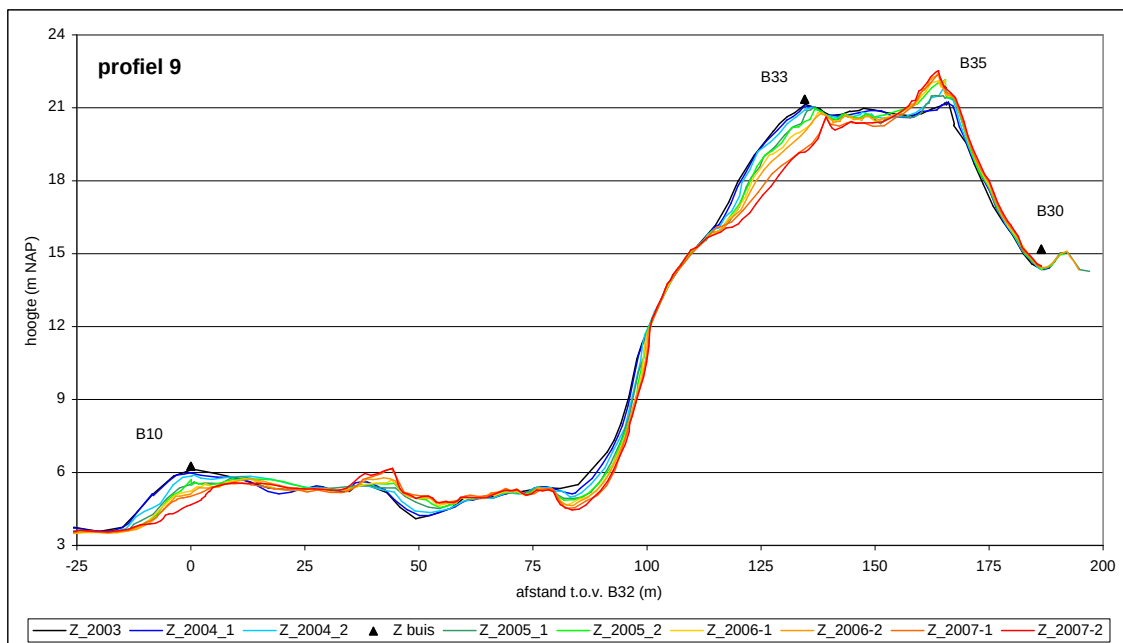
profiel 8

Het meest in het oog springend in dit profiel is de enorme afbraak van de eerste duinenrij. De hoogteafname bedraagt 3m sinds de start. De onderkant van de loefhelling is stabiel, en wordt waarschijnlijk bij elkaar gehouden door wortels en/of begroeiing. Het grootste deel van het zand uit de kop wordt waarschijnlijk richting profiel 7 verplaatst, maar een deel wordt mogelijk onderaan de helling afgezet, hoewel dit ook met 3dimensionale stroming samen zou kunnen hangen. Op de kruipwilgduintjes tussen de

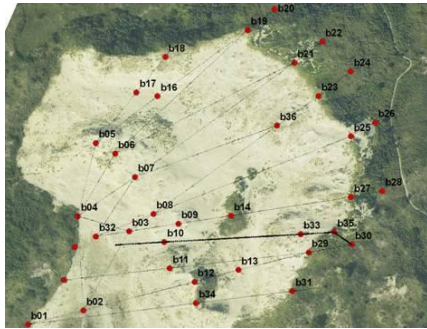
eerste en tweede duinenrij zijn de veranderingen gering. Er is wel overstuiving, maar de hoogteveranderingen zijn klein. Het stuifgat tussen de kleine duintjes en de tweede duinenrij diept verder uit. De loefhelling van de tweede duinenrij ontwikkelt zich veel minder dynamisch dan bij profiel 7. Bovenaan ligt een erosief gat met daarachter enige depositie. Ook de top neemt enigszins in hoogte toe, maar de verschillen zijn klein. De lijhelling heeft zich tot 2005 flink uitgebreid, maar daarna is de hoogte redelijk stabiel, met een zeer beperkte toename in de laatste 2 jaar.



Figuur 3.16. Profiel 8.

