

Reactivatie van de Bruid van Haarlem situatie 2005

Bas Arens



ARENS
BUREAU VOOR STRAND- EN DUINONDERZOEK



Reactivatie van de Bruid van Haarlem situatie 2005

Bas Arens

ARENS BSDO
RAPPORTNUMMER RAP2005.05
nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland
Februari 2006

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. In voor- en najaar van 2004 en 2005 zijn vervolgmetingen uitgevoerd. Bovendien zijn in 2005 luchtfoto's gemaakt en geanalyseerd. Resultaten en analyse worden in dit rapport besproken.

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

Bas Arens
Amsterdam, 9 februari 2006

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
2.3 laseraltimetrie	5
3 ANALYSE EN RESULTATEN	7
3.1 weersomstandigheden	7
3.2 observaties tijdens veldbezoeken	8
3.3 luchtfoto-analyse	9
3.4 laseraltimetrie	11
3.5 hoogtemetingen	17
4 CONCLUSIES	29
5 AANBEVELINGEN	31
6 REFERENTIES	33
LIJST MET FIGUREN	35
LIJST MET TABELLEN	35

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 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.

Een dergelijk beheer zal alleen zin hebben als het écht grootschalig is, omdat alleen dan nieuwvorming van valleien zal plaatsvinden. 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 bijvoorbeeld 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 bij de Bruid van Haarlem. Dit experiment, met een andere wijze van uitvoering dan het experiment in het Verlaten Veld, zal verdere inzichten opleveren ten behoeve van dynamisch duinbeheer, en over de mogelijkheid nieuwvorming van grootschalige uitblazingsvalleien te induceren door middel van paraboolreactivatie.

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 en hier en daar struweel.

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

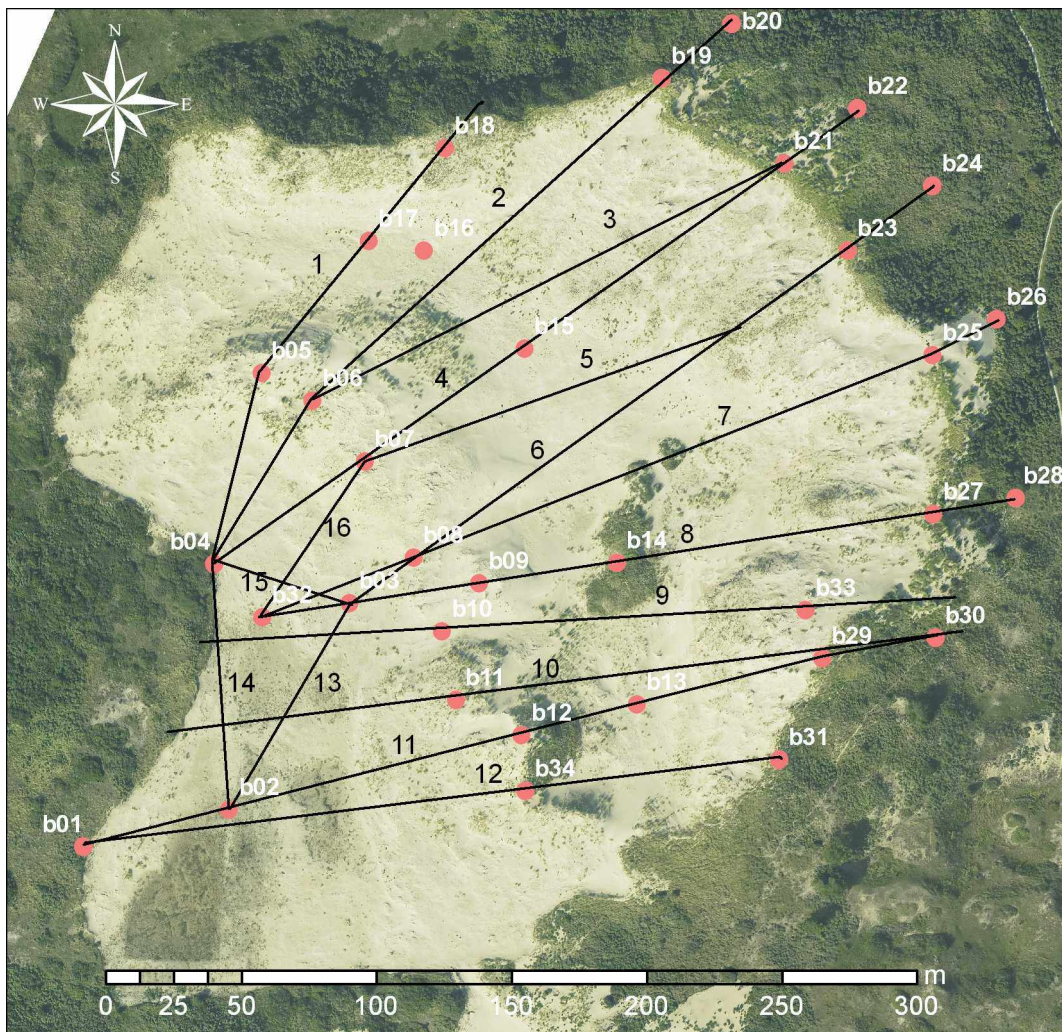
Vegetatie en bodem zijn verwijderd over een groot oppervlak (7.8 ha). Een klein deel van de deflatievallei is in de ingreep betrokken. De werkzaamheden hebben zich beperkt tot de loefzijde van de parabool. De achterzijde van de parabool is intact gelaten. Idee hierachter is dat deze door massale overstuiving 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

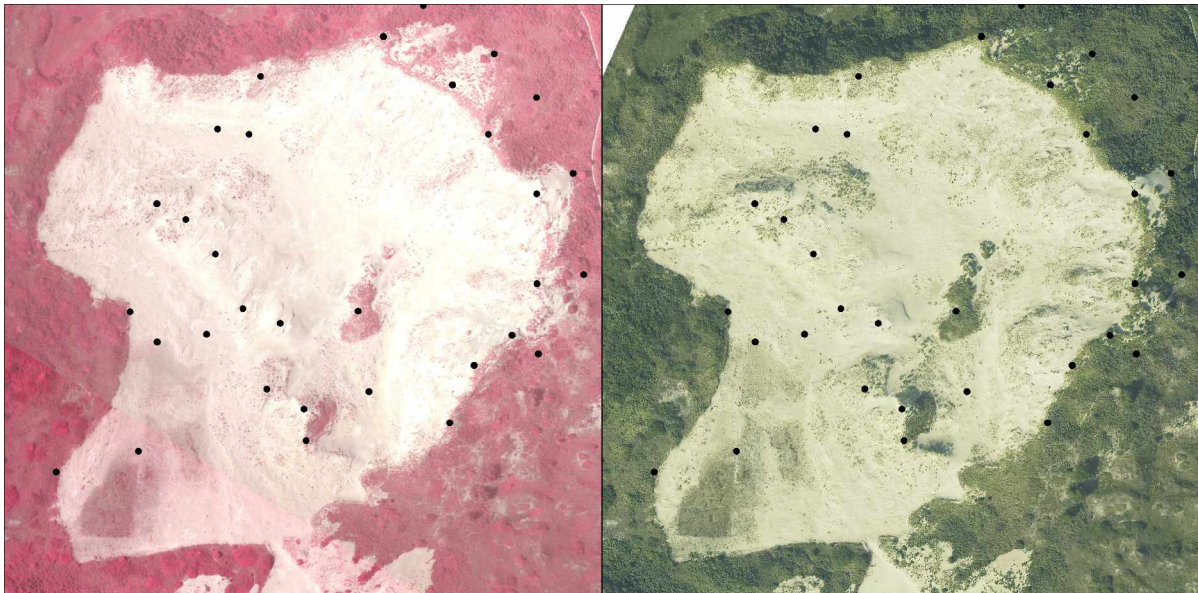
De vaste punten (34 stuks) zijn gemarkeerd met stalen buizen van 2 tot 2.5 m lang die 1 tot 1.5m de grond in zijn gedreven. Vervolgens is de bovenkant van de buizen ingemeten met GPS. De rijksdriehoekskoördinaten zijn hiermee bekend. De metingen van de profielen zijn grotendeels uitgevoerd met behulp 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 methodes gemeten delen overlappen, en sluiten goed op elkaar aan.

De metingen zijn uitgevoerd op 14 en 15 april 2005 en 20 en 21 oktober 2005.

2.2 Luchtfoto-analyse

Er zijn twee luchtfotoseries beschikbaar. De eerste dateert van 27 mei, is uitgevoerd in false colour en is niet geometrisch gecorrigeerd. De tweede serie dateert van 22 september, is in full colour en wel geometrisch gecorrigeerd. Deze serie dient als basis voor de kartering van 2005. Omdat er een sterke seizoensvariatie in vegetatiebedekking is, is de interpretatie van het dynamisch oppervlak ook afhankelijk van het tijdstip van opname. De zichtbare dynamiek in september is over het algemeen lager dan die in het voorjaar, omdat de vegetatiebedekking in september maximaal is. De vergelijking met de opname uit 2003 is daarmee niet optimaal, omdat deze in juni is gemaakt. Om verschillen in interpretatie te voorkomen zijn daarom ook de beelden van 27 mei gebruikt om begrenzingen van dynamisch oppervlak vast te stellen, en mate van overstuiving goed te kunnen classificeren.



Figuur 2.2. Luchtfoto-opname van mei 2005 (links) en september 2005 (rechts)

De kartering van dynamiek is uitgevoerd vanaf het beeldscherm in ArcView. Voor de kartering is dezelfde legenda gebruikt als voor de karteringen van het Verlaten Veld (Arens, 2004), met een kleine uitbreiding. De legenda is als volgt:

- O1 open zand, overwegend erosie
- O1s open zand, sterke depositie in storthelling
- O1d open zand, overwegend depositie
- O1/S0 complex van O1 en S0
- O2 onbegroeid, kleinschalige activiteit
- B1 stuifkuil of stuifkuilachtige vorm
- A1 sterk overstoven, vegetatie volledig begraven
- A1s idem, met stort- of lijhelling

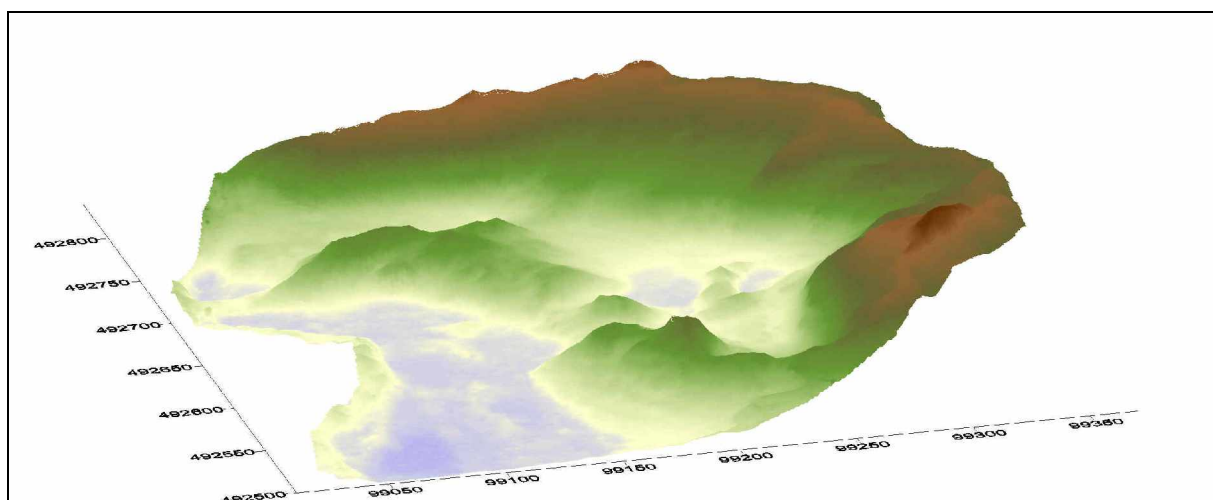
- A1/2 complex van A1 en A2
- A2 overstoven, vegetatie herkenbaar
- A3 geringe overstuiving, strooizone
- A2/3 complex van A2 en A3
- S0 actief, begroeiing met pioniersoorten
- S0/1 complex van S0 en S1
- S1 beginnende stabilisatie door begroeiing
- S2 gestabiliseerd door begroeiing
- S3 volledig dichtgegroeid, bos of struweel
- S3s bos of struweel met overstuivingslaag onder het bladerdak
- V1 vochtige vallei; onbegroeid
- V1/2 complex van V1 en V2
- V2 vochtige vallei; begroeid
- W1 vochtige vallei met grondwater boven het oppervlak

De eenheden O1s en O1d zijn toegevoegd, en geven oppervlak open zand waarin depositie domineert. Deze eenheden zijn nu vast te stellen in combinatie met de verschilkaarten (zie hieronder). In feite is daardoor de eenheid O1 (open zand) verder te differentiëren in overwegend erosie en overwegend depositie.

Op basis van de kartering zijn per legenda-eenheid oppervlaktes berekend.

2.3 laseraltimetrie

De opname van september is gecombineerd met een laser-opname van de hoogte, in een onregelmatig grid, met afstand ca 0.5m. Hieruit is een regelmatig grid geïnterpoleerd met een gridgrootte van 1x1 m². De interpolatie is uitgevoerd in Surfer, met een nearest neighbour interpolatie. Deze opname is vergeleken met de DTM-opname uit 2003, die ook naar een 1x1 m² grid is geïnterpoleerd. Hiermee is voor het eerst een ruimtelijke analyse in 3D van hoogteveranderingen mogelijk. Wel dient de nauwkeurigheid van de laser-opnamen eerst goed geanalyseerd te worden. De profielmetingen bieden hierbij houvast. Op grond van deze metingen kunnen de laseraltimetriegegevens geïjkt worden.



Figuur 2.3. Driedimensionaal beeld van de Bruid van Haarlem, gezien vanuit zuidzuidwest. Opname 22 september 2005.

Gezien de beperkte migratiesnelheid is het van belang dat de metingen zo nauwkeurig mogelijk, en met zoveel mogelijk detail worden uitgevoerd. Grovere metingen, zoals bijvoorbeeld uitgevoerd door Mowling en Coleman (2003), die gebruik maken van kinematisch GPS, een kriskras-profielopname en interpolatie naar rastergrids van $5 \times 5 \text{ m}^2$ leveren bij de mate van veranderingen zoals die tot nu toe optreden, te weinig detail en dus te weinig mogelijkheid voor analyse. In een case-study in de kustduinen van Cape Hatteras (Nort Carolina, USA) bleek een gridgrootte van $1\text{-}2 \text{ m}^2$ de beste resultaten te geven voor volumeberekeningen (Woolard & Colby, 2002). Voor een discussie over grid-grootte en interpolatietechnieken bij de toepassing voor studies over kustduinen wordt verwezen naar Mitasova *et al.*, 2004 en 2005.

