

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■
Nederlands Instituut voor
Toegepaste Geowetenschappen TNO

**Berekening opbrengst betonzand en
ophoogzand in twee potentiële win-
zones in IJsselmeer en Markermeer**



P 979-67



NITG 00-31-C

979-67



TNO-rapport
NITG 00-31-C

Berekening opbrengst betonzand en ophoog- zand in twee potentiële winzones in IJsselmeer en Markermeer

Datum

Januari 2000

Auteur(s)

J.G. Veldkamp
C.W. Dubelaar

Schoemakerstraat 97
Postbus 6012
2600 JA Delft

Telefoon 015 269 69 00
Fax 015 256 48 00

Projectnummer

005 40219

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat,
Directie IJsselmeergebied

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor
onderzoeksopdrachten aan TNO', dan
wel de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
is gevestigd in Delft en Utrecht en heeft nevenvestigingen in
Heerlen, Nuenen en Zwolle.

Het instituut is het centrale geowetenschappelijke informatie-
en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het
duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de
ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.



Samenvatting

NITG TNO heeft onderzoek verricht naar de vraag of het mogelijk is betonzand te winnen in een tweetal potentiële winzones in het IJsselmeergebied, één in het IJsselmeer en één in het Markermeer (Figuur 1). Uitgangspunt voor deze studie was een opbrengst van gemiddeld 1.25 miljoen m³ betonzand per jaar over een periode van 25 jaar. Randvoorwaarde was dat de hoeveelheid betonzand minimaal 10% van de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand moet bedragen bij winning tot 30 meter beneden NAP, en 5% bij winning tot 55 meter beneden NAP.

Aan de hand van boorgegevens is een 3D-lagenmodel geconstrueerd voor beide gebieden. Aan de onderscheiden formaties is een gemiddelde van alle in de formatie gemeten korrelgrootteverdelingen toegekend. Hieruit zijn opbrengsten voor betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 berekend.

Zowel in de noordelijke winzone (in het IJsselmeer) als zuidelijke winzone (in het Markermeer) kan aan genoemde uitgangspunten en de randvoorwaarden worden voldaan. De grootte van het ontgronde gebieden in de zuidelijke winzone voor een periode van 10 jaar zijn voor betonzand 0-4 1.8 km² (winningsdiepte 30-55 meter onder NAP) en 2.4 km² (0-30 meter). Voor een winning van 25 jaar is dit 5.0 (30-55) en 6.3 km² (0-30). Voor het noordelijk gebied zijn de ontgronde oppervlakten 1.3 en 2.4, respectievelijk 3.2 en 6.6 km². Wanneer de niet vermarktbaar formaties (Westland Formatie en, in het noordelijk gebied, Eem Formatie) buiten beschouwing worden gelaten is de hoeveelheid betonzand 0-4 als percentage van de hoeveelheid ophoogzand in de rijkste laag 33% (25 jaar) en 37% (10 jaar). In het noordelijk wingebied is dit 63% (25 jaar) en 66% (10 jaar).

Ook is gekeken naar de mogelijkheden voor winning van betonzand 0-4 langs een denkbeeldig tracé van een vaargeul in het zuidelijk wingebied. De rijkste laag in dit tracé van 4.5 kilometer ligt tussen de 16 en 31 meter onder NAP. De opbrengst betonzand 0-4 bij een veronderstelde opleveringsdiepte van 10 meter beneden NAP is ongeveer 2.3 miljoen m³ (34% van de totale zandopbrengst in het tracé).

Gegeven de geringe hoeveelheid beschikbare boringen en korrelverdelingen, en de onzekerheden in de rekenmethode moeten de genoemde percentages en oppervlaktes met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden.



Figuur 1 *Lokaties winzones, korrelverdelingen (stip) en mogelijke vaargeul in IJsselmeer en Markermeer.*

Inhoud

Samenvatting	i
Lijst van figuren	iv
Lijst van tabellen	v
1 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Activiteiten.....	2
2 Methodiek	3
2.1 Constructie 3D-lagenmodel	3
2.2 Dikte- en opbrengstberekening	3
3 Gegevens en resultaten.....	6
3.1 Gebruikte korrelverdelingen en normen	6
3.2 Zuidelijk wingebied	8
3.2.1 Lagenmodel	8
3.2.2 Korrelgrootteverdelingen	11
3.2.3 Opbrengsten en ontgronding.....	12
3.3 Noordelijk wingebied	14
3.3.1 Lagenmodel	14
3.3.2 Korrelgrootteverdelingen	17
3.3.3 Opbrengsten en ontgronding.....	18
4 Opbrengstberekening vaargeul.....	20
4.1 Vaargeul.....	20
4.2 Opbrengst.....	21
5 Conclusies en discussie	24
5.1 Opbrengst zuidelijk wingebied	24
5.2 Opbrengst noordelijk wingebied.....	24
5.3 Opbrengst vaargeul	25
5.4 Onzekerheden	25
6 Literatuur.....	30
Bijlagen	
A Lokatie van boringen, korrelgrootteverdelingen en profiellijnen in het zuidelijk wingebied	

- B Lokatie van boringen, korrelgrootteverdelingen en
profiellijnen in het noordelijk wingebied
- C Vertikale doorsnede door zuidelijk wingebied
- D Vertikale doorsnede door noordelijk wingebied
- E Opbrengst winzone Zuid (0-30 meter)
- F Opbrengst winzone Zuid (30-55 meter)
- G Opbrengst winzone Zuid (0-55 meter)
- H Opbrengst winzone Noord (0-30 meter)
- I Opbrengst winzone Noord (30-55 meter)
- J Opbrengst winzone Noord (0-55 meter)

Lijst van figuren

Figuur 1	Lokaties winzones, korrelverdelingen (stip) en mogelijke vaargeul in IJsselmeer en Markermeer.	i
Figuur 2	Schematische weergave van de berekening van de opbrengst betonzand voor 1 pixel.	5
Figuur 3	Lokaties van de gemeten korrelverdelingen en de winzones Zuid en Noord.	6
Figuur 4	Zijaanzicht vanuit het zuiden op de zuidelijke winzone. Formaties jonger dan Kreftenheye worden niet getoond. De basisdiepte is 55 meter beneden NAP.	11
Figuur 5	Verbreiding van de grove en fijne Eemafzettingen in het zuidelijk wingebied.	11
Figuur 6	Gemiddelde korrelgrootteverdelingen van de formaties en de industriennorm betonzand 0-4; zuidelijk wingebied.	12
Figuur 7	Gemiddelde korrelgrootteverdelingen en industriennorm betonzand 0-4; noordelijk wingebied.	17
Figuur 8	Verbreiding van kleiige afzettingen van de Eem Formatie in het noordelijk wingebied.	19
Figuur 9	Lokatie van de mogelijke vaargeul De Blocq van Kuffeler – Enkhuizen in het zuidelijk wingebied (celgrootte 250×250 meter)	20
Figuur 10	Opbrengst betonzand in vaargeul met gemiddelde korrelverdeling van winzone zuid.	22
Figuur 11	Opbrengst betonzand in vaargeul met korrelverdeling uit boring 26A0089.	22
Figuur 12	Histogram en cumulatieve frequentieverdeling opbrengst betonzand, zuidelijk wingebied, 100 trekkingen.	27
Figuur 13	Relatie tussen geschatte en gemeten dz50 (zuidelijk wingebied, N=97)	28

Lijst van tabellen

Tabel 1	Korrelverdelingen betonmortel 0-1, 0-2 en 0-4, eis op zeef, industriegemiddelde (%). Bron: DWW (1998).....	7
Tabel 2	Korrelverdelingen betonmortel 0-1, 0-2 en 0-4, % per klasse, industriegemiddelde (%). Bron: DWW (1998).....	7
Tabel 3	Dieptes top en basis formaties zuidelijk wingebied (meter onder NAP)	10
Tabel 4	Diktes formaties zuidelijk wingebied 0-30, 30-55 en 0-55 meter (meter).....	10
Tabel 5	Ontgrond gebied na 10 en 25 jaar, bij volledige menging van de vrijkomende grond (km ² , zuidelijk wingebied taludeffect verwaarloosd).....	13
Tabel 6	Vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij winning van 1.25 miljoen m ³ betonzand 0-4 per jaar, na 10 en 25 jaar, zuidelijk wingebied.....	13
Tabel 7	Betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 als percentage van ophoogzand, gemiddelde ± standaarddeviatie, zuidelijk wingebied	13
Tabel 8	Dieptes top en basis formaties noordelijk wingebied (meter onder NAP)	16
Tabel 9	Diktes formaties noordelijk wingebied 0-30, 30-55 en 0-55 meter (meter).....	16
Tabel 10	Ontgrond gebied na 10 en 25 jaar, bij volledige menging van de vrijkomende grond (km ² , noordelijk wingebied talud-effect verwaarloosd).....	18
Tabel 11	Vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij winning van 1.25 miljoen m ³ betonzand 0-4 per jaar, na 10 en 25 jaar, noordelijk wingebied.....	18
Tabel 12	Betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 als percentage van ophoogzand, gemiddelde ± standaarddeviatie, noordelijk wingebied	18
Tabel 13	Onder- en bovengrenzen en gemiddelden van het 80% betrouwbaarheidsinterval voor 100 KV-trekkingen (miljoen m ³)	26

1 Inleiding

De Directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat onderzoekt de mogelijkheid voor het winnen van o.a. betonzand in een tweetal potentiële winzones in het IJsselmeer en het Markermeer, genaamd winzones 1 (zuid) en 2 (noord). Hierbij wil zij een winningstrategie volgen die de opbrengst betonzand maximaliseert bij een minimale hoeveelheid vrijkomend ophoogzand. Als winningsdoelstelling wordt 1.25 miljoen m³ betonzand per jaar voor een periode van 25 jaar aangehouden. Daarnaast geldt als randvoorwaarde dat bij winning tot 30 meter beneden NAP de hoeveelheid betonzand t.o.v. ophoogzand minimaal 10% moet bedragen. Bij winning tot 55 meter beneden NAP is dit minimaal 5%. De Directie IJsselmeergebied van Rijkswaterstaat wenst inzicht te verkrijgen in de hoeveelheid ophoogzand en betonzand (naar klasse) die onder de boven beschreven winningsstrategie vrijkomen, alsmede het totale oppervlak dat daarbij ontgrond wordt. Er dient onderscheid gemaakt te worden naar dagbouwwinning en winning volgens de methode van 'onderzuigen'.

Ook is de Directie IJsselmeergebied geïnteresseerd in de diepteligging van de meest gunstige laag voor winning van betonzand 0-4 langs een deel van de mogelijk aan te leggen vaargeul De Blocq van Kuffeler - Enkhuizen.

1.1 Probleemstelling

Het onderzoek kende in beginsel twee probleemstellingen, waarvoor de volgende berekeningen zijn uitgevoerd:

1. de jaarlijks minimaal vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij een optimale winning van 1.25 miljoen m³ betonzand over een periode van 25 jaar tot dieptes van 30 meter beneden NAP en 55 meter beneden NAP, binnen de winzones noord en zuid;
2. de oppervlakte van het ontgronde oppervlak dat over deze periode binnen genoemde winzones ontstaat.

Tijdens de uitvoering van bovenstaande activiteiten kwamen extra vragen aan de orde. De beantwoording hiervan is als extra werk aan de onderzoeksopdracht toegevoegd. Het betreft de berekening van

3. de onzekerheid in de opbrengst betonzand in de vorm van het 80% betrouwbaarheidsinterval;
4. de opbrengst aan betonzand bij winning in een eventueel aan te leggen vaargeul (Amsterdam -) de Blocq van Kuffeler - Enkhuizen door het zuidelijk wingebied. De beschouwde diepte-intervallen zijn 6 meter dik en lopen van 10 tot 16 meter, 11 - 17, 12 - 18, ..., 48 - 54 en 49 - 55 meter onder NAP. Hieruit zou duidelijk moeten worden wat de beste laag voor winning van betonzand is.

1.2 Activiteiten

De activiteiten binnen het onderzoek zijn gericht op het beantwoorden van de volgende vragen:

1. Wat is de minimaal vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij een optimale winning van 1.25 miljoen m³ betonzand per jaar over een periode van 25 jaar tot dieptes van maximaal 30 meter beneden NAP en 55 meter beneden NAP, en bij een gerichte winning tussen 30 en 55 meter beneden NAP.
2. Wat is de opbrengst aan betonzand bij een winning van 1.25 miljoen m³ per jaar indien de winningsstrategie is afgestemd op het winnen van de zo grof mogelijke fracties betonzand (0-4 mm, 0-2 mm en 0-1 mm).
3. Wat is het cumulatieve oppervlak van de ontgronding na 10 jaar en na 25 jaar. (Hierbij zijn taludeffecten verwaarloosd, d.w.z. er wordt vanuit gegaan dat de randen van het ontgonnen gebied vertikaal zijn in plaats van een hellend onder een helling van 1:4 à 1:5)
4. Wat is het 80% betrouwbaarheidsinterval van het berekende volume betonzand.
5. Wat is de winningdiepte met de hoogste opbrengst betonzand in de eventueel aan te leggen vaargeul de Blocq van Kuffeler - Enkhuizen. Het te berekenen tracé is een denkbeeldige lijn met een breedte van 250 meter vanaf de ingang van de Blocq van Kuffeler naar het noorden. De winning betreft een laag zand van 6 meter dik.

De volgende activiteiten zijn uitgevoerd voor het beantwoorden van bovenstaande vragen:

Activiteit 1 - Interpreteren van de beschikbare boringen en opbouw globaal ondergrondmodel.

Activiteit 2 - Berekening van de hoeveelheden betonzand en vrijkomend ophoogzand bij de winning van 1.25 miljoen m³ betonzand per jaar en het daarmee samenhangende oppervlak van de ontgronding. Berekening van het 80% betrouwbaarheidsinterval van de opbrengst betonzand. Berekening van de diepte van het rijkste 6-meterinterval in de vaargeul de Blocq van Kuffeler.

Activiteit 3 - Rapportage

2 Methodiek

2.1 Constructie 3D-lagenmodel

Van de geïnterpreteerde boringen is de stratigrafie geconverteerd naar Gocad, het 3D-modelleringspakket bij het NITG. Er worden twee groepen boringen onderscheiden: ondiepe en matig diepe. Ondiepe boringen hebben een einddiepte onder de waterbodem tot 15 meter. Matig diepe boringen hebben in het beschouwde gebied een einddiepte onder de waterbodem tussen de 50 en 55 meter. Ondiepe boringen met een einddiepte onder de waterbodem van minder dan 10 meter zijn niet gebruikt omdat deze niet dieper komen dan de Formatie van Twente (zie paragrafen 3.2.1 en 3.3.1).

Gocad biedt de mogelijkheid op semi-automatische wijze uit boringen waarin de stratigrafie is aangegeven een 3D-lagenmodel te bouwen. Voor iedere stratigrafische horizon die in de boringen is onderscheiden wordt een vlak gecreëerd, dat op de lokaties van alle (relevante) boringen voldoet aan de in de boring aangegeven diepte van de horizon. Tussen de boringen in wordt de diepteligging van het vlak bepaald door middel van interpolatie, waarbij de tweede afgeleide van de diepte geminimaliseerd wordt (d.w.z. het vlak verloopt zo glad mogelijk, zonder dat hierbij concessies worden gedaan aan de 'harde' boorgegevens). Van formaties die niet door het hele gebied voorkomen moet handmatig de verbreidingsgrens worden aangegeven. De laagvlakken worden opgeslagen als TIN (triangulated irregular network). De resolutie van het TIN (bepaald door de afstand tussen de knooppunten van de driehoeken) is variabel. Op lokaties waar veel boringen beschikbaar zijn wordt de afstand kleiner genomen dan in gebieden waar maar weinig informatie is, om het vlak zo goed mogelijk aan de boringen aan te laten sluiten. Voor dit project is de grootte op ongeveer 250 meter gesteld, maar lokaal is deze verkleind tot ongeveer 50 meter.

Binnen de 3D-omgeving van Gocad is het eenvoudig om conflicten tussen laagvlakken (m.n. snijdende vlakken), en eventuele interpretatiefouten in de boringen op te sporen.

2.2 Dikte- en opbrengstberekening

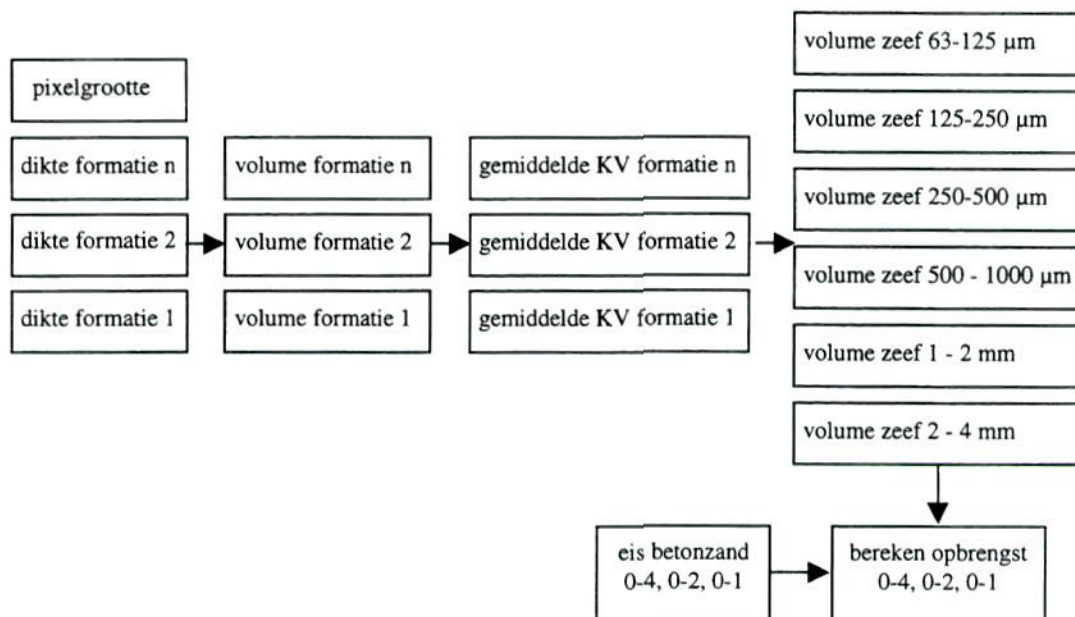
Om de TIN-laagvlakken uit Gocad in Arc/Info in te lezen is een conversiescript geschreven. De TINs worden hiermee omgezet in het Arc/Info TIN-formaat, zonder dat hierbij informatieverlies plaats vindt. Vervolgens worden de TINs omgezet in rasters, omdat de opbrengstberekeningen makkelijker zijn uit te voeren met behulp van rasters dan in TIN-formaat. Tijdens deze conversiestap vindt enig informatieverlies plaats, maar door het gebruik van een kleine rastergrootte is dit minimaal. Op grond van de gemiddelde boorafstand is de rastergrootte vastgesteld op 250×250 meter (6¼ hectare).