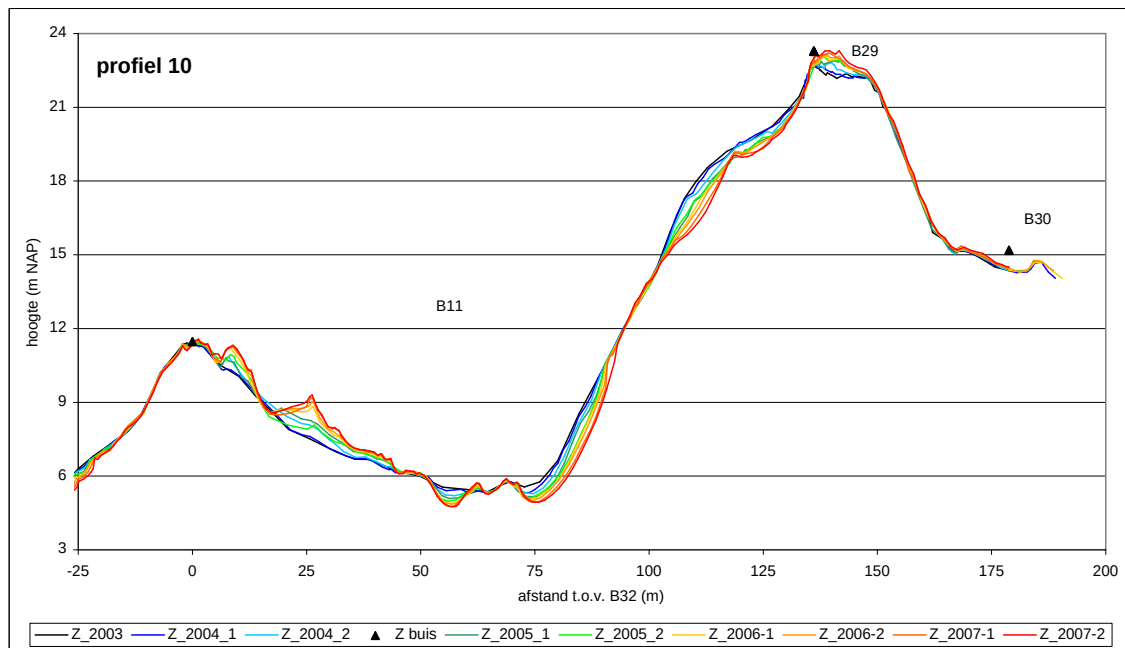


Figuur 3.17. Profiel 9.

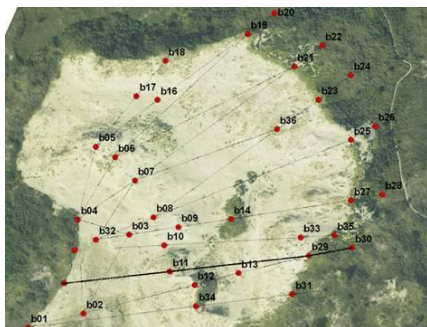


profiel 9

Ook dit profiel doorkruist, net als profiel 6, een laagte in de eerste duinenrij. De vallei ervoor is nog licht erosief. Aan de voorzijde van het profiel erodeert het oppervlak, aan de achterzijde, 50m verderop, wordt zand afgezet. De uitlopers van de kruipwilgduintjes zijn stabiel, met een geringe overstuiving. De loefhelling van de tweede duinenrij is zeer erosief, alleen het tussenstuk is stabiel. Het stabiele deel wordt geleidelijk aan kleiner. Door de erosie versteilt de helling, en is er soms sprake van slumping (afstorting). Op de top vangt alleen het achterste topje zand in. De hoogtetoeename na 2005 is beperkt. De overstuiving aan de achterzijde is gering maar gestaag, zodat de lijfhelling ca 1.5m is opgeschoven sinds de start. Het profiel maakt hier overigens een knik naar het zuiden van ca 45°.

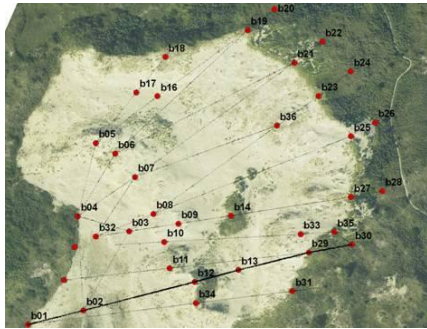


Figuur 3.18. Profiel 10.