Het hoogtemodel is op verschillende manieren uit te voeren. Er kan een hoogtelijnenkaart van worden gemaakt, maar ook een driedimensionaal beeld waarover verschillende overlays kunnen worden gelegd. In Figuur 2.3 is een driedimensionaal beeld weergegeven, met daaroverheen de hoogte in verschillende kleuren gedrapeerd. De hoogte is sterk overdreven, om het reliëf van het gebied goed weer te kunnen geven. De vallei en de twee duinenrijen zijn hierop goed te onderscheiden.

De laseraltimetrie van 2003 dateert als gezegd van juni. De eerste hoogtemetingen zijn uitgevoerd in november 2003, zodat er verschillen tussen hoogtemetingen en laseraltimetrie verwacht kunnen worden. De laseraltimetrie van 2005 dateert van 22 september, terwijl de hoogtemetingen op 20 en 21 oktober zijn uitgevoerd. De verschillen tussen hoogtemetingen en laseraltimetrie zullen in dat geval gering zijn.

Voor de $1 \times 1 \text{ m}^2$ grids van 2003 en 2005 is een verschilkaart berekend, waarin de hoogteverschillen zijn weergegeven die tussen juni 2003 en september 2005 zijn ontstaan. Negatieve hoogteverschillen geven erosie aan, positieve hoogteverschillen wijzen op depositie.

3 ANALYSE EN RESULTATEN

Voor dit rapport is gebruik gemaakt van in het veld verrichte hoogtemetingen uit najaar 2003, voor- en najaar 2004 en 2005, en luchtfoto's en laseraltimetrie uit 2003 en 2005. Meteorologische gegevens zijn afkomstig van het KNMI via hun internetsite (www.knmi.nl).

3.1 weersomstandigheden

De herfst van 2004 was zacht en aan de droge kant (KNMI, 2005). Ook de winter van 2004/2005 was zacht en vrij droog, zonder een langere periode met vorst. Op 8 januari en 12 februari kwamen stormen voor. Ook de lente van 2005 was zacht, maar begon koud en winters, zelfs met sneeuw en plaatselijk uitzonderlijk strenge vorst. De zomer begon in mei, met hoge temperaturen. De hoeveelheid neerslag was vergelijkbaar met de normaal. De zomer van 2005 was gemiddeld normaal, maar augustus was koel. De meest zomerse perioden waren in juni (hittegolf) en september. De zomer was nat, met enkele zeer natte dagen (>20mm neerslag). Oktober en november waren uitzonderlijk zacht. Het groeiseizoen liep tot in november door.

De neerslag gemeten bij de Kooy (bij Den Helder) is weergegeven in Tabel 4.1. De neerslag bij de Kooy is over het algemeen per jaar circa 100-200mm lager dan in Zuid-Kennemerland (vergeleken met neerslag bij Overveen). 2005 was qua totale hoeveelheid neerslag een gemiddeld jaar, de verdeling was echter anders dan normaal, aangezien de grootste hoeveelheid neerslag in de zomer viel. De hoeveelheid wind is uitgedrukt in een relatieve maat ten opzichte van 2002, het jaar met over de beschouwde periode (1999-2005) de grootste hoeveelheid wind. Het potentiële zandtransport (het transport dat op zou kunnen treden zonder enige belemmering door bijvoorbeeld neerslag of vegetatie) voor dat jaar is gesteld op 100%. Ten opzichte van 2002 was 2005 betrekkelijk wind-arm: het zandtransport bedraagt 56% van het transport in 2002. Ook winter en zomer zijn vergeleken, ten opzichte van winter 2001-2002. De winter van 2004-2005 had minder wind (transport bedraagt 73%) dan die van 2001-2002, de zomer zelfs veel minder (transport bedraagt slechts 8% t.o.v. het transport in winter 2001-2002). Ten opzichte van alle andere jaren is in de zomer van 2005 het geschatte zandtransport het laagst.

Tabel 3.1. Jaarlijkse neerslag en relatief zandtransport voor de Kooy (bron KNMI)

	jaar	winter okt-apr	zomer apr-okt	jaar	winter okt-apr	zomer apr-okt
jaar	transport % tov max			neerslag (mm)		
1999	98	81	17	936	554	411
2000	93	93	14	888	483	296
2001	95	66	19	888	618	474
2002	100	100	17	882	411	444
2003	47	40	12	509	332	198
2004	91	66	32	818	408	445
2005*	56	73	8	818	344	448

* gegevens tot 9 november 2005

3.2 observaties tijdens veldbezoeken

14 en 15 april 2005



Figuur 3.1. Sterke depositie op de kam (links) en erosie op de loefhelling (rechts).

Een groot deel van het oppervlak ziet er erg grauw uit door bedekking met een grote hoeveelheid uitgestoven, dode wortels. De ervaring met andere projecten heeft geleerd dat dode wortels jaren kunnen blijven liggen. Op de kaalgemaakte delen is veel helm opgekomen. Op de tweede duinenrij overheerst depositie, het sterkst aan de noordkant, waar een aantal buizen bijna, maar nog steeds niet helemaal onder het zand is verdwenen (Figuur 3.1 links). Depositie is hier dus fors, maar er zijn ook plaatsen, vooral naar de zuidkant toe, waar de overstuiving niet zo groot is.



Figuur 3.2. Lokale erosie (links) en overstuiving (rechts).

Op de loefhelling van zowel de eerste als de tweede duinenrij is erosie plaatselijk sterk (Figuur 3.1 rechts), en hier en daar ontstaan zelfs stuifkuilen (Figuur 3.2 links). Hoewel na de ingreep het gehele oppervlak uit kaal zand bestaat, en dus verwacht zou kunnen worden dat erosie gelijkmatig over de hellingen verdeeld is, is duidelijk dat extreme erosie zich op een aantal plaatsen concentreert. Mogelijk hangt dit samen met verschillen in compactie of samenhang van het oppervlak, mogelijk heeft dit een aërodynamische achtergrond.

Op de achterzijde van de eerste duinenrij is vooral in het midden sprake van extreme depositie. Vegetatie speelt hier geen rol bij (Figuur 3.2 rechts).

In het laagste deel van de vallei, aan de westkant, komt grondwater boven het oppervlak.

20 en 21 oktober 2005

Nog steeds liggen er erg veel uitgestoven wortels op het oppervlak. Op veel plekken groeit dauwbraam. Er zijn nogal wat plekken aan de voorzijde waar duindoorn begint uit te lopen. Verder groeit de helm uitbundig door. Desondanks is er vooral op de voorste rij sprake van forse erosie, behalve op de meest noordwestelijke top (tweede opstelpunt) waar juist helm en depositie domineert. Hoewel er veel plaatsen zijn met extreme erosie, zijn er weinig plaatsen waar substantiële depositie lijkt te zijn, met uitzondering van de achterkant van de voorste rij en plaatselijk op de lijhelling van de hoofdkam. Er zijn een paar stukken waar de helling zich als een echte lijhelling manifesteert, met massale depositie, en vrijwel geen vegetatie. Erosie is wel plaatsgebonden, dat wil zeggen, er is geen sprake van één groot, massaal erosief front. Ondanks al deze activiteit lijkt het er nog niet op dat het gehele paraboolduin aan de wandel is.



Figuur 3.3. Centrale deel met blik over de tweede duinenrij.

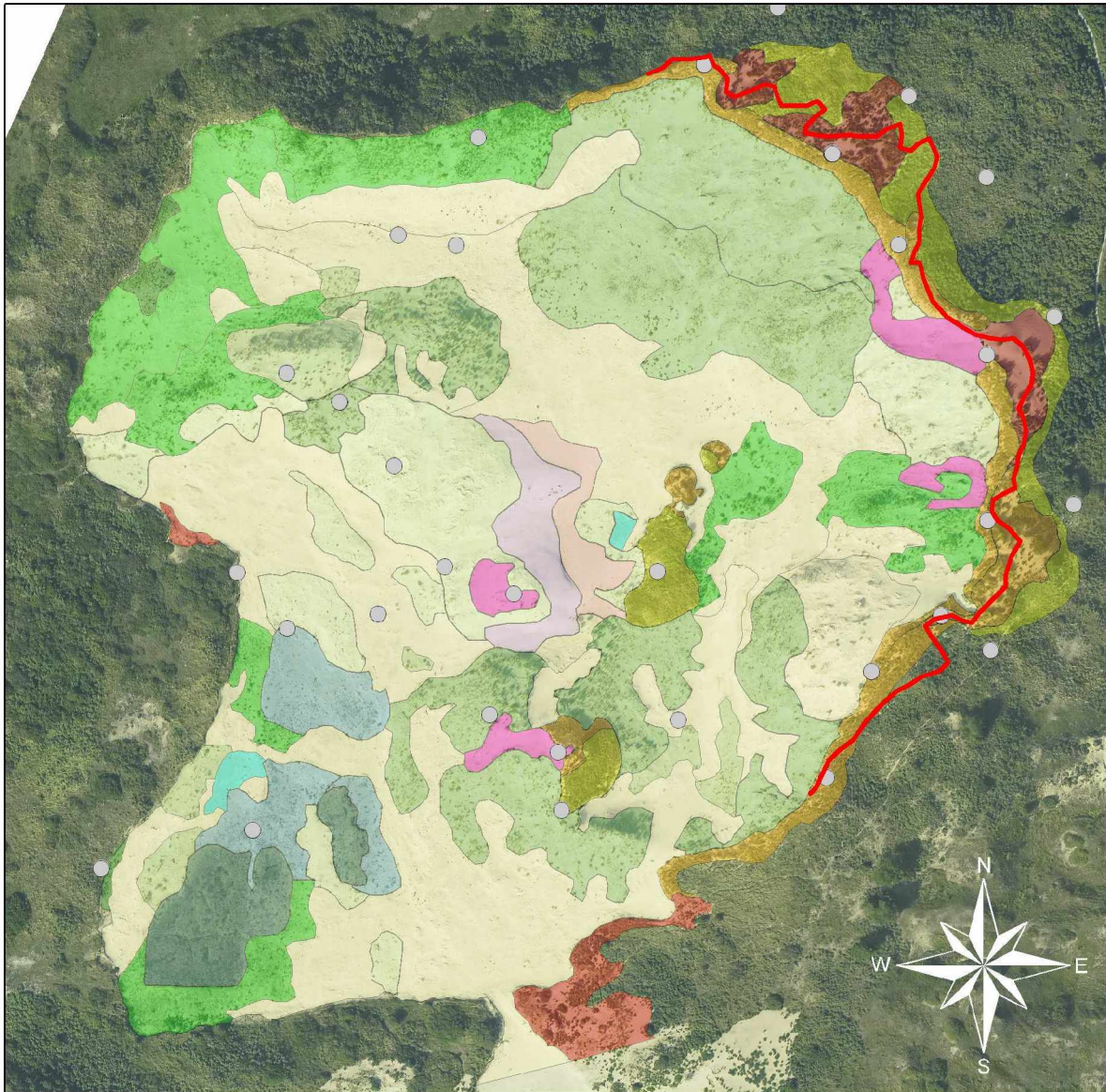
Er zijn geen sporen van watererosie (zoals eerder deze maand in het van Limburg Stirum gebied werden aangetroffen). Wel zijn er hier en daar sporen van damherten en/of reeën. Tapuiten vliegen heen en weer. Er staat geen grondwater aan het oppervlak.

Op de voorste duinenrij moeten enkele buizen vanwege de erosie verder de grond in worden gedreven. Op de tweede duinenrij moeten juist enkele buizen vanwege depositie opnieuw gemarkeerd worden. Het verschil tussen de twee duinenrijen in erosie of depositie is volledig gerelateerd aan de begroeiing.





















3.3 Luchtfoto-analyse

De van de luchtfoto's gemaakte kartering is weergegeven in Figuur 3.4. De veranderingen in begroeiing zijn het meest in het oog springend. Een groot deel van het kale oppervlak is bedekt geraakt, gedeeltelijk met pionierbegroeiing, maar ook door uitlopen van helmwortels, en hier en daar duindoorn. Op de hellingen van de tweede duinenrij is dauw-

Bruid van Haarlem



Legenda Dynamiek 2005

 A1	 A2/3	 O1/S0	 S0/1	 V1
 A1/2	 A3	 O1d	 S1	 V1/2
 A1s	 B1	 O1s	 S2	 V2
 A2	 O1	 S0	 S3	 W1

0 50 100 200 300 m

Figuur 3.4. Kartering van dynamiek in 2005. De rode lijn geeft de uitbreiding van de overstuivingszone in 2003 weer.

braam opgekomen. Hier en daar staat ook Loogkruid. De vallei aan de zuidwestkant raakt begroeid met duinvalleisoorten. De eerste duinenrij is vooral in het centrum flink erosief. Aan de noordkant rukt de begroeiing sneller op. Het middendeel vangt voor een groot deel zand in. De niet kaal gemaakte vlakken in het centrum overstuiven flink, de begroeiing groeit in de zomer echter weer door de overstoven laag heen, en blijft min of meer intact, maar veranderd mogelijk in samenstelling. Hetzelfde geldt voor de lijhelling van de eerste duinenrij aan de zuidkant. Ook hier is de begroeiing niet weggehaald. Op de erosieve helling ontstaan hier en daar stuifkuilen, sommige te klein om te karteren, anderen wel zo grootschalig dat ze als afzonderlijke eenheden gekarteerd zijn. In het centrale deel van de kam is een flinke kale plek ontstaan waar de dynamiek blijkbaar de vegetatiegroei tegengaat. Hierachter ligt de meest in het oog springende depositie: een kale storthelling, die vanaf de oostkant al van verre zichtbaar is. De uitbreiding van de overstuivingszone bedraagt circa 10-20m. De positie van de kam is vrijwel ongewijzigd.

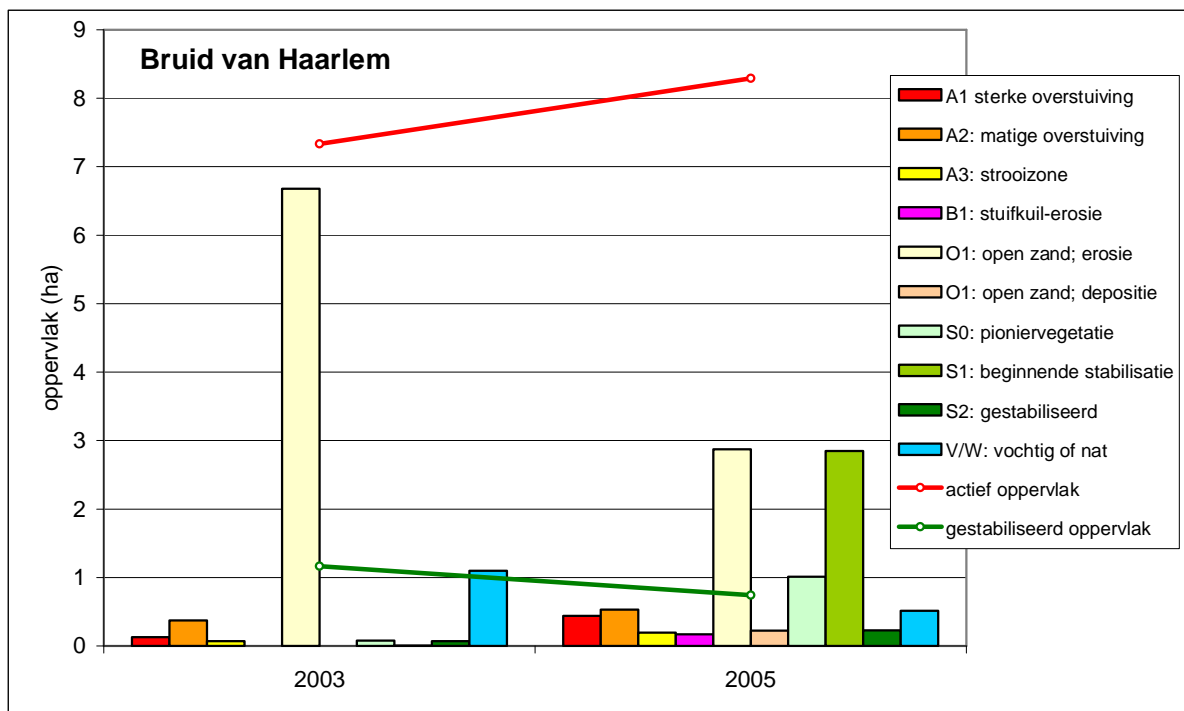
Globaal is het gebied in vier zones op te delen: de vallei aan de westkant, de eerste duinenrij met forse erosie op de top, en vaak forse depositie erachter, de middenzone waar depositie overheerst, maar waar lokaal ook erosie plaatsvindt, en de grote paraboolkam met forse erosie op de loefhelling, en geconcentreerde, soms forse depositie op de kam en de lijhelling.

