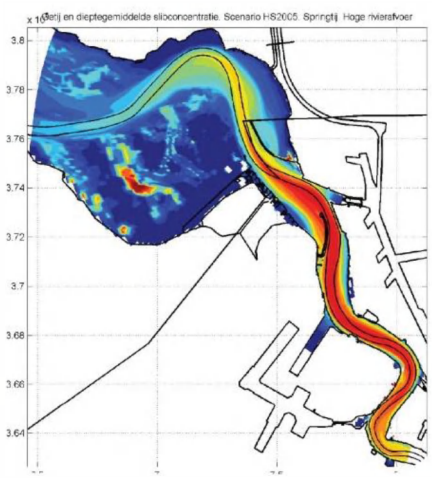
vlaams nederlandse Schelde commissie

departement Mobiliteit en Openbare Werken

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Instandhouding vaarpassen Schelde
Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid
Gebruik van nevengeulen voor binnenvaart

Basisrapport specifieke beheervragen B-24

01 oktober 2013

IMDC International Marine & Dredging Consultants · Deltares Enabling Delta Life · SVASEK HYDRAULICS · ARCADIS Infrastructuur · Water · Milieu · Gebouwen

Colofon

International Marine & Dredging Consultants

Adres: Coveliersstraat 15, 2600 Antwerpen, België

☎: + 32 3 270 92 95

🗐: + 32 3 235 67 11

Email: info@imdc.be

Website: www.imdc.be

Deltares

Adres: Rotterdamseweg 185, 2600 MH Delft, Nederland

☎: + 31 (0)88 335 8273

🗐: +31 (0)88 335 8582

Email: info@deltares.nl

Website: www.deltares.nl

Svašek Hydraulics BV

Adres: Schiehaven 13G, 3024 EC Rotterdam, Nederland

☎: +31 10 467 13 61

🗐: +31 10 467 45 59

Email: info@svasek.com

Website: www.svasek.com

ARCADIS Nederland BV

Adres: Nieuwe Stationsstraat 10, 6811 KS Arnhem, Nederland

☎: +31 (0)26 377 89 11

🗐: +31 (0)26 377 85 60

Email: info@arcadis.nl

Website: www.arcadis.nl

Document Identificatie

Titel	Gebruik van nevengeulen voor binnenvaart
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.096/jsn/jsn
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\werkdocumenten\B-24 - Gebruik van nevengeulen voor binnenvaart_v4.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	28/11/12	Concept	JSN/KDW	GVH	MSA
2.0	22/01/13	2e Concept, verwerking opm. MDK en RWS	JSN/KDW	GVH	MSA
3.0	01/02/13	Finale versie, verwerking opm. RWS	JSN/KDW	GVH	MSA
4.0	01/10/13	Finale versie	JSN/KDW	GVH	MSA

Verdeellijst

	Analoog
x	Digitaal

Inhoudstafel

1. INLEIDING 1

2. ANALYSE VAN DE HISTORISCHE ONTWIKKELING VAN DE NEVENGEULEN 3

2.1 INLEIDING: GEGEVENS EN METHODES 3

2.2 GEUL VAN BAARLAND 5

2.2.1 Bathymetrieën 5

2.2.2 Verschilkaarten 5

2.2.3 Dwarsprofielen 5

2.2.4 Volume- en hoogteverschillen 5

2.2.5 Conclusie 6

2.3 SCHAAR VAN VALKENISSE 7

2.3.1 Bathymetrieën 7

2.3.2 Verschilkaarten 7

2.3.3 Dwarsprofielen 7

2.3.4 Volume- en hoogteverschillen 7

2.3.5 Conclusie 8

2.4 SCHAAR VAN DE NOORD 9

2.4.1 Bathymetrieën 9

2.4.2 Verschilkaarten 9

2.4.3 Dwarsprofielen 9

2.4.4 Volume- en hoogteverschillen 9

2.4.5 Conclusie 10

3. AANLEGBAGGERWERKEN 11

3.1 VOLUMEBEPALING AANLEGBAGGERWERKEN 11

3.1.1 Gebruikte data 11

3.1.2 Aannames 11

3.1.3 Volumes 12

3.2 BUDGETRAMING AANLEGBAGGERWERKEN 23

3.2.1 Keuze type baggertuig 23

3.2.2 Diepgang 24

3.2.3 Kostprijsberekening 26

4. ONDERHOUDSBAGGERWERKEN 27

4.1 INLEIDING 27

4.2 VOLUMEBEPALING ONDERHOUDSBAGGERWERKEN 30

4.2.1 Delft3D 30

4.2.2 FINEL2d 39

4.2.3 Volumes 52

4.3 BUDGETRAMING ONDERHOUDSBAGGERWERKEN 53
5. IMPACT VAN DE INGREPEN 55
5.1 MORFOLOGIE 55
5.2 WATERSTANDEN 55
5.3 HYDRODYNAMICA 55
5.4 ECOLOGIE 62
6. CONCLUSIE 63
7. REFERENTIES 67

Bijlagen

BIJLAGE A GEUL VAN BAARLAND: BATHYMETRIEËN 69
BIJLAGE B GEUL VAN BAARLAND: VERSCHILKAARTEN 71
BIJLAGE C SCHAAR VAN VALKENISSE: BATHYMETRIEËN 73
BIJLAGE D SCHAAR VAN VALKENISSE: VERSCHILKAARTEN 75
BIJLAGE E SCHAAR VAN DE NOORD: BATHYMETRIEËN 77
BIJLAGE F SCHAAR VAN DE NOORD: VERSCHILKAARTEN 79
BIJLAGE G DWARSPROFIELEN 81
BIJLAGE H MEMO DELFT3D SIMULATIES ONDERHOUDSBAGGERWERK 83
BIJLAGE I MEMO FINEL2D SIMULATIES ONDERHOUDSBAGGERWERK 85

Lijst van tabellen

TABEL 2-1: VERSCHILVOLUMES EN GEMIDDELDE HOOGTEVERSCHILLEN VOOR DE GEUL VAN BAARLAND 6
TABEL 2-2: VERSCHILVOLUMES EN GEMIDDELDE HOOGTEVERSCHILLEN VOOR DE SCHAAR VAN VALKENISSE 8
TABEL 2-3: VERSCHILVOLUMES EN GEMIDDELDE HOOGTEVERSCHILLEN VOOR DE SCHAAR VAN DE NOORD 10
TABEL 3-1: BAGGERVOLUMES IN M³ IN SITU VOOR DE VERSCHILLENDE AANLEGVARIANTEN 12
TABEL 3-2 : KENMERKEN GESCHIKTE SLEEPHOPPERZUIGERS 24
TABEL 3-3 : KOSTPRIJZEN IN € VOOR DE VERSCHILLENDE AANLEGVARIANTEN 26
TABEL 4-1: BAGGERVOLUMES VOOR DE AANLEG EN HET ONDERHOUD PER SIMULATIEJAAR 32
TABEL 4-2: BAGGERVOLUMES VOOR DE AANLEG EN HET ONDERHOUD PER SIMULATIEJAAR MET VASTE BETONNING (M³/JAAR) 45
TABEL 4-3: BAGGERVOLUMES VOOR DE AANLEG EN HET ONDERHOUD PER SIMULATIEJAAR MET VARIABELE BETONNING (M³/JAAR) 45
TABEL 4-4: BIJKOMENDE ONDERHOUDSBAGGERVOLUMES IN M³ IN SITU VOLGENS DE MODELSIMULATIES 52
TABEL 4-5 : KOSTPRIJZEN IN € VOOR DE EXTRA ONDERHOUDSBAGGERWERKEN 53

Lijst van figuren

FIGUUR 1-1: OVERZICHTSKAART VAARPASSEN WESTERSCHELDE 2

FIGUUR 2-1: DE WESTERSCHELDE MET AANDUIDING VAN DE HOOFDVAARGEUL, DE NEVENVAARGEUL EN DE DRIE POLYGONEN VOOR DE TE ONDERZOEKEN DREMPELS (ACHTERGROND = BATHYMETRIE VAN 2011) 4

FIGUUR 2-2: LIGGING VAN DE DWARSPROFIELEN VOOR DE VERSCHILLENDE DREMPELS 4

FIGUUR 3-1: VOLUMEBEREKENING VOOR EEN TYPEDOORSNEDE VAN DE AANLEGWERKEN NEVENGEULEN 12

FIGUUR 3-2: GEUL VAN BAARLAND : LOKALISERING VAN DE TE BAGGEREN ZONES BIJ BAGGEREN TOT -2,5 M LAT (ORANJE) / -3,5 M LAT (ROOD) / -4,5 M LAT (GEEL) – EXCL.OVERDIEPTE 14

FIGUUR 3-3: GEUL VAN BAARLAND : WEG TE HALEN LAAGDIKTES (IN M) BIJ BAGGEREN TOT -4,5 M LAT (ENKEL IN SITU PROFIEL ZONDER OVERDIEPTE) 15

FIGUUR 3-4: GEUL VAN BAARLAND : GEREALISEERDE OVERDIEPTE (IN M) BIJ BAGGEREN TOT -4,5 M LAT 16

FIGUUR 3-5: SCHAAR VAN VALKENISSE : LOKALISERING VAN DE TE BAGGEREN ZONES BIJ BAGGEREN TOT -2,5 M LAT (ORANJE) / -3,5 M LAT (ROOD) / -4,5 M LAT (GEEL) 17

FIGUUR 3-6: SCHAAR VAN VALKENISSE : WEG TE HALEN LAAGDIKTES (IN M) BIJ BAGGEREN TOT – 3,5 M LAT (ENKEL IN SITU PROFIEL ZONDER OVERDIEPTE) 18

FIGUUR 3-7: SCHAAR VAN VALKENISSE : GEREALISEERDE OVERDIEPTE (IN M) BIJ BAGGEREN TOT -3,5 M LAT 19

FIGUUR 3-8: SCHAAR VAN DE NOORD : LOKALISERING VAN DE TE BAGGEREN ZONES BIJ BAGGEREN TOT -2,5 M LAT (ORANJE) / -3,5 M LAT (ROOD) / -4,5 M LAT (GEEL) 20

FIGUUR 3-9: SCHAAR VAN DE NOORD : WEG TE HALEN LAAGDIKTES (IN M) BIJ BAGGEREN TOT -2,5 M LAT (ENKEL IN SITU PROFIEL ZONDER OVERDIEPTE) 21

FIGUUR 3-10: SCHAAR VAN DE NOORD : GEREALISEERDE OVERDIEPTE (IN M) BIJ BAGGEREN TOT -2,5 M LAT 22

FIGUUR 3-11 : VLAANDEREN I (DC) 23

FIGUUR 3-12 : PINTA (JDN) 23

FIGUUR 3-13: WATERSTANDEN TER HOOGTE VAN WALSOORDEN OVER ENKELE WEKEN IN SEPTEMBER EN OKTOBER 2011, REFERENTIE = LAT, EENHEID = CM 25

FIGUUR 3-14: WATERSTANDEN TER HOOGTE VAN WALSOORDEN OVER EEN PERIODE VAN ENKELE DAGEN ROND DOODTIJ IN SEPTEMBER 2011, REFERENTIE = LAT, EENHEID = CM 25

FIGUUR 4-1: REKENROOSTER ROND DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD 27

FIGUUR 4-2: OVERZICHT VAN DE BAGGER- EN STORTPOLYGONEN 29

FIGUUR 4-3: BODEMLIGGING AAN DE GEUL VAN BAARLAND OP HET EINDE VAN HET EERSTE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 30

FIGUUR 4-4: BODEMLIGGING AAN DE GEUL VAN BAARLAND OP HET EINDE VAN HET VIJFDE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 31

FIGUUR 4-5: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA VIJF JAAR, ONVERDIEPT 31

FIGUUR 4-6: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA VIJF JAAR, VERDIEPT 32

FIGUUR 4-7: BAGGERVOLUMES VOOR HET ONDERHOUD, CUMULATIEF OVER DE SIMULATIEJAREN 33

FIGUUR 4-8: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE OP HET EINDE VAN HET EERSTE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 34

FIGUUR 4-9: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE OP HET EINDE VAN HET VIJFDE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 34

FIGUUR 4-10: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE NA VIJF JAAR, ONVERDIEPT 35

FIGUUR 4-11: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE NA VIJF JAAR, VERDIEPT 35

FIGUUR 4-12: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN DE NOORD OP HET EINDE VAN HET EERSTE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 36

FIGUUR 4-13: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN DE NOORD OP HET EINDE VAN HET VIJFDE SIMULATIEJAAR, ONVERDIEPT 37

FIGUUR 4-14: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA VIJF JAAR, ONVERDIEPT 37

FIGUUR 4-15: SEDIMENTATIE (ROOD) EN EROSIE (BLAUW) AAN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA VIJF JAAR, VERDIEPT 38

FIGUUR 4-16: TOTALE CUMULATIEVE BAGGERVOLUMES IN DE WESTERSCHELDE IN DE SITUATIE ZONDER EN MET VERDIEPTE NEVENGEUL 39

FIGUUR 4-17: LOCATIES VAN DE BAGGERPOLYGONEN IN DE VERSCHILLENDE JAREN VOOR DE SITUATIE MET VARIABELE BETONNING 41

FIGUUR 4-18: BODEMLIGGING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR, ONVERDIEPT 42

FIGUUR 4-19: BODEMONTWIKKELING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR, ONVERDIEPT 42

FIGUUR 4-20: BODEMLIGGING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR, VERDIEPT EN MET VASTE BETONNING 43

FIGUUR 4-21: VERSCHIL IN DE BODEMONTWIKKELING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR TUSSEN DE ONVERDIEPTE EN DE VERDIEPTE SITUATIE MET VASTE BETONNING 43

FIGUUR 4-22: BODEMLIGGING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR, VERDIEPT EN MET VARIABELE BETONNING 44

FIGUUR 4-23: VERSCHIL IN DE BODEMONTWIKKELING AAN DE GEUL VAN BAARLAND NA 10 JAAR TUSSEN DE ONVERDIEPTE EN DE VERDIEPTE SITUATIE MET VARIABELE BETONNING 44

FIGUUR 4-24: BAGGERVOLUMES VOOR HET ONDERHOUD PER SIMULATIEJAAR IN DE SITUATIE ONVERDIEPT (T0), VERDIEPT MET VASTE BETONNING (T1) EN VERDIEPT MET VARIABELE BETONNING (T2) 46

FIGUUR 4-25: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR, ONVERDIEPT 47

FIGUUR 4-26: BODEMONTWIKKELING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR, ONVERDIEPT 48

FIGUUR 4-27: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR, VERDIEPT MET VASTE BETONNING 48

FIGUUR 4-28: VERSCHIL IN DE BODEMONTWIKKELING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR TUSSEN DE ONVERDIEPTE EN DE VERDIEPTE SITUATIE MET VASTE BETONNING 49

FIGUUR 4-29: BODEMLIGGING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR, VERDIEPT MET VARIABELE BETONNING 49

FIGUUR 4-30: VERSCHIL IN DE BODEMONTWIKKELING AAN DE SCHAAR VAN VALKENISSE EN DE SCHAAR VAN DE NOORD NA 10 JAAR TUSSEN DE ONVERDIEPTE EN VERDIEPTE SITUATIE MET VARIABELE BETONNING 50

FIGUUR 4-31: CUMULATIEVE BAGGERVOLUMES IN DE WESTERSCHELDE IN DE SITUATIE ONVERDIEPT (T0), VERDIEPT MET VASTE BETONNING (T1) EN VERDIEPT MET VARIABELE BETONNING (T2) 51

FIGUUR 5-1: DEBIETVERDELING SCHAAR VAN VALKENISSE / OVERLOOP VAN VALKENISSE 56

FIGUUR 5-2: STROOMSNELHEIDSVERSCHILLEN NA VIJF JAAR TUSSEN DE VERDIEPTE EN DE ONVERDIEPTE SITUATIE VOOR DE SVV EN SVDN TIJDENS MAXIMALE VLOEDSTROOM 57

FIGUUR 5-3: STROOMSNELHEIDSVERSCHILLEN NA VIJF JAAR TUSSEN DE VERDIEPTE EN DE ONVERDIEPTE SITUATIE VOOR DE SVV EN SVDN TIJDENS MAXIMALE EBSTROOM 57

FIGUUR 5-4: VERSCHIL IN MAXIMALE VLOEDSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN VALKENISSE MET VASTE BETONNING (FINEL2D MODEL) 58

FIGUUR 5-5: VERSCHIL IN MAXIMALE EBSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN VALKENISSE MET VASTE BETONNING (DELFT3D MODEL) 59

FIGUUR 5-6: VERSCHIL IN MAXIMALE VLOEDSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN VALKENISSE MET VARIABELE BETONNING (FINEL2D MODEL) 59

FIGUUR 5-7: VERSCHIL IN MAXIMALE VLOEDSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN DE NOORD MET VASTE BETONNING (FINEL2D MODEL) 60

FIGUUR 5-8: VERSCHIL IN MAXIMALE EBSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN DE NOORD MET VASTE BETONNING (DELFT3D MODEL) 61

FIGUUR 5-9: VERSCHIL IN MAXIMALE VLOEDSNELHEID TUSSEN DE SITUATIE MET VERDIEPTE NEVENGEUL EN DEZE ZONDER VOOR DE SCHAAR VAN DE NOORD MET VARIABELE BETONNING (FINEL2D MODEL) 61

FIGUUR 5-10: AREAALONTWIKKELING INTERGETIJDENGEBIED VOOR DE VOLLEDIGE WESTERSCHELDE 62

1. INLEIDING

Het gebruik van nevengeulen in de Westerschelde biedt de mogelijkheid om de veiligheid van het scheepvaartverkeer te verhogen. Onveilige interferenties tussen de grote zeevaart enerzijds en de vaart met kleine diepgang[1] anderzijds worden beperkt als deze laatste categorie in hoofdzaak minder gebruik maken van de hoofdvaargeul. Een van de belangrijkste maatregelen om de scheiding tot stand te brengen bestaat uit het aanleggen en inrichten van een nevenvaargeul met minimale diepte, hoewel thans al een nevenvaarwater bestaat. Dit vereist vooreerst het verdiepen van de bestaande drempels binnen het beoogde tracé door deze nevenvaargeulen en vervolgens het onderhouden van de nevenvaargeul.