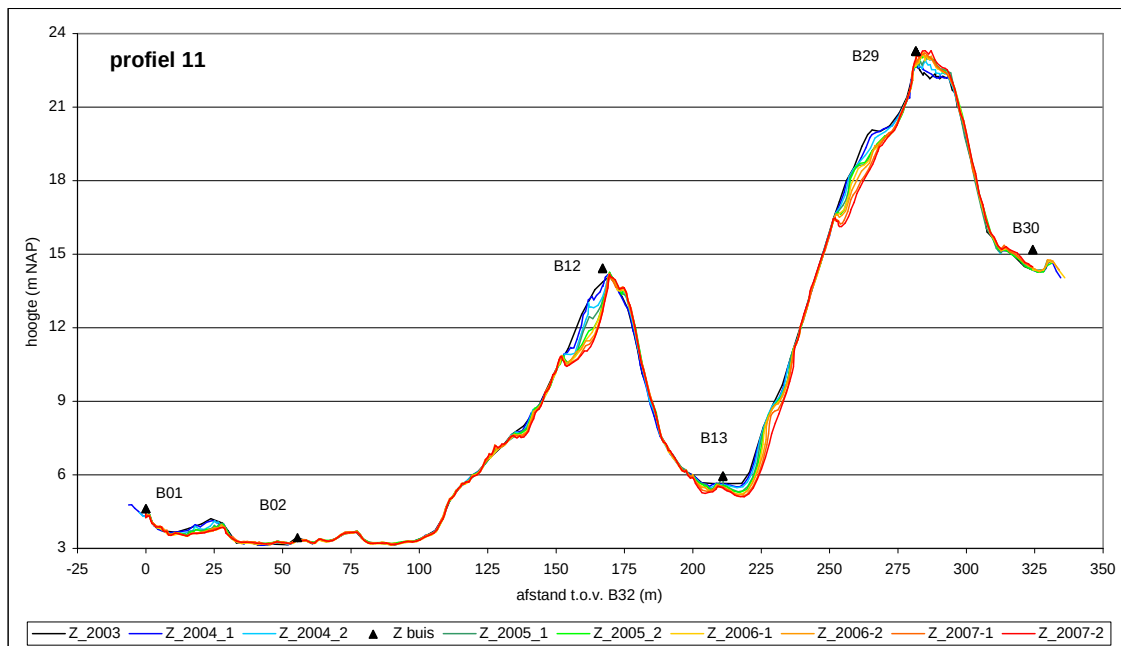
profiel 10

De erosieve plek op de voorzijde van de eerste duinenrij heeft zich geleidelijk aan uitgebreid. Aan de achterzijde vindt sterke depositie plaats door laterale aanvoer vanuit het noorden in twee zones, in Helm. Het tussenliggende deel dat niet ophooft is kaal. De laagten tussen de eerste en tweede duinenrij diepen verder uit, waarbij de eerste zich tot een duidelijke stuifkuil ontwikkelt. De erosie op de loefhelling van de tweede duinenrij is vergelijkbaar met die van profiel 9. Ook hier wordt de stabiele zone halverwege de helling langzaam maar zeker kleiner. Op de top is er een flinke overstuiving in een beperkte zone, met een totale hoogtetoeename van ca 1m. De achterkant is hoogt iets op, maar de verschillen zijn heel klein.

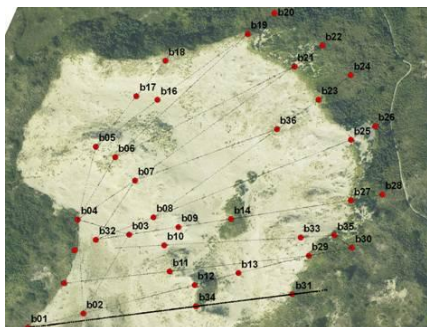


profiel 11

De eerste duinenrij ligt hier dicht op de tweede, en is ook aanmerkelijk hoger dan in de rest van het gebied. De loefhelling is stabiel, met uitzondering van het bovenste deel en een kleine, licht erosieve plek halverwege. Erosie aan de bovenkant is in de vorm van stuifkuilontwikkeling. Van dit zand komt maar weinig aan de achterzijde terecht, de depositie is hier zeer beperkt. De achterzijde is volledig begroeid, en bij de ingreep niet afgeplagd. In de laagte tussen de eerste en tweede duinenrij is het oppervlak erosief en dit gaat door tot op de loefhelling. Ook de bovenkant hiervan is erosief, en het stabiele deel wordt langzaam kleiner. De ophoging op de top is redelijk, met een maximale toename van 1.2m sinds de start. Het achterste deel van het profiel is hetzelfde als voor profiel 10. De veranderingen zijn hier beperkt en ook niet erg consistent.