De eenheid open en actief O1 is oppervlak waar vegetatie nog geen rol speelt. Het dominante proces is hier erosie, maar er zijn ook stukken waar juist depositie overheerst. Dit is lang niet altijd goed te onderscheiden op de luchtfoto. Er zijn wel twee oppervlakken waar depositie zo groot is, dat dit wel is te onderscheiden. Deze oppervlakken zijn apart aangegeven (O1d en O1s). In sommige gevallen ontstaan stuifkuilen, waarbij ook sprake is van een kaal oppervlak met extreme erosie. Dit wordt, indien het oppervlak groot genoeg is, apart aangegeven met eenheid B1. Door de dynamiek-kaart te combineren met de hoogtemetingen en zeker met de hoogtemodellen afkomstig van laseraltimetrie zou wel een onderscheid te maken zijn tussen eenheden O1 met dominant erosie en met dominant depositie. Hier is echter gekozen voor een zuivere luchtfoto-interpretatiekaart, met name ten behoeve van de vergelijking met eerdere karteringen. Bij het karteren van verschillende tijdstippen is van belang dat dezelfde methode wordt gebruikt. Bij de analyse van dynamiek-kaart en hoogteverschillen wordt de combinatie alsnog gemaakt.

De totale oppervlaktes van de verschillende eenheden zijn weergegeven in Figuur 3.5. Het meest in het oog springend is de afname van het oppervlak O1, een gevolg van differentiatie en enige afname van dynamiek. Het kale oppervlak, de som van O1, O1s/d en B1 is gehalveerd van 6.7 tot 3.3ha. Op 1ha hiervan is pioniervegetatie opgekomen, zonder dat sprake is van stabilisatie, maar op 2.8ha is wel sprake van beginnende stabilisatie, hoewel dit oppervlak tot nog toe gerekend kan worden tot 'actief'. Als de stabilisatie hier echter doorzet dan zal het actieve oppervlak snel in belang afnemen. Het totale actieve oppervlak, de som van eenheden A1 t/m S1, is toegenomen van 7.2 tot 8.3ha. Het gestabiliseerde oppervlak is afgenomen door een daling van de grondwaterstand. Een deel voorheen vochtig of nat oppervlak kan daardoor nu weer meedoen als erodeerbaar oppervlak. Het voormalig begroeid, maar nu overstoven oppervlak (A1 t/m A3) is van 0.6ha toegenomen tot 1.2ha, een bescheiden toename, gezien de omvang van het gebied.

3.4 laseraltimetrie

De luchtfoto-opnamen van 2003 en 2005 zijn gecombineerd met een laseraltimetrie-opname van de hoogte van het gebied. Hiermee kunnen de hoogtelijnen in het gebied in

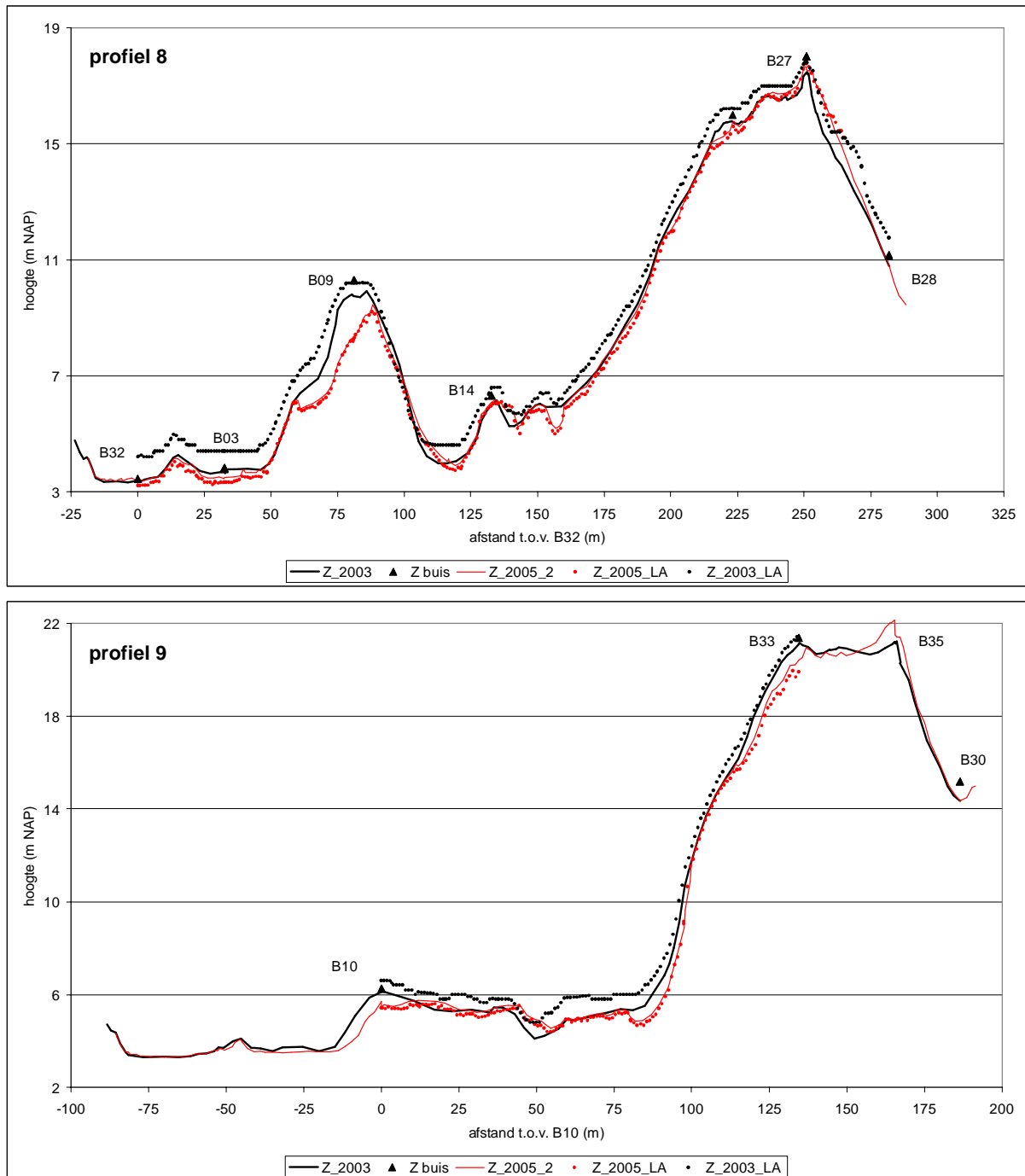


Figuur 3.5. Oppervlakten van kaarteenheden voor 2003 en 2005

kaart worden gebracht, maar belangrijker, ook de hoogteveranderingen in het gebied worden geanalyseerd. Om deze hoogtegegevens op waarde te kunnen schatten zijn ze in eerste instantie vergeleken met de profielmetingen. Het is mogelijk uit de DTM's profielgegevens te genereren en deze rechtstreeks te vergelijken met de gemeten profielen. Dit is voor profielen 8 en 9 gedaan. De resultaten worden weergegeven door Figuur 3.6. Hieruit blijkt duidelijk dat in 2003 de laseraltimetriegegevens een stuk te hoog liggen, en in 2005 over het algemeen redelijk goed overeenkomen met de veldmetingen (hier wordt van uitgegaan dat de veldmetingen de juiste hoogte geven; deze zijn immers opgehangen aan vaste punten waarvan de RD-coördinaten nauwkeurig bekend zijn en regelmatig met een nauwkeurig GPS worden nagemeten). Ook blijken de laseraltimetriegegevens van 2003 soms minder gedetailleerd. De fout die gemaakt wordt is redelijk structureel en niet chaotisch, en kan dus redelijk gecorrigeerd worden, hoewel er binnen het gebied wel verschillen zijn. De correctie is uitgevoerd aan de hand van de twee profielmetingen. De fout die in 2003 gemaakt is bedraagt ongeveer +0.6-0.9m. Op grond van de twee profielen is uitgegaan van een gemiddeld verschil van 0.8m. Door van alle hoogtemetingen van 2003 0.8m af te trekken wordt de fout gecorrigeerd. Bij de analyse van hoogteverschillen moet rekening gehouden worden met deze fout. Er zullen deelgebieden zijn waar ten onrechte erosie of sedimentatie zal worden aangegeven. De metingen van 2005 komen redelijk goed overeen met de veldmetingen, maar zijn, zoals uit Figuur 3.6 blijkt, ook hier en daar te laag, in de orde van 0.1m. Hiervoor is niet gecorrigeerd.

Met de laseraltimetriegegevens kunnen vervolgens willekeurige profielen worden gegenereerd, en de veranderingen hierin tussen 2003 en 2005 kunnen worden geanalyseerd. Voor dit rapport is voornamelijk alleen een hoogteverschilkaart 2003-2005 gemaakt, die inzicht geeft in de ruimtelijke patronen van erosie en sedimentatie, en de relatie met vegetatie en reliëf.

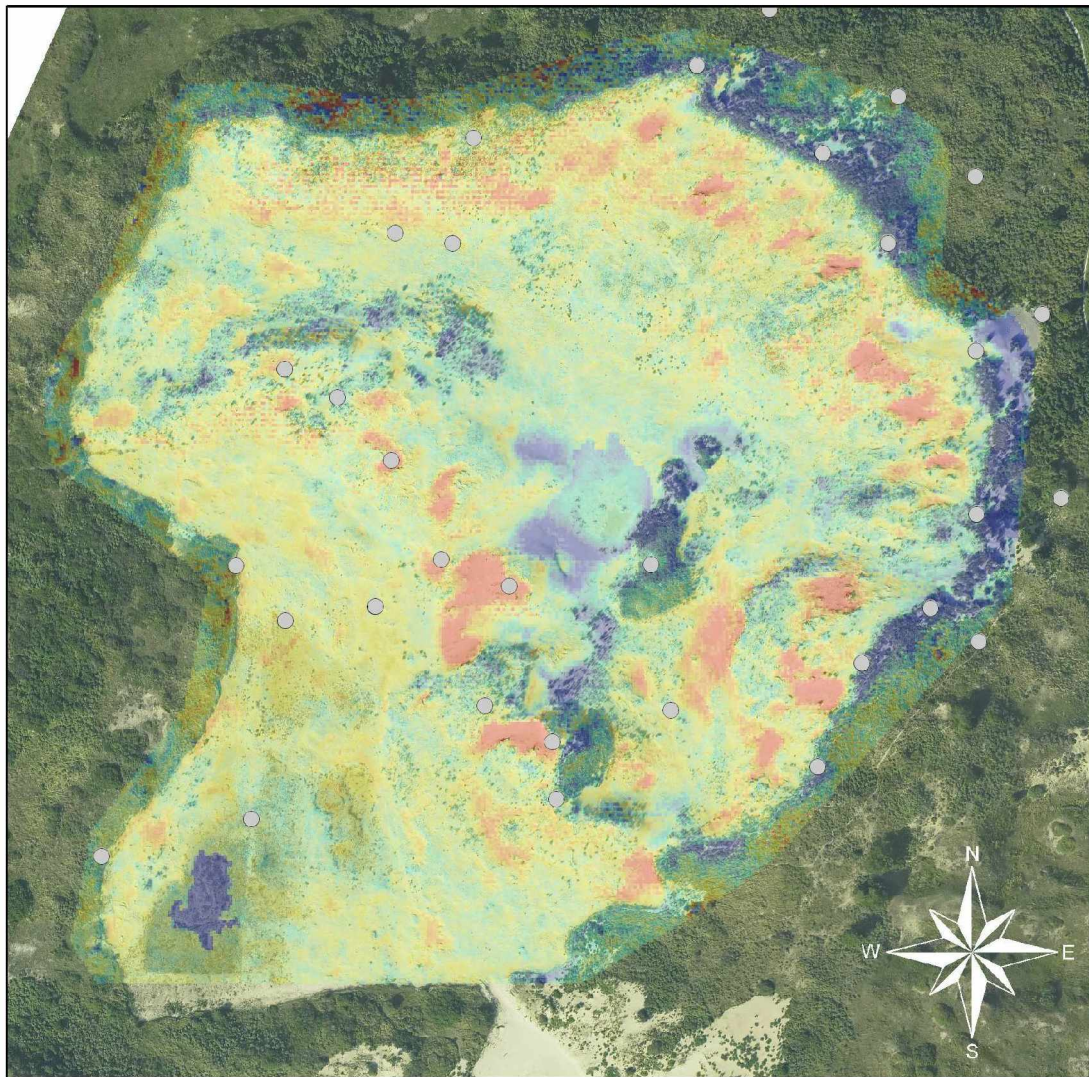
De gecorrigeerde hoogteverschilkaart is opgenomen als Figuur 3.7. Hiermee is een tweede controle op de verschillen te maken, door alle verschillen bij elkaar op te tellen.



Figuur 3.6. Vergelijking van profielen gemeten met laser-altimetrie (gestippelde lijnen) en met veldmetingen (getrokken lijnen).