De duurzaamheid van een dergelijke ingreep is primair afhankelijk van de wijze waarop het morfodynamisch systeem hierdoor wordt beïnvloed en in relatie daarmee hoe het systeem ecologisch wordt beïnvloed. Daarnaast is het van belang te weten wat de kosten zijn om de ingreep te realiseren, zowel bij aanleg als in de onderhoudsfase.

Concreet leidt de beheervraag inzake gebruik van de nevengeulen voor de vaart met kleine diepgang tot de volgende onderzoeksvragen:

- Wat zijn de kritische gebieden en wat zijn de mogelijke morfologische ingrepen voor elke studielocatie?
- Wat is de historische ontwikkeling van de nevengeulen en gerelateerde plaatranden?
- Wat is de autonome morfologische ontwikkeling van de nevengeulen? Kennis hieromtrent wordt benut als referentiesituatie bij de evaluatie van ingrepen van menselijke oorsprong.
- Wat is de impact van morfologische ingrepen in de nevengeulen/plaatranden inzake morfologie, hydrodynamica (cf. nautische impact) en ecologie?
- Begroting van de baggervolumes en kosten voor de verschillende ingrepen bij aanleg en in de onderhoudsfase.

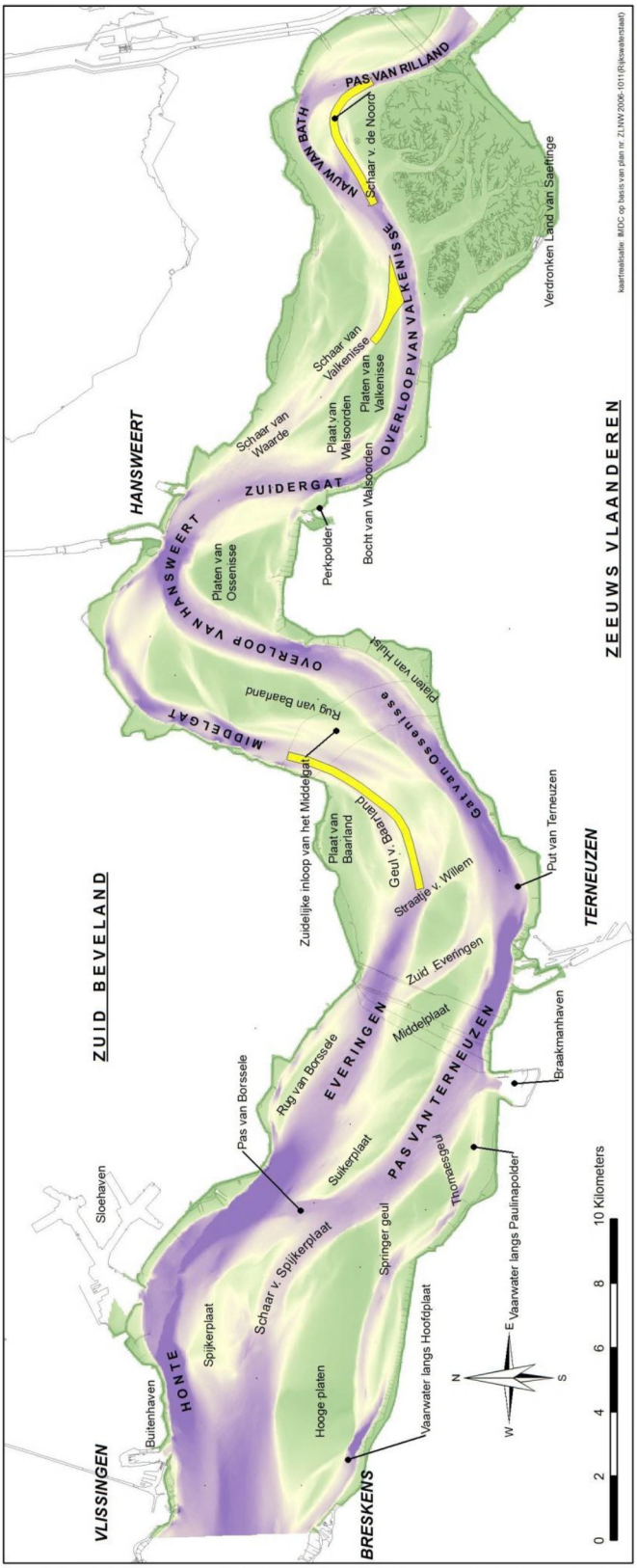
De hier voorliggende rapportage behandelt een historische analyse van de nevengeulen en de aanleg- en onderhoudsbaggerwerken voor de benodigde morfologische ingrepen. De eventuele berging van scheepswrakken werd voorlopig niet meegenomen.

Op basis van reeds verrichte studies (zie 7. Referenties voor de beschikbare kennisproducten) werd bepaald dat er morfologische ingrepen nodig zijn op de volgende locaties:

- Geul van Baarland
- Schaar van Valkenisse
- Schaar van de Noord

Afhankelijk van de vereiste streefdieptes, werd een inschatting van de te baggeren volumes gemaakt. Aan de hand van deze volumes werd een kostprijsraming voor de aanlegwerken opgesteld. Nadien werden de baggervolumes en de kostprijs hiervan voor het jaarlijks onderhoud berekend. De ligging van bovenvermelde locaties wordt getoond in Figuur 1-1.

[1] vaart met kleine diepgang = binnenvaart, recreatievaart, kustvaarders, …



Figuur 1-1: Overzichtskaart vaarpassen Westerschelde

2. ANALYSE VAN DE HISTORISCHE ONTWIKKELING VAN DE NEVENGEULEN

2.1 INLEIDING: GEGEVENS EN METHODES

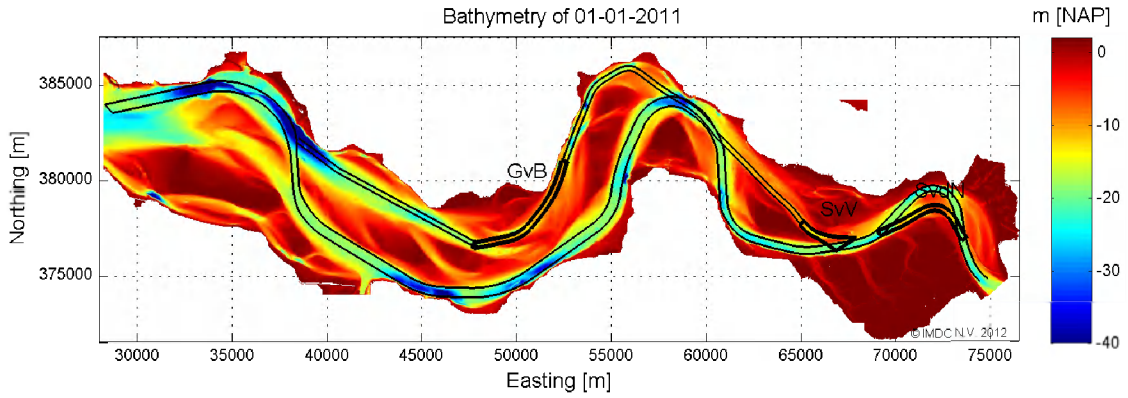
Voorafgaand aan de berekening van de aanlegvolumes en de modelsimulaties, die een inschatting van de onderhoudsbaggerwerken zullen genereren, wordt de morfologische ontwikkeling van de nevengeulen en de omliggende plaatranden tot recent bestudeerd, zowel naar ontwikkeling van beschikbare diepte en breedte. De ervaring leert dat de verschuiving van de nevengeulen volgens een 10- à 20-jarig cyclisch proces verloopt waarbij de geul na een sterke verschuiving opnieuw zal 'doorbreken' op de oorspronkelijke locatie. Dit heeft vanzelfsprekend een invloed op de aansluiting en bijgevolg de bevaarbaarheid van de verschillende nevengeulen.

De analyse van de nevengeulen en de drempelgebieden kan worden uitgevoerd op basis van de beheerslodingen. Deze werden recent jaarlijks uitgevoerd, voor de periode vóór 2001 zijn de data slechts om de twee à drie jaar beschikbaar en werden ze niet systematisch voor elke locatie in de Westerschelde uitgevoerd. Er werd dan ook gekozen om vóór 2001 de bodem om de 10 jaar te analyseren, na 2001 worden jaarlijks de bodemveranderingen en daarmee de sedimentatie- en erosiepatronen bepaald. Verder wordt ter plaatse van de drempel in de nevengeul, binnen het toekomstige baggerpolygoon, uit de bodemveranderingen de jaarlijkse netto sedimentatie afgeleid. Door dit voor een aantal jaren te bepalen wordt een eerste benadering verkregen van de natuurlijke variabiliteit van de bodemligging. Rekening houdend met de beschikbare data, werden de volgende jaartallen gebruikt:

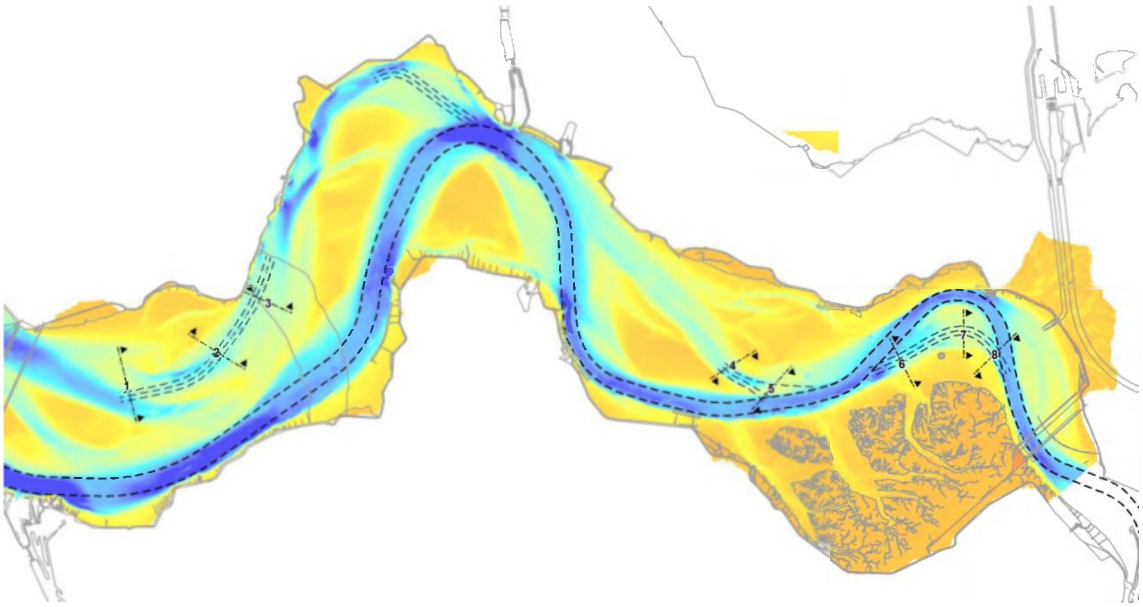
- Geul van Baarland: 1960, 1970, 1982, 1990 en 2001 tot en met 2011
- Schaar van Valkenisse: 1965, 1975, 1982, 1995 en 2001 tot en met 2011
- Schaar van de Noord: 1965, 1975, 1982, 1995 en 2001 tot en met 2011

Om de contouren van de polygonen van de drempels te bepalen werd gekozen om de vastgelegde breedte van de vaargeul van 250 m (zie Hoofdstuk 3) aan weerskanten te verbreden met 25 m om zo een ruimer gebied mee op te nemen in de analyse. Hierdoor kunnen verschuivingen van de vaargeul in het verleden buiten deze 250 m opgemerkt worden. Ook in de langsrichting van de vaargeulen werd een groter gebied dan de drempel van 2011 mee betrokken (zie Figuur 2-1).

Naast de bathymetrieën van de gekozen jaartallen, de verschilkaarten tussen deze jaartallen en de volumeberekening binnen de polygoon, werden ook een aantal dwarsprofielen door de polygonen vastgelegd (Figuur 2-2). Deze geven over de volledige breedte van het profiel een beeld van de evolutie van de bodem over de verschillende jaren.



Figuur 2-1: De Westerschelde met aanduiding van de hoofdvaargeul, de nevenvaargeul en de drie polygonen voor de te onderzoeken drempels (achtergrond = bathymetrie van 2011)



Figuur 2-2: Ligging van de dwarsprofielen voor de verschillende drempels

Op basis van deze verwerkte data is het mogelijk een inschatting te maken of de natuurlijke evolutie van de bodem ervoor zal zorgen dat de streefdiepte voor de verschillende locaties op korte termijn overschreden zal worden indien dit nog niet het geval is. Er zijn twee verschillende manieren om hier mee om te gaan:

a) Ofwel gaat men de betonning van de nevenvaargeul op regelmatige basis (om het jaar of zelfs meer) aanpassen aan de (cyclische) evolutie van bodem om zodoende de onderhoudsbaggerwerken te minimaliseren: variabele baggerpolygonen/betonning

b) Ofwel gaat met de ligging van de nevenvaargeul vastleggen en beslissen om wanneer vereist onderhoudsbaggerwerken uit te voeren. Zodoende wordt de streefdiepte binnen de vaargeul opnieuw bereikt: vaste baggerpolygonen/betonning

2.2 GEUL VAN BAARLAND

2.2.1 Bathymetrieën

In de jaren ’60 en ’70 is het gebied binnen de polygoon ‘Geul van Baarland’ relatief ondiep met bodemdieptes die grotendeels kleiner zijn dan -10 m NAP (zie Bijlage A). Het noordoostelijk gedeelte is wel dieper aangezien dit in die periode nog deel uitmaakt van de hoofdvaargeul. In de jaren ’80 en ’90 verondiept deze geul en verplaatst zich stilaan in westelijke richting. Ten westen van de polygoon erodeert een diepe zone van ongeveer -20 m NAP richting de polygoon en dringt deze binnen. Tussen 2001 en 2011 erodeert deze diepe zone verder in zuidoostelijke richting. Ook centraal van de polygoon is de bodem bijzonder dynamisch. Hier is een zuidelijke migratie en een verdieping merkbaar van een zone die in 2001 ten noorden van de polygoon ligt en een diepte van ± -14 m NAP heeft en in 2011 tot bijna in de polygoon verschoven is met een diepte van bijna -20 m NAP. Het noordoosten van de polygoon zand merkbaar verder aan.

2.2.2 Verschilkaarten

Deze elementen zijn eveneens terug te vinden in de verschilkaarten (zie Bijlage B). Vooral de zuidelijke verplaatsing van een diepere zone tussen 2001 en 2011 centraal van de zone is duidelijk merkbaar.

2.2.3 Dwarsprofielen

De 3 profielen dwars op de Geul van Baarland (zie Figuur 2-2 en Bijlage G) geven de mogelijkheid de analyse van de morfologie over heel de periode tussen 1960 en 2011 uit te voeren. De zwarte onderbroken lijn geeft de vastgelegde streefdiepte (zonder baggeroverdiepte), breedte van de vaarweg en de taluds aan weerszijden weer (zie Hoofdstuk 2). Op profiel 1 en 2 ziet men de wat grillige bodem tussen 1960 en 2001 met verdiepingen en verondiepingen op verschillende locaties. De profielen vertonen tussen 2001 en 2011 een zuidelijke verschuiving en een verdieping van enkele meters. Profiel 3 maakt het aanzanden aan de oostzijde van de polygoon gedurende de voorbije 10 jaar zichtbaar. De bodemligging binnen de polygoon blijft de laatste jaren echter min of meer constant.

2.2.4 Volume- en hoogteverschillen

In Tabel 2-1 worden de verschilvolumes en de gemiddelde hoogteverschillen binnen de gekozen polygoon weergegeven. Dit geeft een beeld hoeveel er tussen de betrokken jaren erosie en aanzanding plaatsgevonden heeft en of er een netto verdieping, dan wel verondieping plaatsgevonden heeft. Tussen 1960 en 2001 wisselt de verdieping en de verondieping elkaar sterk af. Sinds 2002 is er voor enkele jaren een netto stagnatie, hoewel er verspreid over de zone nog steeds aanzienlijke verdiepingen en verondiepingen van ±600.000 m³ plaatsvinden. Na 2005 stijgt de erosie lichtjes en daalt de aanzanding, waardoor er een netto verdieping ontstaat van 300.000 à 400.000 m³ per jaar oftewel gemiddeld 10 à 20 cm hoogteverschil. De laatste rij van de tabel vat de laatste 10 jaar samen. In vergelijking met de voorgaande decennia is er duidelijk meer verdieping en verondieping voor deze periode.