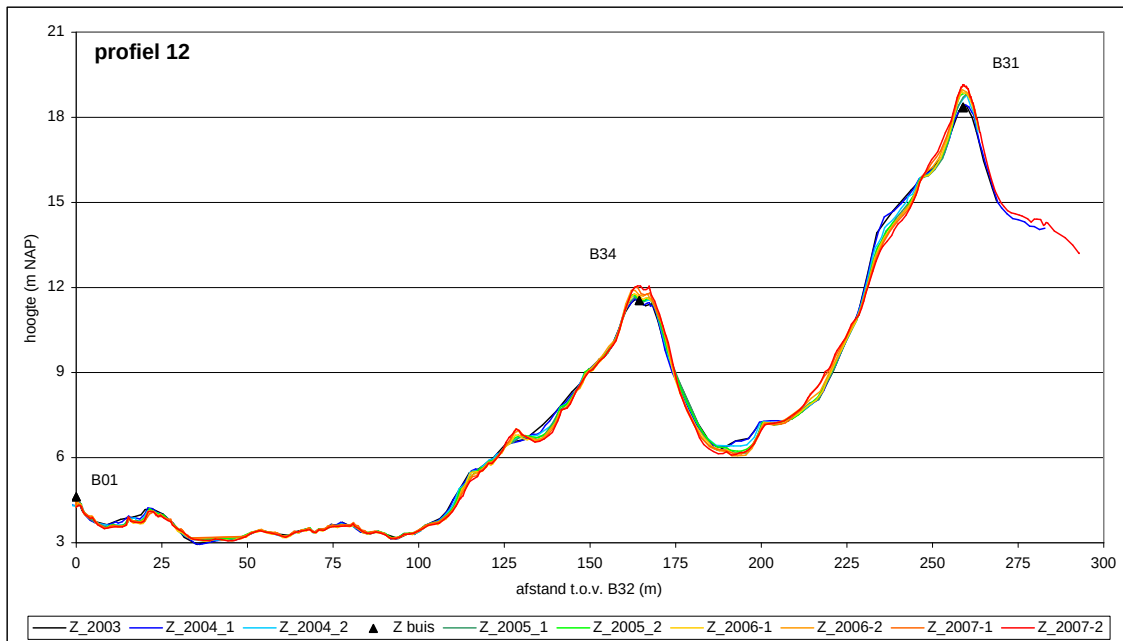


Figuur 3.19. Profiel 11.

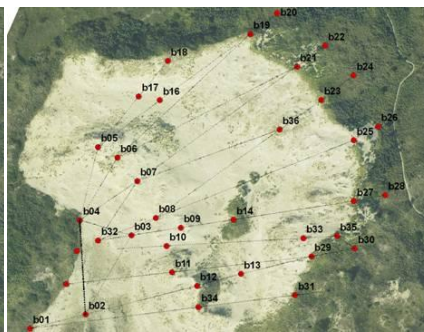
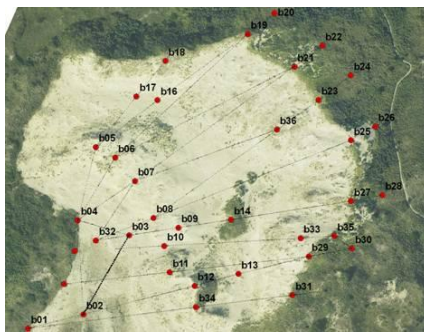


profiel 12

De eerste duinenrij is dezelfde als in profiel 11. De loefhelling erodeert plaatselijk matig. De top hoogt enigszins op. Aan de achterzijde vindt op de bovenkant lichte depositie plaats, terwijl de onderzijde licht uitholt. De uitholling gaat door tot in de laagte tussen de eerste en tweede duinenrij. De loefhelling van de tweede duinenrij wordt aan de onderzijde ingevuld, wat uitzonderlijk is, want bij alle andere profielen is de onderzijde of stabiel of eroderen. De bovenzijde is erosief, maar dit gaat richting top weer over in depositie. Op het topje vindt depositie plaats over een smal traject. Het topje wordt daardoor spits. De hoogte aan de lijzijde is in oktober 2007 weer gemeten en laat zien dat overstuiving tot ver achter de top doorloopt.