De uiteindelijke opbrengstberekening is geprogrammeerd in AWK, de UNIX scripttaal. De Arc/Info grids zijn daarvoor naar ASCII-formaat geconverteerd. Van iedere formatie wordt de verticale dikte bepaald door de onderkant van de bovenkant af te trekken. Aan formaties die lokaal voorkomen wordt een dikte van 0 meter toegekend in gebieden waar ze niet worden aangetroffen. Voor de verschillende diepte-intervallen (0-30, 0-55 en 30-55 meter) wordt een correctie toegepast; het deel van iedere formatie dat buiten het interval ligt wordt genegeerd. Vermenigvuldiging met de oppervlakte geeft per pixel per formatie het volume. Van alle gemeten korrelgrootteverdelingen (KV) wordt de bijbehorende formatie bepaald. Aan iedere formatie wordt het gemiddelde van alle verdelingen toegekend. Door vermenigvuldiging van het volume met de gemiddelde korrelgrootteverdeling van iedere formatie wordt zo per pixel per formatie het volume zand in de klassen 63-125, 125-250, 250-500, 500-1000, 2000-4000 en >4000 μm berekend, alsmede de fracties silt (2-63 μm) en klei (0.1-2 μm). Deze worden per zeef bij elkaar opgeteld, zodat per pixel 8 volumes bekend zijn (6 zandfracties, klei en silt).

De opbrengsten worden per pixel berekend aan de hand van de gemiddelde eisen van de betonwarenindustrie (DWW, 1998) (Figuur 2). Hierbij wordt, bijvoorbeeld voor winning tussen 30 en 55 meter onder NAP, er vanuit gegaan dat volledige menging plaats vindt van het materiaal dat gewonnen wordt uit een volume van $250 \times 250 \times (55-30) \text{ m}^3$. Voor ieder punt wordt voor iedere zeeffractie een limiterende factor berekend die gelijk is aan de beschikbare fractie gedeeld door de eis. De kleinste factor geeft de zeeffractie aan waaraan relatief het grootste tekort is, en die derhalve de maximaal haalbare opbrengst definieert. De opbrengst is gelijk aan het volume van de limiterende zeeffractie gedeeld door de normeis van deze fractie. Deze berekening wordt uitgevoerd voor de betonzanden 0-1, 0-2 en 0-4. Uit de restfracties (i.e., de zeeffracties die over zijn na winning van betonzand) wordt berekend wat de opbrengst aan ophoogzand is. Ook is het mogelijk te berekenen of, na winning van betonzand 0-4 of 0-2, nog betonzand 0-1 te winnen is. De uitvoer van het programma is een ASCII-tabel met X,Y-coördinaat, de opbrengst en limiterende zeef. Deze gegevens kunnen op eenvoudige wijze in de meeste GIS-systemen worden ingelezen voor visualisatie van de resultaten.

Ter controle is in Excel een spreadsheet opgesteld waarmee dezelfde opbrengstberekening per X,Y-punt kan worden uitgevoerd. De invoervariabelen voor deze sheet zijn:

1. De diepteligging van boven- en onderkant van de formaties op het punt (uit te lezen in Arc/Info)
2. Het diepte-interval
3. De gemiddelde korrelgrootteverdelingen van de formaties
4. De eisen op zeef aan het betonzand (0-1, 0-2, 0-4)



Figuur 2 Schematische weergave van de berekening van de opbrengst betonzand voor 1 pixel.

De rekenresultaten van deze spreadsheet waren hetzelfde als die van het AWK-programma. Daarom wordt in het vervolg van dit rapport niet verder op de spreadsheet ingegaan.

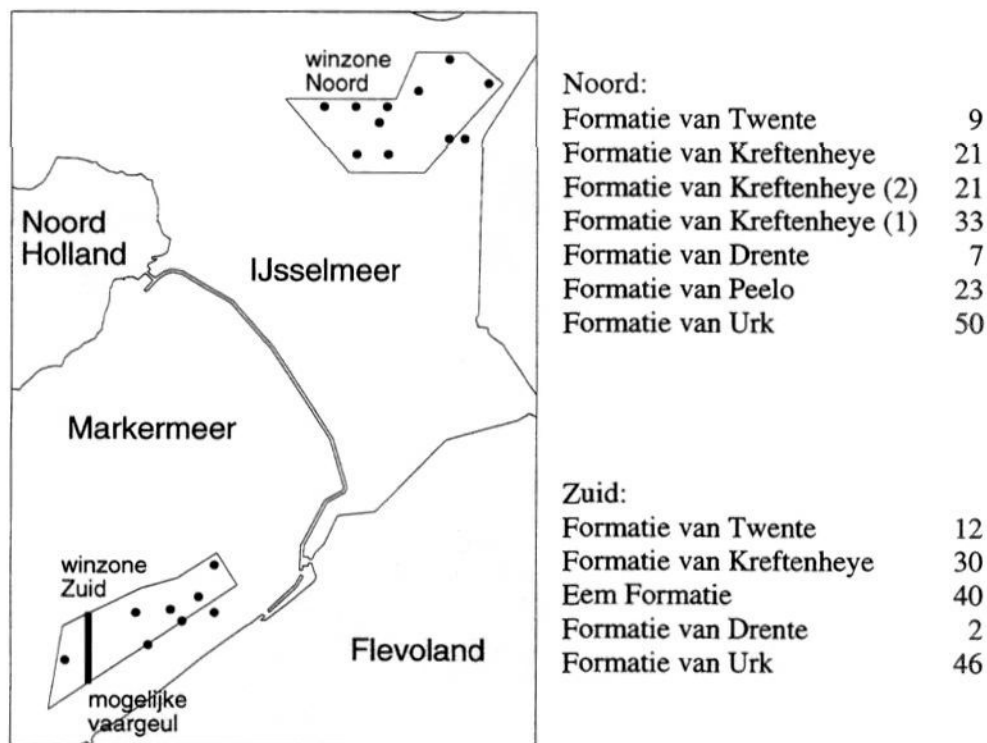
Door alleen de gemiddelde eis te gebruiken in plaats van een optimalisatie uit te voeren binnen de volle bandbreedte wordt een kleinere opbrengst berekend dan in principe haalbaar is. De reden dat niet binnen de bandbreedte is geoptimaliseerd is dat de beschikbare software die dit kan niet operationeel was ten tijde van de berekeningen.

Voor een beschouwing van de onzekerheden van de methode en de berekening van betrouwbaarheidsintervallen wordt verwezen naar hoofdstuk 5: Conclusies en discussie.

3 Gegevens en resultaten

3.1 Gebruikte korrelverdelingen en normen

Voor het berekenen van de gemiddelde korrelgrootteverdelingen per formatie is gebruik gemaakt van de analyseresultaten van het Geochemisch Laboratorium van NITG TNO ('Korrelgrootte analyses ten behoeve van de inventarisatie van beton-zand'). De bijlage A en B geven een overzicht van de lokatie van de korrelgrootteverdelingen en de twee winzones. In het noordelijk wingebied zijn elf boringen gemonsterd (164 verdelingen), in het zuidelijk wingebied acht (130 verdelingen). Deze behoren toe aan de volgende formaties:



Figuur 3 Lokaties van de gemeten korrelverdelingen en de winzones Zuid en Noord

Uit de Westland Formatie zijn geen verdelingen bepaald, evenmin als uit de Eem Formatie in het noordelijk gebied.

De gebruikte normen voor betonzand zijn overgenomen uit het DWW-rapport 'Inventarisatie van de kwaliteit en kwantiteit van betonzand in de markt' (1998). Er is gerekend met de gemiddelden uit opgaven van de betonmortelindustrie (Tabel 1, Tabel 2).

Tabel 1 Korrelverdelingen betonmortel 0-1, 0-2 en 0-4, eis op zeef, industriegemiddelde (%). Bron: DWW (1998)

Eis op zeef	0-1	0-2	0-4
C8			1
C4		2	7
2 mm	2	5	
1 mm	6	13	30
500 µm	15	41	
250 µm	62	92	92
125 µm	96	98	

Tabel 2 Korrelverdelingen betonmortel 0-1, 0-2 en 0-4, % per klasse, industriegemiddelde (%). Bron: DWW (1998)

Eis op zeef	0-1	0-2	0-4
>8 mm	2	2	1 + 6
4 – 8 mm		3	23
2 – 4 mm			
1 – 2 mm	4	8	62
500 – 1000 µm	9	28	
250 – 500 µm	47	51	
125 – 250 µm	34	6	8
<125 µm	4	2	

Korrels met een diameter kleiner dan 2 mm zijn gemeten met behulp van laserdiffractie (malvern). Korrels in de klassen tussen 2 en 4 en groter dan 4 mm zijn gezeefd. De klasse 'groter dan 8 mm' is niet apart gemeten. In de berekeningen voor betonzand 0-4 zijn daarom de klassen '4-8 mm' en 'groter dan 8 mm' samen genomen.

De gebruikte definitie van ophoogzand luidt: 'zand, dat in aanvulling op ophoging wordt verwerkt op een diepte van meer dan 1.0 meter beneden het oppervlak van het wegdek, moet zijn mineraal materiaal waarvan de fractie fijner dan 2 µm ten hoogste 8% en het gehalte aan minerale deeltjes door zeef 63 µm ten hoogste 50% bedraagt' (Rijkswaterstaat 1978). In de noordelijke winzone varieert het gemiddelde percentage silt tussen de 1 en 3%, met uitzondering van de Formatie van Twente (6%). Het kleipcentage is minder dan 1%.

De gemiddelde opgaven van de betonmortelindustrie gaan niet in op de samenstelling van de fractie kleiner dan 63 µm. Deze fractie is wel door de malvern gemeten, maar bij de opbrengstberekening voor betonzand buiten beschouwing gelaten. De klasse <125 µm is geïnterpreteerd als 63-125 µm, zodat silt en klei hierin niet voorkomen. NEN 5905 (Toeslagmaterialen voor beton – Zand en grind) stelt dat het gehalte aan zeer fijn materiaal (<63 µm) niet meer mag bedragen dan 4% (zand 0-1) en 2% (zand 0-2 en 0-4). Dit houdt in dat de in dit rapport berekende opbrengst conservatief is.

Een van de vragen uit de probleemstelling luidt 'wat is de samenstelling van het betonzand bij een winning van 1.25 miljoen m³ per jaar indien de winningsstrategie is afgestemd op het winnen van de zo grof mogelijke fracties betonzand'. Deze vraag kan als volgt worden geïnterpreteerd: uit het gewonnen materiaal wordt eerst zo grof mogelijk betonzand ('primaire' 0-4) gewonnen; uit de restfractie wordt vervolgens zo mogelijk betonzand 0-2 ('secondaire') gewonnen, en, uiteindelijk, betonzand 0-1. Uit Tabel 2 blijkt echter dat het niet mogelijk is om betonzand 0-2 te maken uit materiaal waaruit al eerder betonzand 0-4 is gemaakt (minstens een van de vereiste zeeffracties zal zijn uitgeput). Uit materiaal waaruit betonzand 0-4 is gemaakt is alleen nog betonzand 0-1 te maken wanneer de limiterende zeef die 'groter dan 4 mm' is. Voor de combinatie betonzand 0-2 en 0-1 geldt dezelfde redenering. Overigens is het in principe mogelijk dat na extractie van betonzand 0-4 de fractie 'groter dan 4 mm' over is; dit zou gebruikt kunnen worden om nog betonzand 0-1 te maken, waarbij de grofste eis (>2 mm) wordt vervuld door de fractie groter dan 4 mm. Dit leidt echter in de praktijk tot te grof betonzand 0-1 (hoewel het industrie-gemiddelde zich hier niet over uitlaat; volgens NEN 5905 heeft betonzand 0-1 echter een C4 en C8 van 0). De in dit rapport gepresenteerde opbrengsten zijn de 'primaire' hoeveelheden.

3.2 Zuidelijk wingebied

3.2.1 Lagenmodel

De oppervlakte van het gebied is 57 km². Voor het maken van het lagenmodel zijn 93 boringen geïnterpreteerd, waarvan 82 uit het NITG boorarchief, en 11 die tijdens het project door RWS beschikbaar zijn gesteld (6 van De Ruiter, einddiepte 56 meter beneden waterbodem, 5 van FUGRO, 26 meter). Van de NITG-boringen zijn er 66 'matig diep' (einddiepte 15-55 meter beneden waterbodem) en 16 'ondiep' (10-15 meter). Hiervan liggen er 35 resp. 5 binnen het wingebied. De overige, waaronder alle FUGRO- en De Ruiter-boringen liggen binnen een zone van 2 kilometer breed om het wingebied, voornamelijk aan de zuidoostkant. Deze zijn geïnterpreteerd om de sturing van de diepteligging van de laagvlakken aan de randen van het gebied te optimaliseren. Bijlage A toont de lokaties van de boringen en de profiellijnen die zijn gebruikt bij de interpretatie van de boringen. Bijlage C toont het profiel HH' (N.B. niet alle profielen die op bijlage A zijn weergegeven zijn in het rapport opgenomen). Aan de zuidoostrand van het gebied bevindt zich een groot aantal matig diepe boringen; hiervan is maar een beperkt aantal gebruikt, omdat ze meer dan een kilometer verwijderd zijn van het wingebied.

In de winzone zuid zijn, van jong naar oud, de volgende geologische formaties onderscheiden (Tabel 3):

Westland Formatie

Een overwegend uit klei, fijn zand en dunne veenlagen opgebouwd sedimentpakket van Holocene ouderdom. De top van de formatie valt samen met de waterbodem en

varieert tussen ongeveer 3 tot 5 meter beneden NAP. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 8 meter. Aan de basis komt op veel plaatsen een 10 tot 40 centimeter dikke, sterk samengeperste veenlaag voor, het zogenoemde Basisveen. De kleien en fijne zanden zijn op veel plaatsen schelphoudend.

Uit de formatie kan geen bruikbare minerale oppervlaktedelfstof worden gewonnen. De eenheid wordt daarom ook wel als niet-vermarktbaar laag of deklaag benoemd.

Formatie van Twente

Een hoofdzakelijk uit goed gesorteerd, fijn zand en dunne leemlagen opgebouwde eenheid gevormd in het laatste glaciaal (ijstijd). De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 5 meter. Gezien de korrelverdeling kan het zand voornamelijk als ophoogzand worden gebruikt.

Formatie van Kreftenheye

Deze eenheid bestaat uit fluviatiel omgewerkte zanden van de Eem Formatie en rivierafzettingen in de periferie van een brede riviervlakte van de Rijn (Vechtdal en IJsseldal). Aan de basis van de formatie komt vaak grindhoudend grof zand met verspoelde schelpen voor. De gemiddelde dikte van de formatie bedraagt ongeveer 10 meter. In het algemeen is er sprake van een duidelijke afname in korrelgrootten naar boven toe: van grindhoudend zeer grof zand tot matig fijn zand.

Eem Formatie

De Eem Formatie, gevormd in de Eemzee tijdens een periode met een hoge zeespiegelstand, bestaat overwegend uit matig grove, schelphoudende zanden. De gemiddelde dikte van de formatie bedraagt ongeveer 12.5 meter. In de Eem Formatie komen tot circa 5 meter dikke klei/leemlagen voor, maar in het gebied van winzone zuid zijn deze slechts lokaal aanwezig (onder meer in het oostelijk deel van de winzone). In de Eem Formatie is een onderscheid gemaakt in een grof zand 'member' en een fijn zand 'member'. De grens is arbitrair gelegd bij een d_{50} van $220\ \mu\text{m}$ (d_{50} : de mediaanwaarde van de zandfractie van een monster). Het fijne zand is min of meer gebonden aan een aantal grote geulstructuren (Figuur 5), en wordt geïnterpreteerd als opvullingen van getijdegeulen.

Formatie van Drente

De afzettingen van de Formatie van Drente variëren van grof grindhoudend zand tot fijn zand en klei. De formatie is alleen lokaal aanwezig als opvulling van door het landijs uitgeschuurde glaciale bekkens.

Formatie van Urk

De Formatie van Urk is overwegend opgebouwd uit grove, grindhoudende zanden die zijn afgezet door de Rijn. In de bovenste lagen van deze formatie neemt de korrelgrootte in het algemeen af en de riviersequentie wordt lokaal afgesloten met een kleilaag (vaak meer dan 1 meter dik). Kenmerkend voor de eenheid is het voorkomen van houtresten. De basis van de formatie wordt niet bereikt in de boringen. Uit diepere

boringen in de omgeving is bekend dat de dikte van de eenheid enkele tientallen meters bedraagt.