Tabel 2-1: Verschilvolumes en gemiddelde hoogteverschillen voor de Geul van Baarland

Ref.-jaren	Netto aangroei [m³]	Verdieping [m³]	Verondieping [m³]	Opp. polygoon [m²]	Netto gemiddeld hoogteverschil [m]
1960-1970	-3.199.105	-3.996.266	797.161	-2.143.950	-1,55
1970-1982	1.998.418	-1.347.292	3.345.710	-2.143.950	0,97
1982-1990	-283.444	-2.107.323	1.823.879	-2.143.950	-0,14
1990-2001	1.108.044	-1.886.544	2.994.588	-2.143.950	0,52
2001-2002	-490.522	-1.120.468	629.946	-2.143.950	-0,23
2002-2003	33.816	-581.538	615.354	-2.143.950	0,02
2003-2004	20.100	-614.610	634.710	-2.143.950	0,01
2004-2005	98.508	-549.136	647.644	-2.143.950	0,05
2005-2006	-152.260	-960.786	808.526	-2.143.950	-0,07
2006-2007	-449.246	-807.754	358.508	-2.143.950	-0,21
2007-2008	-366.396	-740.558	374.162	-2.143.950	-0,17
2008-2009	-191.438	-680.996	489.558	-2.143.950	-0,09
2009-2010	-432.948	-749.190	316.242	-2.143.950	-0,20
2010-2011	-385.106	-897.484	512.378	-2.143.950	-0,18
2001-2011	-2.315.492	-7.702.520	5.387.028	-2.143.950	-1,08

2.2.5 Conclusie

Voor het creëren van een nevenvaargeul op de gekozen positie ligt het in de verwachting dat de bodem in de komende jaren hoger zal komen te liggen dan de vastgelegde streefdiepte door de zuidelijke verplaatsing van de geul. Tussen profiel 1 en 2 liggen er hier en daar al enkele plekken waar dit zo is, zij het een zeer beperkte hoeveelheid. Hoewel locaal beperkte onderhoudsbaggerwerken onvermijdelijk lijken, kan het aangewezen zijn de ligging van de vaargeul mee te laten evolueren met de natuurlijke verschuiving van de diepere zones. De laatste jaren verschuift de wand van de geul (ter hoogte van profiel 1) met een snelheid tot

100 meter per jaar. Indien men de betonning op regelmatige basis aanpast en zo positioneert dat er zekere marge is ten opzichte van de verwachte evolutie van de geul, kunnen onderhoudsbaggerwerken tot een minimum beperkt worden.

2.3 SCHAAR VAN VALKENISSE

2.3.1 Bathymetrieën

Het centrale en noordelijke gedeelte van de polygoon ter hoogte van de Schaar van Valkenisse is in de jaren ’60 en ’70 erg ondiep en bevindt zich op dat moment eigenlijk min of meer volledig op een plaat (zie Bijlage C). Vanaf de jaren ’80 en ‘90 wordt de nevengeul duidelijke zichtbaar, op dat moment ten noorden van de polygoon. Vanaf 2001 tot 2011 schuift deze geul op in zuidelijke richting en komt zo tegen 2011 recht in de polygoon te liggen (de polygoon werd bepaald op basis van de bathymetrie van 2011). Er blijft echter tussen de nevengeul en de hoofdgeul een drempel bestaan met een diepte van -5 à -6 m NAP. De zuidoostelijke plaatpunt van de Plaat van Valkenisse trekt de laatste jaren weg in westelijke richting.

2.3.2 Verschilkaarten

Op de verschilkaarten (zie Bijlage D) zijn voor de periode 1965 tot 2001 opnieuw meerdere verdiepingen en verondiepingen op te merken. Vanaf 2001 is er duidelijk een verdieping van het centrale en het westelijke gedeelte te zien. Dit komt overeen met de zuidwaartse migratie van de geul zoals deze in de bathymetrieën naar voren komt. Er valt te noteren dat de aanzanding ten noorden van de geul tegen 2011 de rand van de polygoon reeds bereikt heeft. Op de drempel tussen de hoofdgeul en de nevengeul komt er de laatste 10 jaar afwisselend verdieping en verondieping plaats.

2.3.3 Dwarsprofielen

Voor de Schaar van Valkenisse werden twee profielen aangeduid (zie Figuur 2-2 en Bijlage G). Ter hoogte van profiel 4 is de zuidwaartse verplaatsing van de geul goed te zien. De diepte blijft min of meer constant. Op profiel 5 is te zien dat de drempel die zich tegen 1995 gevormd heeft, tegen 2001 noordwaarts verplaatst is om nadien af te vlakken wat overeenkomt met het westelijk wegtrekken van de plaatpunt.

2.3.4 Volume- en hoogteverschillen

De verschilvolumes en de gemiddelde hoogteverschillen binnen de gekozen polygoon aan de Schaar van Valkenisse worden in Tabel 2-2 weergegeven. Ook hier zijn er voor 2001 afwisselend verdiepingen en verondiepingen vast te stellen. Sinds 2001 komt er een erosie van gemiddeld 700.000 m³ en een aanzanding van gemiddeld 200.000 m³ voor wat de netto aangroei van volume binnen de polygoon op -500.000 m³ brengt. Dit komt overeen met een gemiddeld hoogteverschil van ongeveer 40 cm. In 2008 is er een uitschieter qua verdieping op te merken. Voor het laatste decennium valt vooral de sterke verdieping op. Dit resulteert eveneens in een groot netto hoogteverschil.

Tabel 2-2: Verschilvolumes en gemiddelde hoogteverschillen voor de Schaar van Valkenisse

Ref.-jaren	Netto aangroei [m³]	Verdieping [m³]	Verondieping [m³]	Opp. polygoon [m²]	Netto gemiddeld hoogteverschil [m]
1965-1975	-1.106.546	-1.816.240	709.694	-1.181.249	-0,94
1975-1982	1.969.722	-648.232	2.617.954	-1.181.249	1,67
1982-1995	-268.228	-1.459.206	1.190.978	-1.181.249	-0,23
1995-2001	-1.430.170	-2.005.016	574.846	-1.181.249	-1,21
2001-2002	-217.466	-439.890	222.424	-1.181.249	-0,18
2002-2003	-280.302	-566.780	286.478	-1.181.249	-0,24
2003-2004	-244.912	-572.586	327.674	-1.181.249	-0,21
2004-2005	-190.996	-402.674	211.678	-1.181.249	-0,16
2005-2006	-747.622	-865.428	117.806	-1.181.249	-0,63
2006-2007	-708.922	-858.232	149.310	-1.181.249	-0,60
2007-2008	-826.028	-921.080	95.052	-1.181.249	-0,70
2008-2009	-1.635.372	-1.685.312	49.940	-1.181.249	-1,39
2009-2010	-486.472	-667.116	180.644	-1.181.249	-0,41
2010-2011	-553.338	-775.564	222.226	-1.181.249	-0,47
2001-2011	-5.891.430	-7.754.662	1.863.232	-1.181.249	-4,99

2.3.5 Conclusie

Voor deze schaar is er duidelijk een bepaalde hoeveelheid aanlegbaggerwerk vereist. Voor de noordwestzijde van de polygoon is dit niet het geval. De zuidelijke migratie van de geul zorgt ervoor dat dit waarschijnlijk nog even zo blijft, al valt het te verwachten dat de noordelijke oever van de geul binnen enkele jaren de polygoon zal gaan binnendringen en er onderhoudsbaggerwerkzaamheden vereist zullen zijn. Aan de zuidoostzijde zal de drempel tussen de nevengeul en de hoofdgeul weggebaggerd moeten worden. Hier lijkt de natuurlijke

evolutie (afvlakking van de drempel) de noodzaak tot baggerwerk voor het op diepte brengen en houden van de zone te verminderen.

2.4 SCHAAR VAN DE NOORD

2.4.1 Bathymetrieën

In de jaren ’60 is de Schaar van de Noord min of meer onbestaande en ligt de zone binnen de polygoon grotendeels op een plaat (Bijlage E). In het westen van de polygoon, tegen de hoofdvaargeul aan, ligt een diepere zone. Tegen 1975 heeft er lichte verdieping plaatsgevonden, dewelke doorzet in de jaren ’70 en ’80. Tegen 1995 is de drempel erg afgevlakt. Vanaf dan tot 2001 is de zone binnen de polygoon weinig dynamisch. Tussen 2001 en 2011 vindt er in het westen van de Schaar erosie plaats waardoor het diepere gedeelte uitbreidt naar het centrum toe. In het oosten is de Schaar weinig dynamisch.

2.4.2 Verschilkaarten

De periode voor 2001 vertoont op de verschilkaarten een lichte verdieping met hier en daar beperkte verondiepingen (zie Bijlage F). Ook hier is de geleidelijke verdieping in het westen van de polygoon terug te zien na 2001. Aan de oostzijde wisselen beperkte verdiepingen en verondiepingen elkaar af.

2.4.3 Dwarsprofielen

Ook voor de Schaar van de Noord werden enkele profielen vastgelegd (zie Figuur 2-2 en Bijlage G). Op het eerste profiel (profiel nr. 6) is te zien dat de hoofdvaargeul tussen ’65 en 2001 hier verdiept. De oever verschuift over deze periode heen en weer. Na 2001 is er weinig dynamiek waar te nemen. De erosie in het westen van de polygoon wordt bevestigd door het terugtrekken van de oever in dit profiel. Op profiel 7 is het afvlakken van de drempel tegen 1995 te zien. Daarna is de dynamiek ter hoogte van de polygoon redelijk beperkt. Er zijn beperkte verdiepingen en verondiepingen. Het terugtrekken van de oever komt ook in dit profiel naar voor. Profiel nr. 8, het oosten van de polygoon, toont het terugtrekken van de oever en de verdieping van de hoofdvaargeul tussen 1965 en 2001. Na 2001 is het bodemprofiel ter hoogte van de polygoon relatief constant.

2.4.4 Volume- en hoogteverschillen

In Tabel 2-3 worden de verschilvolumes en de gemiddelde hoogteverschillen binnen de gekozen polygoon weergegeven. De continue verdieping van de polygoon tot 2001 is ook in deze tabel terug te vinden. Ook daarna domineert erosie de sedimenttransporten in de polygoon. Gemiddeld ligt de aanzanding van de polygoon 150.000 m³ lager. Dit is bijgevolg de netto (negatieve) aangroei wat overeenkomt met een gemiddelde verdieping van ± 10 cm per jaar. Tussen 2001 en 2011 liggen zowel de verdieping als de verondieping wat hoger als de decennia daarvoor wat de netto aangroei en het gemiddeld hoogteverschil in dezelfde lijn brengt.

Tabel 2-3: Verschilvolumes en gemiddelde hoogteverschillen voor de Schaar van de Noord

Ref.-jaren	Netto aangroei [m³]	Verdieping [m³]	Verondieping [m³]	Opp. polygoon [m²]	Netto gemiddeld hoogteverschil [m]
1965-1975	-1.703.902	-2.311.388	607.486	-1.683.456	-1,01
1975-1982	-2.405.020	-2.740.218	335.198	-1.683.456	-1,43
1982-1995	-1.481.914	-2.003.590	521.676	-1.683.456	-0,88
1995-2001	-1.442.336	-1.595.240	152.904	-1.683.456	-0,86
2001-2002	-337.120	-405.740	68.620	-1.683.456	-0,20
2002-2003	-91.332	-270.958	179.626	-1.683.456	-0,05
2003-2004	-90.900	-241.654	150.754	-1.683.456	-0,05
2004-2005	-27.734	-195.488	167.754	-1.683.456	-0,02
2005-2006	-302.936	-393.922	90.986	-1.683.456	-0,18
2006-2007	-106.938	-266.604	159.666	-1.683.456	-0,06
2007-2008	5.402	-166.262	171.664	-1.683.456	0,00
2008-2009	-138.632	-260.792	122.160	-1.683.456	-0,08
2009-2010	39.272	-178.204	217.476	-1.683.456	0,02
2010-2011	-364.448	-507.344	142.896	-1.683.456	-0,22
2001-2011	-1.415.366	-2.886.968	1.471.602	-1.683.456	-0,84

2.4.5 Conclusie

Ook hier is een zekere hoeveelheid aanlegbaggerwerk vereist. Gezien de beperkte variatie van de drempelbodem gedurende de laatste jaren, lijkt het niet aangewezen de betonning mee te verplaatsen met deze verschuivingen. Hier zal, door middel van deze aanpassingen, weinig winst op de onderhoudsbaggerwerken te behalen zijn.

3. AANLEGBAGGERWERKEN

3.1 VOLUMEBEPALING AANLEGBAGGERWERKEN

3.1.1 Gebruikte data

De kuberingen voor Geul van Baarland, Schaar van Valkenisse en Schaar van de Noord zijn uitgevoerd op basis van de multibeambathymetrie van de Westerschelde uit 2011 aangeleverd door Rijkswaterstaat Dienst Zeeland, Meetadviesdienst (RWS) op een 1x1 m grid. De coördinaten zijn UTM zone 31N op ETRS89 en de dieptes worden uitgedrukt t.o.v. LAT.

3.1.2 Aannames

De te onderhouden diepte van de vaargeul ten behoeve van de vaart met kleine diepgang kan beschouwd worden als een bepaalde streefdiepte verhoogd met een zekere tolerantie. Streefdiepten voor de nevengeulen (en bijgevolg ook voor de drempels) kunnen voor elke locatie bepaald worden op basis van de vereiste diepte voor de vaart met kleine diepgang. Een eerste aanzet kan reeds teruggevonden worden in de studie “Veiligheidsmaatregelen op de Westerschelde – Onderzoek scheiden zeevaart en binnenvaart/recreatievaart” (IMDC, 2010).

Initieel wordt uitgegaan van een vaarwegbreedte van circa 250 m. Voor de volledigheid is de volume- en kostenraming voor elke locatie uitgevoerd voor drie varianten in het bodempeil : - 2,5 m LAT / - 3,5 m LAT / - 4,5 m LAT (rode gedeelte in Figuur 3-1). In praktijk is echter niet elke streefdiepte voor elke locatie even relevant :

- *Drempel Geul van Baarland*

  Deze route wordt nu al door de vaart met kleine diepgang gebruikt. Voor dit tracé zal enkel de streefdiepte - 4,5 m LAT bekeken worden. Voor de streefdieptes - 2,5 m LAT en - 3,5 m LAT zijn er geen baggerwerken vereist.

- *Schaar van Valkenisse*

  Voor dit tracé zullen de drie streefdieptes bekeken worden.

- *Schaar van de Noord*

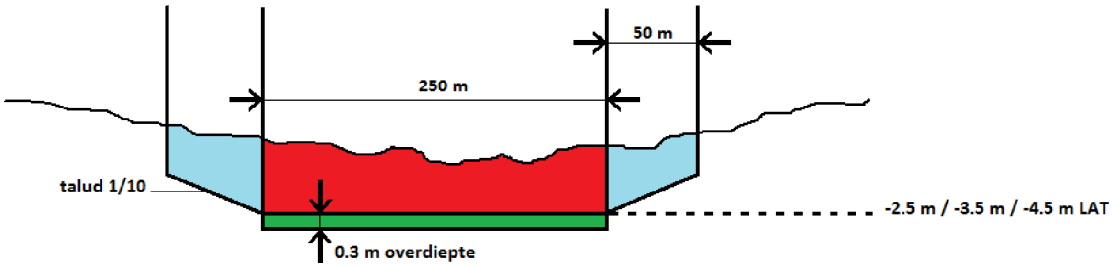
  Op basis van de huidige ervaring is er feitelijk geen noodzaak om de varianten met streefdieptes - 3,5 m LAT en - 4,5 m LAT te bekijken. De huidige streefdiepte hier van - 2,5 m LAT is tot nog toe voldoende gebleken aangezien er zich tot op heden geen incidenten hebben voorgedaan. Om een consistente bepaling van de onderhoudsbaggerwerken uit te voeren, zullen ook voor dit tracé alle drie de streefdieptes bekeken worden.

  Overigens dient er opgemerkt te worden dat er bij een grotere diepte meer schepen gebruik zullen gaan maken van deze nevengeul. Dit zou, wat betreft het scheiden van

de scheepvaartstromen vanuit het Nauw van Bath gezien gunstig kunnen zijn, maar de vraag is of dit ook verkeerstechnisch beheersbaar blijft met het kruisen, dan wel in- en uitvoegen van de verschillende verkeersstromen (stroomeffecten buiten beschouwing gelaten).

Analoog met de hoofdvaargeul, werd bij de volumeramingen rekening gehouden met een gemiddelde overdiepte van 30 cm (groene gedeelte in Figuur 3-1).

Het aanlegtalud naast de vaarweg wordt als 1/10 verondersteld. Voor de volumeberekening wordt de volledige hoeveelheid boven dit talud mee ingerekend indien de snijlijn van het talud met de bathymetrie op minder dan 50 m afstand van de rand van de vaarweg ligt. Indien de snijlijn verderaf ligt, wordt enkel de eerste 50 m meegenomen (blauw gedeelte in Figuur 3-1).