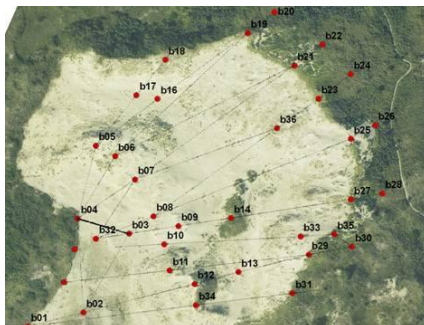
Figuur 3.20. Profiel 12.



profiel 13 en 14

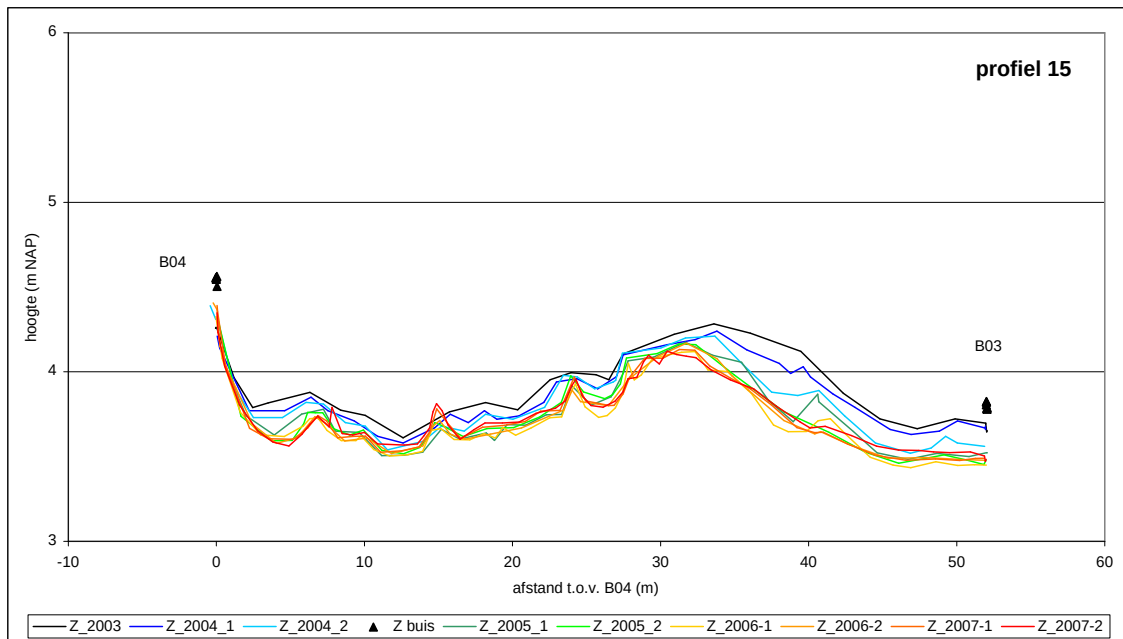
De ontwikkeling van profielen 13 en 14 is beperkt vanwege de ligging dicht aan of onder het grondwater en de toegenomen begroeiing. De profielen worden in dit rapport niet

verder behandeld.