Tabel 3 geeft de karakteristieken (dikte en diepteligging van top en basis) van de verschillende formaties. Figuur 4 geeft een overzicht van de ligging van enkele van de formaties. De formaties jonger dan Kreftenheye zijn hierop niet zichtbaar. Bijlage C toont een verticale doorsnede door het gebied (profiel EE').

Tabel 3 Dieptes top en basis formaties zuidelijk wingebied (meter onder NAP)

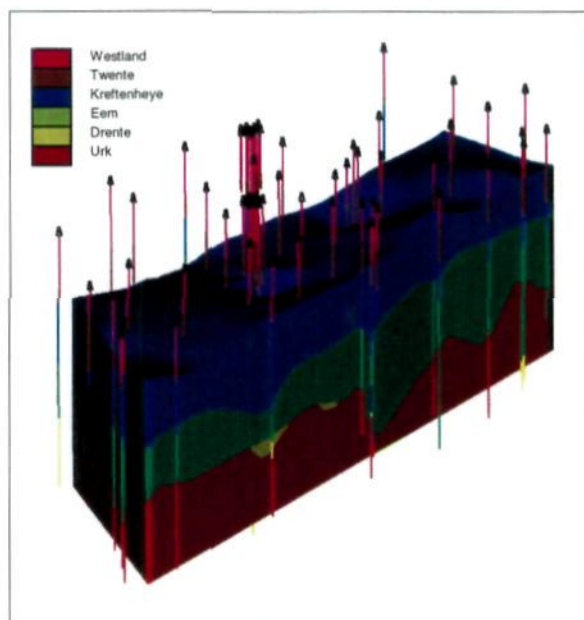
Formatie	Diepte	Min	Max	Gemiddelde	Stdev
Westland	Top	-5.16	-3.23	-4.29	0.32
	Basis	-17.52	-8.44	-12.42	1.40
Twente	Top	-17.52	-8.44	-12.42	1.40
	Basis	-26.67	-12.13	-17.49	1.84
Kreftenheye	Top	-26.67	-12.13	-17.49	1.84
	Basis	-52.43	-20.23	-27.43	2.90
Eem 1	Top	-52.43	-20.23	-27.62	3.10
	Basis	-54.97	-27.95	-40.07	4.80
Eem 2	Top	-49.03	-20.35	-27.16	2.47
	Basis	-52.82	-27.28	-39.50	6.41
Drente	Top	-50.06	-29.62	-39.16	3.22
	Basis	-68.10	-29.78	-44.80	5.62
Urk	Top	-68.10	-27.28	-41.15	6.41
	Basis	n.v.t. ¹	n.v.t. ¹	n.v.t. ¹	n.v.t. ¹

¹ de basis van de Formatie van Urk is nergens aangetroffen in het dieptebereik van de boringen

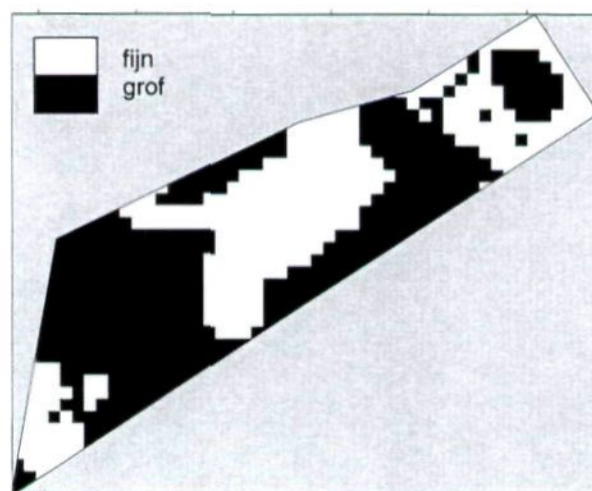
Tabel 4 Diktes formaties zuidelijk wingebied 0-30, 30-55 en 0-55 meter (meter)

Formatie	Dikte	Min	Max	Gemiddelde	Stdev
Westland	0 - 30	4.64	11.35	7.89	1.21
	0 - 55	4.64	11.35	7.89	1.21
	30 - 55	0.00	0.00	0.00	0.00
Twente	0 - 30	0.00	11.85	5.40	1.95
	0 - 55	0.00	11.85	5.40	1.95
	30 - 55	0.00	0.00	0.00	0.00
Kreftenheye	0 - 30	4.66	14.45	9.99	2.19
	0 - 55	4.66	18.03	10.05	2.32
	30 - 55	0.00	3.66	0.06	0.35
Eem 1	0 - 30	0.00 ¹	4.98	1.04	1.44
	0 - 55	0.00 ¹	21.30	5.68	6.01
	30 - 55	0.00 ¹	19.87	4.63	5.08
Eem 2	0 - 30	0.00 ¹	5.08	1.25	1.54
	0 - 55	0.00 ¹	26.57	6.02	7.08
	30 - 55	0.00 ¹	22.29	4.78	6.00
Drente	0 - 30	0.00 ¹	0.00	0.00	0.00
	0 - 55	0.00 ¹	15.02	2.28	3.47
	30 - 55	0.00 ¹	15.02	2.28	3.47
Urk	0 - 30	0.00 ¹	2.17	0.03	0.21
	0 - 55	0.00 ¹	27.17	13.29	5.57
	30 - 55	0.00 ¹	25.00	13.26	5.51

¹ De fijne en grove Eem Formatie zijn complementair; beide komen niet overal voor. Daarom is de minimale dikte 0 meter. Dit geldt ook voor de Formaties van Drente en Urk.



Figuur 4 Zijaanzicht vanuit het zuiden op de zuidelijke winzone. Formaties jonger dan Kreftenheye worden niet getoond. De basisdiepte is 55 meter beneden NAP.

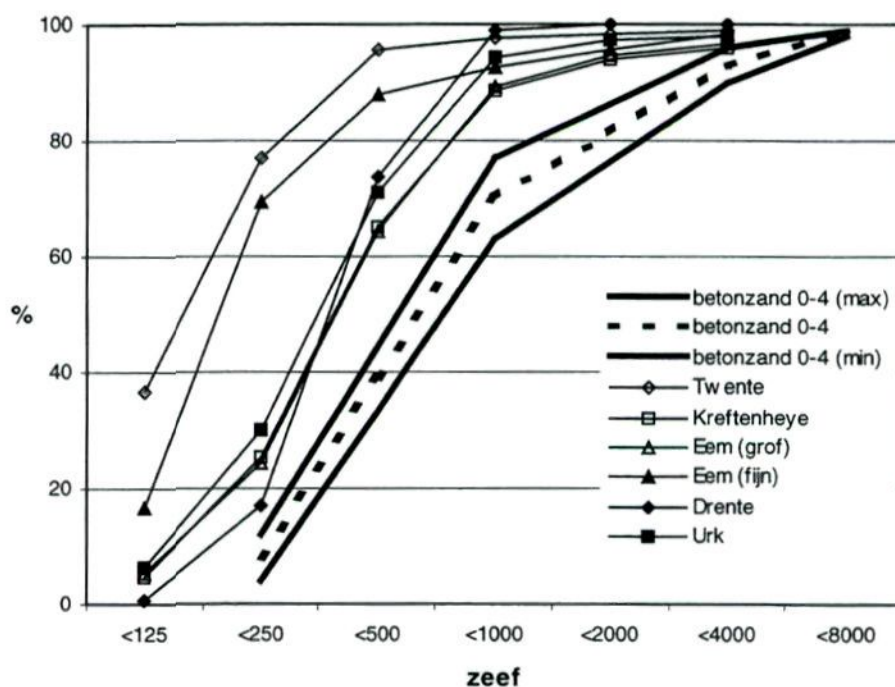


Figuur 5 Verbreiding van de grove en fijne Eemafzettingen in het zuidelijk wingebied

3.2.2 Korrelgrootteverdelingen

Figuur 6 toont de gemiddelde korrelgrootteverdelingen per formatie, en de industriernorm (gemiddelde en minimum/maximum) voor betonzand 0-4. Bij interpretatie van deze figuur en met name de vergelijking van de gemiddelde korrelgrootteverdelingen met de eis is niet zozeer de lokatie van de lijn als wel de gradiënt van intervallen van de lijn van belang. Alle gemiddelde korrelgrootteverdelingen liggen links van de norm voor betonzand 0-4. Dit betekent niet dat uit geen van de formaties betonzand 0-4 gewonnen kan worden. Bijvoorbeeld: de eis op zeef 4 mm (gemiddelde) is 7%. Van de verschillende formaties heeft de Formatie van Twente het

laagste percentage >4 mm (0.8%) (met uitzondering van de Formatie van Drente: 0% >4 mm). Dit betekent dat, uitgaande van de fractie >4 mm alleen, uit de Formatie van Twente toch 11% betonzand 0-4 gewonnen zou kunnen worden. De percentages voor de fractie <125 μm betreffen hier de fractie 0-125 μm . De Formatie van Twente en de Eem Formatie (1) zijn erg fijn. De overige formaties liggen dicht bij de norm voor betonzand 0-4. Omdat de fractie >8 mm niet afzonderlijk is gemeten, zijn de eisen >4 mm en >8 mm bij elkaar genomen bij de berekeningen.



Figuur 6 Gemiddelde korrelgrootteverdelingen van de formaties en de industrielenorm betonzand 0-4; zuidelijk wingebied

3.2.3 Opbrengsten en ontgronding

Bijlage E toont de opbrengsten betonzand 0-1, 0-2 en 0-4 voor het zuidelijk gebied voor de drie onderscheiden diepteintervallen (NB de legenda-eenheden voor de intervallen 0-30 en 30-55 zijn gelijk; die voor het interval 0-55 is afwijkend!). Tabel 5 geeft de ontgronde gebieden na 10 en 25 jaar. De hoeveelheden vrijkomend ophoogzand zijn weergegeven in Tabel 6. Tabel 7 geeft de hoeveelheid betonzand als percentage van de hoeveelheid ophoogzand. Percentages groter dan 100 geven aan dat de hoeveelheid betonzand groter is dan de hoeveelheid ophoogzand. Wijze van berekening: zie paragraaf 2.2.

Tabel 5 Ontgrond gebied na 10 en 25 jaar, bij volledige menging van de vrijkomende grond (km², zuidelijk wingebied taludeffect verwaarloosd).

	0-4		0-2		0-1	
	10 jaar	25 jaar	10 jaar	25 jaar	10 jaar	25 jaar
0 – 30	2.4	6.3	1.2	3.2	0.8	2.2
30 – 55	1.8	5.0	0.9	2.4	0.7	1.8
0 – 55	1.0	2.8	0.5	1.3	0.4	0.9

Tabel 6 Vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij winning van 1.25 miljoen m³ betonzand 0-4 per jaar, na 10 en 25 jaar, zuidelijk wingebied.

	10 jaar	25 jaar
0 – 30	3.09E+07	7.69E+07
30 – 55	3.32E+07	9.38E+07
0 – 55	3.27E+07	9.01E+07

Tabel 7 Betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 als percentage van vrijkomend ophoogzand, gemiddelde ± standaarddeviatie, zuidelijk wingebied

0-4	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0-30	41 ± 5	41 ± 5	34 ± 6
30-55	37 ± 3	33 ± 3	25 ± 5
0-55	36 ± 1	35 ± 2	29 ± 3

0-2	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0 – 30	136 ± 42 ¹	147 ± 33 ¹	92 ± 29
30 – 55	123 ± 14 ¹	103 ± 18 ¹	56 ± 17
0 – 55	113 ± 4 ¹	108 ± 5 ¹	73 ± 16

0-1	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0 – 30	261 ± 10 ¹	256 ± 13 ¹	202 ± 45 ¹
30 – 55	239 ± 4 ¹	231 ± 8 ¹	139 ± 46 ¹
0 – 55	285 ± 38 ¹	285 ± 41 ¹	190 ± 38 ¹

¹een percentage groter dan 100 geeft aan dat de hoeveelheid betonzand groter is dan de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand

De oppervlakten in Tabel 5 zijn berekend door de rijkste pixels bij elkaar op te tellen (i.e., de gebieden van 6¼ hectare met de hoogste opbrengst betonzand). Het door deze pixels gevormde gebied is niet perse aaneengesloten. Voor ontgroning van dit oppervlak is het dus mogelijk dat verschillende lokaties bezocht moeten worden. De randen van het te ontgronden gebied zijn vertikaal verondersteld (talud-effect verwaarloosd). In werkelijkheid zal de rand van het ontgronde gebied een helling van 1:4 à 1:5 hebben. De grootte van het te ontgronden gebied is hierdoor onderschat. De mate van onderschatting is afhankelijk van de vorm van het gebied. Deze is groot voor gebied met een grote ratio omtrek / oppervlakte, en minimaal voor een cirkelvormig gebied.

De normen voor ophoogzand zijn dermate ruim in relatie tot de compositie van het materiaal dat in het IJsselmeer wordt gewonnen (zie Figuur 6) dat al het materiaal

dat niet voor betonzand gebruikt kan worden in zijn geheel geschikt is als ophoogzand (afgezien van voorkomende (klei-)stoorlagen) (Tabel 6). Zolang de hoeveelheid gewonnen betonzand groter is dan 10% van de hoeveelheid ontgrond materiaal, is de hoeveelheid betonzand als percentage van de hoeveelheid ophoogzand in ieder geval groter dan de vereiste 10% (Tabel 7).

Voor alle drie de varianten betonzand is winning tussen 30 en 55 meter beneden NAP gunstiger dan winning tussen 0 en 30 meter beneden NAP. Dit komt met name doordat tussen 0 en 30 meter de Westland Formatie voorkomt (deze is in zijn geheel als niet-buikbaar beschouwd), en daaronder de fijne Formatie van Twente. Het grove materiaal is hier limiterend. Lokaal kan het echter zo zijn dat in de zone 0-30 een hogere opbrengst betonzand 0-4 wordt gehaald dan in de zone 30-55. Dit wordt veroorzaakt door het overschot aan zeer grof materiaal in de Formaties van Kreftenheye en de grove Eem Formatie. In de zone 30-55 kan hierdoor in principe een tekort aan fijn materiaal bestaan, hetgeen de opbrengst laag houdt. In de zone 0-30, wanneer de Formaties van Twente, Kreftenheye en de grove Eem samen voorkomen, vullen de limiterende zeven elkaar aan. Voor de fijnere betonzanden gaat deze redenering niet op, omdat deze minder behoefte hebben aan de zeer grove fractie.

Opvallend is dat, terwijl de grootte van het ontgronde oppervlak kleiner is voor het diepe dan voor het ondiepe interval, de ratio betonzand / ophoogzand gunstiger is voor het ondiepe interval. Dit komt doordat de Westland Formatie, gelegen in het ondiepe interval en bijna 8 meter dik, niet is meegerekend. De kolom winbaar materiaal is daarom groter in het diepe interval ($55 - 30 = 25$ meter) dan het ondiepe ($30 - 8 - 4 = 18$ meter; waterbodem ligt gemiddeld op 4 meter onder NAP).

3.3 Noordelijk wingebied

3.3.1 Lagenmodel

De oppervlakte van het gebied is 40 km². Voor het maken van het lagenmodel zijn 79 boringen geïnterpreteerd, alle uit het NITG boorarchief. Hiervan zijn er 66 'matig diep' (einddiepte 15-55 meter beneden waterbodem) en 13 'ondiep' (10-15 meter). 23 resp. 10 liggen binnen het wingebied. Bijlage B toont de lokaties van de boringen en de profiellijnen die zijn gebruikt bij de interpretatie van de boringen.

In de winzone noord zijn, van jong naar oud, de volgende geologische formaties onderscheiden:

Westland Formatie

Deze eenheid bestaat uit schelphoudende kleien en fijne zanden met dunne veenlagen. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 2 meter.

Formatie van Twente

Een hoofdzakelijk uit (zeer) fijn zand en dunne leemlagen opgebouwd sedimentpakket. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 8 meter.

Formatie van Kreftenheye

In een groot deel van het noordelijk wingebied is de Formatie van Kreftenheye onderverdeeld in een tweetal laagpakketten (Kreftenheye 1 en 2), die van elkaar worden gescheiden door de Eem Formatie. Waar de Eem Formatie ontbreekt liggen de beide Kreftenheyes op elkaar en is aan de hand van de boorbeschrijvingen meestal geen grens aan te geven. Hier wordt het hele sedimentpakket als Formatie van Kreftenheye samengenomen.

Formatie van Kreftenheye 2

Het noordelijk wingebied ligt min of meer centraal in een brede riviervlakte, waar de noordelijke tak van de Rijn gedurende de laatste ijstijd grof zand en grind heeft afgezet. De basis van de formatie bestaat op veel plaatsen uit een karakteristiek geulbodemsediment van grof zand en (grof) grind. Naar boven toe worden de zanden fijner; lokaal kan een dunne klei- of leemlaag voorkomen (meestal minder dan 1 meter dik). De dikte van de eenheid bedraagt gemiddeld circa 8 meter.

Eem Formatie

Deze formatie bestaat hoofdzakelijk uit één of meerdere kleilagen (>1 meter dik) en schelphoudende matig fijne tot zeer grove zanden. De Eem Formatie komt niet voor in het noordelijk deel van de noordelijke winzone (Figuur 8). De dikte bedraagt gemiddeld ongeveer 4 meter.