Figuur 3-1: Volumeberekening voor een typedoorsnede van de aanlegwerken nevengeulen

3.1.3 Volumes

Een overzicht van de resultaten van de kuberingen (voor de verschillende aanlegvarianten en gebaseerd op de hierboven beschreven data en aannames) wordt gegeven in Tabel 3-1:

Tabel 3-1: Baggervolumes in m³ in situ voor de verschillende aanlegvarianten

Geul van Baarland	- 2.5 m LAT	- 3.5 m LAT	- 4.5 m LAT
In situ profiel	0	0	51
Overdiepte	0	0	597
TOTAAL	**0**	**0**	**< 1.000**

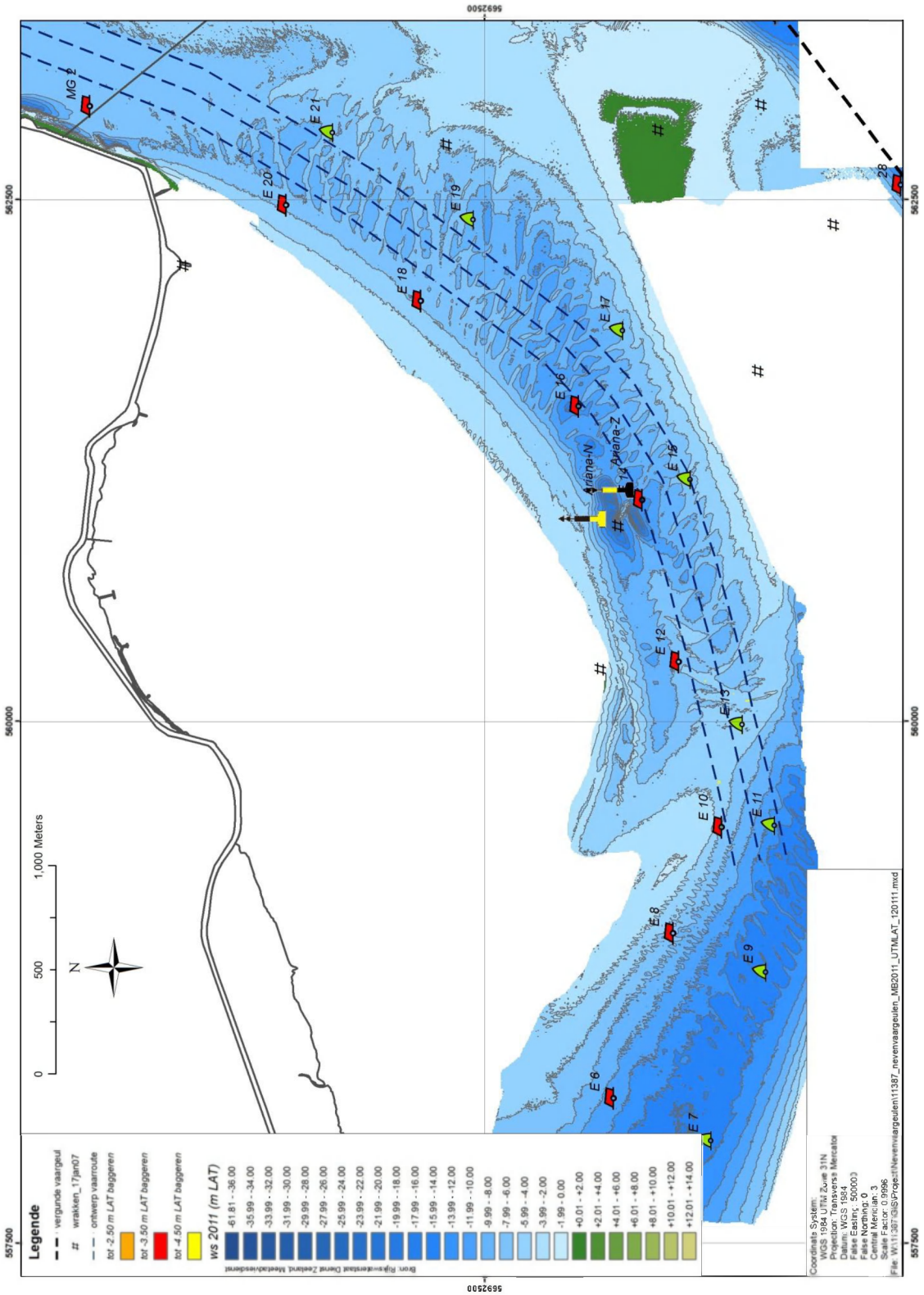
Schaar van Valkenisse	- 2.5 m LAT	- 3.5 m LAT	- 4.5 m LAT
In situ profiel	6.449	97.306	268.580
Overdiepte	16.327	39.313	46.568
TOTAAL	**23.000**	**137.000**	**315.000**

Schaar van de Noord	- 2.5 m LAT	- 3.5 m LAT	- 4.5 m LAT
In situ profiel	1.114	41.300	159.295
Overdiepte	5.044	24.717	39.606
TOTAAL	**6.000**	**66.000**	**199.000**

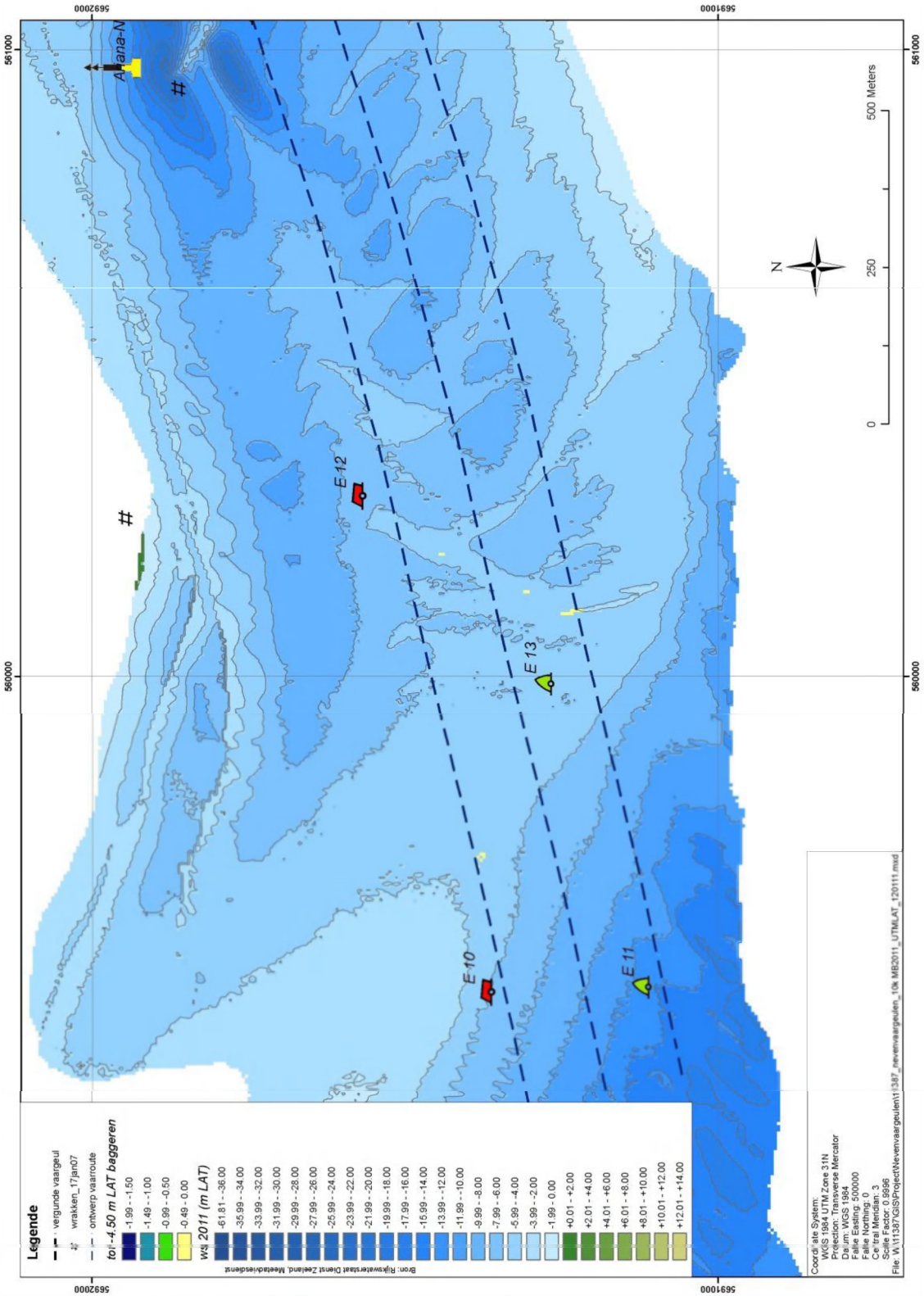
Een en ander wordt geïllustreerd in de hierna volgende kaarten. In Figuur 3-2, Figuur 3-8 en Figuur 3-5 worden de te realiseren baggervolumes gelokaliseerd voor de verschillende streefdieptes. In Figuur 3-3, Figuur 3-4, Figuur 3-9, Figuur 3-10, Figuur 3-6 en Figuur 3-7 worden de beschouwde streefdieptes en overdieptes weergegeven.

Nota

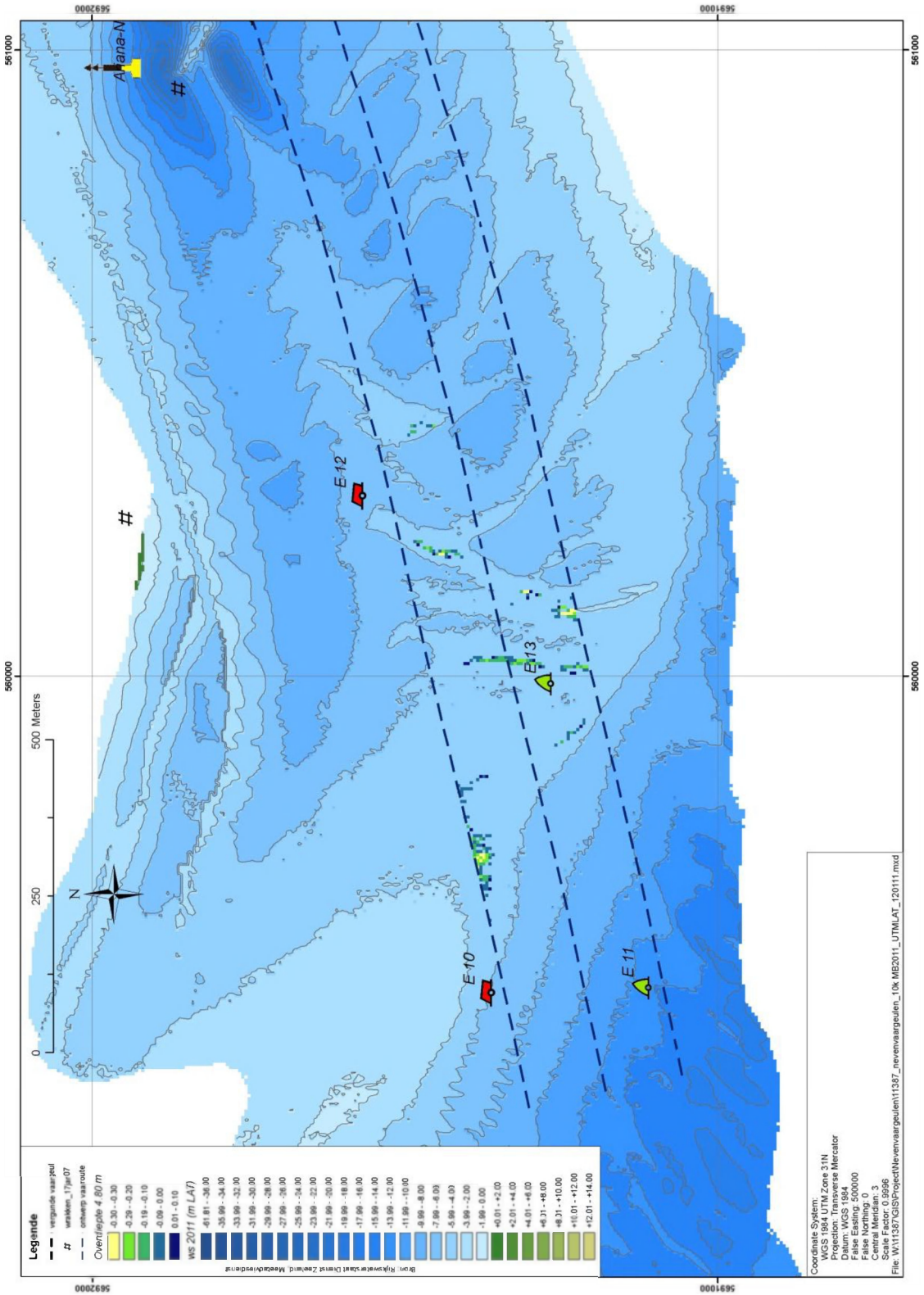
De bathymetrische opmetingen van eind 2012 leren dat het bodemprofiel significante veranderingen ondervonden heeft sinds eind 2011. Voor de Schaar van Valkenisse bijvoorbeeld is de streefdiepte van -2,5 m LAT reeds bereikt en zal de betonning hiervan vanaf begin 2013 in gebruik zijn.



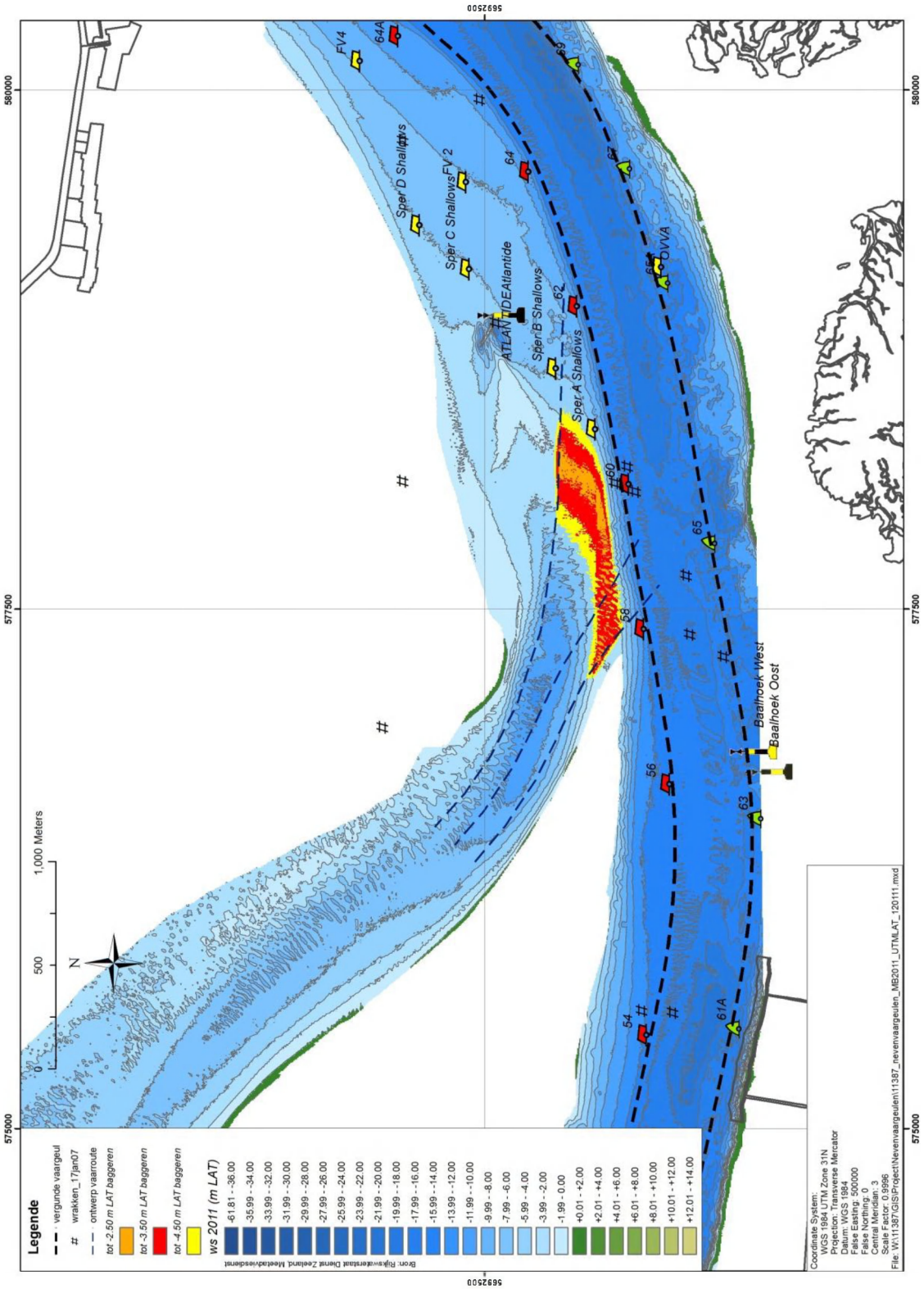
Figuur 3-2: Geul van Baarland : Lokalisering van de te baggeren zones bij baggeren tot -2,5 m LAT (oranje) / -3,5 m LAT (rood) / -4,5 m LAT (geel) – excl.overdiepte