Theoretisch gezien moet het totale hoogteverschil binnen het gebied gelijk zijn aan 0, wanneer tenminste het gebied gesloten is, dat wil zeggen wanneer alle hoogteveranderingen (alle erosie en sedimentatie) zich binnen de omgrenzing van het studiegebied afspelen. Aan deze voorwaarde wordt niet helemaal voldaan, omdat in 2005 de begrenzing van het gebied iets te krap is, en daardoor een deel van de sedimentatie op de lijnhelling buiten de verschilkaart valt. Hierdoor zou het totale hoogteverschil negatief moeten zijn. Een andere reden voor afwijking kan zijn dat door ophoping van organische stof er materie in het gebied bij komt, of dat bij laseraltimetrie fouten worden gemaakt

Bruid van Haarlem



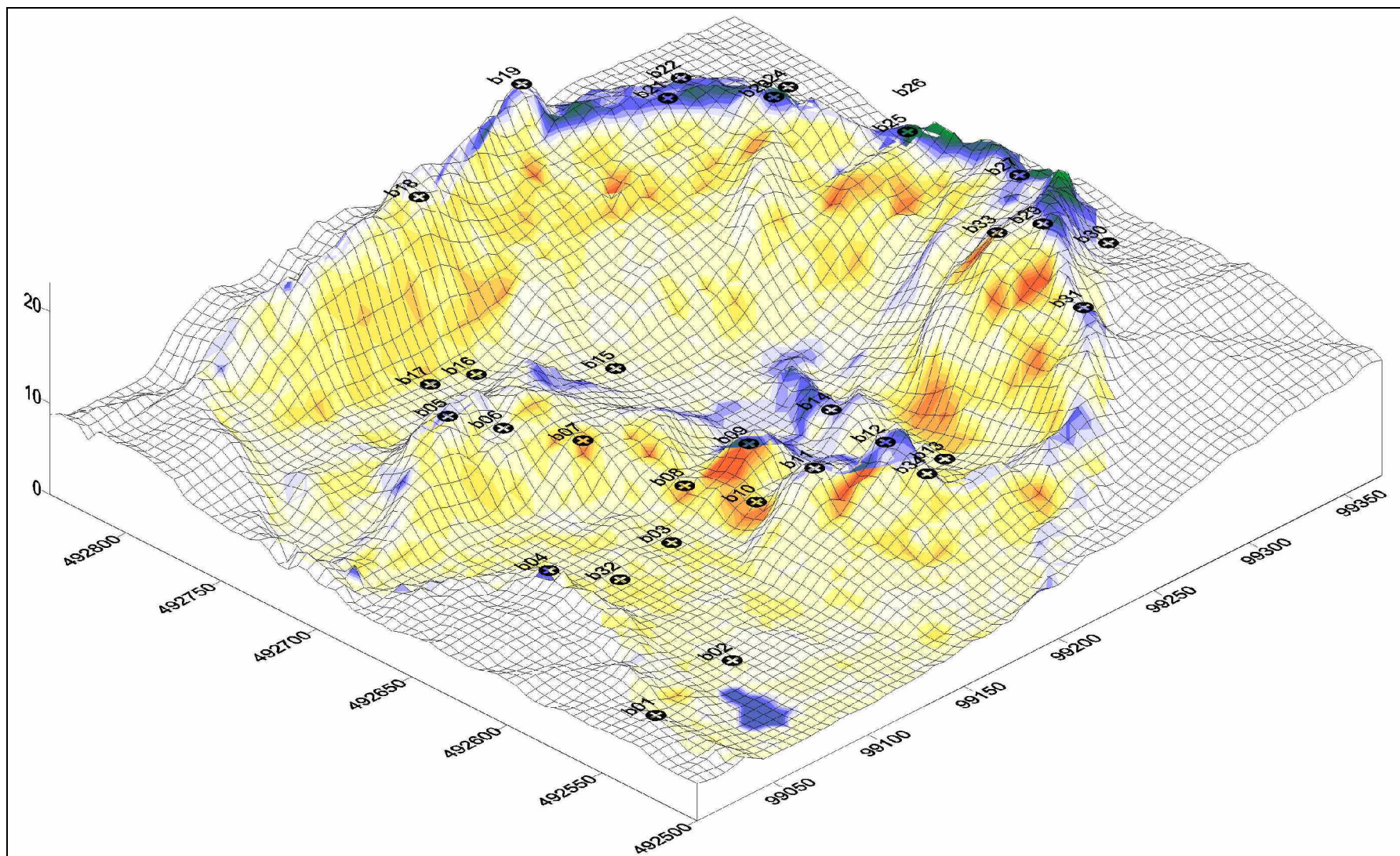
Verschilkaart 2003-2005

erosie -2.5m  *sedimentatie +2.5m*

0 50 100 200 300 m

Figuur 3.7. Hoogteverschillen tussen 2003 en 2005.

bij dichte vegetatie, en niet het oppervlak wordt gemeten, maar de bovenkant van de vegetatie. In beide gevallen zal het lijken of er in de loop van de tijd sedimentatie optreedt, en zal het totale hoogteverschil positief zijn. De erosie op de liphelling aan de noordkant en aan de oostkant, op plaatsen met dichte vegetatie, lijkt een gevolg van fouten die verband houden met vegetatie te zijn. Aangezien er meer plaatsen met vegetatie zijn waar erosie wordt aangegeven, is het waarschijnlijk dat de filterings-

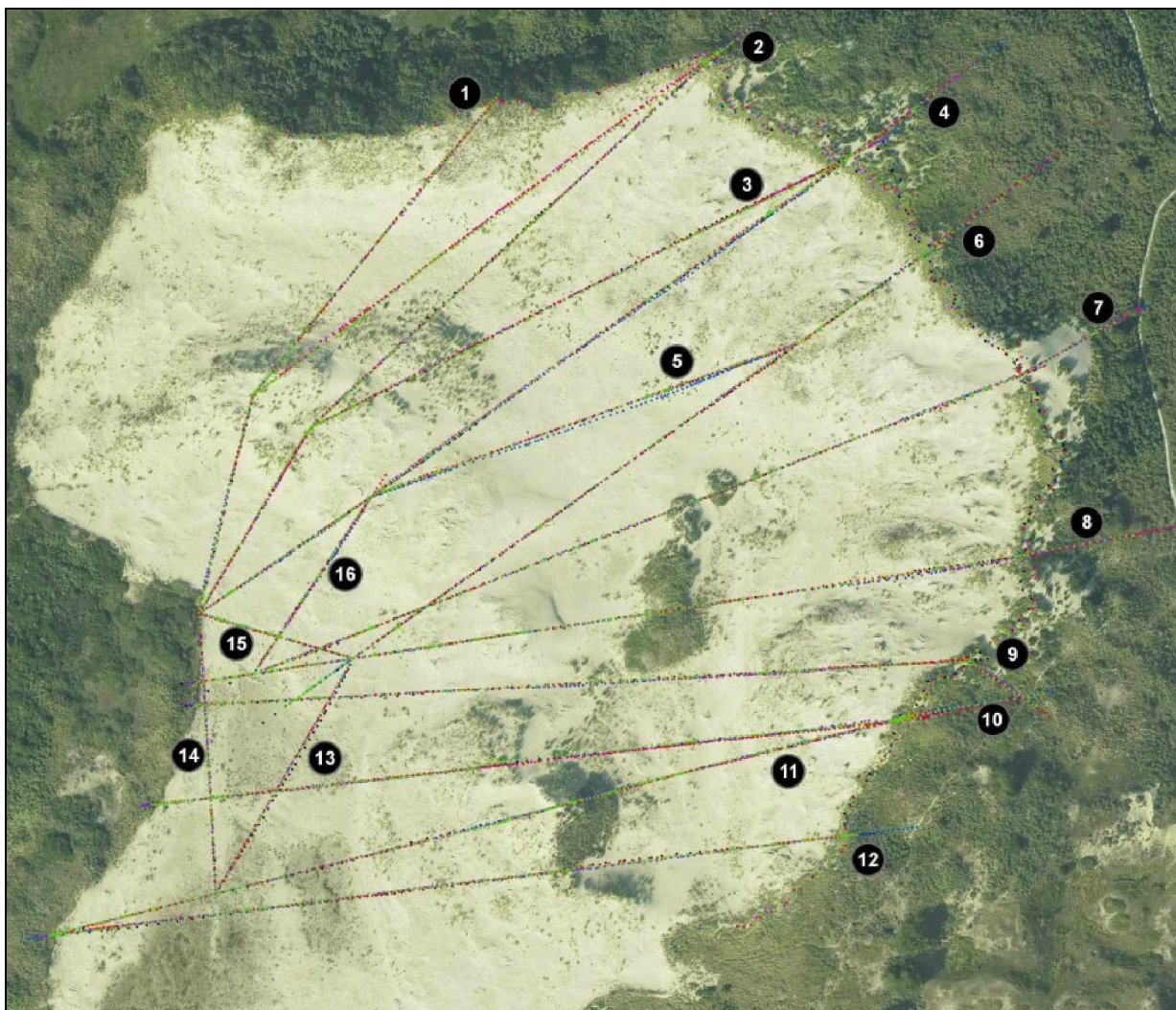


Figuur 3.8. Hoogteverschillen 2003-2005 gedrapeerd over het hoogtemodel van 2005. Voor legenda zie Figuur 3.7.

methode voor vegetatie in 2005 ten opzichte van 2003 verbeterd is. Ook het voorkomen van oppervlakte water in één van beide jaren kan tot fouten leiden, omdat ook dan het werkelijke oppervlak niet goed bepaald kan worden. Tot slot zal er ook hier een daar sprake zijn van echte meetfouten.

Uit de volumebepaling van de verschilkaart blijkt dat het positieve volume net iets groter is dan het negatieve volume. Mogelijk is de correctie van 0.8m iets te fors. Het oppervlak van het studiegebied bedraagt 9.3ha, het totale volumeverschil 165m^3 , hetgeen neer zou komen op een gemiddelde hoogteverandering van 0.0018m per gridcel. Het totale positieve volume bedraagt 12538m^3 over een oppervlak van 4.3ha, gemiddeld een hoogtetoename van 0.29m. Het totale negatieve volume bedraagt 12372m^3 over een oppervlak van 5.0ha, een gemiddelde hoogteafname van 0.25m. De grootste hoogtetoename is 2.67m, de grootste hoogteafname 2.27m.

Uit Figuur 3.7 en Figuur 3.8 blijkt dat het voorkomen van lichte erosie of depositie over grotere oppervlakken plaatsvindt. Sterke erosie treedt vleksgewijs op en is meestal gebonden aan de bovenkant van de op het (zuid)westen gerichte duinhellingen, terwijl sterke erosie zonaal voorkomt, op de lijhellingen van met name de tweede duinenrij en de (plaatselijk begroeide) laagte tussen de duinenrijen.



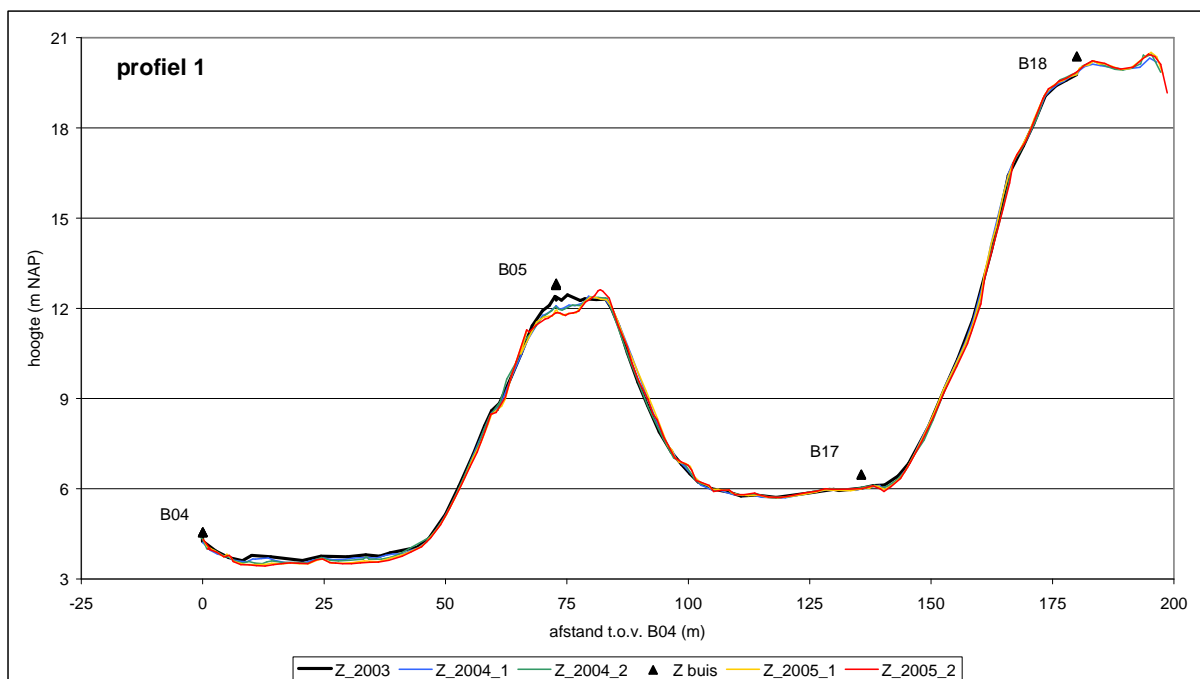
Figuur 3.9. Meetpunten tussen oktober 2003 en oktober 2005. Zwart - oktober 2003; blauw - april 2004; paars - oktober 2004; rood - april 2005; groen - oktober 2005.

De sterke erosie leidt op dit moment tot de vorming van stuifkuilachtige structuren op de loefhellingen. Het is de vraag wat de betekenis hiervan is. Breidt de erosie zich geleidelijk aan uit over de hele helling, en zal in de toekomst bij gelijkblijvende dynamiek de gehele loefhelling erosief worden? Is de erosie op die plaatsen het gevolg van windversnellingen, met andere woorden is de erosiviteit hier verhoogd? Of is de erosie het gevolg van zwakkere plekken in het oppervlak, bijvoorbeeld door ontbreken van wortels of een andere pakking van het zand, met andere woorden is de erodeerbaarheid hier verhoogd? De toepassing van een driedimensionaal stromingsmodel zou hier meer inzicht in kunnen verschaffen. De patronen van sterke depositie zijn zoals verwacht, gebonden aan luwte (lijhellingen) of vegetatie.

3.5 hoogtemetingen

Op 14 en 15 april en 20 en 21 oktober 2005 zijn de hoogtemetingen uitgevoerd. Alle vaste punten zijn ingemeten met een total station. Daarna is het grootste deel van het terrein ingemeten met een total station vanaf twee standplaatsen. Alleen de lijhelling is met GPS opgemeten, omdat vanwege het steile reliëf de achterkant van de parabool niet vanaf de standplaatsen zichtbaar was.

Figuur 3.9 laat zien dat de locationele nauwkeurigheid over het algemeen goed is. De punten van 2005 liggen gemiddeld goed over de eerdere meetpunten. Lokaal zijn er verschillen, waarbij de afwijking in de XY maximaal in de orde van 1m is. De grootste fouten zitten dit jaar in delen van profielen 3 en 10, waar de afwijking tussen de 0.5 en 1.0m ligt. Over het algemeen is de nauwkeurigheid bevredigend, en liggen de meetpunten minder dan 0.5m van de lijn tussen vaste punten. Daarom wordt er vanuit gegaan dat de gemeten hoogteverschillen ook werkelijke hoogteveranderingen weergeven. Voor de GPS-metingen van april 2005 was een correctie nodig, omdat de meetpunten (gecontroleerd aan de hand van de vaste punten) structureel circa 9 cm te hoog lagen.