Formatie van Kreftenheye 1

Matig grove tot zeer grove, grindhoudende zanden, afgezet in de riviervlakte van de noordelijke tak van de rivier de Rijn. De dikte bedraagt gemiddeld circa 8 meter.

Formatie van Drente

Afzettingen van deze formatie zijn alleen lokaal aanwezig in de vorm van opvullingen van glaciale bekkens en geulen. De lithologie varieert van grindhoudend grof zand tot klei. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 6 meter.

Formatie van Peelo

Deze eenheid is grotendeels beperkt tot een aantal grote geulopvullingen in het noordelijk deel van het wingebied. Karakteristiek voor deze formatie is een pakket matig fijne zanden (M63 circa 200 µm) die door hun gehalte aan glauconiet groengrijs zijn gekleurd. Naast zand komen ook dikke kleilagen in deze formatie voor (>1 meter).

Formatie van Urk

Grove grindhoudende zanden, vaak met houtresten, afgezet door de Rijn. De top van de eenheid bestaat plaatselijk uit fijn zand en klei.

Tabel 8 Dieptes top en basis formaties noordelijk wingebied (meter onder NAP)

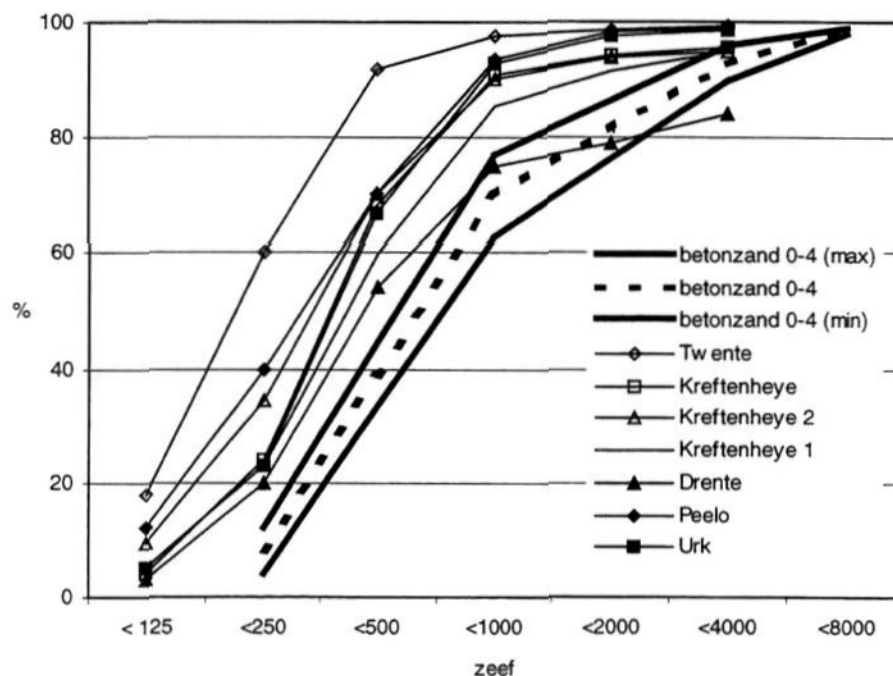
Formatie	Diepte	Min	Max	Gemiddelde	Stdev
Westland	Top	-5.59	2.09 ¹	-4.47	0.73
	Basis	-11.08	-3.72	-6.48	1.28
Twente	Top	-11.08	-3.72	-6.48	1.28
	Basis	-20.10	-10.86	-14.83	1.50
Kreftenheye	Top	-20.10	-11.70	-15.06	1.58
	Basis	-44.15	-19.18	-27.82	5.14
Kreftenheye 2	Top	-19.26	-10.86	-14.62	1.38
	Basis	-26.88	-18.86	-22.75	2.00
Eem	Top	-26.88	-18.86	-22.74	2.00
	Basis	-30.89	-19.03	-26.82	1.83
Kreftenheye 1	Top	-30.89	-19.03	-26.82	1.83
	Basis	-48.30	-25.34	-39.57	3.66
Drente	Top	-42.96	-23.79	-36.25	5.40
	Basis	-56.35	-27.32	-42.54	6.35
Peelo	Top	-47.45	-19.18	-30.05	7.07
	Basis	-67.82	-20.39	-40.09	7.07
Urk	Top	-67.82	-19.38	-39.26	6.70
	Basis	n.v.t. ²	n.v.t. ²	n.v.t. ²	n.v.t. ²

¹ enkele boringen liggen op land en hebben een Top Westland boven 0 meter NAP² de basis van de Formatie van Urk is nergens aangetroffen

Tabel 9 Diktes formaties noordelijk wingebied 0-30, 30-55 en 0-55 meter (meter)

Formatie	Dikte	Min	Max	Gemiddelde	Stdev
Westland	0 – 30	0.08	5.11	1.85	1.08
	0 – 55	0.08	5.11	1.85	1.08
	30 – 55	0.00	0.00	0.00	0.00
Twente	0 – 30	3.53	13.94	8.49	1.83
	0 – 55	3.53	13.94	8.49	1.83
	30 – 55	0.00	0.00	0.00	0.00
Kreftenheye	0 – 30	0.00 ¹	18.14	4.00	6.11
	0 – 55	0.00 ¹	29.49	4.83	7.85
	30 – 55	0.00 ¹	14.15	0.83	2.40
Kreftenheye 2	0 – 30	0.00 ¹	14.71	5.28	4.00
	0 – 55	0.00 ¹	14.71	5.28	4.00
	30 – 55	0.00 ¹	0.00	0.00	0.00
Eem	0 – 30	0.00 ¹	7.63	2.66	2.36
	0 – 55	0.00 ¹	7.63	2.67	2.36
	30 – 55	0.00 ¹	0.89	0.00	0.06
Kreftenheye 1	0 – 30	0.00 ¹	10.19	2.17	2.06
	0 – 55	0.00 ¹	21.11	8.41	6.50
	30 – 55	0.00 ¹	18.30	6.24	5.43
Drente	0 – 30	0.00 ¹	2.51	0.01	0.15
	0 – 55	0.00 ¹	15.86	0.44	1.90
	30 – 55	0.00 ¹	14.13	0.43	1.85
Peelo	0 – 30	0.00 ¹	10.82	0.88	2.26
	0 – 55	0.00 ¹	21.03	4.57	5.82
	30 – 55	0.00 ¹	19.32	3.70	4.15
Urk	0 – 30	0.00 ¹	7.97	0.05	0.47
	0 – 55	0.00 ¹	32.97	13.85	4.86
	30 – 55	0.00 ¹	25.00	13.80	4.73

¹ De meeste formaties komen niet overal voor. Daarom is de minimale dikte 0 meter.



Figuur 7 Gemiddelde korrelgrootteverdelingen en industriennorm betonzand 0-4; noordelijk wingebied

3.3.2 Korrelgrootteverdelingen

Figuur 7 toont de gemiddelde korrelgrootteverdelingen per formatie, en de industriennorm (gemiddelde en minimum/maximum) voor betonzand 0-4. N.B.: bij interpretatie van deze figuur en met name de vergelijking van de gemiddelde korrelgrootteverdelingen met de eis is niet zozeer de lokatie van de lijn als wel de gradient van intervallen van de lijn van belang. Alle gemiddelde korrelgrootteverdelingen liggen links van de norm voor betonzand 0-4, met uitzondering van die van de Formatie van Drente. Dit betekent niet dat uit geen van de formaties betonzand 0-4 gewonnen kan worden. Bijvoorbeeld: de eis op zeef 4mm (gemiddelde) is 7%. Van de verschillende formaties heeft de Formatie van Twente het laagste percentage >4 mm (0.7%). Dit betekent dat, uitgaande van de fractie >4 mm alleen, uit de Formatie van Twente toch 10% betonzand 0-4 gewonnen zou kunnen worden.

De percentages voor de fractie <125 μm betreffen hier de fractie 0-125 μm . Vooral de Formatie van Twente valt aan de fijne kant buiten de norm voor betonzand 0-4. De Formaties van Peelo en Kreftenheye (2) zijn ook relatief fijn. De Formatie van Drente is vrij grof. De Eem Formatie bestaat in het noordelijk gebied hoofdzakelijk uit klei, hoewel zowel aan de basis als de top lokaal zand voorkomt. Deze zandvoorkomens zijn vanwege de overeenkomstige lithologie bij de Formatie van Kreftenheye gevoegd. Van de kleiige Eem Formatie zijn geen monsters geanalyseerd.

Omdat de fractie >8 mm niet afzonderlijk is gemeten, zijn de eisen >4 mm en >8 mm bij elkaar genomen bij de berekeningen.

3.3.3 Opbrengsten en ontgroning

Bijlage F toont de opbrengsten betonzand 0-1, 0-2 en 0-4 voor de drie onderscheiden diepteintervallen (NB de legenda-eenheden voor de intervallen 0-30 en 30-55 zijn gelijk; die voor het interval 0-55 is afwijkend!). Tabel 10 geeft de ontgronde gebieden na 10 en 25 jaar. De hoeveelheden vrijkomend ophoogzand zijn weergegeven in Tabel 11. Tabel 12 geeft de hoeveelheid gewonnen betonzand 0-4 als percentage van het vrijkomende ophoogzand. Wijze van berekening: zie paragraaf 2.2.

Tabel 10 Ontgrond gebied na 10 en 25 jaar, bij volledige menging van de vrijkomende grond (km², noordelijk wingebied talud-effect verwaarloosd).

	0-4		0-2		0-1	
	10 jaar	25 jaar	10 jaar	25 jaar	10 jaar	25 jaar
0 – 30	2.4	6.6	1.2	3.3	0.7	1.8
30 – 55	1.3	3.2	0.7	1.8	0.8	1.9
0 – 55	0.9	2.3	0.4	1.1	0.3	0.9

Tabel 11 Vrijkomende hoeveelheid ophoogzand bij winning van 1.25 miljoen m³ betonzand 0-4 per jaar, na 10 en 25 jaar, noordelijk wingebied.

	10 jaar	25 jaar
0 – 30	4.27E+07	1.16E+08
30 – 55	1.88E+07	4.90E+07
0 – 55	3.01E+07	7.79E+07

Tabel 12 Betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 als percentage van ophoogzand, gemiddelde ± standaarddeviatie, noordelijk wingebied

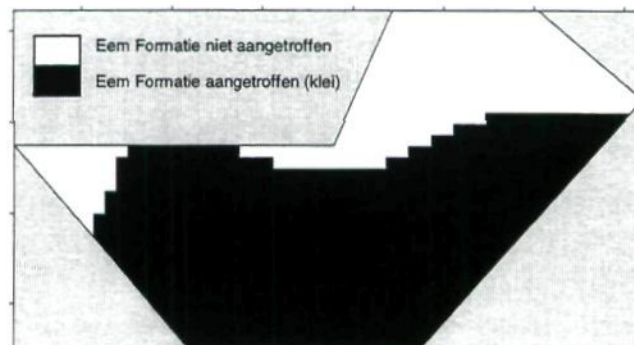
0-4	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0 – 30	29 ± 2	27 ± 3	22 ± 3
30 – 55	66 ± 3	63 ± 3	38 ± 15
0 – 55	40 ± 1	40 ± 1	33 ± 6

0-2	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0 – 30	76 ± 5	71 ± 6	52 ± 10
30 – 55	242 ± 2	237 ± 4 ¹	134 ± 63 ¹
0 – 55	122 ± 2 ¹	123 ± 3 ¹	91 ± 29

0-1	10 jaar	25 jaar	Heel gebied
0 – 30	271 ± 9 ¹	265 ± 13 ¹	123 ± 48 ¹
30 – 55	184 ± 8 ¹	173 ± 10 ¹	120 ± 17 ¹
0 – 55	277 ± 14 ¹	268 ± 17 ¹	191 ± 61 ¹

¹een percentage groter dan 100 geeft aan dat de hoeveelheid betonzand groter is dan de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand

In het noordelijk wingebied is vooral het voorkomen van de Eem Formatie belangrijk voor de bepaling van de opbrengst betonzand. Omdat de Eem Formatie in het noordelijk gebied hoofdzakelijk uit klei bestaat, moet deze als niet-winbaar beschouwd worden. De formatie ligt tussen de twee members van de formatie van Kreftenheye in (KR1 en KR2). De basis van de Eem Formatie ligt op een diepte van gemiddeld 27 meter beneden NAP. Onder de Eem komt tot 30 meter beneden NAP een beperkte hoeveelheid winbaar materiaal van de onderste member Kreftenheye (KR1) voor. Voor winning moet echter het pakket Eem verwijderd worden. In het gebied waar de Eem Formatie voorkomt is deze gemiddeld 4 meter dik. Wanneer voor onderzuigen wordt gekozen als winningmethode is het verwijderen van de Eem Formatie niet nodig. Het is echter niet bekend of onderzuigen mogelijk is door een dergelijke dikke kleilaag heen, en wat hier de kosten van zijn. De noordelijke verbreidingsgrens van de Eem Formatie loopt bij benadering oost-west volgens de lijn $Y=533000$ (Figuur 8). Deze verbreiding beïnvloedt in hoge mate het verloop van de opbrengsten in het interval 0-30 meter. In dit interval zijn de opbrengsten in het noordelijk deel hoger. De opbrengsten in het interval 30-55 -grotendeels beneden de basis van de Eem- zijn echter in het zuiden hoger dan in het noorden. De opbrengsten tussen 30 en 55 meter zijn hoger dan die voor 0-30 meter.



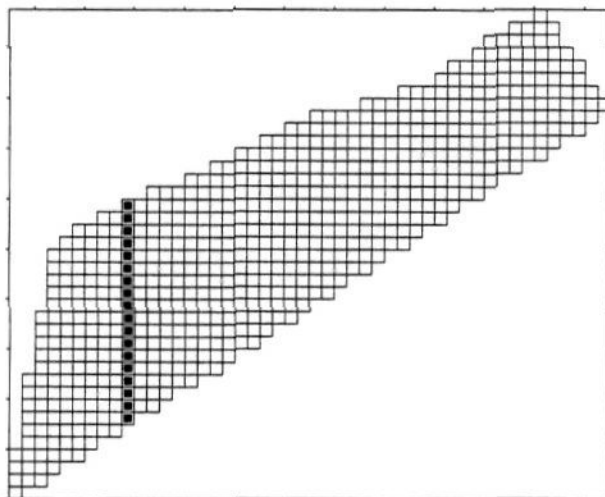
Figuur 8 *Verbreiding van kleiige afzettingen van de Eem Formatie in het noordelijk wingebied*

De normen voor ophoogzand zijn dermate ruim in relatie tot de compositie van het materiaal dat in het IJsselmeer wordt gewonnen (zie Figuur 6) dat al het materiaal dat niet voor betonzand gebruikt kan worden in zijn geheel geschikt is als ophoogzand (afgezien van voorkomende (klei-)stoorlagen). Zolang de hoeveelheid gewonnen betonzand groter is dan 10% van de hoeveelheid ontgrond materiaal, is de hoeveelheid betonzand als percentage van de hoeveelheid ophoogzand in ieder geval groter dan de vereiste 10%.

4 Opbrengstberekening vaargeul

4.1 Vaargeul

Om een idee te krijgen van wat eventuele aanleg van een vaargeul in het zuidelijk wingebed (Amsterdam-) de Blocq van Kuffeler - Enkhuizen aan opbrengst zou kunnen leveren, is een indicatieve berekening gemaakt van de opbrengst aan 0-4-zand in de beste laag tot 55 meter beneden NAP. Het tracé loopt van de ingang van de Blocq van Kuffeler naar het noorden en heeft een breedte van 250 meter (Figuur 9, Bijlage A). Alleen het deel van de mogelijke vaargeul dat door het zuidelijk wingebed loopt is doorgerekend. De maximale winning bedraagt een laag van 6 meter zand. Uitgaande van een waterbodembedpte van ongeveer 4 meter beneden NAP resulteert dit in een opleveringsdiepte van ongeveer 10 meter beneden NAP. De lokatie van de vaargeul binnen het wingebed is ongunstig met betrekking tot nabije boringen (Bijlage A). De dichtstbijzijnde gemeten korrelgrootteverdeling is ongeveer twee kilometer van de vaargeul verwijderd, en de vaargeul bevindt zich in het gebied met de laagste boordichtheid. Dit zorgt voor een grote onzekerheid in de berekenende opbrengsten.



Figuur 9 Lokatie van de mogelijke vaargeul De Blocq van Kuffeler – Enkhuizen in het zuidelijk wingebed (celgrootte 250x250 meter)

De berekening is als volgt uitgevoerd. Voor alle intervallen met een dikte van zes meter tussen 12 en 55 meter beneden NAP is het volume van de voorkomende formaties binnen de gehele voorgestelde vaargeul berekend (12-18, 13-19, ..., 49-55 meter). Het totale volume is $18 \text{ pixels} \times 250 \text{ m} \times 250 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 6,750,000 \text{ m}^3$. Omdat de basis van de Westland Formatie in dit gebied tussen de 12 en 14 meter beneden NAP ligt, zijn de intervallen met een top hoger dan 12 meter onder NAP niet in de berekening meegenomen. De berekening is in twee varianten uitgevoerd.

Het verschil is de wijze waarop per formatie de korrelgrootteverdelingen van de formaties zijn bepaald:

1. Voor iedere formatie is het gemiddelde genomen van alle metingen binnen de zuidelijke winzone, zoals voor de berekeningen in hoofdstuk 3.
2. De dichtstbijzijnde gemeten verdeling komt uit boring 26A0089. Deze bevat 7 metingen van de Formatie van Urk, 5 van de Formatie van Kreftenheye, 5 van de grove Eem Formatie en 1 van de Formatie van Twente. De Formatie van Drente en de fijne Eem Formatie komen niet in deze boring voor, maar wel elders in de vaargeul. Binnen het gehele zuidelijk wingebied zijn 2 verdelingen gemeten van de Formatie van Drente, en 3 van de fijne Eem Formatie. Voor iedere formatie is zo mogelijk het gemiddelde van de metingen in boring 26A0089 gebruikt. Voor de Formaties van Drente en de fijne Eem zijn de gemiddelden van het hele gebied gebruikt.