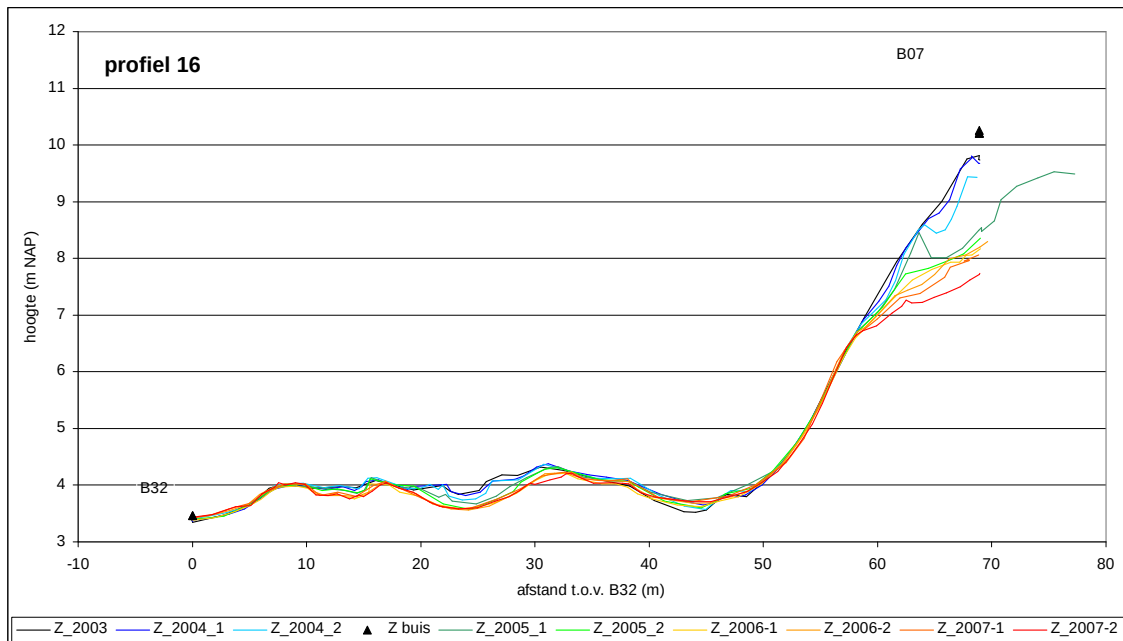


profiel 15

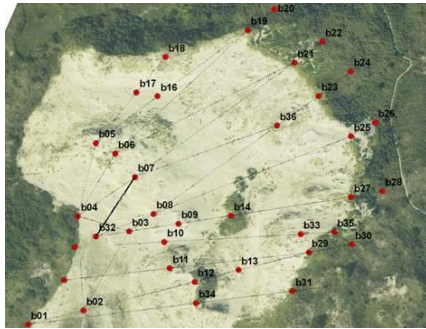
Profiel 15 is tot 2006 grotendeels erosief. Het oppervlak ligt nog ruim boven de erosiebasis. Op enkele plaatsen ontstaan kleine duintjes in begroeiing. In 2007 lijkt het profiel over het geheel op te hogen. Alleen de bult aan de oostkant (rechts in de grafiek) erodeert gedeeltelijk.



Figuur 3.21. Profiel 15.



Figuur 3.22. Profiel 16.



profiel 16

In profiel 16 vindt in het middendeel van de lage duintjes in de vallei enige erosie plaats, maar valleivorming heeft niet doorgezet. Aan de bovenkant van het profiel overheerst sterke erosie. Dit is erosie in de zelfde zone als bij profiel 4 en 5. De totale hoogteafname is 2m sinds de start. De grens van de erosie kruipt heel langzaam de helling af, tegen de wind in.

3.5 Algemene conclusies met betrekking tot dynamisch ontwikkeling

Zoals het een nette parabool betaamt, vindt de sterkste ontwikkeling plaats langs de as van de parabool. Zowel aan de noordkant als aan de zuidkant is de dynamiek beperkt, en neemt de begroeiing toe. Vooral op de eerste duinenrij is de dynamiek sterk ontwikkeld, en eroderen de duinkoppen, in een aantal gevallen gecombineerd met duinvorming op de lijzijde. Op deze eerste duinenrij is de dynamiek het grootst in het centrum. Hier lijken zich zelfs twee mobiele duinen te ontwikkelen. De beperkende factor is hier vooral de aanwezigheid van uitgestoven (dode) wortels, die plaatselijk een flink deel van het oppervlak bedekken. Gemiddeld genomen lijkt erosie op de eerste duinenrij te overheersen. Een deel van het zand komt aan de achterkant terecht, met name bij de min of meer mobiele vormen in het centrum. Een deel wordt doorgevoerd naar de tweede duinenrij, maar of het echt doorgevoerd wordt over de hoofdkam heen is niet duidelijk. Op grond van de profielen lijkt het zandbudget van de eerste duinenrij negatief, en zou deze dus langzaam maar zeker kleiner worden.

Op de tweede duinenrij is de dynamiek plaatselijk groot, maar vooral in de vorm van zich ontwikkelende stuifkuilen. Vrijwel nergens is een profiel over de gehele loefhelling erosief, want meestal is het middenstuk stabiel en raakt dit begroeid. Dit deel wordt wel aangevreten en langzaam aan kleiner, maar ondertussen ruikt ook de begroeiing op. Verwijderen van de begroeiing zal een positieve invloed hebben op de uitbreiding van de erosie op de loefhelling. Depositie op de hoofdkam is vooral in het centrum fors (profiel 7), en zorgt hier voor een langzame, maar gestage uitbreiding van de storthelling. Dit is de enige plaats waar de kam niet begroeid is, en dan ook niet in hoogte toeneemt. Er ontstaat hier echter ook geen kerf, de hoogte blijft in stand, en het hoogste punt loopt langzaam naar achteren. De verplaatsing is gering, in de orde van enkele tientallen cm's per jaar. Langs de rest van de hoofdkam is depositie soms wel fors, maar nergens zodanig dat dit tot een kale lijfhelling leidt.