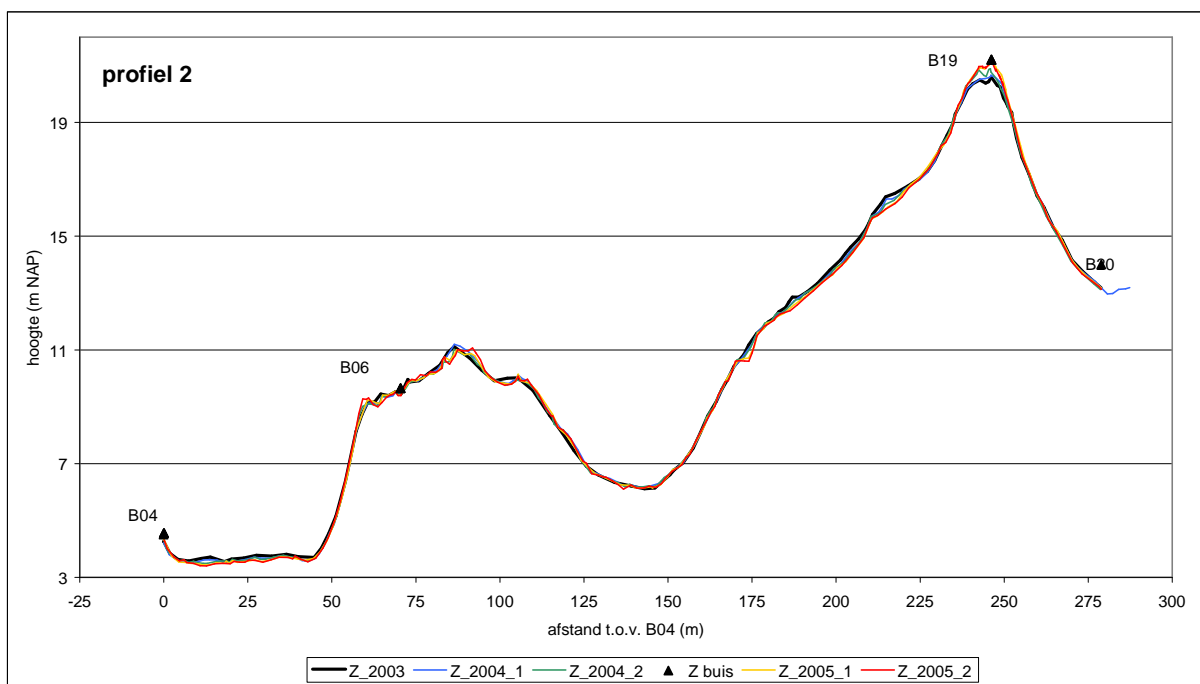
Figuur 3.10. Profiel 1.

profiel 1

Het profiel is geknikt, het knikpunt ligt bij B05. Erosie in de vallei, tussen B04 en B05 zet door. De laagste hoogte is in oktober 2005 3.44m NAP. De kop van de eerste duinenrij is alleen aan de voorkant nog erosief. De hoogte is hier tussen oktober 2004 en april 2005 ca 15 cm afgenomen. Op de achterzijde van de top is vegetatie opgekomen (Helm), waarin tussen april en oktober 2005 20 cm zand is ingevangen. Veranderingen op de lijfhelling, en tussen de eerste en tweede duinenrij zijn gering. De loefhelling van de tweede duinenrij toont verdere erosie, zij het beperkt. De vegetatiebedekking op de loefhelling is sterk toegenomen. De top is hoger geworden, maar ook hier is de verandering beperkt tot enkele cm's. NB de erosieve zone op de kop van de eerste duinenrij blijkt niet uit de dynamiek-kaart (zie hierboven). De vorm is te kleinschalig om gekarteerd te worden. De erosie blijkt wel uit de verschilkaart. Erosie op de loefhelling van de tweede duinenrij is kleiner dan uit de verschilkaart blijkt.

profiel 2

Profiel 2 is geknikt, het knikpunt ligt bij B06. De vallei blijft erosief. Het diepste punt ligt in oktober 2005 op 3.40m NAP. De loefhelling van de eerste duinenrij is stabiel en is inmiddels gedeeltelijk begroeid. De eerste duinenrij was in 2004 flink erosief, maar in 2005 is het patroon wisselend, met erosie en accumulatie. De veranderingen zijn niet erg groot. De vegetatiebedekking is in 2005 op de top en op de lijfhelling toegenomen. Op de lijfhelling en tussen de twee duinenrijen in zijn de hoogteveranderingen beperkt. Op de voorzijde van de tweede duinenrij is plaatselijk sprake van flinke erosie in een stuifkuilachtige ontwikkeling, ook hier te kleinschalig om op de dynamiek-kaart aan te geven. De top is in april 2005 met een tiental cm's toegenomen. Aan de lijzijde is er geringe accumulatie. De hoogteveranderingen komen goed overeen met de verschilkaart.

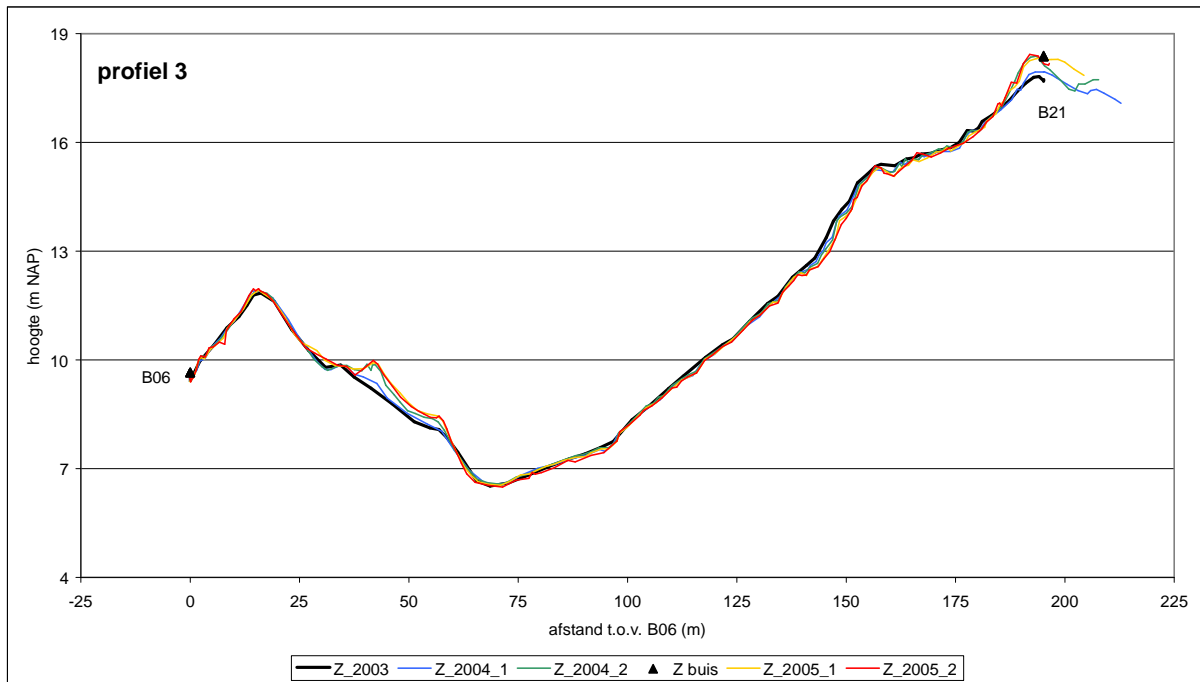


Figuur 3.11. Profiel 2.

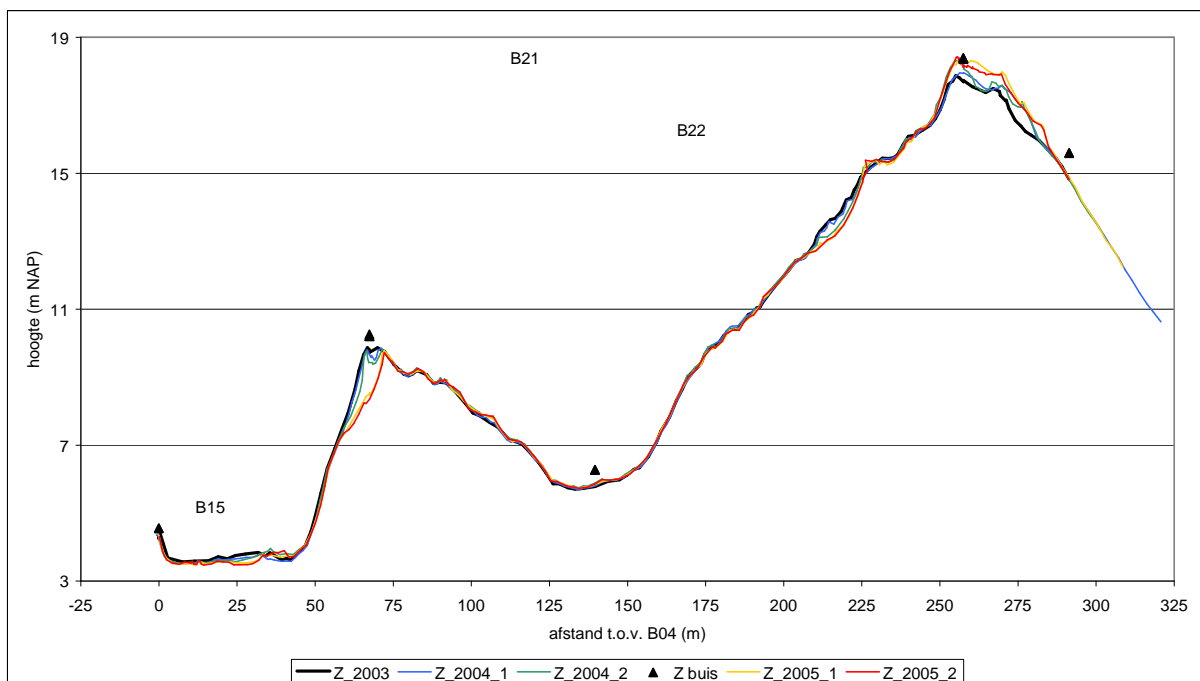
profiel 3

Aan de voorzijde van de eerste duinenrij bevindt zich een kleine, erosieve plek. De sterke depositie achter de eerste duinenrij is ook in april 2005 waargenomen, nu gekoppeld aan helmontwikkeling. In oktober 2005 is de hoogte in deze zone juist weer iets afgenomen.

Tussen de duinenrijen en op de loefhelling van de tweede rij overheerst lichte erosie, maar bovenaan de helling is de erosie structureel en groter. Op de top is vooral sprake van depositie, maar de hoogteveranderingen zijn geringer dan in 2004. De hoogteveranderingen komen goed overeen met de verschilkaart.



Figuur 3.12. Profiel 3.



Figuur 3.13. Profiel 4.

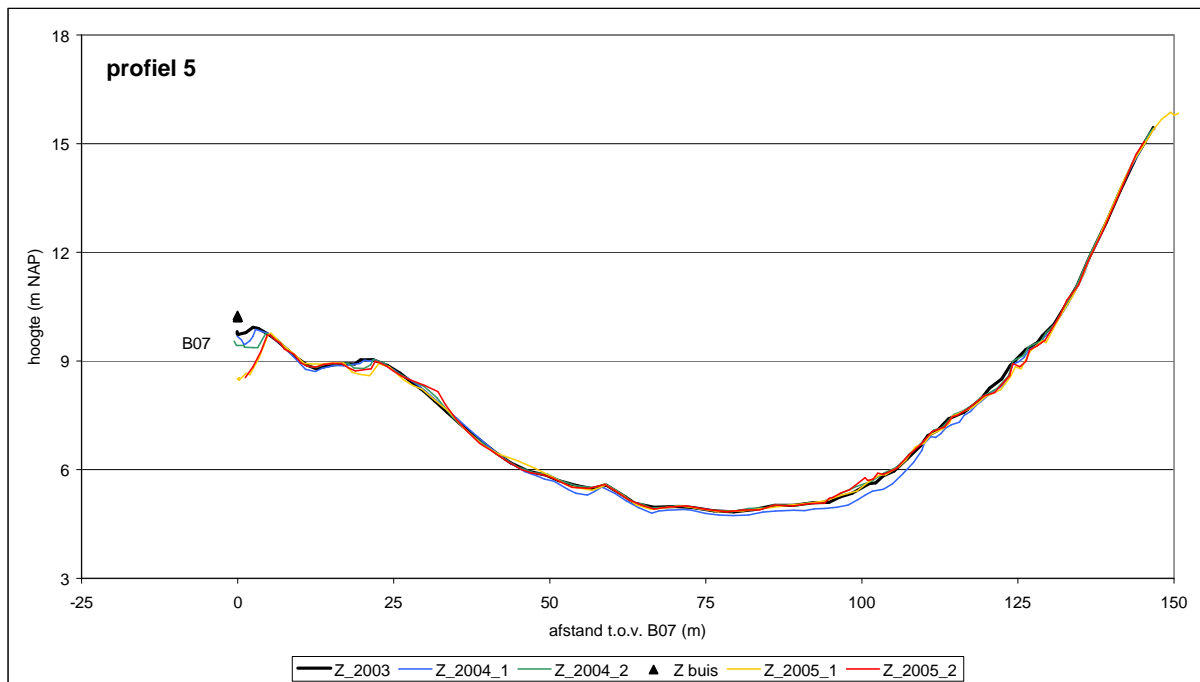
profiel 4

In profiel 4 is het eerste deel van de vallei erosief. Vóór de overgang naar de loefhelling van de eerste duinenrij is er sprake van depositie. De top van de eerste duinenrij is verder

uitgestoven. Er is nu geen duidelijke stuifkuilontwikkeling. Het lijkt er meer op dat de top eraf wordt geblazen. Op de lijzijde van de eerste duinenrij is de accumulatie beperkt. De loefhelling van de tweede duinenrij is vooral rond het middendeel erosief. Op de top is de depositie in de winter van 2004/2005 groot. De onderkant van de lijhelling is stabiel. De hoogteveranderingen komen goed overeen met de verschilkaart.

profiel 5

De erosie op de eerste duinenrij is van het zelfde stuifgat als in profiel 4. Het stuifgat achter de top is in april 2005 verder geërodeerd, maar in oktober weer gedeeltelijk opgevuld. Aan de achterzijde is in oktober 2005 sprake van enige depositie. Ook aan de voorzijde van de tweede duinenrij is lokaal sprake van depositie, hoger op de helling van lichte erosie. De hoogteveranderingen komen goed overeen met de verschilkaart.