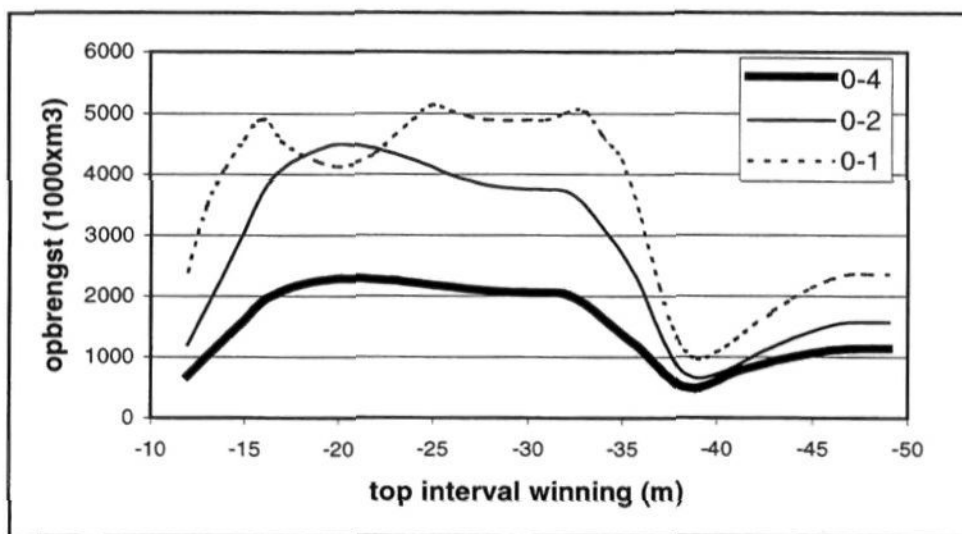
Beide benaderingen hebben voor- en nadelen. Voor beide geldt, dat de gebruikte gegevens allemaal buiten het gebied van de vaargeul afkomstig zijn. Het gemiddelde van het hele gebied berust op meer metingen, maar het gebruik ervan gaat voorbij aan mogelijke lokale afwijkingen van het gemiddelde. Boring 26A0089 is weliswaar het dichtste bij, maar levert een beperkt aantal korrelgrootteverdelingen. De korrelgrootteverdelingen van 26A0089 wijken sterk af van de gemiddelden van het hele zuidelijke gebied. Daarom wordt meer waarde gehecht aan de berekeningen die zijn gedaan met de gemiddelden van het hele gebied.

Voor het berekenen van de opbrengst betonzand 0-4, 0-2 en 0-1 is verder dezelfde methode gebruikt als beschreven in hoofdstuk 2: Methodiek.

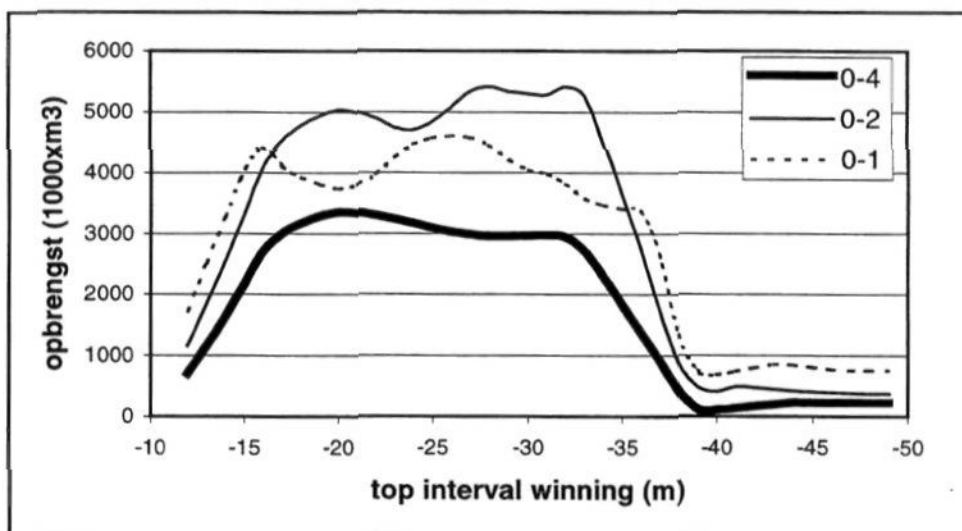
4.2 Opbrengst

Figuur 10 toont de resultaten van de berekeningen met de gemiddelde korrelgrootteverdelingen. De verschillen met Figuur 11 worden volledig veroorzaakt door het gebruik van verschillende korrelgrootteverdelingen. Op de horizontale as moet 'top interval winning' gelezen worden als de top van het interval van 6 meter dat ontgrond wordt. Bijvoorbeeld: uit het interval 30-36 meter onder NAP wordt over de hele vaargeul een opbrengst van 2 miljoen m³ betonzand 0-4 gehaald. Uit beide figuren kan worden geconcludeerd dat de grootste opbrengst wordt gehaald uit het interval tussen 17 en 34 meter onder NAP. Boven de 17 meter wordt de invloed van de Westland Formatie te groot, terwijl onder de 34 meter onder NAP de Formaties van Drente en Urk een lage opbrengst veroorzaken. De grootte van de opbrengst tussen 40 en 45 meter onder NAP is onzeker. Deze wordt namelijk voor het grootste deel bepaald door het voorkomen van de Formatie van Drente. Deze is in boringen ten westen en oosten van de vaargeul lokaal aangetroffen, en is binnen de vaargeul geïnterpreteerd, maar niet bewezen. Vanwege het verspreide karakter van de afzettingen van deze formatie, en de geringe boordichtheid is deze interpretatie echter onzeker, te meer daar binnen het hele wingebied slechts twee korrelgrootteverdelingen van deze formatie zijn gemeten. Wanneer echter de interpretatie van de Formatie van Drente niet correct zou zijn, zou waarschijnlijk

op die plaats de Formatie van Urk aanwezig zijn. Deze heeft echter ook een lage opbrengst. Dit is af te lezen uit het rechterdeel van beide grafieken. Beneden de 48 meter komt alleen de Formatie van Urk voor. De gemiddelde KV van de Formatie van Urk in boring 26A0089 is fijner dan het gemiddelde in het gehele wingebied. Zo is bijvoorbeeld het percentage rest op zeef 1 millimeter voor 26A0089 binnen de Formatie van Urk gemiddeld 98.9%, terwijl deze voor het gehele gebied 94.3% bedraagt. Dit beperkt de opbrengst van alle typen betonzand.



Figuur 10 Opbrengst betonzand in vaargeul met gemiddelde korrelverdeling van winzone zuid



Figuur 11 Opbrengst betonzand in vaargeul met korrelverdeling uit boring 26A0089

Opmerkelijk is verder de opbrengst aan betonzand 0-2 in relatie tot betonzand 0-1 in het interval 25-35 meter onder NAP. Dit is het interval waarin met name de grove Eem Formatie voorkomt. Wanneer alle KVs worden gebruikt is de opbrengst

aan betonzand 0-1 hoger dan die aan betonzand 0-2. Wanneer echter alleen boring 26A0089 wordt gebruikt dan is de opbrengst aan betonzand 0-2 hoger. Voor betonzand 0-4 is de trend van de curve in beide gevallen hetzelfde, alleen geven de KVs van boring 26A0089 een veel hogere opbrengst. De hoogste opbrengst wordt voor betonzand 0-4 behaald in het interval 18 tot 24 meter onder NAP.

Figuur 10 wordt als het meest realistisch beschouwd omdat de Formatie van Urk in boring 26A0089 veel fijner is dan het gemiddelde voor het hele wingebied.

5 Conclusies en discussie

De belangrijkste conclusie uit het onderzoek is dat, zowel in het zuidelijk als in het noordelijk gebied, aan de gestelde eisen kan worden voldaan voor wat betreft hoeveelheid gewonnen betonzand 0-4 over periodes van 10 en 25 jaar, en een hoeveelheid betonzand 0-4 die meer dan 10% van de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand bedraagt.

Voor zowel de noordelijke als de zuidelijke winzone is er vanuit gegaan dat uit alle formaties materiaal gewonnen kan worden, behalve uit de Westland Formatie. In de noordelijke winzone is bovendien de Eem Formatie niet winbaar.

5.1 Opbrengst zuidelijk wingebied

In het zuidelijk wingebied wordt de grootste opbrengst per oppervlakte-eenheid behaald in het zuiden, in het interval van 30 tot 55 meter onder NAP. De ratio betonzand 0-4 / ophoogzand is echter iets gunstiger voor het ondiepe interval. Lokaal kan in het ondiepe bereik ook een grotere opbrengst worden behaald. Hierbij is het belangrijk dat materiaal uit de formaties van Twente (fijne fractie) en de onderliggende Kreftenheye en Eem (zeer grove fractie) worden gemengd. Het is echter ook zeer belangrijk op te merken dat in het zuidelijk deel van deze winzone slechts van één boring een korrelverdeling beschikbaar was (zie hieronder voor een discussie van de aldus geïntroduceerde onzekerheid).

In het 30-55 meter interval is het ontgronde gebied na 10 en 25 jaar respectievelijk 1.8 en 5.0 km². De hoeveelheid betonzand 0-4 als percentage van de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand is 37% (10 jaar) en 33% (25 jaar). Voor het ondiepe interval is dit 41% (10 en 25 jaar). Voor betonzand 0-2 en 0-1 is de ratio betonzand / ophoogzand ongeveer 100 resp. 230% voor het interval 30-55 meter.

5.2 Opbrengst noordelijk wingebied

In het noordelijk wingebied wordt de grootste opbrengst per oppervlakte-eenheid behaald in het zuiden, in het interval van 30 tot 55 meter. De ratio betonzand 0-4 / ophoogzand is ook het gunstigste in dit interval.

In het 30-55 meter interval is het ontgronde gebied na 10 en 25 jaar respectievelijk 1.3 en 3.2 km². De hoeveelheid betonzand 0-4 als percentage van de hoeveelheid vrijkomend ophoogzand is 66% (10 jaar) en 63% (25 jaar). Voor het ondiepe interval is dit 29% en 27% (10 en 25 jaar). Voor betonzand 0-2 en 0-1 is de ratio betonzand / ophoogzand in de orde van 150-250% voor het interval 30-55.

5.3 Opbrengst vaargeul

De rijkste laag langs het tracé van de mogelijke vaargeul De Blocq Van Kuffeler – Enkhuizen voor betonzand 0-4 en 0-2 ligt tussen 16 en 31 meter onder NAP. De opbrengst bedraagt ongeveer 2.2 miljoen m³ betonzand 0-4. Voor betonzand 0-1 is dit tussen 15 en 40 meter, met de nadruk op het diepere deel van dit interval. Deze berekeningen hebben echter een grote onzekerheid vanwege het geringe aantal beschikbare boringen.

5.4 Onzekerheden

De belangrijkste bronnen van onzekerheid in de gebruikte methode zijn:

1. Boordichtheid;
2. Spreiding in en gebruik van gemiddelde korrelgrootteverdelingen;
3. Voorkomen van stoorlagen;
4. Gebruik van gemiddelde eis in plaats van optimalisatie binnen de marges.

Ad 1. Boordichtheid

In de noordelijke winzone is de gemiddelde boordichtheid 2.0 / km². In de zuidelijke winzone is deze 1.6 / km². De boringen zijn redelijk gelijkmatig verspreid in beide gebieden. Er komen echter gebieden grote oppervlakten voor zonder boringen tot 55 meter beneden NAP. De boorafstand kan oplopen op tot 3 à 4 kilometer. Dit is met name het geval in het zuidelijk deel van de zuidelijke winzone en het noordoostelijk deel van de noordelijke. De onzekerheid in de diepteligging van de gemodelleerde laagvlakken neemt toe met toenemende boorafstand.

In het zuidelijk gebied komen enige clusters van boringen voor met een zeer geringe boorafstand (zie bijlagen A en B). Hier is te zien dat de diepteligging van de laagvlakken op korte afstand meer varieert dan de in de praktijk gemodelleerde laagvlakken weergeven. Er wordt echter vanuit gegaan dat de gemodelleerde laagvlakken deze fout uitmiddelen.

Een grote boorafstand zorgt met name voor grote onzekerheid bij formaties die niet overal worden aangetroffen, zoals bijvoorbeeld de formaties van Drente en Peelo. Wanneer een bepaalde formatie in twee naast elkaar gelegen boringen slechts in een van beide is aangetroffen, wordt de verbreidingsgrens van de formatie tussen beide boringen geïnterpreteerd. De onzekerheid in de ligging van de verbreidingsgrens leidt tot een grote onzekerheid in de berekende volumes. Wanneer de twee betrokken formaties een vergelijkbare gemiddelde korrelgrootteverdeling hebben, dan is deze onzekerheid minder belangrijk dan wanneer het gaat om sterk verschillende korrelgrootteverdelingen.

Ad 2. Spreiding in korrelgrootteverdelingen en gebruik van gemiddelde

Een vereiste voor het gebruik van gemiddelde KVs per formatie is, dat de gemeten KVs representatief zijn voor hun formaties. Als veel KVs beschikbaar zijn voor de

formatie, en de verdeling is bij benadering normaal met een geringe spreiding, dan is dit een juiste aanname. In de praktijk blijkt echter dat de gemeten KVs per formatie een sterke spreiding hebben. Hierdoor kan de werkelijke opbrengst binnen een formatie lokaal sterk afwijken van de berekende hoeveelheid. Dit verschil wordt over het gehele gebied overigens weer uitgemiddeld.

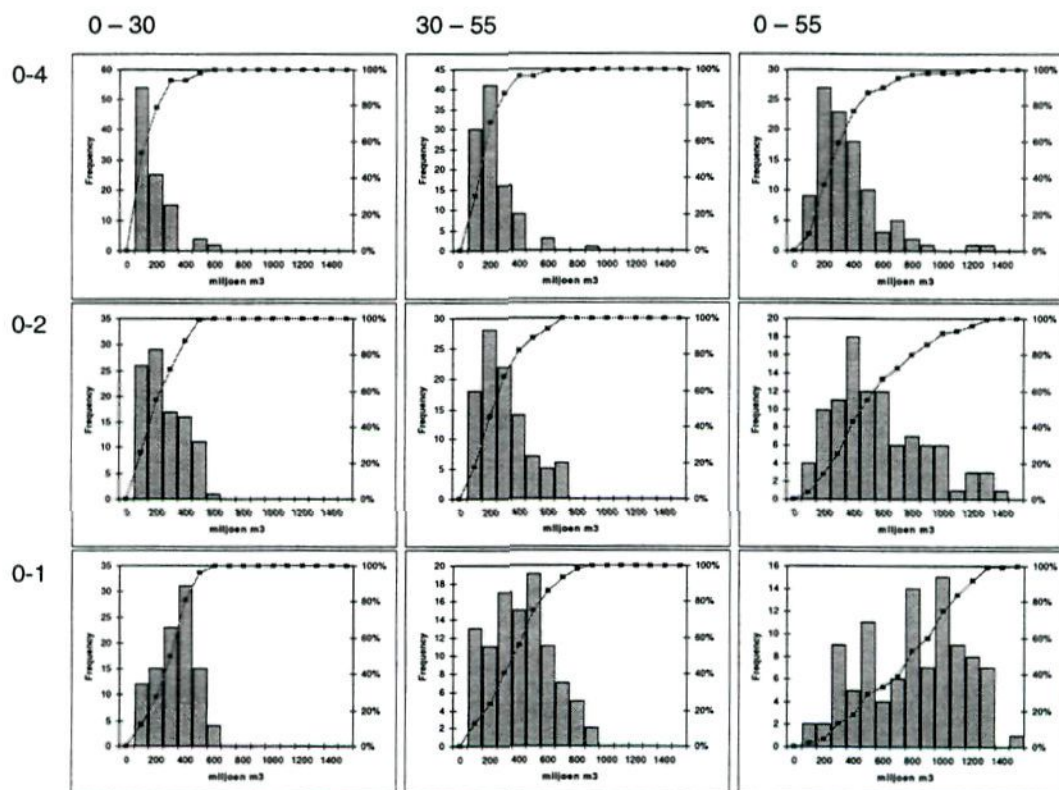
Een tweede effect van het gebruik van een gemiddelde is dat binnen een formatie overal met dezelfde KV wordt gerekend. Wanneer dit gemiddelde dicht bij de gebruikte norm ligt, zal de berekende opbrengst hoog zijn. In werkelijkheid echter zal de opbrengst op plaatsen waar de feitelijke KV (sterk) afwijkt van het gemiddelde, lager zijn dan berekend.

Ten derde is van sommige formaties een gering aantal gemeten KVs beschikbaar. Dit laatste probleem kan alleen opgelost worden door meer KVs te meten.