Hoewel de profielen een duidelijke trend in ontwikkeling laten zien, is de gemiddelde begroeiing toegenomen, waardoor stabilisatie zich uitbreidt. De dynamiek is toch hoofdzakelijk lokaal, dat wil zeggen dat het duin niet in zijn geheel in beweging is, maar dat er een aantal plekken zijn waar de dynamiek zich afspeelt. Dit zijn over het algemeen stuifkuilachtige ontwikkelingen. Het lijkt er sterk op dat de omgrenzing van deze vormen bepaald worden door een grotere erosiebestendigheid. Dit is in ieder geval deels een gevolg van het bij elkaar houden van de bodem door achtergebleven wortels, maar mogelijk speelt bodemstructuur of compactie hier ook nog een rol bij.

4 CONCLUSIES

De ontwikkeling 2005-2007 is gebaseerd op veldwaarnemingen en profielmetingen. De periode was niet rijk aan stormen. De totale hoeveelheid neerslag was iets meer dan gemiddeld, maar de verdeling was afwijkend, met een extreem natte augustusmaand in 2006 en een extreem droge aprilmaand in 2007. Juli 2006 was extreem in temperatuur en verdamping. De hitte was deze maand zo groot dat de vegetatieontwikkeling beperkt was. De rest van de periode was de hoeveelheid neerslag echter ruim voldoende, en was de groeikracht van de vegetatie vergelijkbaar met voorgaande jaren. Op basis van een schatting van potentieel transport wordt geconcludeerd dat het zandtransport over de periode minder was dan voor een gemiddeld jaar, in de orde van 70 -80%.

Op grond van de profielen lijkt de ontwikkeling zoals die in 2005 is beschreven door te zetten. De grootste dynamiek speelt op de eerste duinenrij, en dan met name in het centrum. Hier lijken twee mobiele duinen te ontstaan, mogelijk gehinderd door aanrijking van uitgestoven wortels aan het oppervlak. Op grond van alle profielen lijkt erosie in de eerste duinenrij te overheersen en bovendien sterker te zijn dan in de tweede duinenrij. Het zandbudget van de eerste duinenrij lijkt dus negatief, maar dit kan eigenlijk alleen goed aan de hand van DTM's worden bepaald, omdat de profielen een steekproef vormen binnen het gebied, en een (groot) deel van de ontwikkeling niet in de richting van de profielen gaat, maar er dwars op. Door de erosie op de koppen neemt over het algemeen de hoogte van de eerste duinenrij af.

In de zone tussen de twee duinenrijen zijn zowel erosieve als accumulatieve zones te vinden. De met kruipwilg begroeide duintjes in het midden nemen door overstuiving in hoogte toe. De overstuiving is zodanig dat de begroeiing de hoogteverandering makkelijk bij kan houden.

In de tweede duinenrij is de dynamiek minder sterk, maar de meeste profielen laten op de loefhelling erosieve zones zien, die zich langzaam uitbreiden, en op de top depositie, waardoor de hoogte van de kam toeneemt. Alleen in het centrum van de parabool is de depositie zodanig dat een storthelling ontstaat, en dat van een (zeer) langzame migratie gesproken kan worden. Hier is de kam onbegroeid, en blijft de hoogte gelijk.

Het patroon van erosie over de loefhellingen van zowel eerste als tweede duinenrij is vleksgewijs, in de vorm van stuifkuilen, wat er op duidt dat de bodemomstandigheden in het gebied niet uniform zijn, maar dat er lokaal aangrijpingspunten voor winderosie zijn, en dat daar omheen de bodem resistenter is en de wind geen, of minder vat op het zand krijgt. Dit hangt voor een deel samen met al dan niet dode achtergebleven wortels, mogelijk ook met andere bodemeigenschappen. Alle stuifkuilen waar profielen doorheen lopen laten een verdieping en verwijding zien.

Gemiddeld is de mate van begroeiing toegenomen. Er is veel Helmzaad gevonden, en een deel van de toename van de bedekking is het gevolg van het kiemen van Helmzaad.

Het sparen van helm op de rand van de kop heeft op het grootste deel van de kam geleid tot een stabiele situatie, dan wel een hoogtegroeï. Alleen in het midden van de kop is de helm verdwenen. Grootschalige verlaging van de kamlijn, zoals in het Verlaten veld gebeurd is, is hierdoor tot dusverre uitgebleven. In theorie wordt het duin zo gedwongen om de paraboolvorm te behouden, in de praktijk blijkt dit voorlopig inderdaad zo te werken.