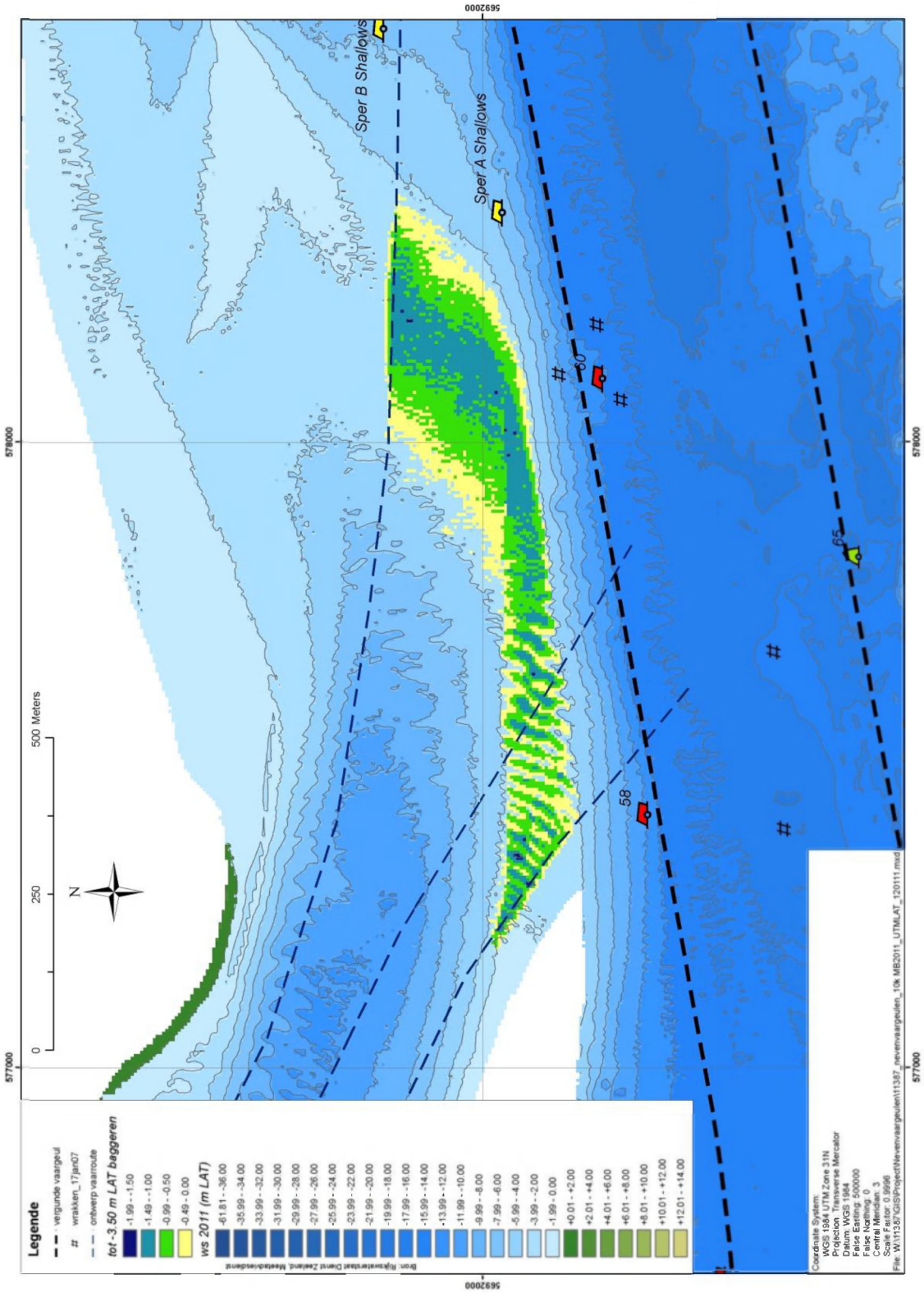
Figuur 3-3: Geul van Baarland : weg te halen laagdiktes (in m) bij baggeren tot -4,5 m LAT (enkel in situ profiel zonder overdiepte)



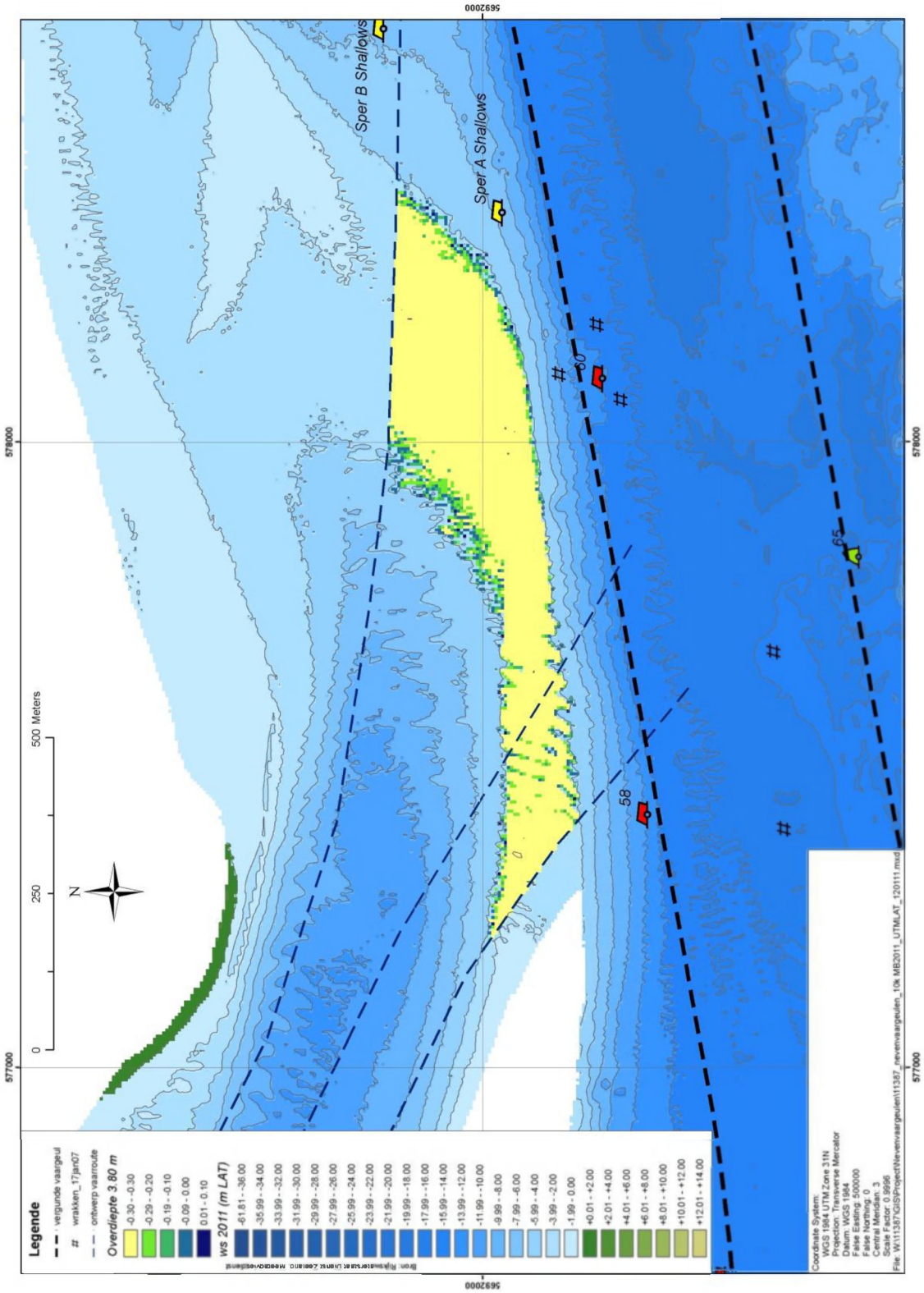
Figuur 3-4: Geul van Baarland : Gerealiseerde overdiepte (in m) bij baggeren tot -4,5 m LAT



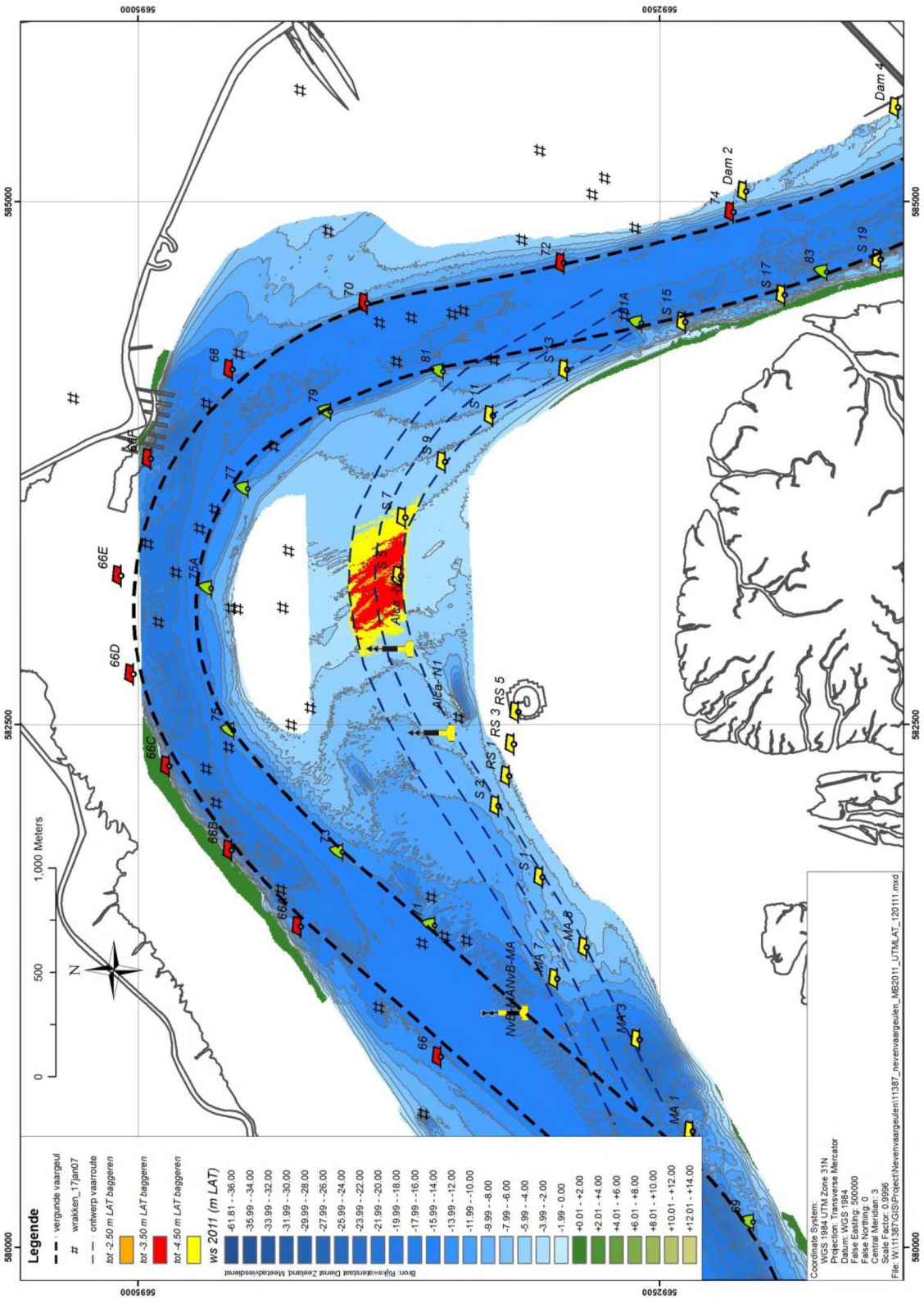
Figuur 3-5: Schaar van Valkenisse : Lokalisering van de te baggeren zones bij baggeren tot -2,5 m LAT (oranje) / -3,5 m LAT (rood) / -4,5 m LAT (geel)



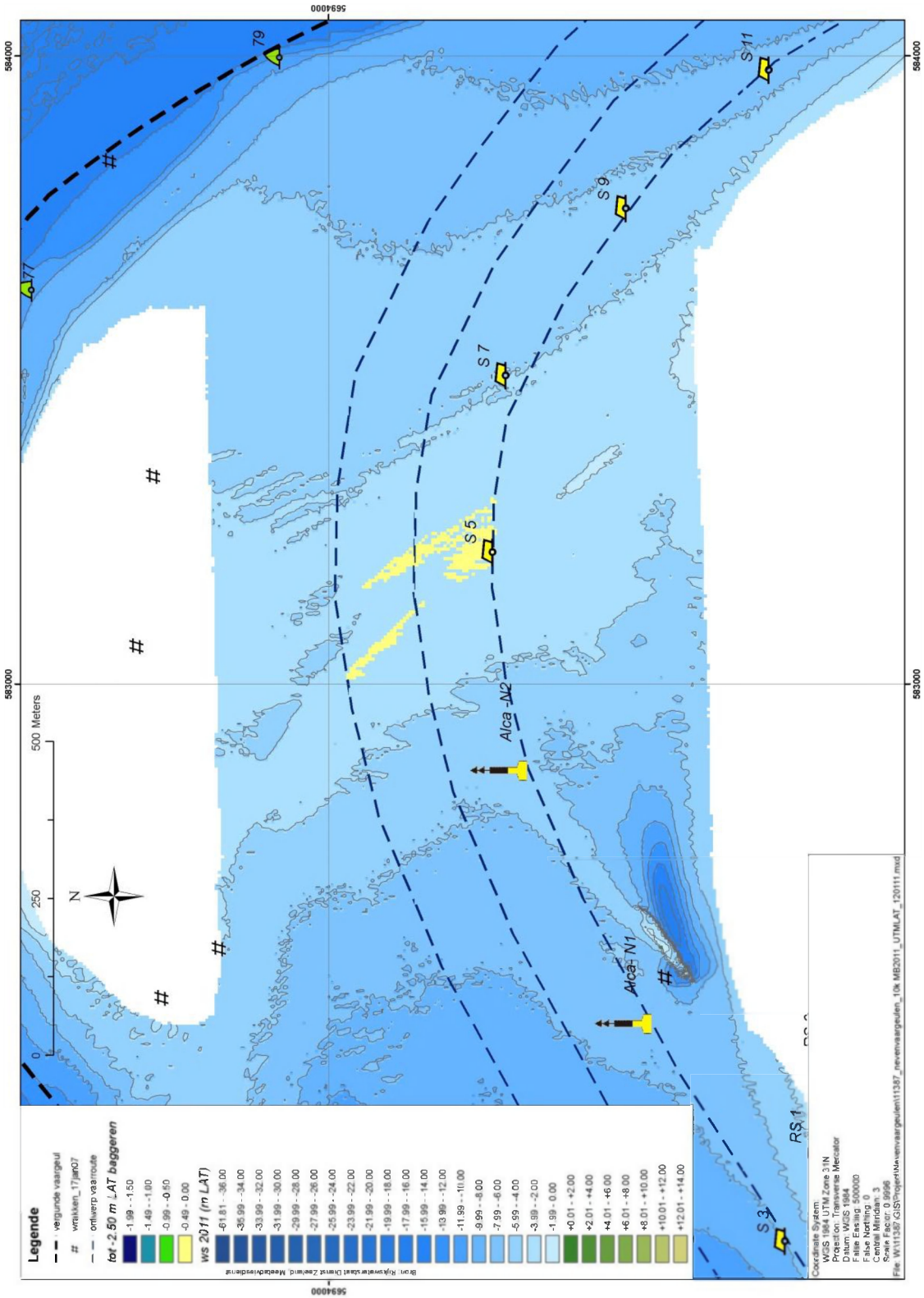
Figuur 3-6: Schaar van Valkenisse : weg te halen laagdiktes (in m) bij baggeren tot – 3,5 m LAT (enkel in situ profiel zonder overdiepte)



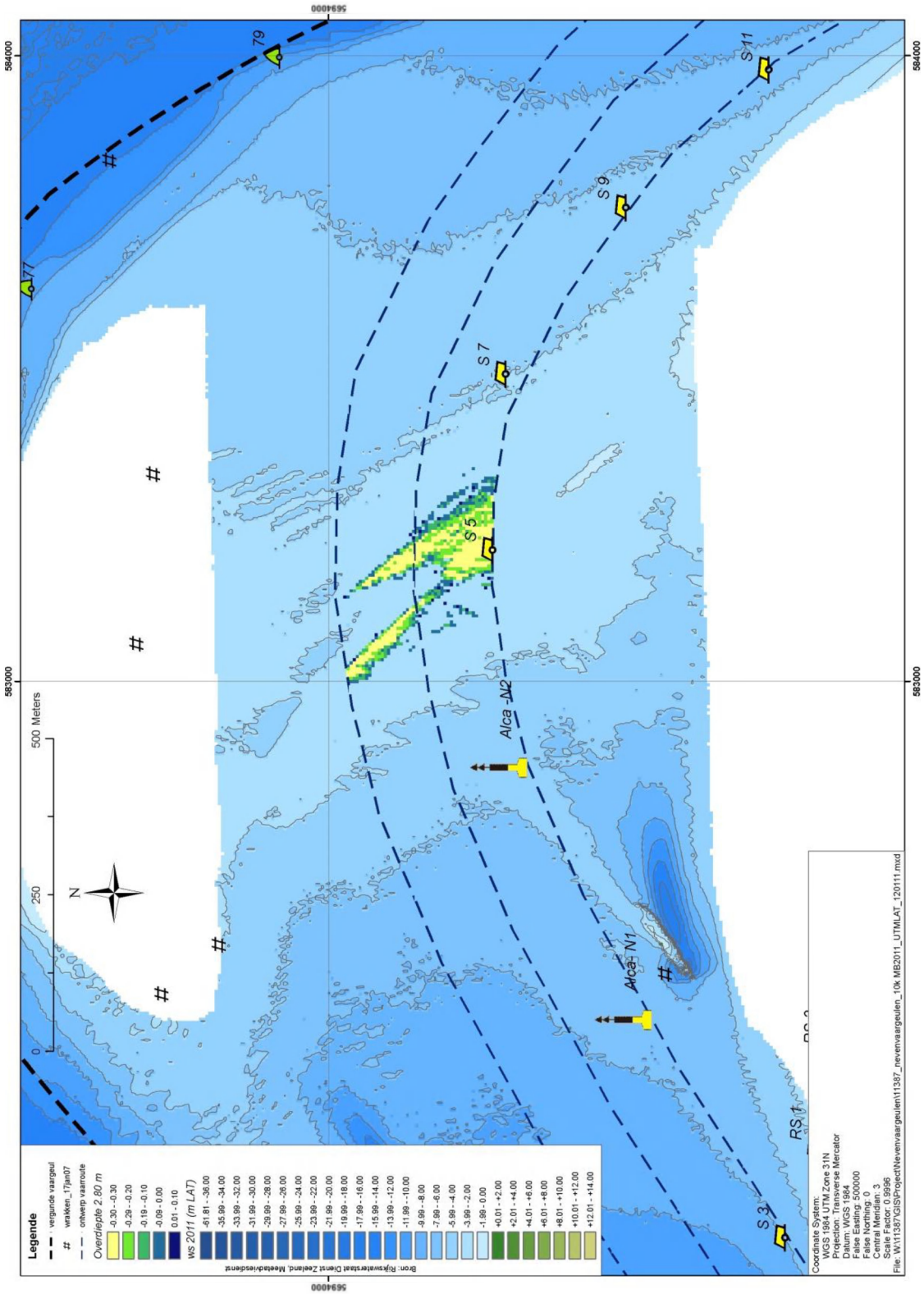
Figuur 3-7: Schaar van Valkenisse : Gerealiseerde overdiepte (in m) bij baggeren tot -3,5 m LAT



Figuur 3-8: Schaar van de Noord : Lokalisering van de te baggeren zones bij baggeren tot -2,5 m LAT (oranje) / -3,5 m LAT (rood) / -4,5 m LAT (geel)



Figuur 3-9: Schaar van de Noord : weg te halen laagdiktes (in m) bij baggeren tot - 2,5 m LAT (enkel in situ profiel zonder overdiepte)



Figuur 3-10: Schaar van de Noord : Gerealiseerde overdiepte (in m) bij baggeren tot -2,5 m LAT

3.2 BUDGETRAMING AANLEGBAGGERWERKEN

3.2.1 Keuze type baggertuig

De hiernavolgende kostenraming is gebaseerd op de inzet van een sleephopperzuiger als baggertuig. Dit tuig is uitstekend geschikt voor het baggeren van zand indien voldoen waterdiepte beschikbaar is. Het heeft een hoge productiecapaciteit en is zeer flexibel inzetbaar, hetgeen vooral in een drukke scheepvaartomgeving zoals deze van belang is.