Inzicht in de onzekerheid van de berekende opbrengsten kan verkregen worden door niet (alleen) te rekenen met de gemiddelde KV per formatie, maar een groot aantal keren (bijvoorbeeld 100) de opbrengst te berekenen, waarbij voor iedere berekening voor iedere formatie één KV willekeurig getrokken wordt uit de gemeten KVs van deze formatie. De getrokken KV wordt dan representatief beschouwd voor het gehele wingebied. Zo worden 100 opbrengsten (realisaties) berekend, waaruit een gemiddelde opbrengst en betrouwbaarheidsintervallen kunnen worden afgelezen. Aangezien er dan met lokale KVs wordt gerekend in plaats van met een gemiddelde voor een groot gebied, is het dan niet realistisch een opbrengst per pixel te berekenen; dit zou een lokale betrouwbaarheid suggereren die er in werkelijkheid niet is. Voor het zuidelijk gebied is op deze wijze een berekening gemaakt. Eerst zijn voor het gehele gebied de volumina van de voorkomende formaties berekend in de intervallen 0-30, 30-55 en 0-55 meter onder NAP. Voor iedere formatie is vervolgens een KV getrokken, waarna een opbrengst voor het hele gebied is berekend. Dit levert voor de drie intervallen en drie typen betonzand 100 volumina op (Figuur 12). Tabel 13 toont de boven- en ondergrens van het 80%-betrouwbaarheidsinterval. Deze moeten als volgt geïnterpreteerd worden: de ondergrens van het interval is het volume waarvoor geldt dat 20% van de berekende realisaties lager is, en 80% hoger. Met andere woorden: de behaalde opbrengst is met 80% zekerheid groter dan de ondergrens van het 80% betrouwbaarheidsinterval.

Tabel 13 Onder- en bovengrens en gemiddelde van het 80% betrouwbaarheidsinterval voor 100 KV-trekkingen (miljoen m³)

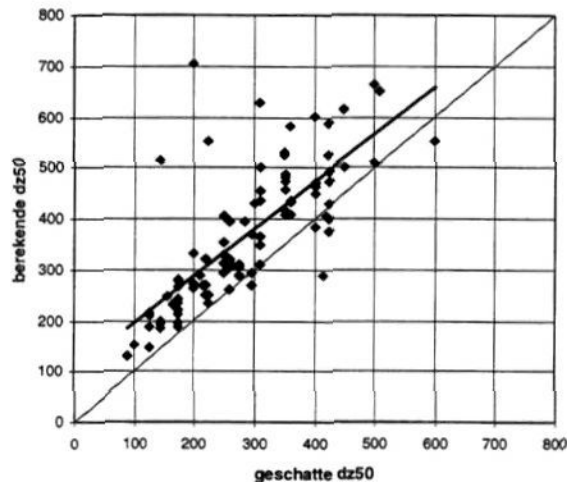
	0-4			0-2			0-1		
	onder	gem.	boven	Onder	gem.	Boven	onder	gem.	boven
0-30	28	123	203	77	210	374	147	276	396
30-55	67	163	247	111	248	390	192	365	529
0-55	147	300	417	279	521	804	437	745	1041



Figuur 12 Histogram en cumulatieve frequentieverdeling opbrengst betonzand, zuidelijk wingebied, 100 trekkingen

Zoals hierboven beschreven, wordt een onnauwkeurigheid in het model gebracht door per formatie een enkele KV te gebruiken voor het gehele gebied. Dit is tot op zekere hoogte een schaalprobleem dat bij benadering opgelost kan worden door het gebied op te delen in deelgebieden, en per deelgebied de gemiddelde KVs te berekenen. In het geval van de Eem Formatie in de zuidelijke winzone is zo een tweedeling gemaakt in een grof en een fijn deel.

Een andere methode die kan worden aanbevolen is, om per formatie een driedimensionaal model van de KVs te maken door interpolatie. Hiervoor moet van tevoren vastgesteld worden in welke mate de gemeten KVs ruimtelijk gecorreleerd zijn. Hiervoor zijn niet noodzakelijkerwijs gemeten KVs nodig; gezien de goede correlatie tussen geschatte en gemeten zandmediaan zou volstaan kunnen worden met de geschatte (Figuur 13). Deze methode levert per voxel (volume-element of 3D-pixel) een schatting van de KVs van de lokaal voorkomende formaties op, waaruit ook weer per voxel een opbrengst berekend kan worden. Voordeel van deze methode is dat per punt een geschatte KV wordt gebruikt bij de berekening, die het beste overeen komt met de meest nabije, en daarom meest relevante KVs.



Figuur 13 Relatie tussen geschatte en gemeten dz_{50} (zuidelijk wingebied, $N=97$)

Ad 3. Voorkomen van stoorlagen

Voor de matig diepe boringen geldt dat klei en leem samen 3.8% (zuiden) resp. 5.6% (noorden) van de totale opgenomen stratigrafie vertegenwoordigen (zuidelijk wingebied uitgezonderd Westland Formatie, noordelijk wingebied uitgezonderd Eem en Westland Formaties). De hoeveelheid veen bedraagt 0.1% resp. 0.2%. Deze voorkomens zijn moeilijk in kaart brengen vanwege het verspreide karakter van de afzettingen. In beide lagenmodellen zijn ze daarom niet apart onderscheiden. Dit houdt in dat de volumes ontgrondbaar gebied, en de opbrengst aan betonzand, met 3.9% respectievelijk 5.8% overschat worden. Op de verhouding betonzand / op-
hoogzand heeft deze verwaarlozing geen invloed.

Ad 4. Gebruik van gemiddelde eis in plaats van optimalisatie binnen de marges

De opbrengsten zijn berekend met gebruikmaking van de gemiddelde eisen van de betonwarenindustrie. Er zijn echter ook minimum- en maximeisen bekend. Wanneer geoptimaliseerd wordt binnen de marge van minimum- en maximeisen kan een hogere opbrengst behaald worden dan wanneer voldaan moet worden aan het gemiddelde alleen.

Voorbeeld:

eis op zeef 1 mm	$8 \pm 2\%$,
eis op zeef 2 mm	$4 \pm 1\%$.
monster van 1 m ³	20% 1-2 mm (0.2 m ³)
	1% >2 mm (0.01 m ³).

Er wordt vanuit gegaan dat de andere fracties in voldoende mate aanwezig zijn in het monster. Uit het monster kan, uitgaande van de gemiddelde eis, $0.01 \text{ m}^3 / 4\% = 0.25 \text{ m}^3$ materiaal gewonnen worden. De fractie >2 mm is de limiterende fractie. Wanneer gebruik gemaakt wordt van de marges op de fracties 1-2 mm en >2 mm kan dit verhoogd worden tot $0.01 \text{ m}^3 / (4-1\%) = 0.33 \text{ m}^3$. Het resulterende materiaal

heeft nu niet 4% >2 mm maar slechts 3%, en is relatief aangerijkt in de fractie 1-2 mm (9 i.p.v. 8%).

N.B. Bij Rijkswaterstaat, dienst De Maaswerken, is software ontwikkeld waarmee op deze wijze kan worden geoptimaliseerd. Deze software is echter (nog) niet operationeel buiten De Maaswerken.

6 Literatuur

Eisen voor bouwstoffen in de wegenbouw, Rijkswaterstaat, 's Gravenhage, 1978.

Geohydrologische Atlas IJsselmeergebied, RGD, DGV-TNO, Rijkswaterstaat DBW/RIZA, Rijkswaterstaat Directie Flevoland, 1991

Geologische en Bodemkundige atlas van het IJsselmeer, Directoraat Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, Lelystad, 1993

Geologische en bodemkundige atlas van het Markermeer, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad, 1995

Inventarisatie van de kwaliteit en kwantiteit van betonzand in de markt, in voorbereiding, Dienst Weg- en Waterbouw, Rijkswaterstaat, 1998

Korrelgrootteanalyses ten behoeve van de inventarisatie van betonzand, NITG-TNO, 1999

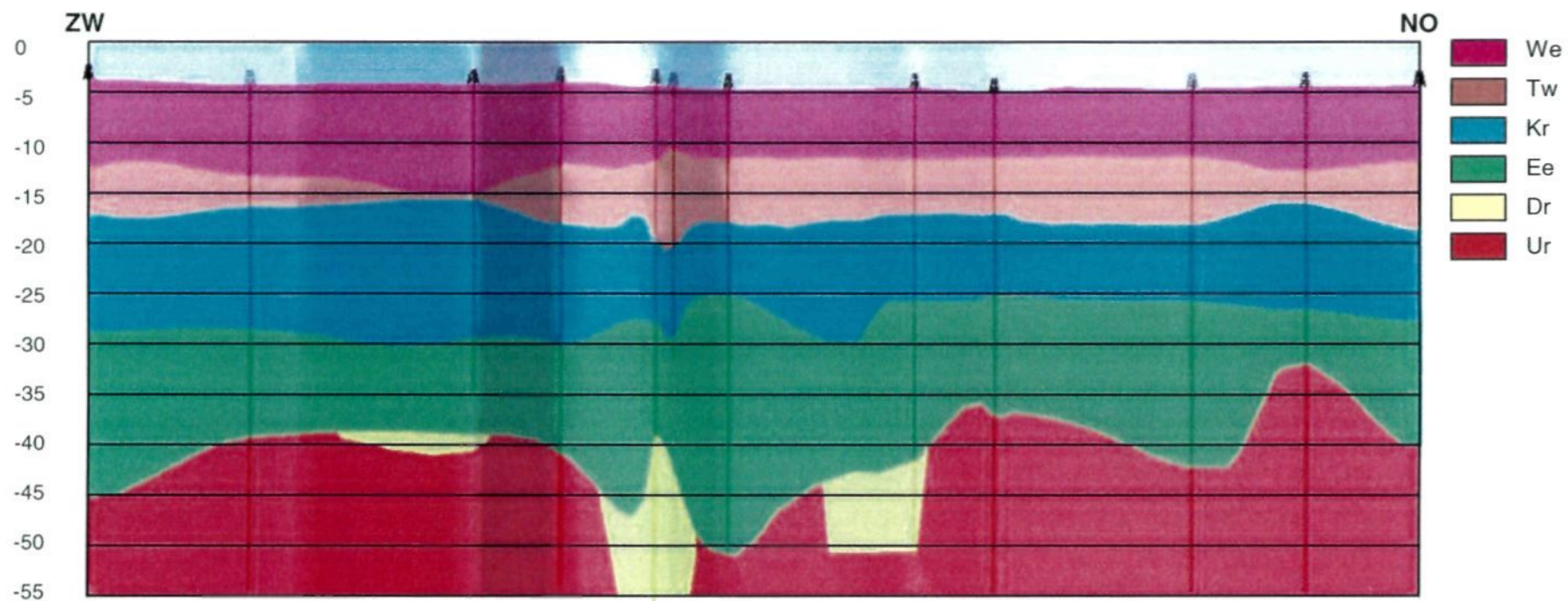
NEN 5905. Toeslagmaterialen voor beton. Zand en grid. Nederlands Normalisatie Instituut, 1988

**Bijlage A Lokatie van boringen, korrelgrootte-
verdelingen en profiellijnen in het zuidelijk
wingebied (los bijgevoegd)**

**Bijlage B Lokatie van boringen, korrelgrootte-
verdelingen en profiellijnen in het noordelijk
wingebied (los bijgevoegd)**

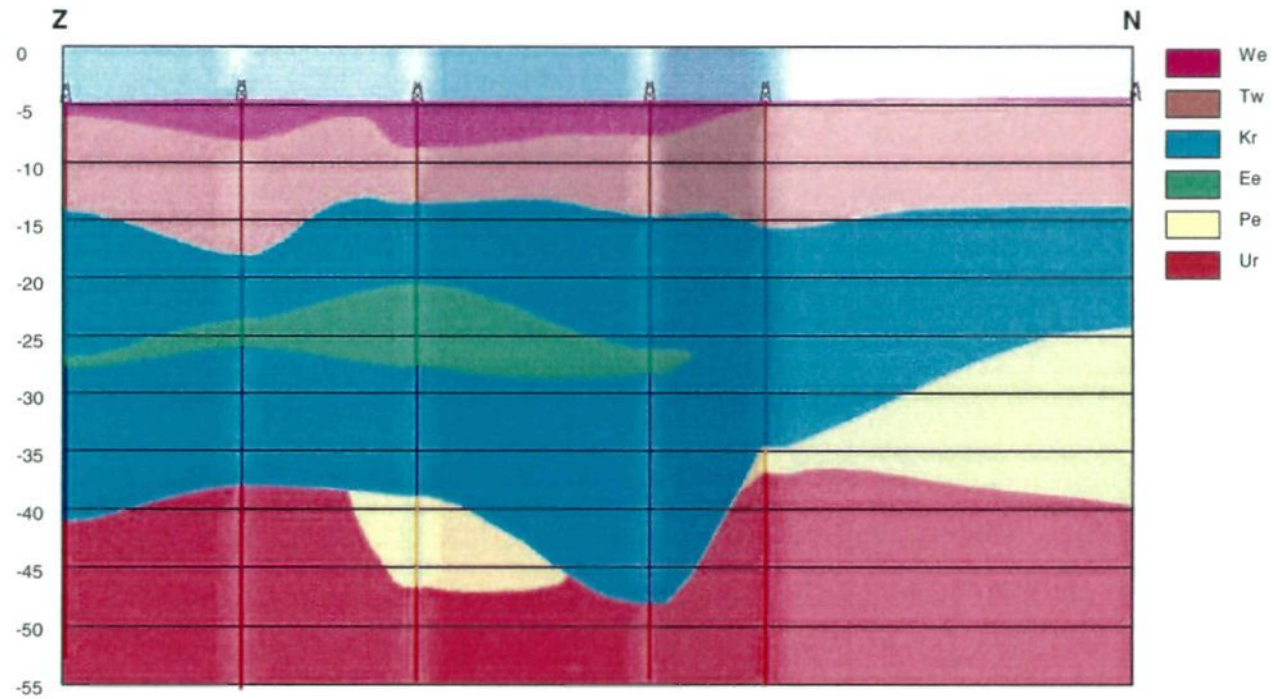
**Bijlage C Vertikale doorsnede door zuidelijk wingebied
(profiel HH')**

Bijlage C: profiel HH' (winzone Zuid)



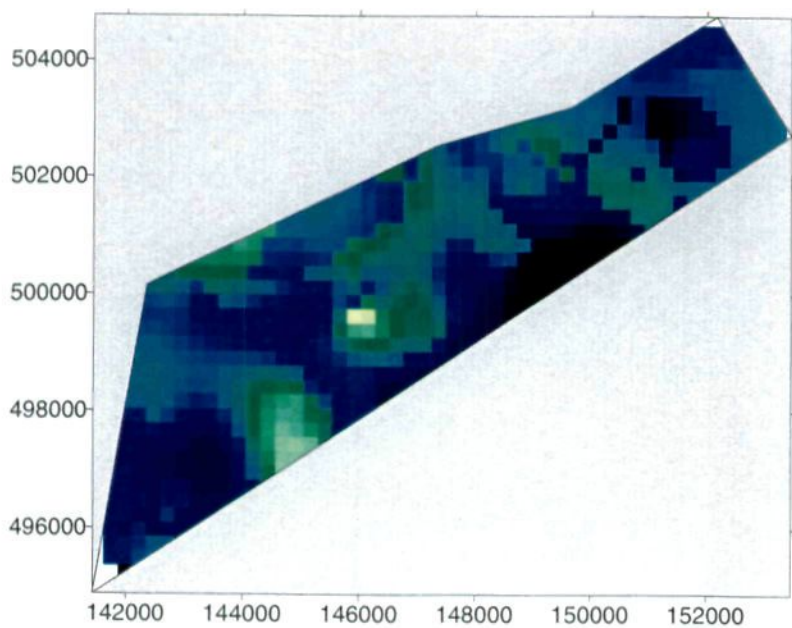
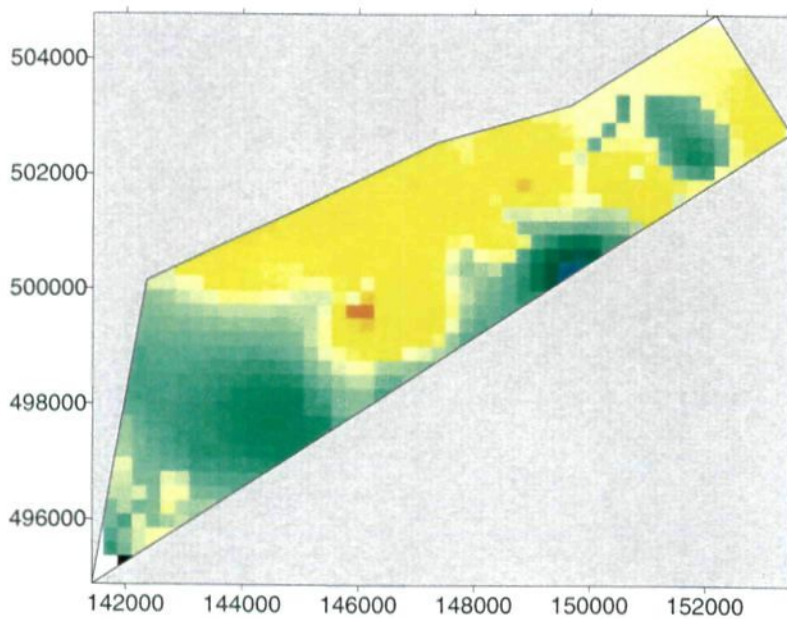
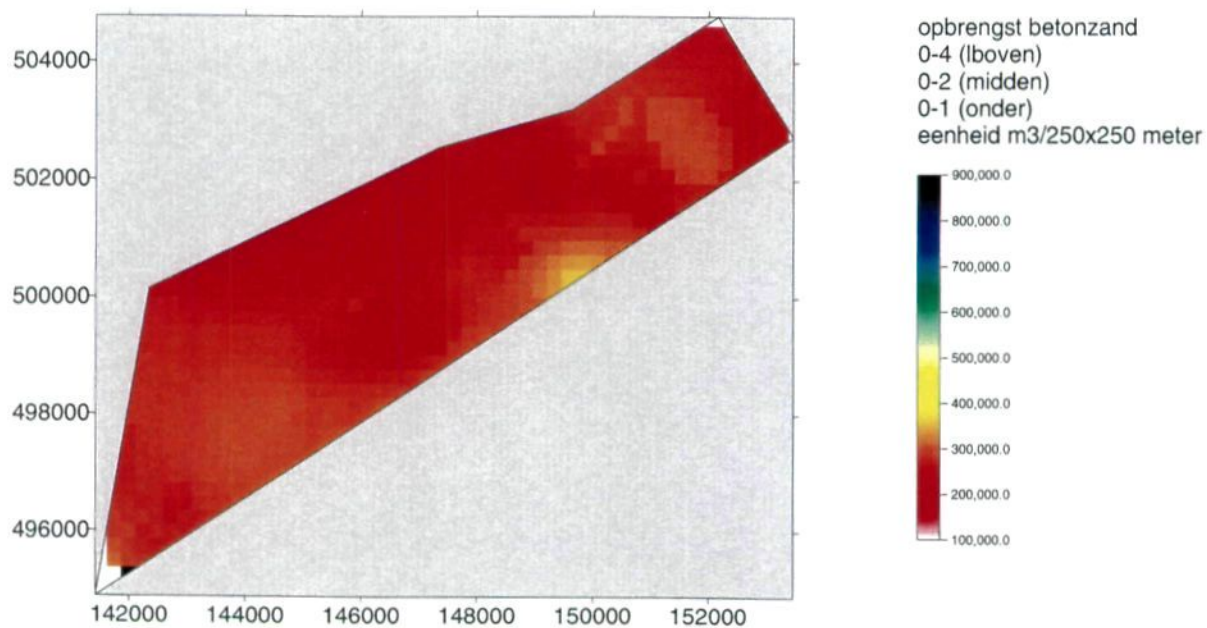
**Bijlage D Vertikale doorsnede door noordelijk wingebied
(profiel EE')**