5 AANBEVELINGEN

Door uitstuiving neemt de bedekking van het oppervlak met dode wortels toe. Om de dynamiek niet te belemmeren zouden deze opgeruimd moeten worden. Omdat verwacht kan worden dat door verdere uitstuiving meer wortels aan het oppervlak komen te liggen zou dit regelmatig (jaarlijks) herhaald moeten worden, net zolang tot alle wortels verdwenen zijn.

Door vestiging van vegetatie, uitlopen van nog levende wortels, en kieming van zaad neemt de begroeiing op veel plaatsen toe. Vooral op de loefhellingen in het centrale deel is dit onwenselijk, want hierdoor dreigt stabilisatie. Vanwege de erfenis van wortels wordt dit niet als een natuurlijke stabilisatie beschouwd. Aanbevolen wordt om op zo kort mogelijke termijn (een deel van) de vegetatie te verwijderen, liefst zonder machinale middelen, omdat dit anders opnieuw een forse verstoring betekent, en ook de monitoring van de profielen hiermee onderbroken wordt. Ook het opruimen van de vegetatie zou een aantal jaren als gangbaar beheer moeten worden uitgevoerd, net zo lang tot de erfennissen van eerdere stabilisatie zijn opgeruimd.

Helaas is de foto-opname van 2007 niet gelukt, en zal deze in 2008 worden uitgevoerd. Het is aan te bevelen om hierbij ook weer een hoogtemeting met laseraltimetrie te doen. Hiermee is een betere ruimtelijke analyse van erosie en depositie mogelijk, kunnen de patronen van erosie en depositie over het gehele oppervlak worden onderzocht, en kan een sluitende zandbalans worden opgesteld.

6 REFERENTIES

- Arens, S.M., 2001. Inventarisatie van potentiële locaties voor grootschalige verstuiving in Zuid-Kennemerland. Rapport Arens BSDO RAP2001.02 in opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. 25 pp.
- Arens, S.M., 2003. Reactivatie van de Bruid van Haarlem; nulmeting 2003. RAP2003.09 in opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland.
- Arens, S.M., 2004. Monitoring van een gereactiveerd paraboolduin, Kraansvlak, Zuid - Kennemerland; ontwikkeling 2003-2004. Amsterdam, Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2004.04 in opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland. 39 pp.
- Arens, S.M., 2004. Reactivatie van de Bruid van Haarlem; situatie 2004. RAP2004.10 in opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland.
- Arens, S.M., 2006. Reactivatie van de Bruid van Haarlem; situatie 2005. RAP2005.05 in opdracht van nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland.
- Arens, S.M., L.H.W.T. Geelen, Q.L. Slings & H.E. Wondergem, 2005. Herstel van duinmobiliteit. Naar een nieuw duurzaam beheer? Landschap 22-4, 191-202.
- KNMI, 2007. www.knmi.nl.

LIJST MET FIGUREN

- Figuur 2.1. Ligging en nummering van de profielen. De rode stippen geven de vaste punten weer. Achtergrond: luchtfoto 2005.
- Figuur 3.1. Erosieverschijnselen. Links loef- en lijhelling van mobiel duin. Rechts stuifkuilvorm.
- Figuur 3.2. Sterke depositie op de kam (links) en erosie op de loefhelling (rechts) met sporen van aanplant.
- Figuur 3.3. Mobiele duinenrij (links) en stagnerend transport door wortels en Helm (rechts).
- Figuur 3.4. Grondwater boven het oppervlak in de vallei (links) en het middendeel (rechts).
- Figuur 3.5. Transversaalduintjes in het middendeel.
- Figuur 3.6. Transversaalduintjes op de hoofdkam, stuiven met oostenwind terug.
- Figuur 3.7. Mobiele duinen in de voorste rij.
- Figuur 3.8. Dichtgroeiende hellingen langs de hoofdkam.
- Figuur 3.9. Profiel 1.
- Figuur 3.10. Profiel 2.
- Figuur 3.11. Profiel 3.
- Figuur 3.12. Profiel 4.
- Figuur 3.13. Profiel 5.
- Figuur 3.14. Profiel 6.
- Figuur 3.15. Profiel 7.
- Figuur 3.16. Profiel 8.
- Figuur 3.17. Profiel 9.
- Figuur 3.18. Profiel 10.
- Figuur 3.19. Profiel 11.
- Figuur 3.20. Profiel 12.
- Figuur 3.21. Profiel 15.
- Figuur 3.22. Profiel 16.

LIJST MET TABELLEN

- Tabel 3.1. Jaarlijkse neerslag voor Tilanuspad (AWD, bron Waternet).
- Tabel 3.2. Relatief eolisch transport per jaar ten opzichte van een gemiddeld jaar