Twee sleephopperzuigers die omwille van hun beperkte diepgang in aanmerking zouden komen voor deze aanlegbaggerwerken, zijn bijvoorbeeld de Vlaanderen I (Figuur 3-11) en de Pinta (Figuur 3-12).

Figuur 3-11 : Vlaanderen I (DC)

Figuur 3-12 : Pinta (JDN)

De voornaamste kenmerken van deze schepen, die ook nu al regelmatig op de Schelde actief zijn in het kader van de onderhoudsbaggerwerken, worden gegeven in Figuur 3-11 :

Tabel 3-2 : Kenmerken geschikte sleephopperzuigers

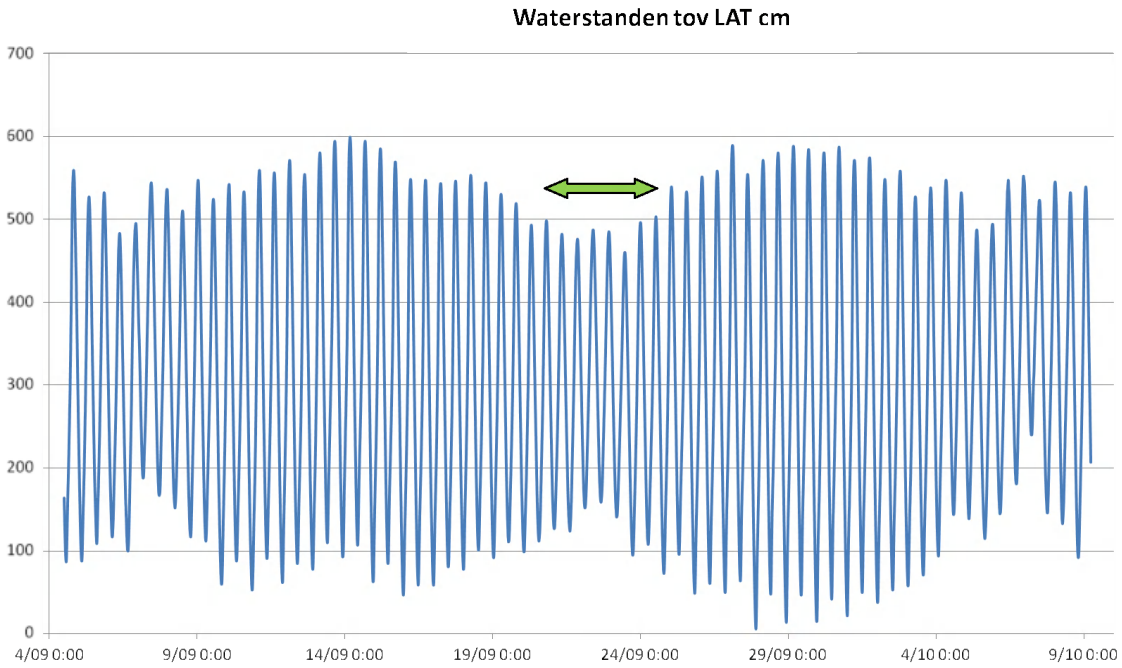
	Vlaanderen I	Pinta	
Jaar van constructie	1983 - 1997	1995	-
Lengte o.a.	78,15	89,65	m
Breedte o.a.	14,50	18,46	m
Diepgang geladen	4,82	5,4	m
Max. baggerdiepte	23	31	m
Beuninhoud	2.065	3.400	m³
Maximum snelheid	10	9,6	kn
Totaal geïnstalleerd vermogen	2.874	5.551	kW
Baggervermogen op de pomp	588	1.250	kW

3.2.2 Diepgang

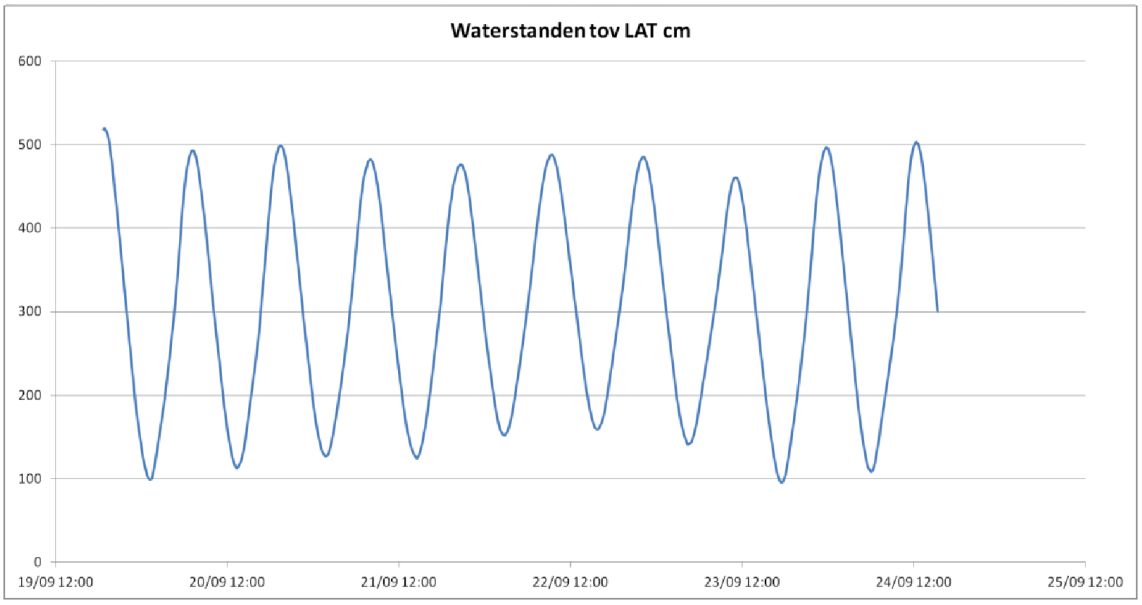
Uitgaande van een geladen diepgang van ongeveer 5 m en een kielspeling van 10 %, hebben deze schepen een minimale waterdiepte van 5,5 m nodig om vol geladen weg te kunnen varen.

Studie van de kaarten gegeven in Hoofdstuk 2 toont aan dat momenteel in de Geul van Baarland het ondiepste punt op -4,5 m LAT gelegen is, in de Schaar van de Noord is dit de -2,5 m LAT (want bij een streefdiepte van - 2,5 m LAT is het baggervolume zo goed als nul) en in de Schaar van Valkenisse is dit al op -2 m LAT. Dit betekent dat in het eerste geval een waterstand van minimaal +1 m LAT, in het tweede geval +3 m LAT en in het derde geval +3,5 m LAT voldoende is om de minimaal vereiste waterdiepte van 5,5 m te garanderen.

In Figuur 3-13 worden de waterstanden ter hoogte van Walsoorden over enkele weken in september en oktober van 2011 gegeven. Walsoorden ligt centraal van de verschillende baggerzones en kan dus als representatief beschouwd worden bij de uitvoering van de beoogde baggerwerken. Op Figuur 3-13 (en in meer detail op Figuur 3-14) is te zien dat rond doodtij de waterstand nooit onder de waarde van + 1,5 m LAT zakt, hetgeen van deze periode de ideale periode voor de uitvoering van deze werken maakt. Het merendeel van de tijd zal de vereiste minimum waterdiepte van 5,5 m nodig bij een volgeladen sleephopperzuiger aanwezig zijn, zodat kan aangenomen worden dat mits een goede planning en praktische organisatie van de uitvoering der werken, een kleine hopperzuiger deze werken aan een hoge efficiëntie zal kunnen uitvoeren en dat de stilligtijd vanwege een te beperkte waterdiepte zeer beperkt zal zijn.



Figuur 3-13: Waterstanden ter hoogte van Walsoorden over enkele weken in september en oktober 2011, referentie = LAT, eenheid = cm



Figuur 3-14: Waterstanden ter hoogte van Walsoorden over een periode van enkele dagen rond doodtij in september 2011, referentie = LAT, eenheid = cm

3.2.3 Kostprijsberekening

Zoals hierboven vermeld, zal er een sleephopperzuiger van het type Vlaanderen I of Pinta beschouwd worden om de kostprijzen van de baggerwerken te becijferen. Voor de berekening van de productie van deze sleephopper werden de volgende aannames gemaakt :

- Er wordt zand gebaggerd en er mag met overflow gewerkt worden om een maximale vulling van de hopper te bewerkstelligen.
- Het baggeren van drempels vergt meestal meer manoeuvreren dan gewone onderhoudswerken op een rivieren over langere stroken. Dit heeft tot gevolg dat de gemiddelde baggertijd om de hopper te vullen zal verhogen. Er werd in dit geval een baggertijd van gemiddeld 1,5 uur aangenomen.
- Er wordt een stortlocatie verondersteld op maximaal 5 km van de baggerzone, waar de specie door middel van bodemdeuren of het opensplijten van het schip op een snelle manier en zonder hinder voor de bestaande scheepvaart kan gestort worden.
- De gemiddelde vaarsnelheid is 6 knopen.
- Er wordt gewerkt in een regime van 168 u/week.
- De productiviteit is 85 % en het weerverlet wordt geraamd op 5 %. In de productiviteit zitten de volgende factoren vervat : vertraging omwille van scheepvaart, het wachten op voldoende hoog water, blokkades in de zuigkop, enz.. Weersverlet kan voorkomen vanwege mist, harde windstoten, hoge golven, krachtige stroming,… De sleephopperzuiger zal dus 136 uren per week effectief aan het baggeren zijn (168u * 0,85 * 0,95).

Aan de hand van deze hypothesen, is voor het baggeren van de verschillende geulen een gemiddelde eenheidsprijs van **4,2 € per m³ in situ** geraamd.

Er moet benadrukt worden dat in deze eenheidsprijs <u>géén mobilisatie- of demobilisatiekost</u> van de hopperzuiger is meegenomen. Er is vanuit gegaan dat de zuiger in ieder geval actief is op de Beneden-Zeeschelde of de Westerschelde en deze werken, mits een goede planning, tussen de andere activiteiten door kan uitgevoerd worden. Indien dit niet zo is, zal deze kost wel ingerekend moeten worden en zal deze een aanzienlijke invloed op de eenheidsprijs uitoefenen, zeker bij de varianten waar kleinere volumes gebaggerd dienen te worden. De mob/demobkost is moeilijk op voorhand in te schatten aangezien hij sterk tijds- en marktafhankelijk is. Deze kost is ondermeer afhankelijk van brandstofprijzen, beschikbaarheid en locatie van de tuigen, enz...

In Tabel 3-3 zijn de kostprijzen voor de verschillende aanlegvarianten per baggerzone en in totaal weergegeven. Tussen haakjes wordt de uitvoeringstermijn weergegeven.

Tabel 3-3 : Kostprijzen in € voor de verschillende aanlegvarianten

Streefdiepte	-2.5 m LAT	-3.5 m LAT	-4.5 m LAT
Geul van Baarland	0	0	**3.000 (0,5 d.)**
Schaar van Valkenisse	**100.000 (2 d.)**	600.000 (11 d.)	1.300.000 (26 d.)
Schaar van de Noord	**30.000 (0,5 d.)**	300.000 (6 d.)	800.000 (16 d.)

** vet omkaderd : meest voor de hand liggende streefdieptes*

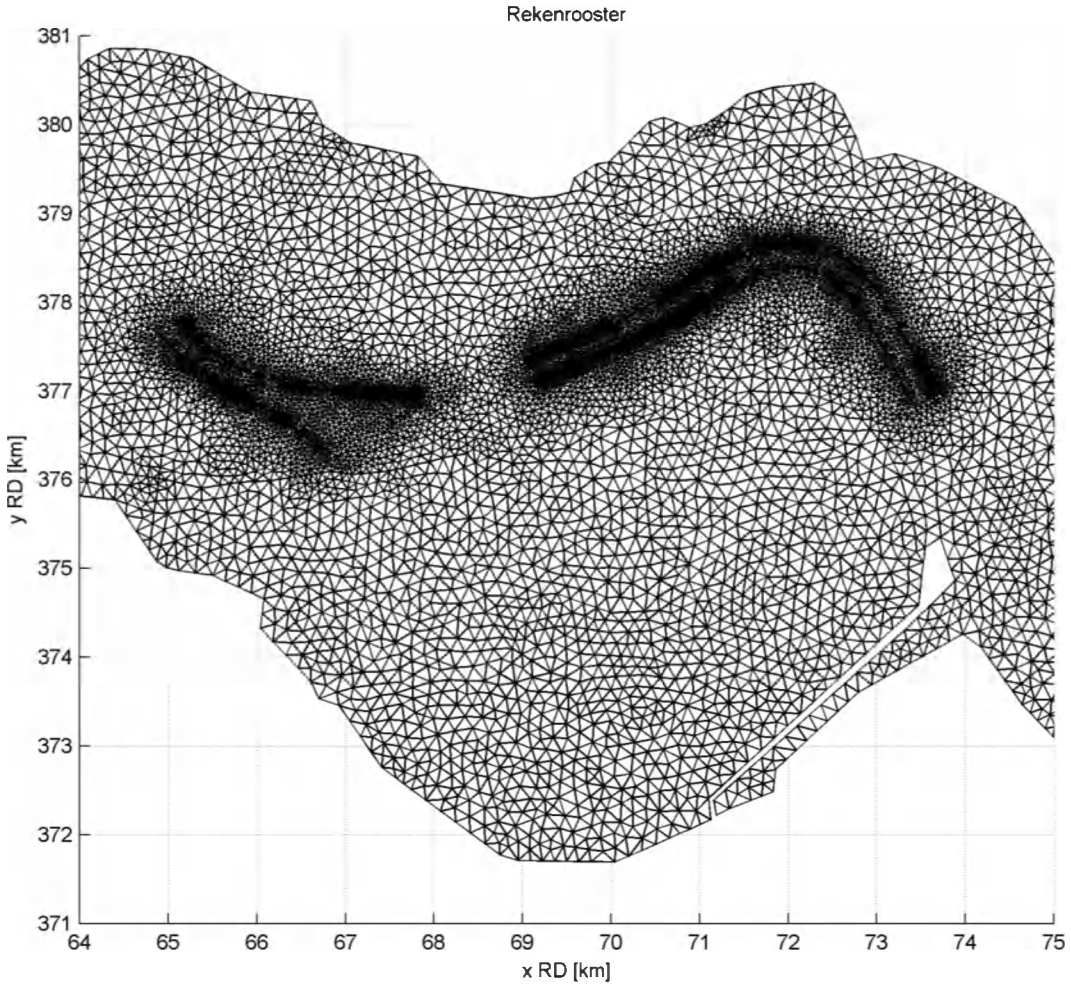
4. ONDERHOUDSBAGGERWERKEN

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van de resultaten van numerieke modelsimulaties een inschatting gemaakt van de te verwachten baggervolumes voor het onderhoud van de nevengeulen op middellange termijn wanneer de drempels op diepte gebracht en onderhouden worden. Nadien wordt bekeken wat de kostprijs van deze onderhoudsbaggerwerken is.