Bijlage D: profiel EE' (winzone Noord)



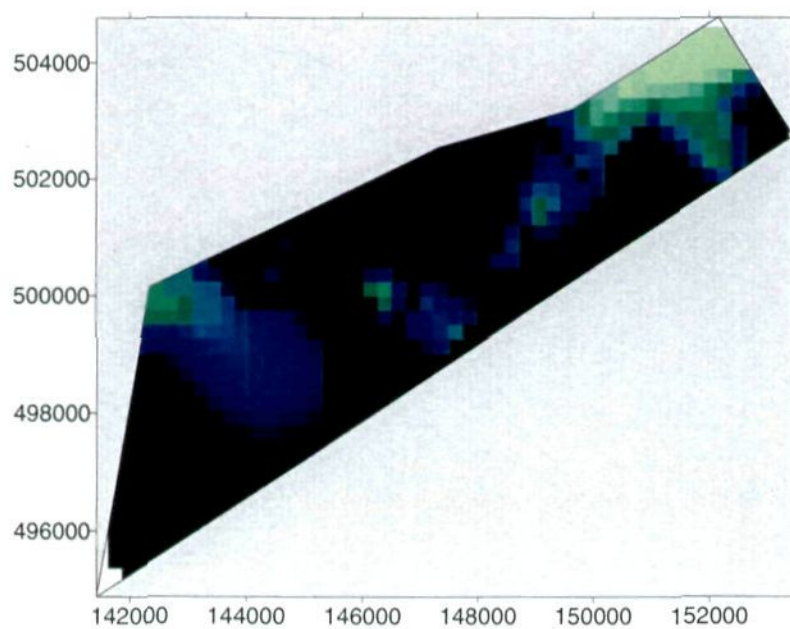
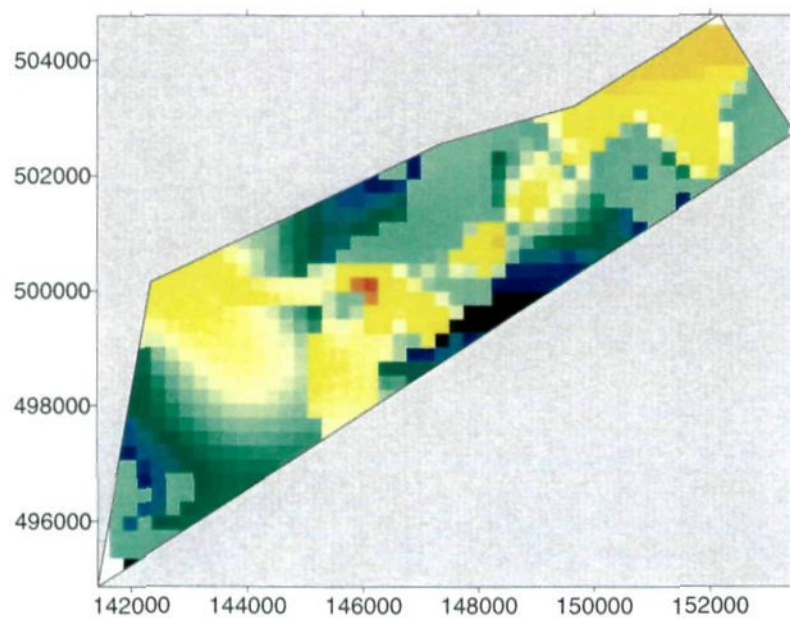
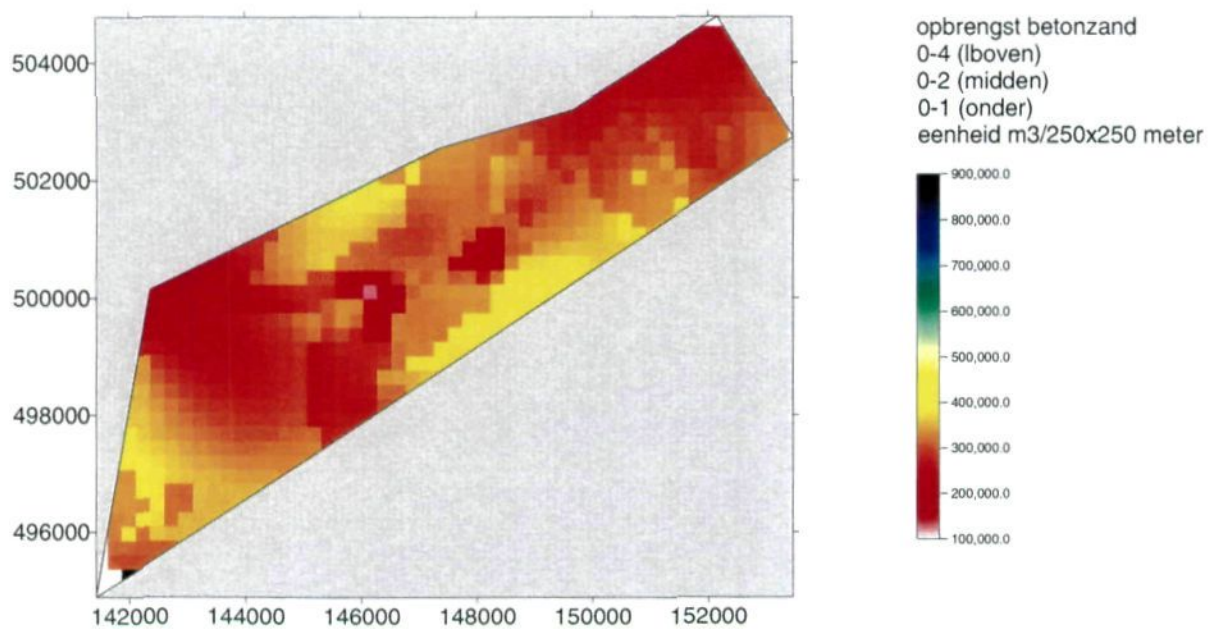
Bijlage E Opbrengst winzone Zuid (0-30 meter)

Bijlage E: opbrengst winzone Zuid (0-30 meter)



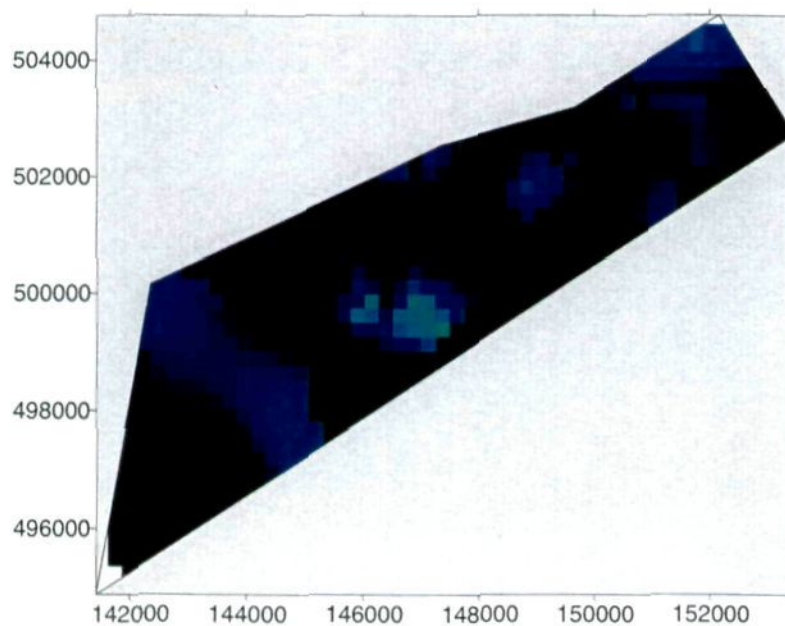
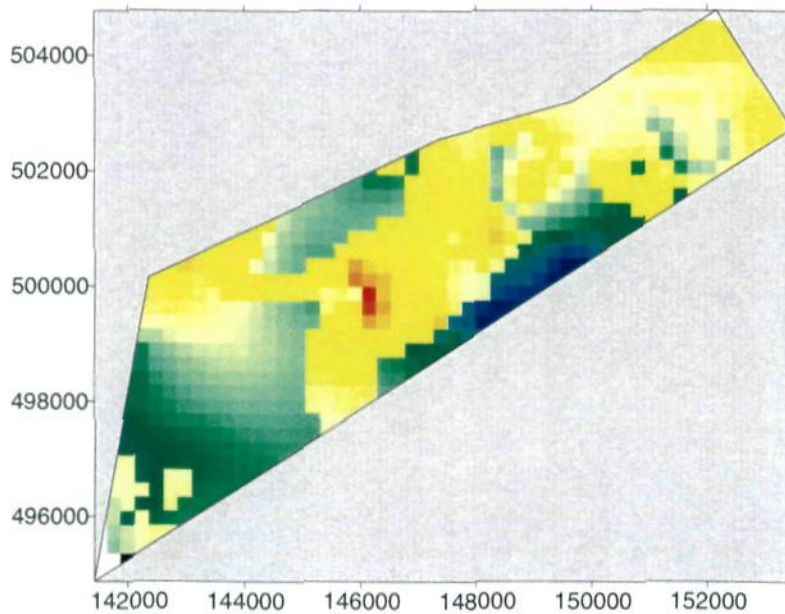
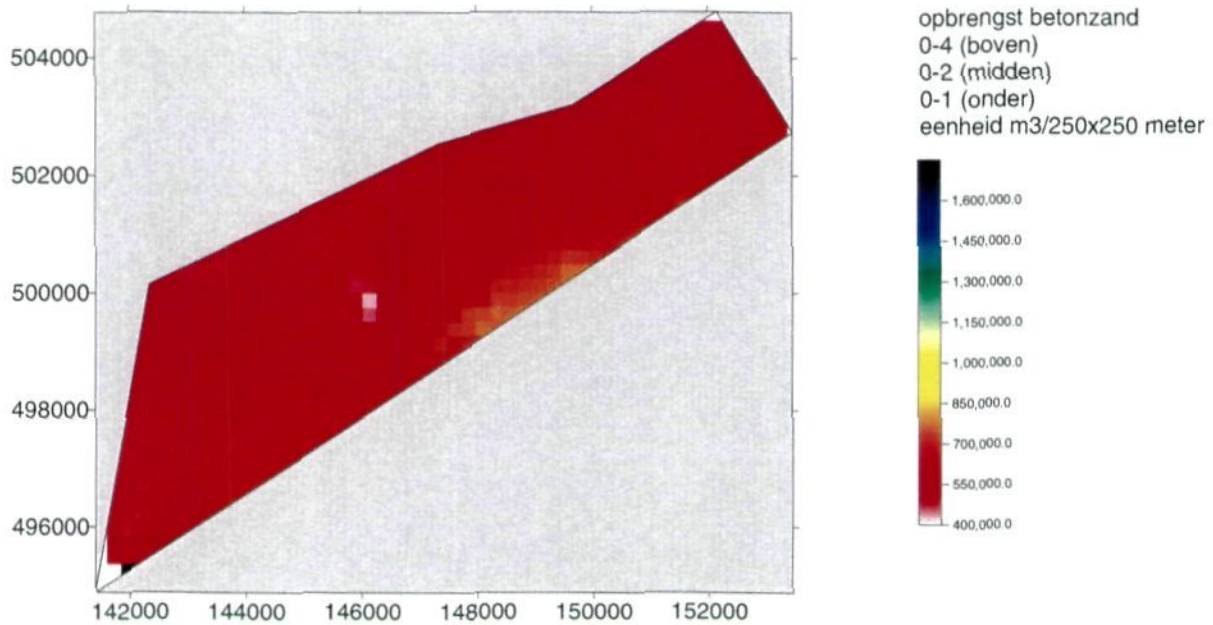
Bijlage F Opbrengst winzone Zuid (30-55 meter)

Bijlage F: opbrengst winzone Zuid (30-55 meter)



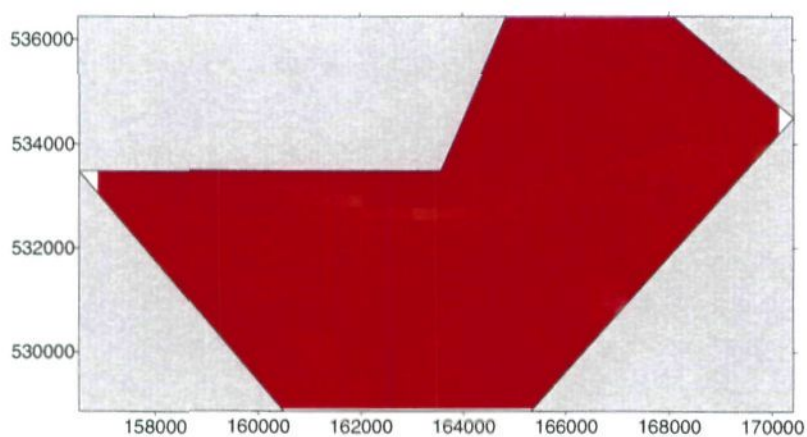
Bijlage G Opbrengst winzone Zuid (0-55 meter)

Bijlage G: opbrengst winzone Zuid (0-55 meter)

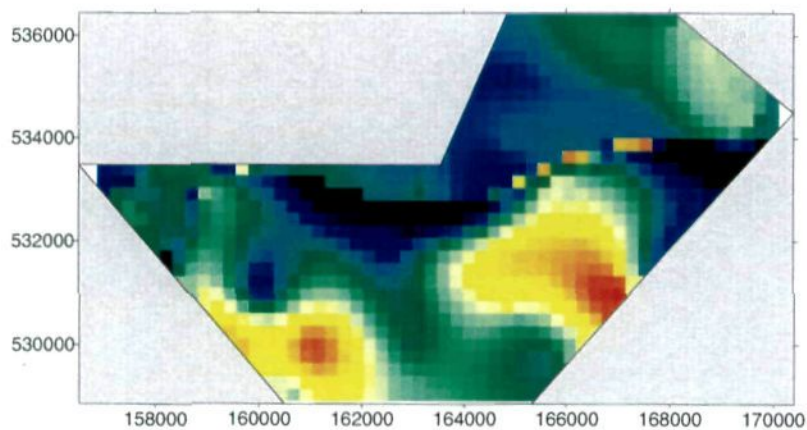
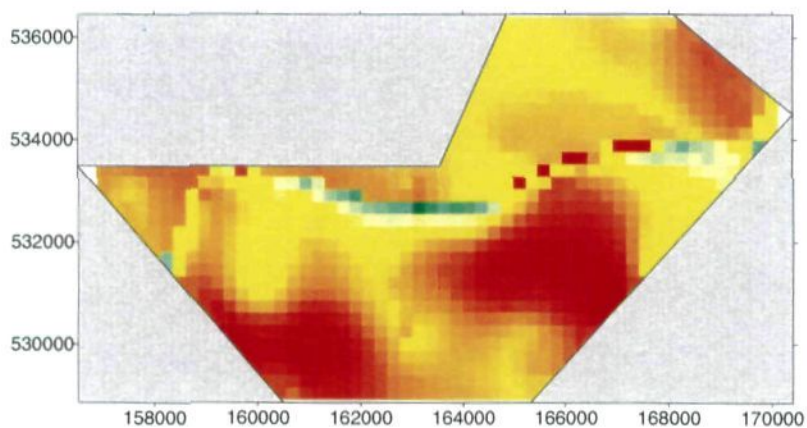
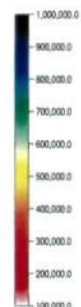


Bijlage H Opbrengst winzone Noord (0-30 meter)

Bijlage H: opbrengst winzone Noord (0-30 meter)