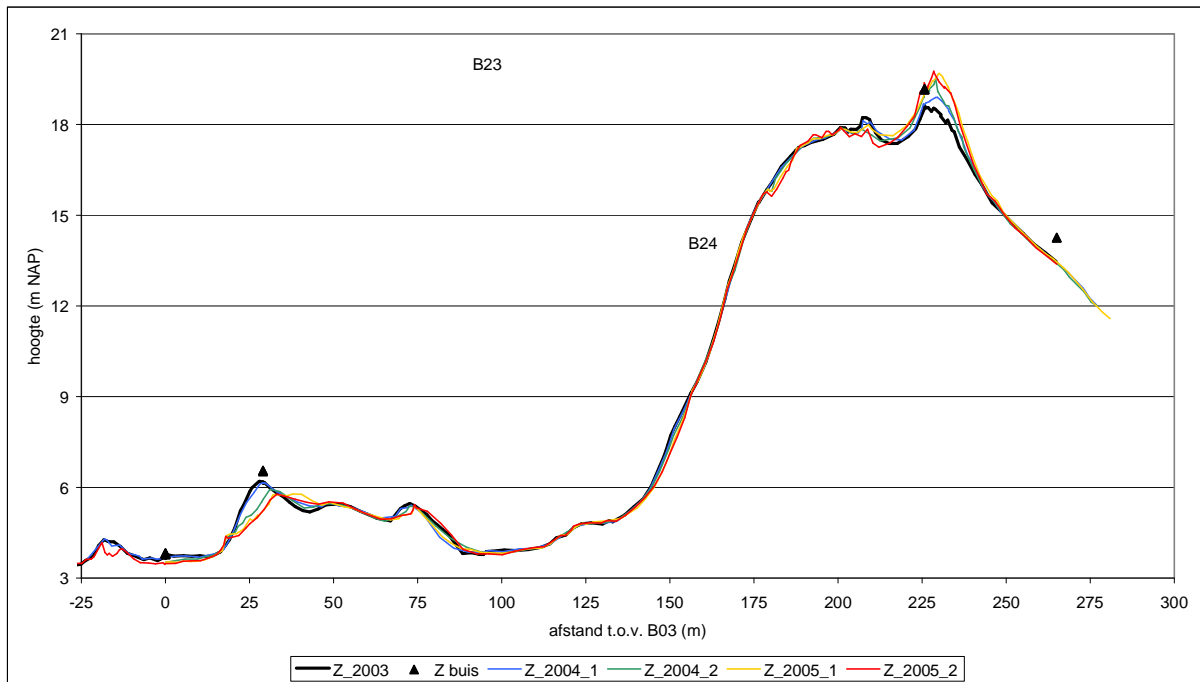
Figuur 3.14. Profiel 5.

profiel 6

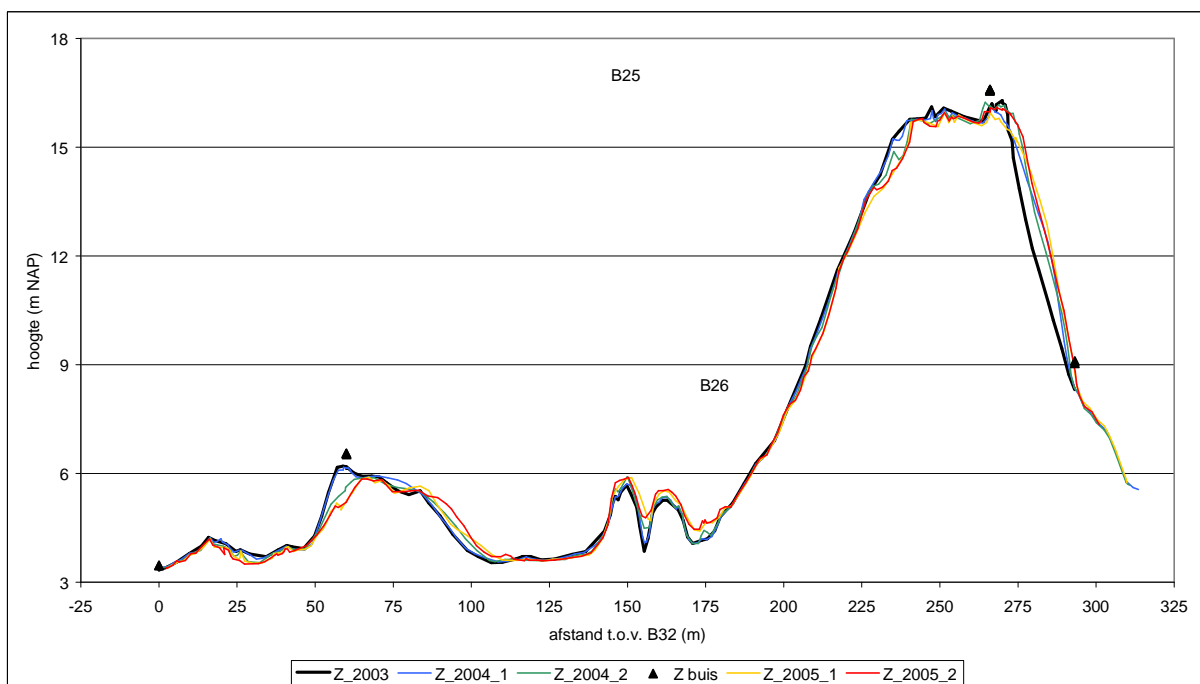
In de vallei voor de eerste duinenrij erodeert het kleine duintje. Ook de vallei gaat omlaag. De voorzijde van de eerste duinenrij erodeert vooral in de winter van 2004/2005. Daarna zijn de veranderingen beperkt. Ook het topje daarachter erodeert, en aan de lijzijde hiervan is sprake van depositie. Het overall beeld is dat van een migrerende duinenrij. Op de loefhelling van de tweede duinenrij is onder en bovenaan sprake van erosie. Op de top is de voorkant erosief. De erosie vindt plaats over een uitgestrekte zone, die ook in de dynamiek-kaart is weergegeven. Achter deze zone ontstaat een steile, nieuwe top met een forse toename na de winter van 2004/2005, en een geringe afname daarna, mogelijk door compactie van het zand. De gemeten hoogteverschillen komen redelijk goed overeen met de verschilkaart.

profiel 7

Profiel 7 loopt door de as van de parabool en is één van de meest spectaculaire profielen. De veranderingen zijn groot. De voorzijde van de eerste duinenrij is bijna geheel 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



Figuur 3.15. Profiel 6.



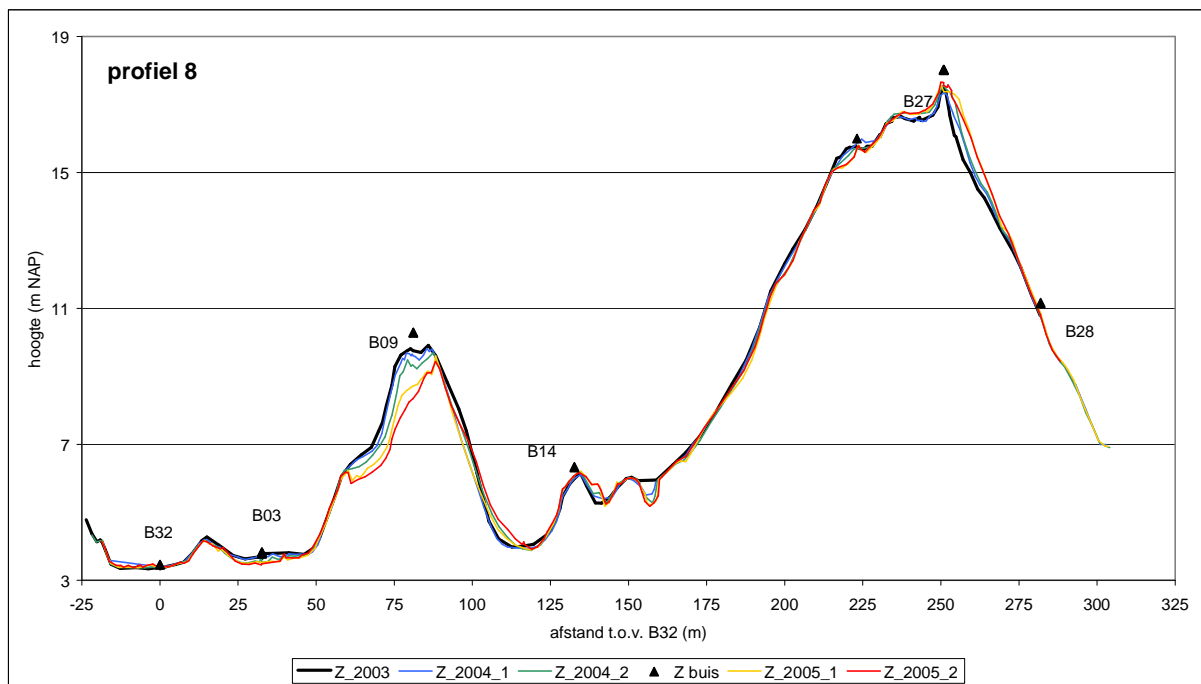
Figuur 3.16. Profiel 7.

driedimensionale stroming door het "gat" in de eerste duinenrij waar profiel 7 doorheen loopt. De grootste erosie is weer van de winter 2004/2005. In oktober is er vooral sprake van depositie aan de achterzijde. De kleine duintjes in het midden vangen, dankzij de vegetatie die hier niet verwijderd is, zand in. De hoogte is nu van een vergelijkbare orde als die van de eerste duinenrij. De beperkte zone tussen deze duinen en de loefhelling van de tweede duinenrij raakt opgevuld. De loefhelling is over een groot deel erosief. Depositie op de top is beperkt, maar achter de top fors. Dit hangt samen met het

ontbreken van vegetatie, waarschijnlijk door een extreme dynamiek. Door het ontbreken van vegetatie groeit de top hier niet de hoogte in. Ook aan de achterzijde is waarschijnlijk sprake van nazakken van zand, gezien de hoogteafname tussen april en oktober 2005 op de plaats met de dikste depositie. De gemeten hoogteverschillen komen goed overeen met de verschilkaart.

profiel 8

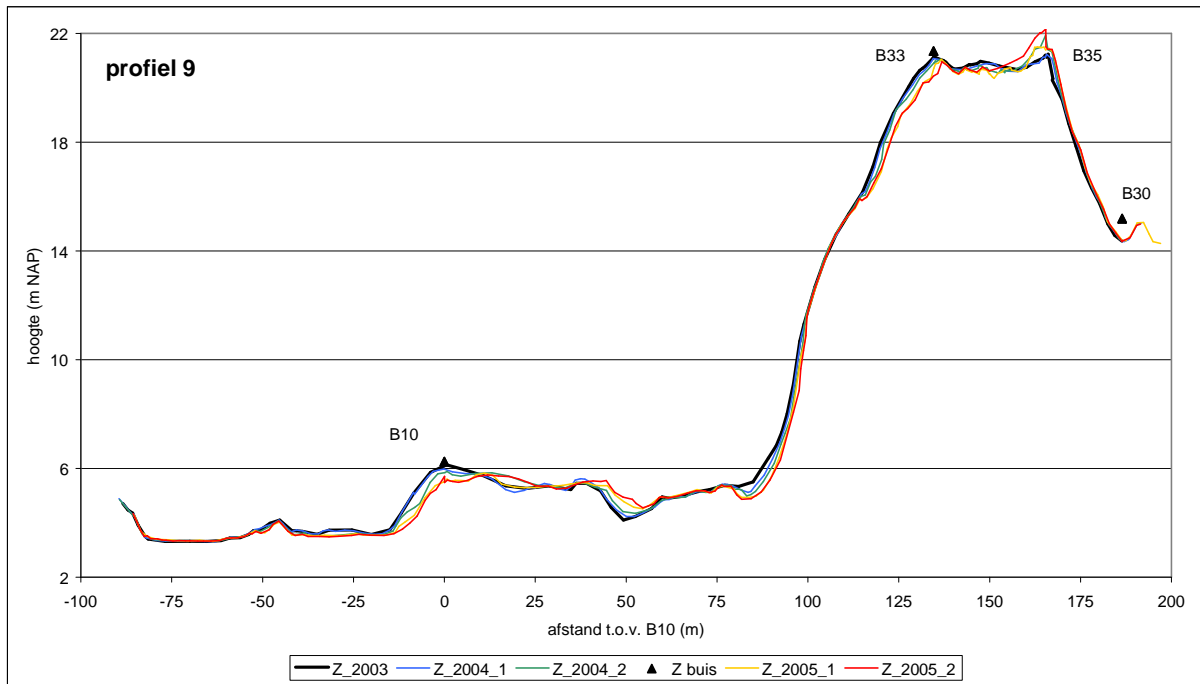
Het eerste deel van de vallei laat een lichte hoogtetoename zien, het tweede deel een afname, met uitzondering van een klein embryonaal duin dat is ontstaan voor de eerste duinenrij. De kop van de eerste duinenrij is zeer erosief, met een continue erosie. Plaatselijk is al 1.3m zand verdwenen. Aan de lijzijde vindt alleen op de onderkant sedimentatie plaats, daarboven juist nog enige erosie. Op de kleine duintjes 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 is zeer steil, met enige erosie, vooral na de winter 2004/2005. Ook de bovenkant van de helling erodeert. De top is redelijk stabiel. Achter de top is de overstuiving na de winter 2004/2005 fors, met een hoogtetoename van ruim 1.5m. De gemeten erosie komt goed overeen met de verschilkaart, de depositie op de verschilkaart tussen de eerste en tweede duinenrij lijkt enigszins overschat.



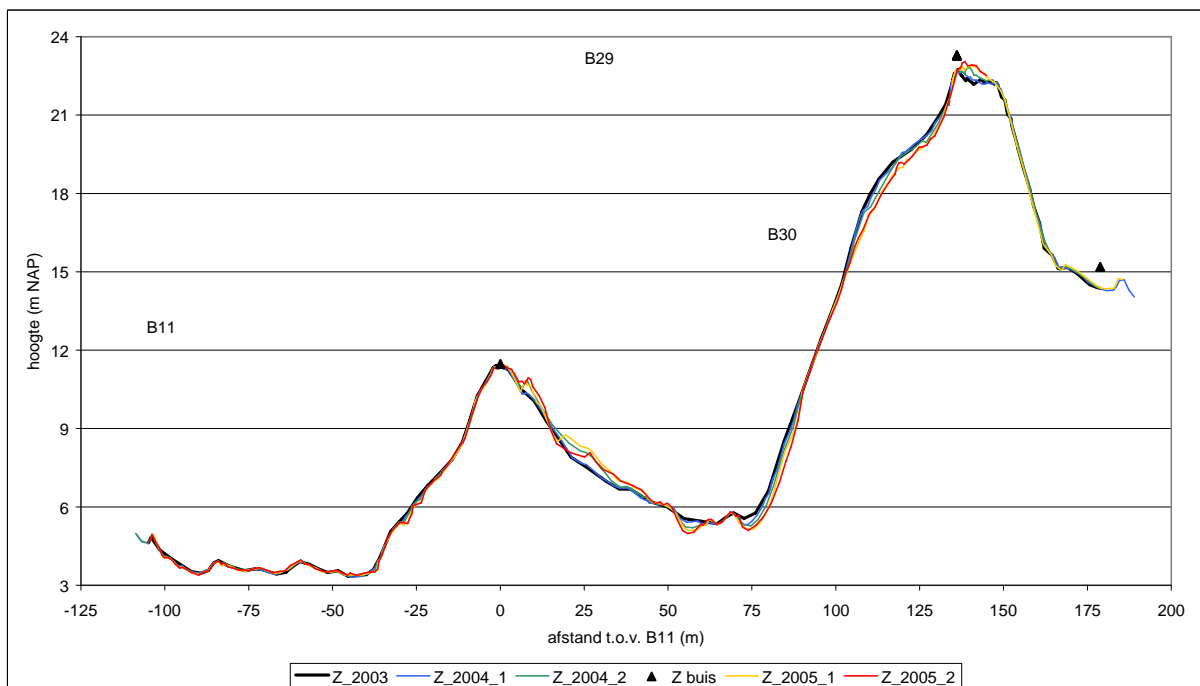
Figuur 3.17. Profiel 8.

profiel 9

Dit profiel doorkruist 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 wordt zand afgezet. De loefhelling van de tweede duinenrij is zeer erosief, alleen het tussenstuk is stabiel. 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 overstuiving aan de achterzijde is beperkt. De gemeten hoogteverschillen komen goed overeen met de verschil-kaart.