Deze simulaties werden morfodynamisch opgezet, dit is een model waarbij de bodemligging actief mee aangepast wordt met de optredende verdiepingen en verondiepingen (erosie, sedimentatie en baggerwerken). Er werd gebruik gemaakt van de modellen FINEL2d en Delft3D van de Westerschelde. Aan de hand van de FINEL2d simulaties werd een langere termijn simulatie uitgevoerd (10 jaar). Delft3D werd gebruikt om de korte termijn processen in meer detail te beschouwen (5 jaar).

Als voorbeeld wordt het rekenrooster van het FINEL2d model getoond in Figuur 4-1.



Figuur 4-1: Rekenrooster rond de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord

In beide modellen werden simulaties uitgevoerd waarbij de evolutie over verscheidene jaren vergeleken wordt met een scenario waarin de drempels in de nevenvaargeul niet verdiept en onderhouden worden. De drempels in de hoofdvaargeul worden in alle simulaties steeds op diepte gehouden. De verschillende bagger- en stortlocaties (in stippellijn) worden in Figuur 4-2 weergegeven. De volgende baggerstreefdieptes zijn aangehouden:

- Hoofdvaargeul: -14,5 m LAT (in het onverdiepte en verdiepte scenario)
- Geul van Baarland: -4,8 m LAT of -7,54 m NAP (enkel in het verdiepte scenario)
- Schaar van Valkenisse: -4,8 m LAT of -7,73 m NAP (enkel in het verdiepte scenario)
- Schaar van de Noord: -4,8 m LAT of -7,80 m NAP (enkel in het verdiepte scenario)

In tegenstelling tot Hoofdstuk 3, wordt voor de bepaling van de onderhoudsbaggerwerken één vaste streefdiepte aangehouden voor het volledige nevenvaargeultraject. Voor alle drie de drempels werd -4,5 m LAT + 30 cm overdiepte genomen. Zodoende wordt de situatie met de grootste impact gemodelleerd. In de realiteit zullen er vermoedelijk beperktere streefdieptes aangehouden worden, zoals -2,5 m LAT (of -2,8 m LAT inclusief overdiepte) voor de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Hierdoor zal de baggerinspanning zowel voor de aanleg als voor het onderhoud gevoelig dalen ten opzichte van deze uit onderhavig rapport.

De stortlocatie van de gebaggerde specie werd bepaald op basis van de huidige stortverdeling. Voor de specie afkomstig van de drempels in de nevengeulen werden de volgende stortvakken verondersteld:

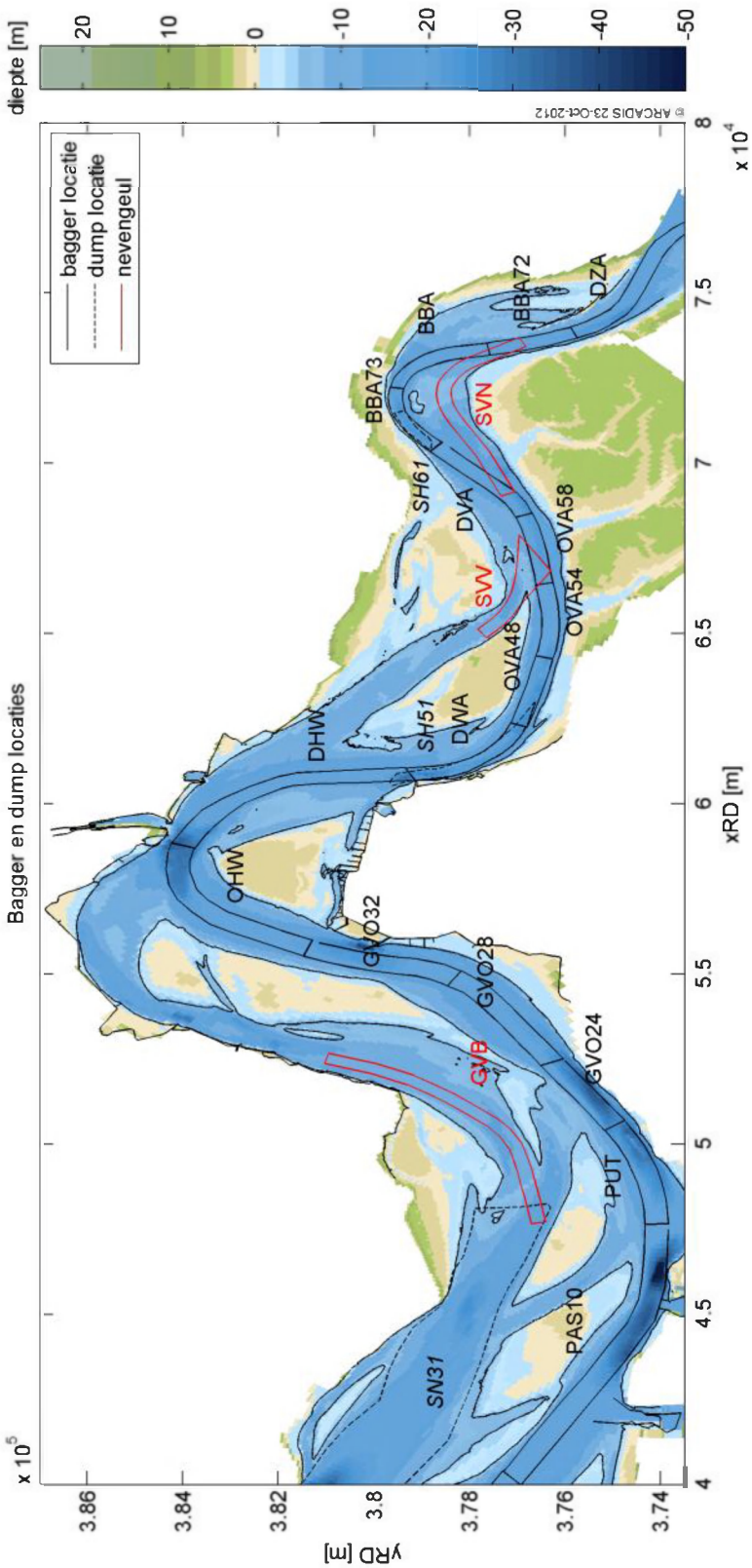
- Geul van Baarland: SN31
- Schaar van Valkenisse: SH51
- Schaar van de Noord: SH61

Deze locaties zijn zo gekozen aangezien ze in de dezelfde macrocel liggen. Bijgevolg wordt de vaarafstand zo beperkt mogelijk gehouden en wordt aangesloten op de huidige strategie van 'flexibel storten'. De stortlocaties zijn betrekkelijk diep en hebben dus een relatief hoge stortcapaciteit. Het is echter ook mogelijk om af te wijken van de momenteel in gebruik zijnde stortvakken en op zoek te gaan naar nieuwe zones in de Westerschelde. Voornamelijk de ecologische winst (creëren van laagdynamisch of plaatareaal, tegengaan neervorming, enz.) kan een reden zijn om de specie naar andere plekken te brengen. Deze optie werd in onderhavige studie niet uitgewerkt.

De bagger- en stortroutine werd als volgt geconcipieerd: van zodra er sedimentatie tot boven de streefdiepte plaatsvindt, wordt dit weggebaggerd en vervolgens verspreid over de volledige stortlocatie(s).

Een beknopte beschrijving van de uitgevoerde modellering en de resultaten van de beide modelleringssimulaties (Delft3D en Finel2d) zijn opgenomen in Bijlage H en Bijlage I. De belangrijkste waarnemingen en conclusies worden hieronder herhaald.

Er dient opgemerkt te worden dat de realiteit zich veelal grilliger gedraagt dan een model. Zelfs indien het model geen onderhoudsbaggerwerken voorspelt, is het mogelijk dat er in realiteit lokaal toch enige sedimentatie voorkomt of er zich zandribbels vormen, waardoor toch een beperkte baggerinspanning vereist kan zijn. Een modelresultaat als 0 m³ onderhoudsvolume moet dan ook met de nodige omzichtigheid geïnterpreteerd worden.



Figuur 4-2: Overzicht van de bagger- en stortpolygonen

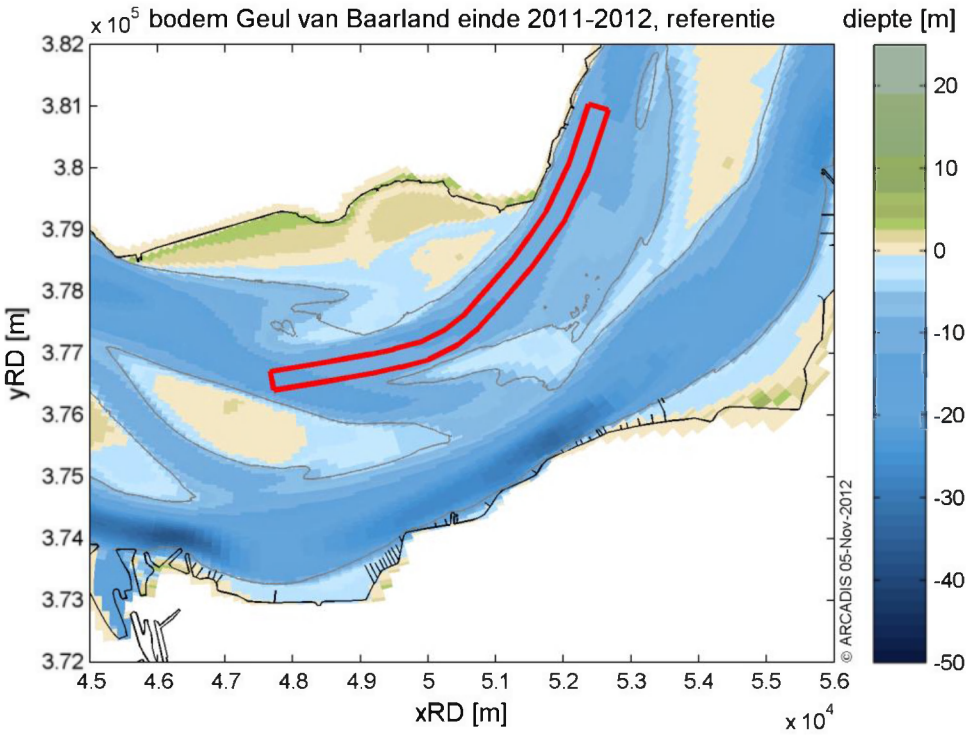
4.2 VOLUMEBEPALING ONDERHOUDSBAGGERWERKEN

4.2.1 Delft3D

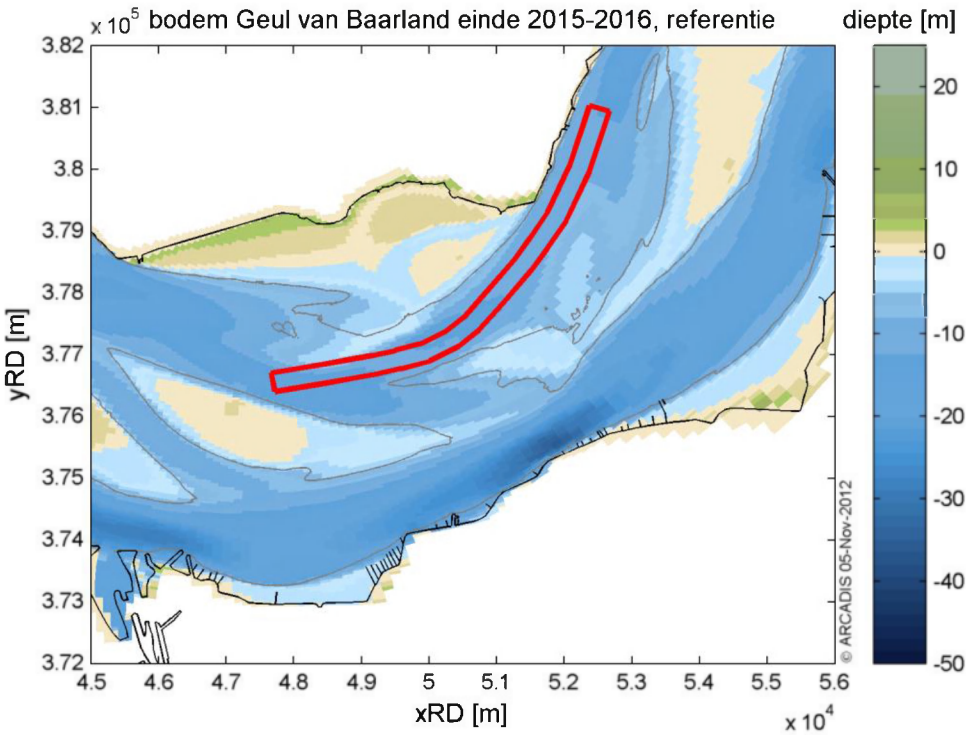
4.2.1.1 Geul van Baarland

In Figuur 4-3 en Figuur 4-4 is de bodemligging aan de Geul van Baarland voor het eerste en het laatste simulatiejaar te zien voor de situatie zonder verdiepte geul. Er is duidelijk te zien dat de plaat ten noorden van de geul zich uitbreidt in zuidelijke richting. Dit komt eveneens naar voren op Figuur 4-5 waar de sedimentatie- en erosiepatronen weergegeven zijn.

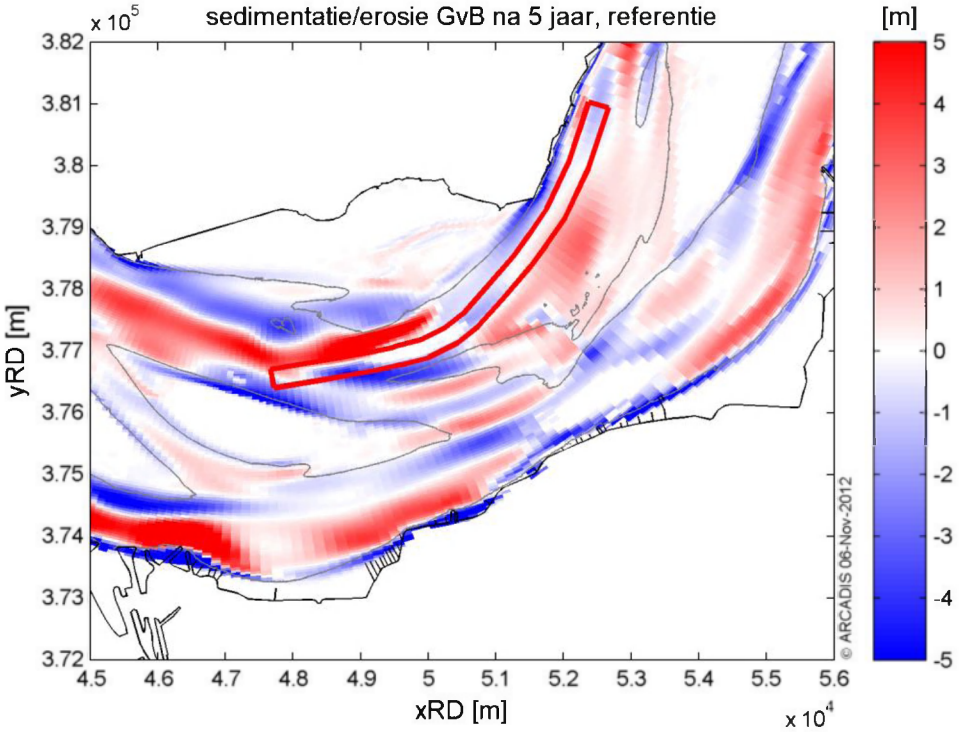
De sedimentatie- en erosiepatronen voor de verdiepte situatie worden in Figuur 4-6 weergegeven. Het verschil met de situatie zonder verdiepte geul is nauwelijks te zien wat betekent dat er geen significant baggeronderhoud vereist is. Pas in het vijfde en laatste jaar van de modellering, manifesteert zich enige onderhoudsbehoefte. (zie Tabel 4-1 en Figuur 4-7). De zuidwaarts migrerende plaat treedt blijkbaar dan pas de nevenvaargeul binnen.