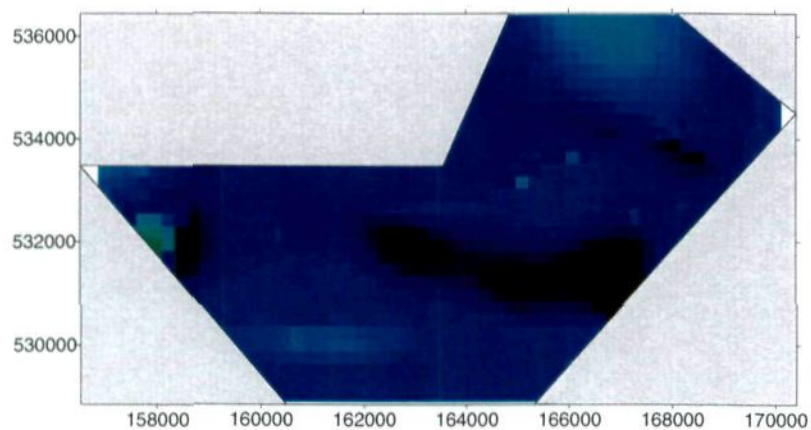
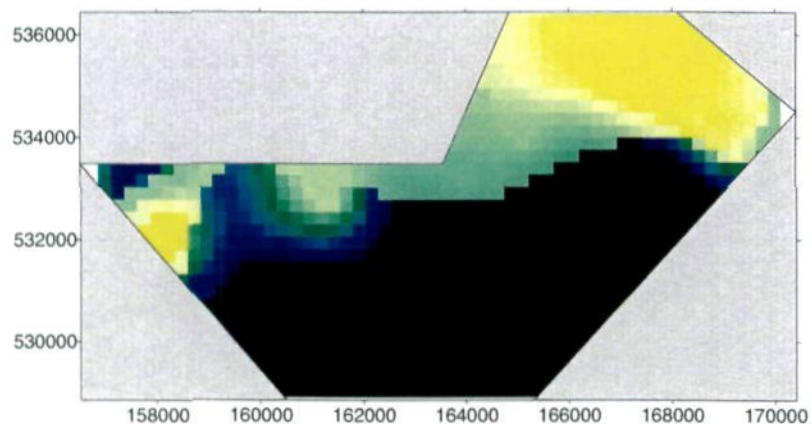
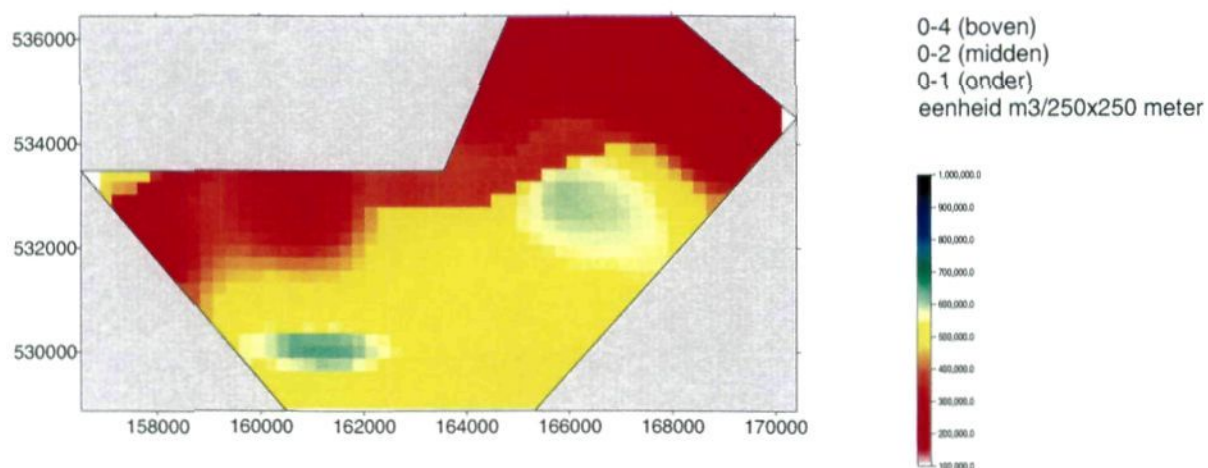


0-4 (boven)
0-2 (midden)
0-1 (onder)
eenheid m3/250x250 meter



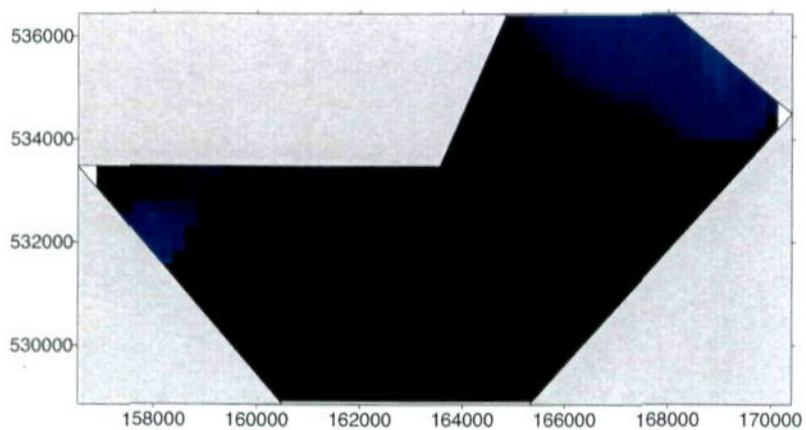
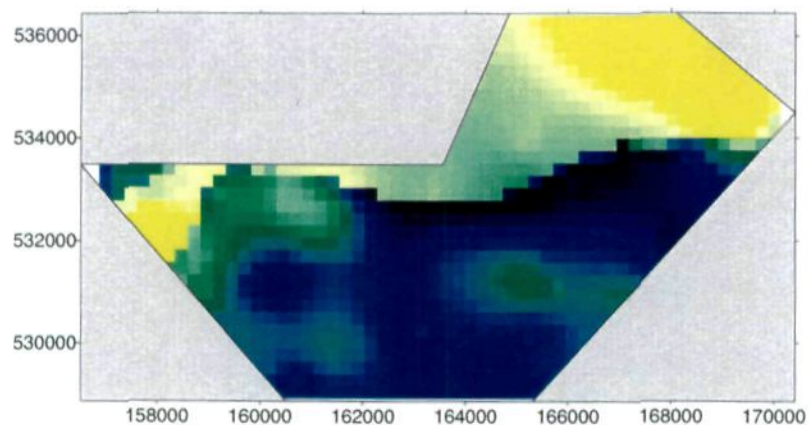
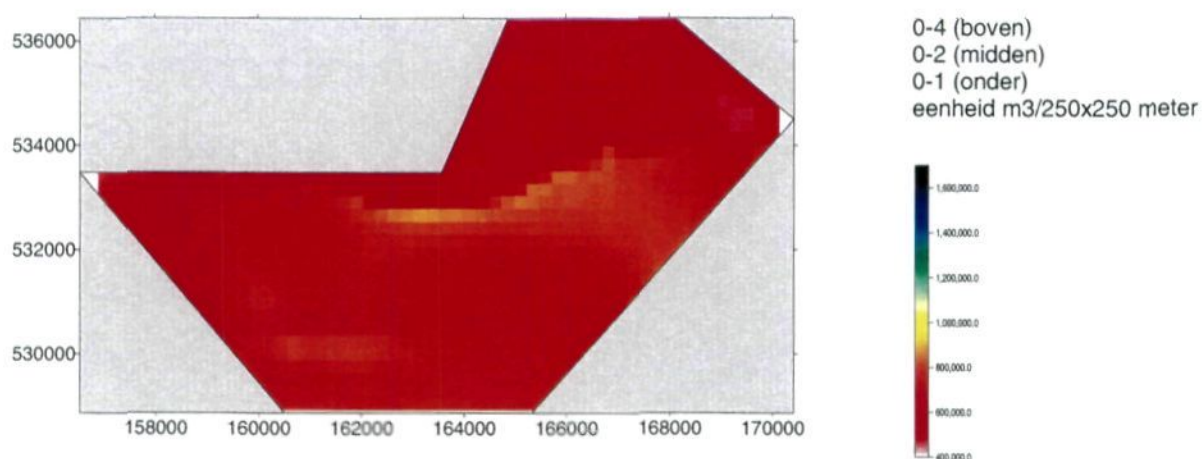
Bijlage I Opbrengst winzone Noord (30-55 meter)

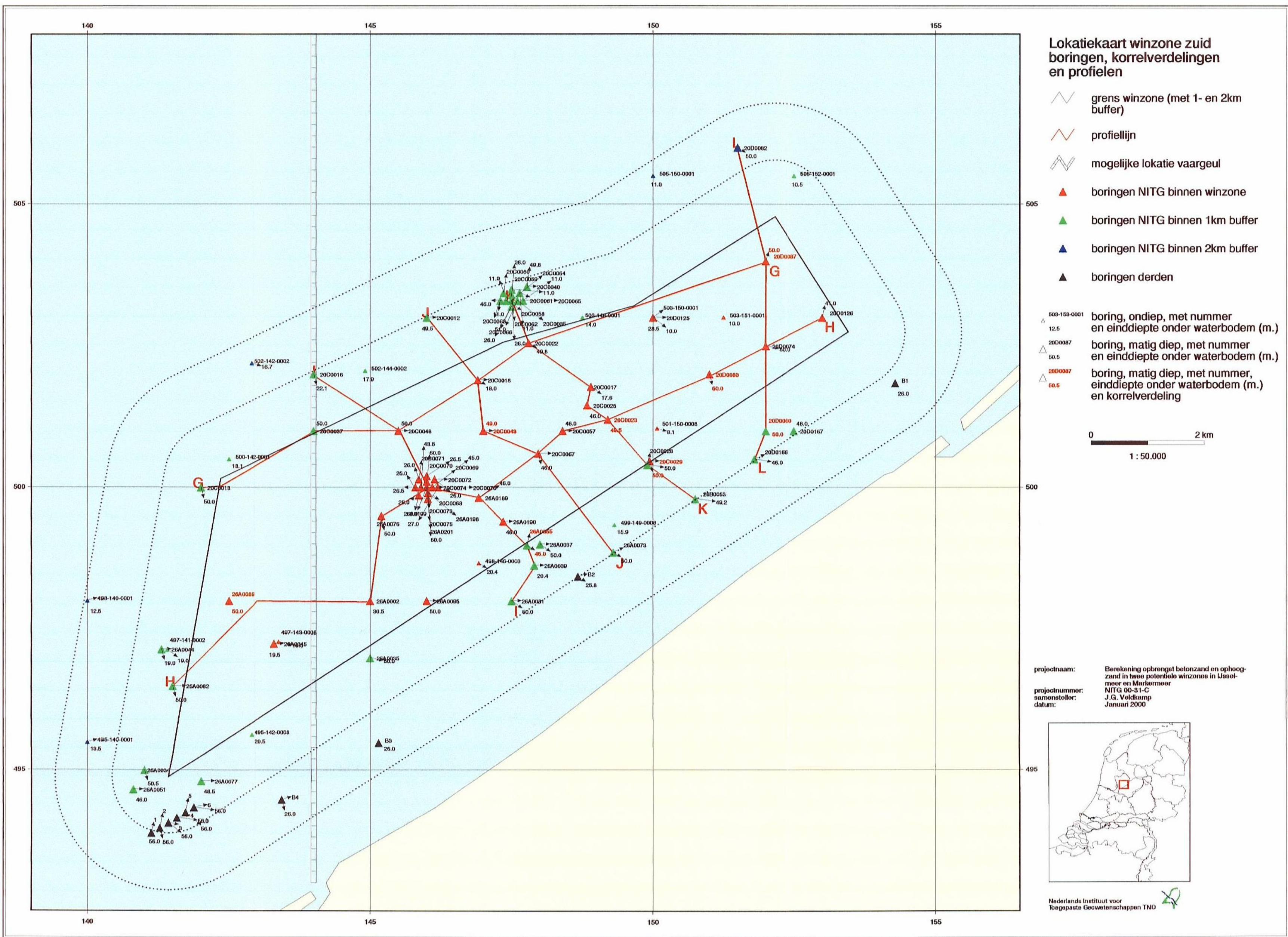
Bijlage I: opbrengst winzone Noord (30-55 meter)



Bijlage J Opbrengst winzone Noord (0-55 meter)

Bijlage J: opbrengst winzone Noord (0-55 meter)





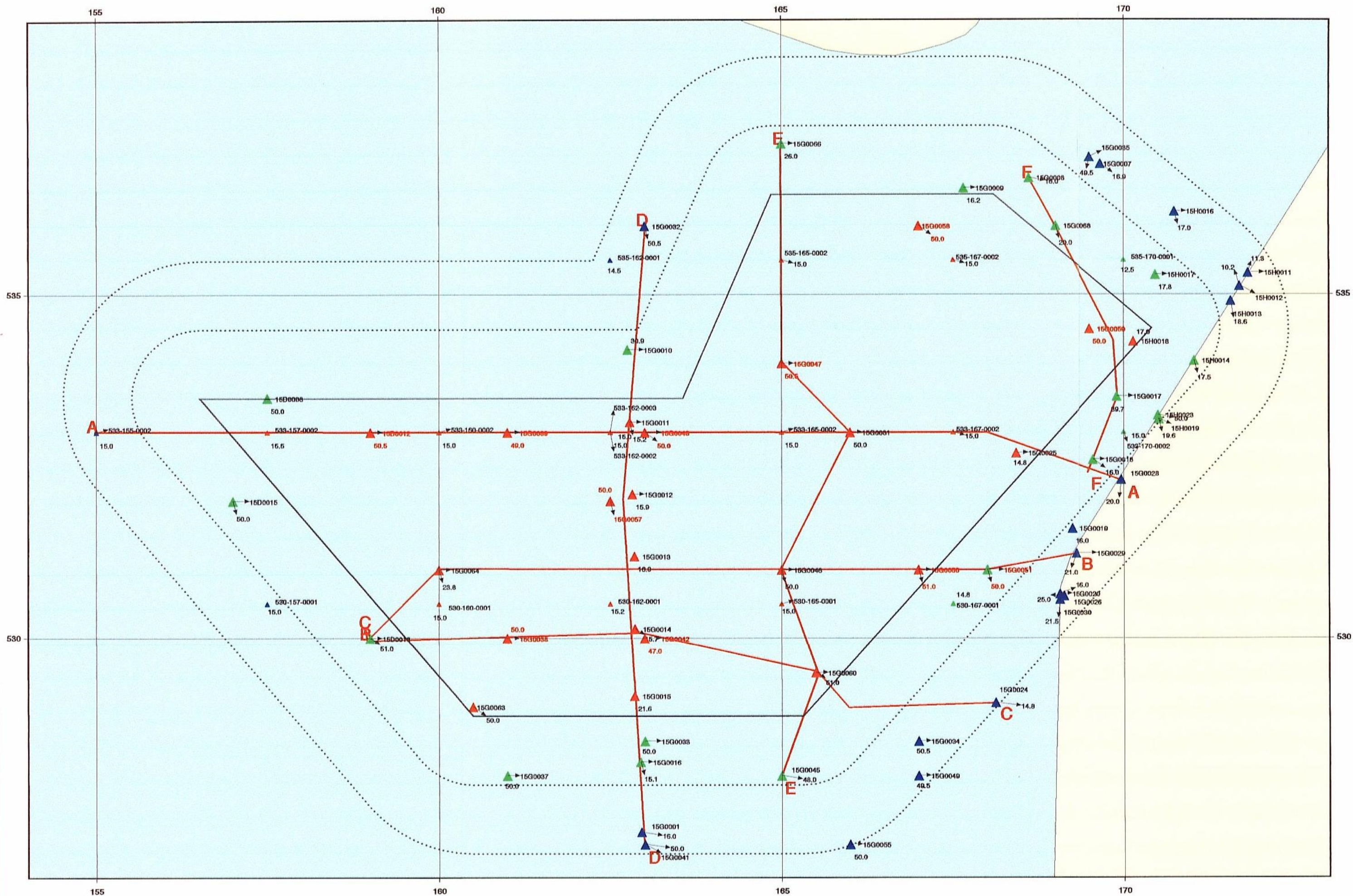
Lokatiekaart winzone zuid
boringen, korrelverdelingen
en profielen

- grens winzone (met 1- en 2km buffer)
- profiellijn
- mogelijke lokatie vaargeul
- boringen NITG binnen winzone
- boringen NITG binnen 1km buffer
- boringen NITG binnen 2km buffer
- boringen derden
- boring, ondiep, met nummer en einddiepte onder waterbodem (m.)
- boring, matig diep, met nummer en einddiepte onder waterbodem (m.)
- boring, matig diep, met nummer, einddiepte onder waterbodem (m.) en korrelverdeling

0 2 km
1 : 50.000

projectnaam: Berekening opbrengst betonzand en ophoog-
zand in twee potentiële winzones in IJssel-
meer en Markomeer
projectnummer: NITG 00-31-C
samensteller: J.G. Veldkamp
datum: Januari 2000





Lokatiekaart winzone noord boringen, korrelverdelingen en profielen

- grens winzone (met 1- en 2km buffer)
- profiellijn
- boringen NITG binnen winzone
- boringen NITG binnen 1km buffer
- boringen NITG binnen 2km buffer
- boring, ondiep, met nummer en einddiepte onder waterbodem (m.)
- boring, matig diep, met nummer en einddiepte onder waterbodem (m.)
- boring, matig diep, met nummer, einddiepte onder waterbodem (m.) en korrelverdeling

0 2 km
1 : 50.000

projectnaam: Berekening opbrengst betonzand en ophoogzand in twee potentiële winzones in IJsselmeer en Markermeer
projectnummer: NITG 00-31-C
samensteller: J.G. Veldkamp
datum: Januari 2000



Nederlands Instituut voor
Toegepaste Geowetenschappen TNO