Figuur 3.18. Profiel 9.



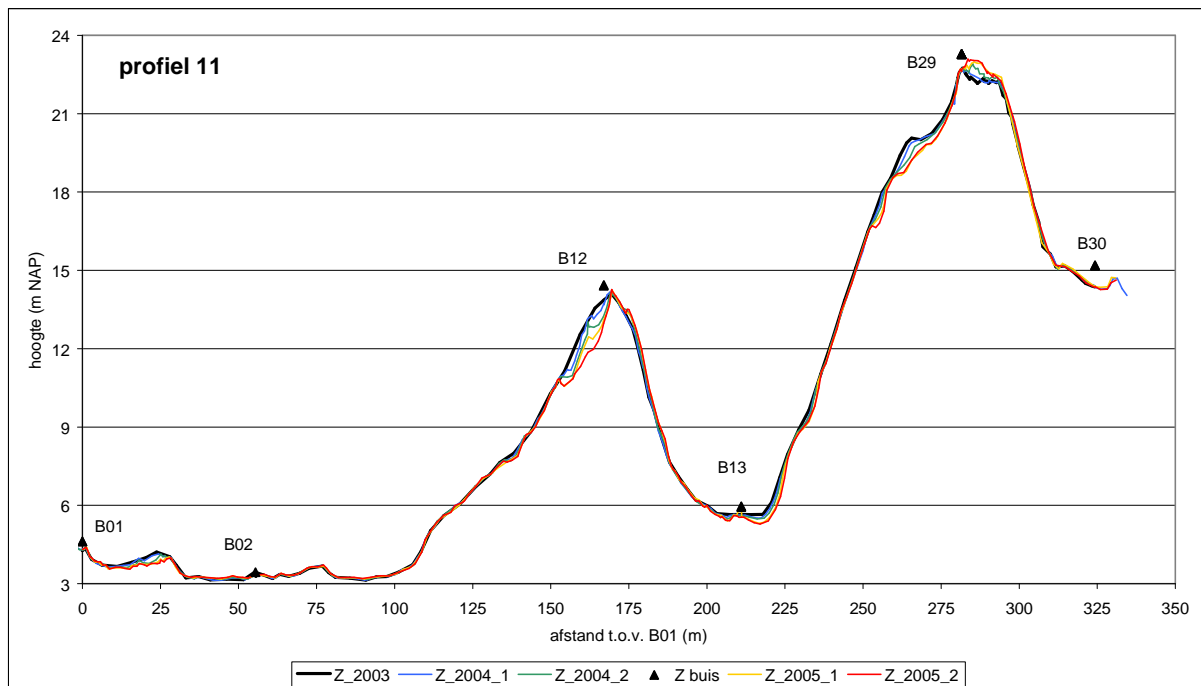
Figuur 3.19. Profiel 10.

profiel 10

Aan de voorzijde van de eerste duinenrij gebeurt weinig, met uitzondering van een kleine erosieve plek op de helling. Aan de achterzijde vindt sterke depositie plaats, die in oktober 2005 voor een deel is overgegaan in erosie. De laagten tussen de eerste en tweede duinenrij diepen verder uit. De erosie op de loefhelling van de tweede duinenrij is vergelijkbaar met die van profiel 9. Op de top is er een flinke overstuiving in een beperkte zone. De achterkant is stabiel. Dit deel van het profiel is hetzelfde als bij profiel 11. De gemeten hoogteverschillen komen redelijk overeen met de verschilkaart.

profiel 11

De lage duintjes aan het begin van de vallei eroderen. In de vallei zelf gebeurt vrijwel niets. Ook de loefhelling van de eerste duinenrij is stabiel, met uitzondering van het bovenste deel. Dat is juist sterk erosief, met stuifkuilontwikkeling, die ook op de dynamiek-kaart is aangegeven. Van dit zand komt maar weinig aan de achterzijde terecht, de depositie is hier zeer beperkt. In de laagte tussen de eerste en tweede duinenrij is het oppervlak erosief. De loefhelling van de tweede duinenrij erodeert vooral aan de bovenkant. De ophoging op de top is vergelijkbaar met die in profiel 10. Het achterste deel van het profiel is hetzelfde als voor profiel 10. De gemeten hoogteverschillen komen goed overeen met de verschilkaart.



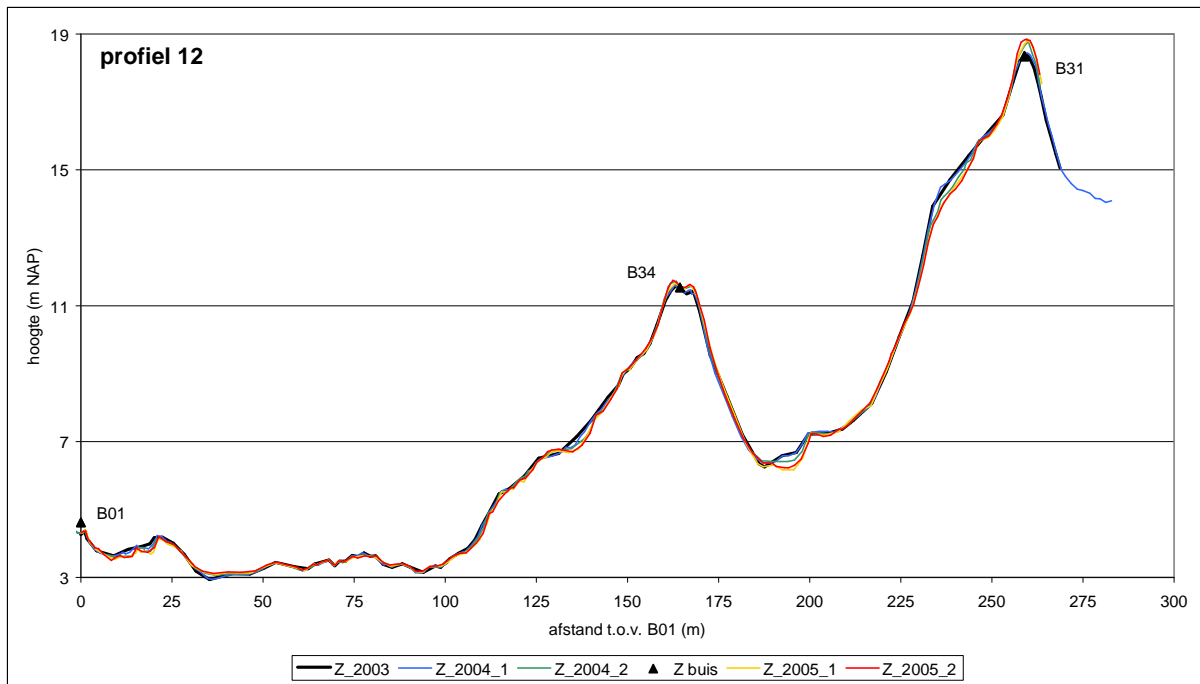
Figuur 3.20. Profiel 11.

profiel 12

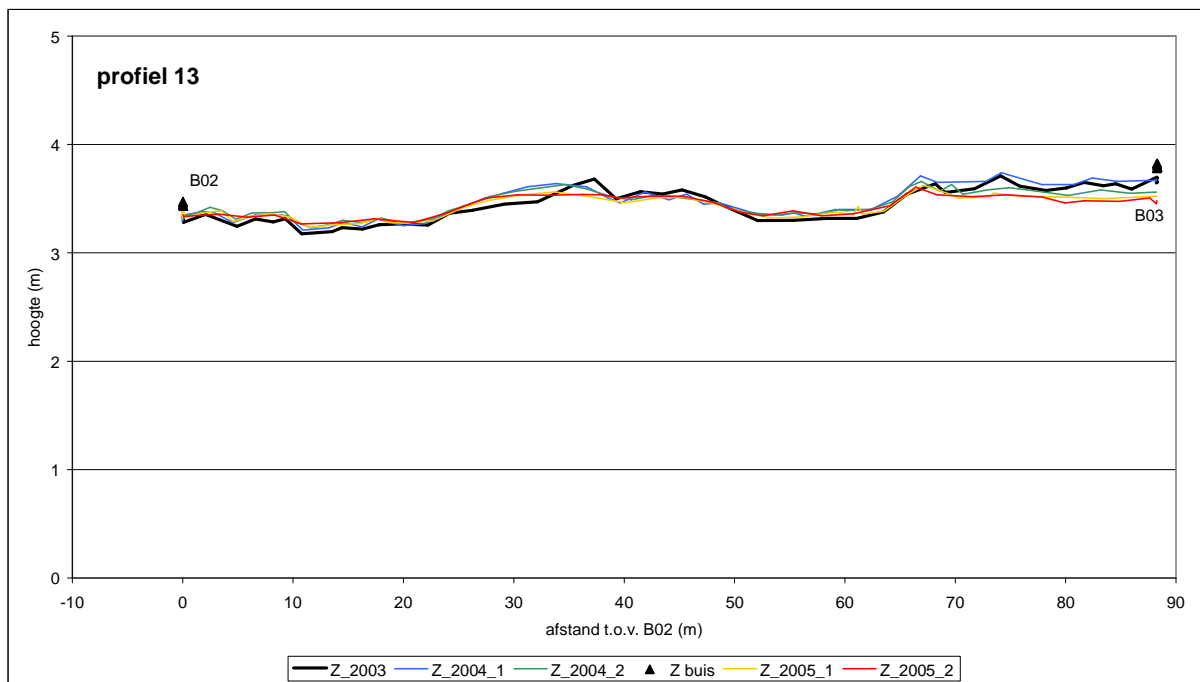
De erosie van duintjes aan het begin van de vallei is hetzelfde als in profiel 11. Het laagste punt van de vallei is iets opgehoogd, waarschijnlijk onder invloed van de begroeiing die hier inmiddels is opgekomen. Op de loefhelling van de eerste duinenrij zijn de veranderingen beperkt. Meest opvallend is een erosieve plek midden op de helling. Ook de top van de eerste duinenrij is redelijk stabiel, net als aan het noordelijke uiteinde van de parabool. De laagte tussen de eerste en tweede duinenrij is erosief. De loefhelling van de tweede duinenrij is vooral bovenaan erosief. Op het topje vindt depositie plaats over een smal traject. Het topje wordt daardoor spits. De hoogte aan de lijzijde is dit jaar niet gemeten. De hoogteverschillen komen goed overeen met de verschilkaart.

profiel 13

Profiel 13 kantelt enigszins, dat wil zeggen het zuidelijk deel (links in de grafiek) is verhoogd, het noordelijk deel verlaagd. Het oppervlak ligt nog ruim boven de erosiebasis, die op iets lager dan 3m NAP wordt geschat (zie profiel 12). De hoogteverschillen komen goed overeen met de verschilkaart.



Figuur 3.21. Profiel 12.



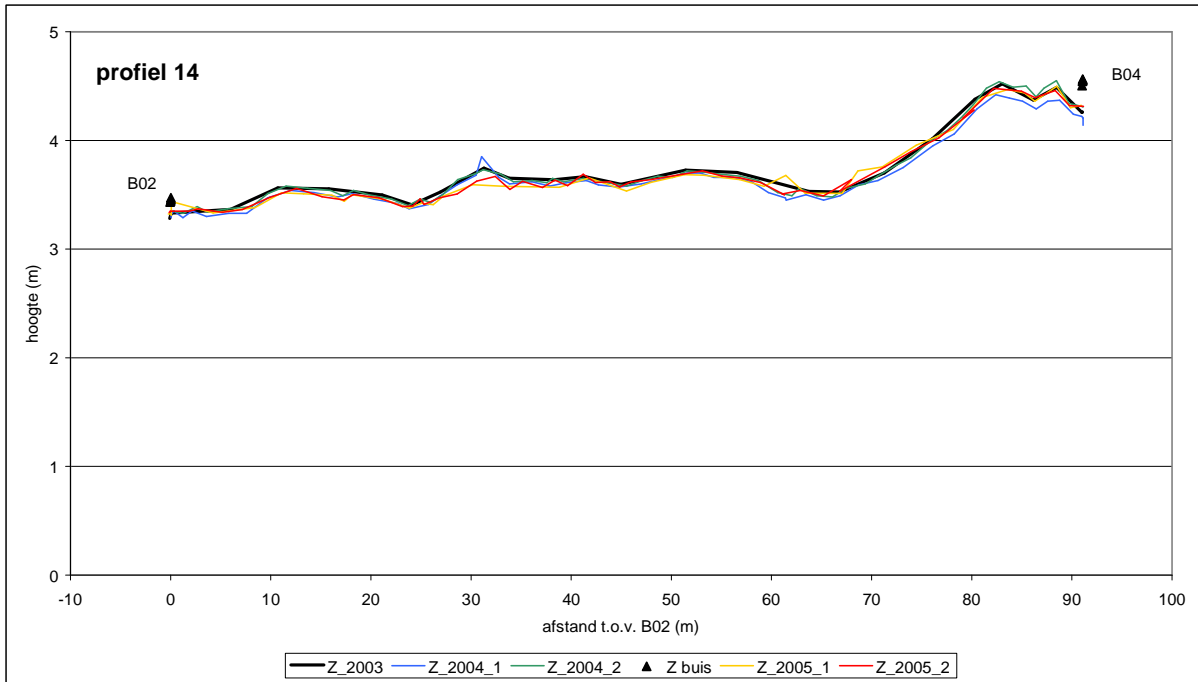
Figuur 3.22. Profiel 13.

profiel 14

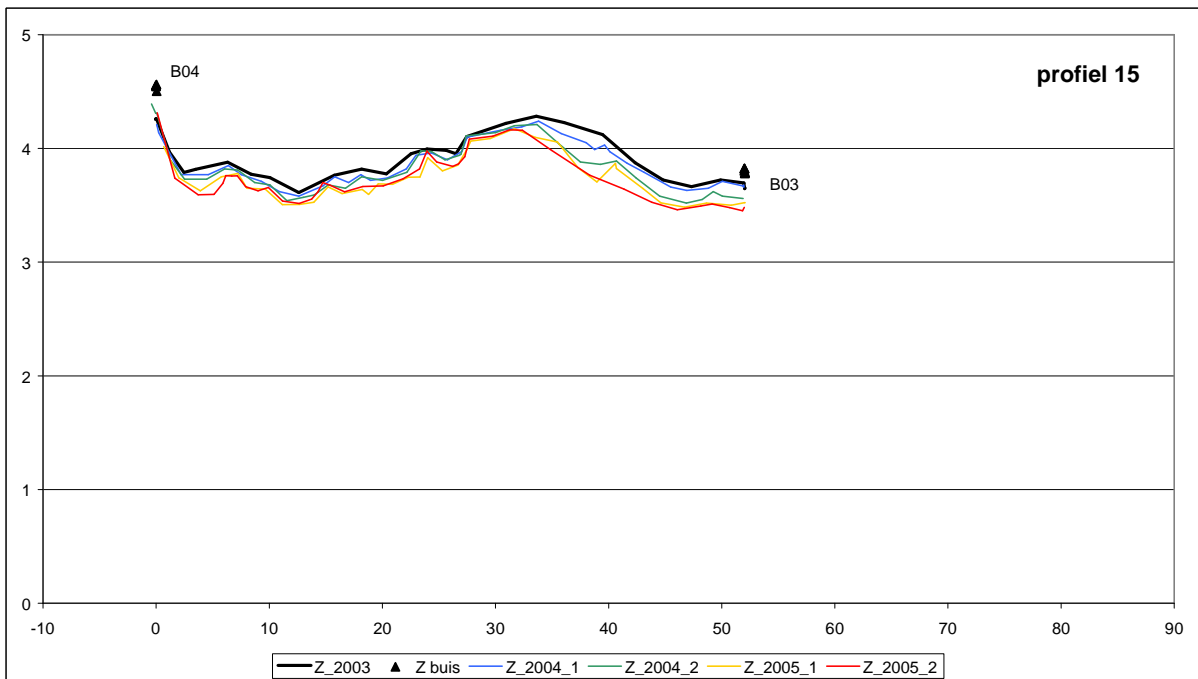
De veranderingen in profiel 14 zijn niet noemenswaardig, en beperkt tot het zuidelijk deel (links in de grafiek). De hoogteverschillen komen redelijk overeen met de verschilkaart.

profiel 15

Profiel 15 is in 2005 grotendeels verlaagd, maar er zijn twee plekken waar nieuwe duinvorming optreedt. Het laagste deel in het profiel ligt nog ruim een halve meter boven de erosiebasis. De hoogteverschillen komen redelijk overeen met de verschilkaart.



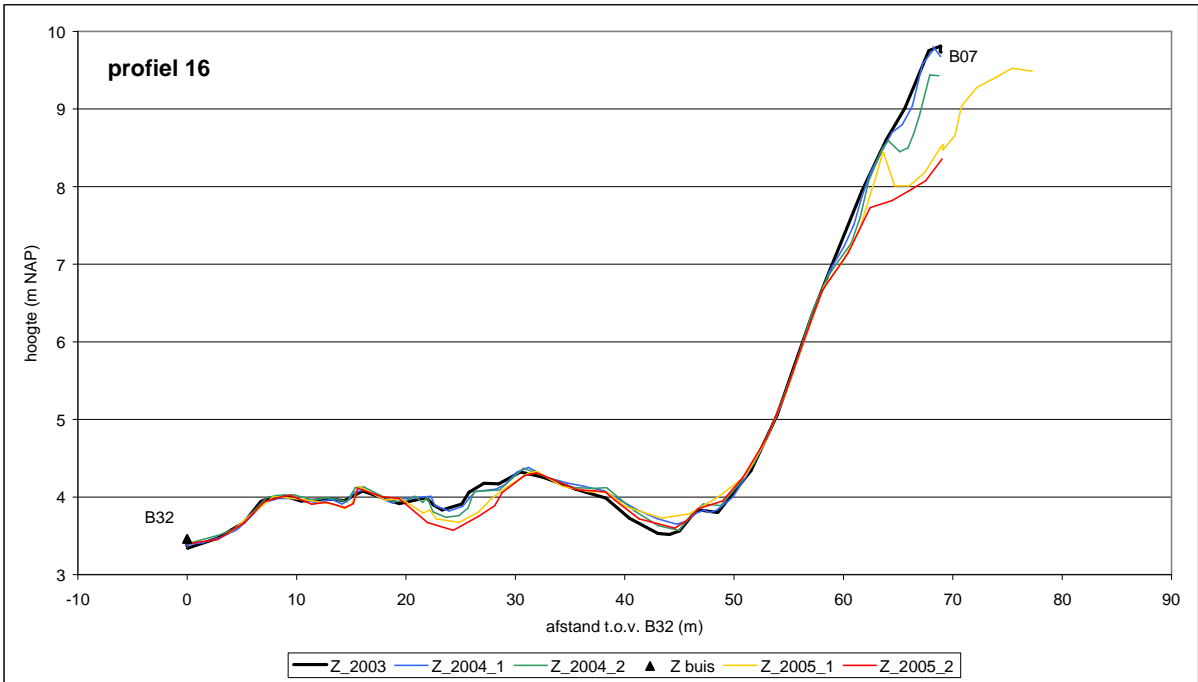
Figuur 3.23. Profiel 14.



Figuur 3.24. Profiel 15.

profiel 16

In profiel 16 vindt in het middendeel van de lage duintjes in de vallei enige erosie plaats. Er lijkt hier een nieuw stukje vallei te ontstaan. Aan de bovenkant van het profiel overheerst sterke erosie. Dit is erosie in de zelfde zone als bij profiel 4 en 5. De hoogteverschillen komen goed overeen met de verschilkaart.



Figuur 3.25. Profiel 16.

4 CONCLUSIES

Met behulp van de luchtfoto's van 2005 is een tweede kartering gemaakt van de dynamiek in het gebied. Het actieve oppervlak is sinds 2003 toegenomen van 7.3 tot 8.3ha. Op een groot deel daarvan, 3.9ha, is vegetatie opgekomen. Op 2.8ha begint dit tot stabilisatie te leiden. Desondanks is het oppervlak dat werkelijk gestabiliseerd is iets afgenomen door een daling van de grondwaterstand, waardoor de bron voor zandtransport is vergroot. Het opkomen van vegetatie gaat veel sneller dan in het Verlaten Veld, grotendeels het gevolg van helmwortels die na de reactivatie zijn achtergebleven. Bij doorzetten van deze vegetatieontwikkeling is de verwachting dat het gestabiliseerde oppervlak zich in 2006 snel zal kunnen uitbreiden. De overstuivingszone buiten de omgrenzing van het gereactiveerde gebied is verdubbeld, van 0.6 tot 1.2ha. Deze omvang is vergelijkbaar met de geschatte omvang van 2004.

Behalve luchtfoto's van 2003 en 2005 zijn ook driedimensionale hoogtemodellen van 2003 en 2005 beschikbaar. De nauwkeurigheid hiervan is met behulp van veldmetingen getest. Op grond hiervan zijn hoogtecorrecties toegepast. Voor de metingen van 2003 was een forse correctie, orde 0.8m nodig. Voor de metingen van 2005 was geen correctie nodig. Na toepassing van correctie was het mogelijk een gedetailleerde kaart met hoogteverschillen, op een grid van 1X1m² af te leiden. Deze hoogteverschilkaart geeft een goed inzicht in de ruimtelijke verdeling van erosie en sedimentatie. Globaal is het gebied in vier zones op te delen: de vallei aan de westkant, de eerste duinenrij met forse erosie (>-2m) op de top, en vaak forse depositie erachter, de middenzone waar depositie overheerst, maar waar lokaal ook erosie plaatsvindt, en de grote paraboolkam met forse erosie op de loefhelling, en geconcentreerde, soms forse depositie (>2m) op de kam en de lijhelling. Opvallend is dat de erosie op de eerste duinenrij groter is dan die op de tweede. Dit kan verklaard worden uit het feit dat 1) de tweede duinenrij gedeeltelijk in de luwte van de eerste rij ligt, waardoor de windsnelheid hier lager is dan op de helling van de eerste rij, en 2) op de tweede duinenrij de wind al een lading zand met zich mee draagt, waardoor het zandtransporterende vermogen kleiner is dan ten opzichte van de eerste duinenrij. Op de hellingen is sprake van een grote variatie in erosie; de sterkste erosie treedt vleksgewijs op, waardoor kleinschaligere erosievormen zijn ontstaan. De maximale erosie in het gebied bedraagt tussen 2003 en 2005 2.27m, de maximale depositie 2.67m.

De hoogtemetingen met tachymeter en GPS zijn over het algemeen nauwkeurig en geven een goed beeld van de veranderingen binnen de profielen, die aansluit bij het hierboven geschetste algemene beeld, maar bovendien extra detailinformatie biedt. Bovendien blijken de metingen onmisbaar voor het valideren van de laseraltimetriegegevens. Voor de meeste profielen geldt dat de in 2004 gesignaleerde ontwikkeling in 2005 heeft doorgezet.

De ontwikkeling in het gebied is vergelijkbaar aan het algemene beeld van 2004. De eerste duinenrij is sterk erosief, en beweegt met de wind mee, waarbij de top verlaagt. De tweede duinenrij is vooral op de helling erosief, de top en achterzijde vangen zand in, waardoor de top in hoogte toeneemt. De niet afgeplagde duintjes tussen eerste en tweede duinenrij worden sterk overstoven, maar niet zodanig dat de vegetatie geheel begraven is. Aan de zuidkant van de eerste duinenrij is de lijhelling ook niet afgeplagd. Hier was de vegetatie in 2004 totaal begraven, maar is deze nu weer door het bedekkende zand heen gegroeid. Op de lijhelling van de tweede duinenrij is de depositie plaatselijk zo sterk dat de helling kaal blijft.

De combinatie van gedetailleerde profielmetingen en gebiedsdekkende informatie in de vorm van luchtfotobeelden en laseraltimetrie bieden de mogelijkheid voor een goede, gedetailleerde en nauwkeurige monitoring. De gegevens vullen elkaar aan en hebben ieder

een specifieke toepassing. De luchtfoto's geven essentiële informatie over oppervlakte veranderingen, de profielen geven gedetailleerd inzicht in morfologische veranderingen en ontwikkelingssnelheden, en maken het bovendien mogelijk de laseraltimetriegegevens te ijken. Deze laatste maken het mogelijk morfologische veranderingen in 3D te bestuderen, en de veranderingen ruimtelijk, en in relatie tot morfologie en vegetatiebedekking te analyseren.

5 AANBEVELINGEN

De nu gehanteerde methode van halfjaarlijkse veldmetingen gecombineerd met luchtfoto's en laseraltimetrie om de twee jaar maakt het mogelijk de ontwikkeling van het gebied goed en nauwkeurig te monitoren. Idealiter zouden luchtfoto's jaarlijks gemaakt worden, en wanneer voldoende budget beschikbaar is, wordt er voor gepleit dit ook te doen. Bij jaarlijkse opname wordt de trend in ontwikkeling duidelijker zichtbaar en is de ruis door jaar-tot-jaar variatie beperkter dan bij tweejaarlijkse opname. Bovendien is de koppeling met de jaarlijkse meteorologische omstandigheden beter te maken.

De beschikbare 3D-data en verschilkaarten bieden mogelijkheden voor verdere ruimtelijke analyse van erosie, sedimentatie en geomorfologische ontwikkeling. Belangrijk voordeel is dat een veel directere vergelijking tussen de ontwikkeling van verschillende gebieden, in relatie tot verschillende configuraties mogelijk is. Vergelijkbare data zijn voor het Verlaten Veld en voor het van Limburg Stirum gebied in de Amsterdamse Waterleidingduinen, en in mindere mate voor het Huttenvlak in Duin & Kruidberg beschikbaar. Deze gebieden zijn allen zeer verschillend in schaal en onderliggend reliëf, en een grondige bestudering van deze verschillen kan het inzicht in duurzaamheid van verstuivingen aanzienlijk vergroten.

Mitasova *et al.* (2005) beschrijven aan de hand van toepassing op een kustduingebied in de North Carolina (Verenigde Staten) een aantal analysemogelijkheden en presentatietechnieken door gebruik te maken van een open source GIS (GRASS). Het zou de moeite waard zijn deze analyses ook op de data van de Bruid (en Verlaten Veld) los te laten.

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., 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, 2005. www.knmi.nl.
- Mitasova, H., T.G. Drake, D. Bernstein & R.S. Harmon, 2004. Quantifying rapid changes in coastal topography using modern mapping techniques and GIS. *Environmental and Engineering Geoscience*, 10, 1-11.
- Mitsatova, H., M. Overton & R.S. Harmon, 2005. Geospatial analysis of a coastal sand dune field evolution: Jockey's Ridge, North Carolina. *Geomorphology*, 72, 204-221.
- Mowling, F., & R. Coleman, 2003. Temporal-spatial analysis of dune morphology. In: Woodroffe, C.D. & R.A. Furness (eds) *Coastal GIS 2003; an integrated approach to Australian coastal issues*. Wollongong Papers on Maritime Policy, No. 14, University of Wollongong, 243-255.
- Woolard, J.W. & J.D. Colby, 2002. Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*, 48, 269-287.

LIJST MET FIGUREN

- Figuur 2.1. Ligging en nummering van de profielen. De rode stippen geven de vaste punten weer. Achtergrond: luchtfoto 2005
- Figuur 2.2. Luchtfoto-opname van mei 2005 (links) en september 2005 (rechts)
- Figuur 2.3. Driedimensionaal beeld van de Bruid van Haarlem, gezien vanuit zuidzuidwest. Opname 22 september 2005.
- Figuur 3.1. Sterke depositie op de kam (links) en erosie op de loefhelling (rechts).
- Figuur 3.2. Lokale erosie (links) en overstuiving (rechts).
- Figuur 3.3. Centrale deel met blik over de tweede duinenrij.
- Figuur 3.4. Kartering van dynamiek in 2005. De rode lijn geeft de uitbreiding van de overstuivingszone in 2003 weer.
- Figuur 3.5. Oppervlakten van kaarteenheden voor 2003 en 2005
- Figuur 3.6. Vergelijking van profielen gemeten met laser-altimetrie (gestippelde lijnen) en met veldmetingen (getrokken lijnen).
- Figuur 3.7. Hoogteverschillen tussen 2003 en 2005.
- Figuur 3.8. Hoogteverschillen 2003-2005 gedrapeerd over het hoogtemodel van 2005. Voor legenda zie Figuur 3.7.
- Figuur 3.9. Meetpunten tussen oktober 2003 en oktober 2005. Zwart - oktober 2003; blauw - april 2004; paars - oktober 2004; rood - april 2005; groen - oktober 2005.
- Figuur 3.10. Profiel 1.
- Figuur 3.11. Profiel 2.
- Figuur 3.12. Profiel 3.
- Figuur 3.13. Profiel 4.
- Figuur 3.14. Profiel 5.
- Figuur 3.15. Profiel 6.
- Figuur 3.16. Profiel 7.
- Figuur 3.17. Profiel 8.
- Figuur 3.18. Profiel 9.
- Figuur 3.19. Profiel 10.
- Figuur 3.20. Profiel 11.
- Figuur 3.21. Profiel 12.
- Figuur 3.22. Profiel 13.
- Figuur 3.23. Profiel 14.
- Figuur 3.24. Profiel 15.
- Figuur 3.25. Profiel 16.

LIJST MET TABELLEN

- Tabel 4.1. Jaarlijkse neerslag en relatief zandtransport voor de Kooy (bron KNMI)