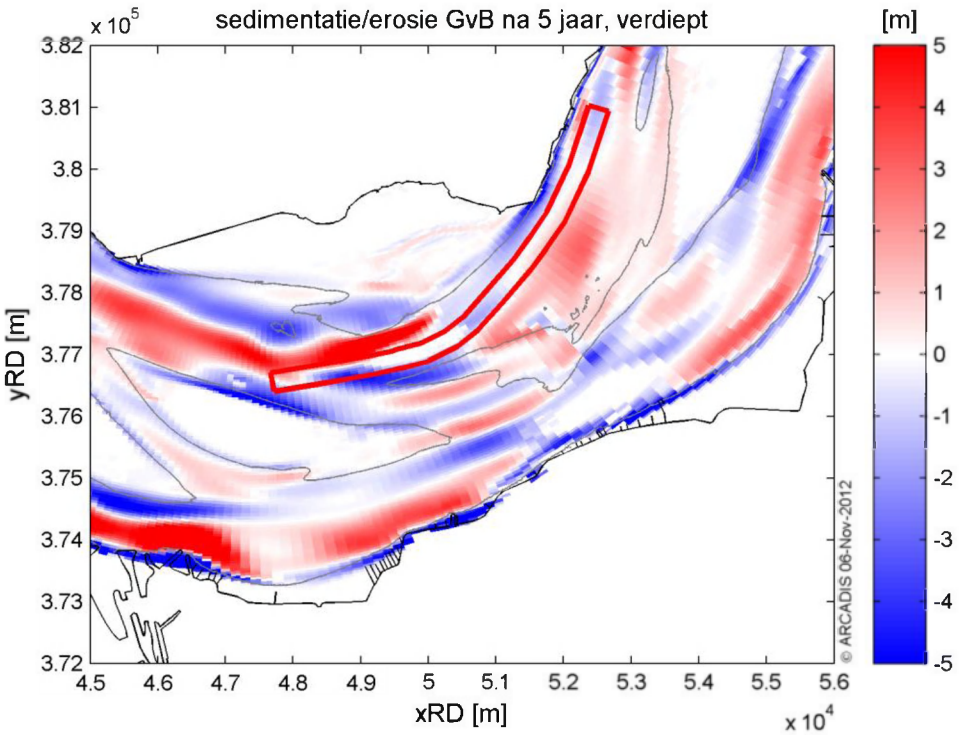
Figuur 4-3: Bodemligging aan de Geul van Baarland op het einde van het eerste simulatiejaar, onverdiept



Figuur 4-4: Bodemligging aan de Geul van Baarland op het einde van het vijfde simulatiejaar, onverdiept



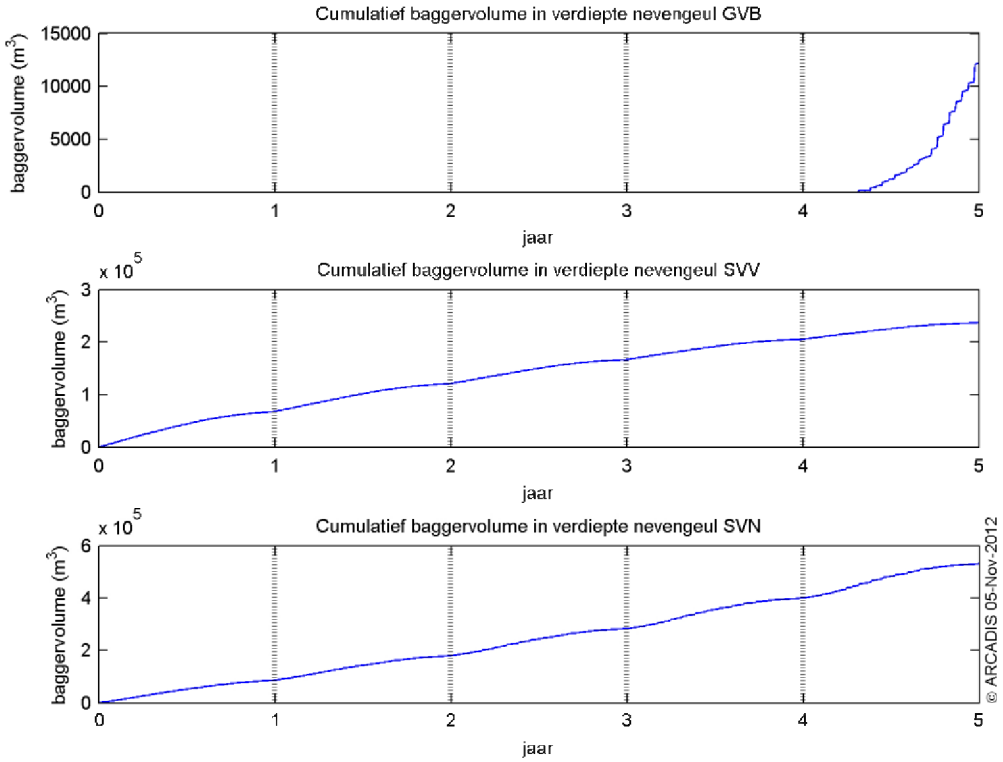
Figuur 4-5: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Geul van Baarland na vijf jaar, onverdiept



Figuur 4-6: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Geul van Baarland na vijf jaar, verdiept

Tabel 4-1: Baggervolumes voor de aanleg en het onderhoud per simulatiejaar

Nevengeul	Aanleg-volume	Onderhoudsvolume verdiepte nevengeul 2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
Geul van Baarland	0	0	0	0	0	10.000
Schaar van Valkenisse	320.000	70.000	50.000	50.000	40.000	30.000
Schaar van de Noord	200.000	90.000	90.000	100.000	120.000	130.000

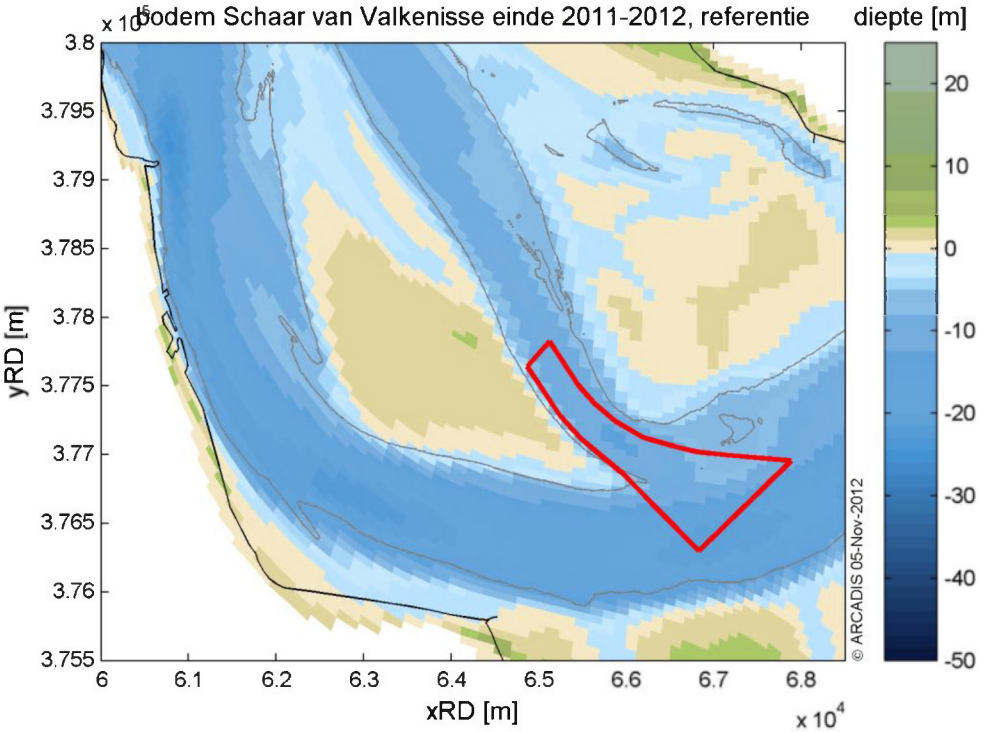


Figuur 4-7: Baggervolumes voor het onderhoud, cumulatief over de simulatiejaren

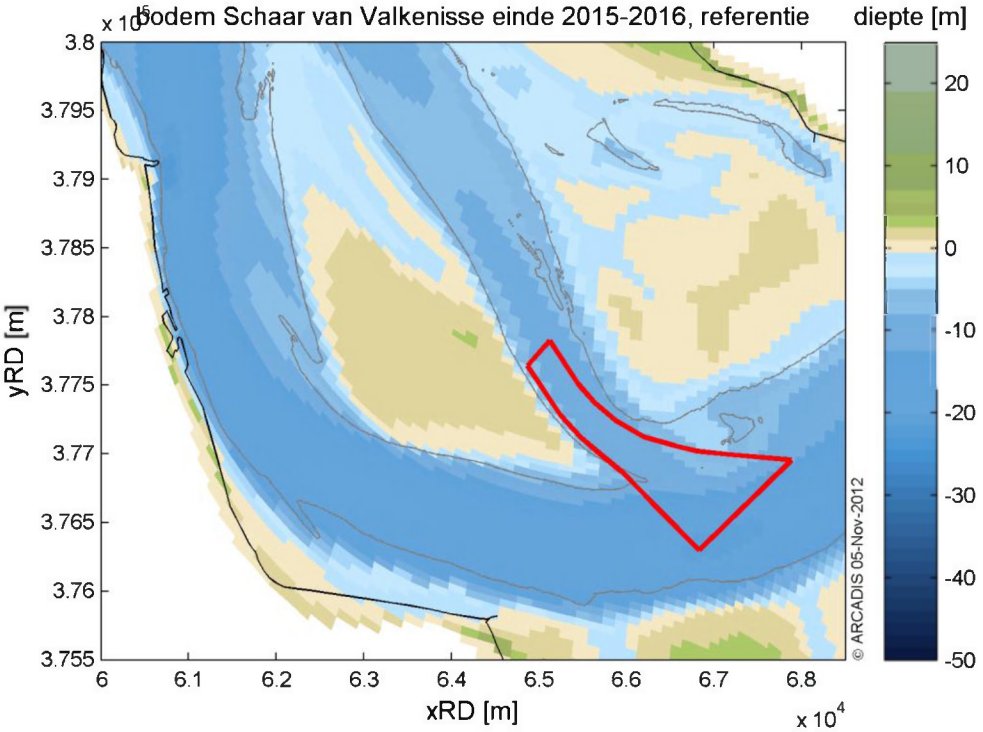
4.2.1.2 Schaar van Valkenisse

In Figuur 4-8 en Figuur 4-9 is de bodemligging aan de Schaar van Valkenisse voor het eerste en het laatste simulatiejaar te zien voor de situatie zonder verdiepte geul. Er is sprake van een sedimentatie in de nevengeul waardoor deze steeds ondieper wordt (zie ook Figuur 4-10).

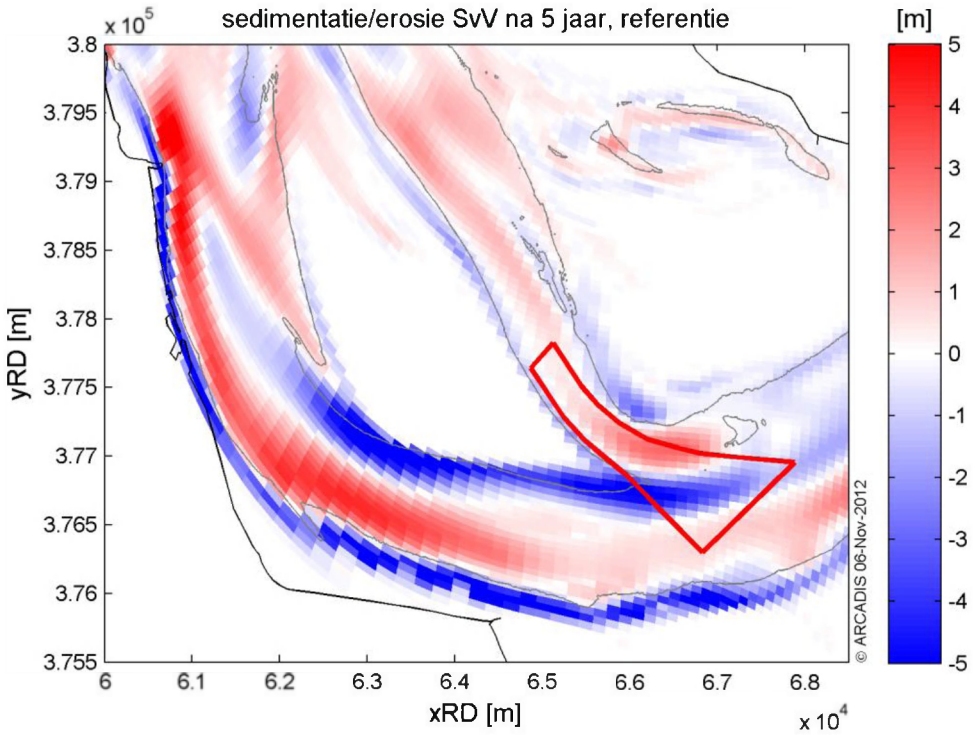
In Figuur 4-11 zijn de sedimentatie- en erosiepatronen voor de verdiepte situatie weergegeven. De figuur is zeer gelijkaardig aan deze zonder verdieping van de nevengeul, maar de sedimentatie ligt lager (minder intens rode kleur). De reden hiervoor is dat er baggerwerken uitgevoerd worden om de geul op de streefdiepte te houden. Het onderhoudsbaggervolume is het eerste jaar het hoogst en neem daarna stelselmatig af (zie Tabel 4-1 en Figuur 4-7). Dit komt vermoedelijk doordat de stroomsnelheid ter hoogte van de aanlegbaggerweken toeneemt vanwege deze verdieping en zo een eroderend effect teweeg brengt (zie Bijlage G). Ook hier zijn de onderhoudsvolumes relatief laag, een factor 5 tot 10 kleiner dan het aanlegvolume.



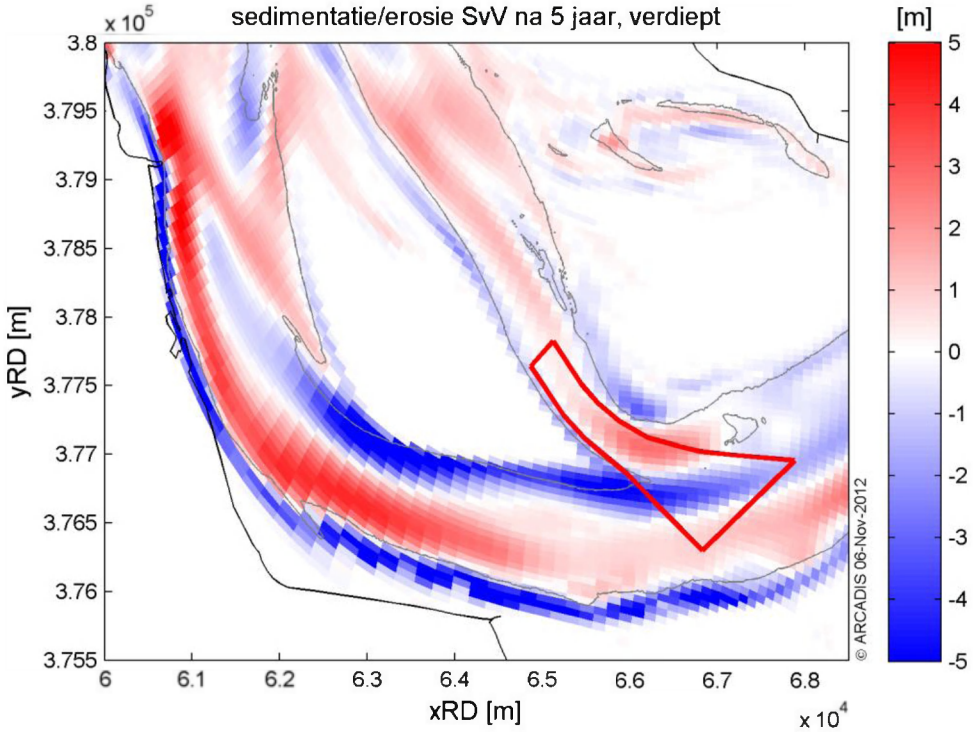
Figuur 4-8: Bodemligging aan de Schaar van Valkenisse op het einde van het eerste simulatiejaar, onverdiept



Figuur 4-9: Bodemligging aan de Schaar van Valkenisse op het einde van het vijfde simulatiejaar, onverdiept



Figuur 4-10: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Schaar van Valkenisse na vijf jaar, onverdiept

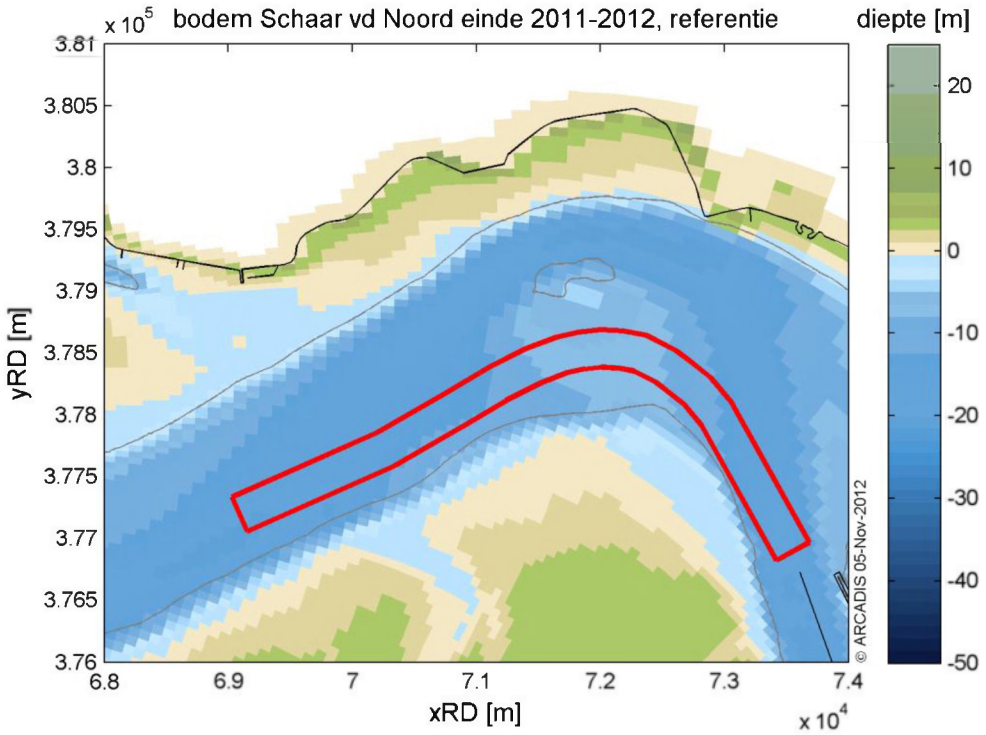


Figuur 4-11: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Schaar van Valkenisse na vijf jaar, verdiept

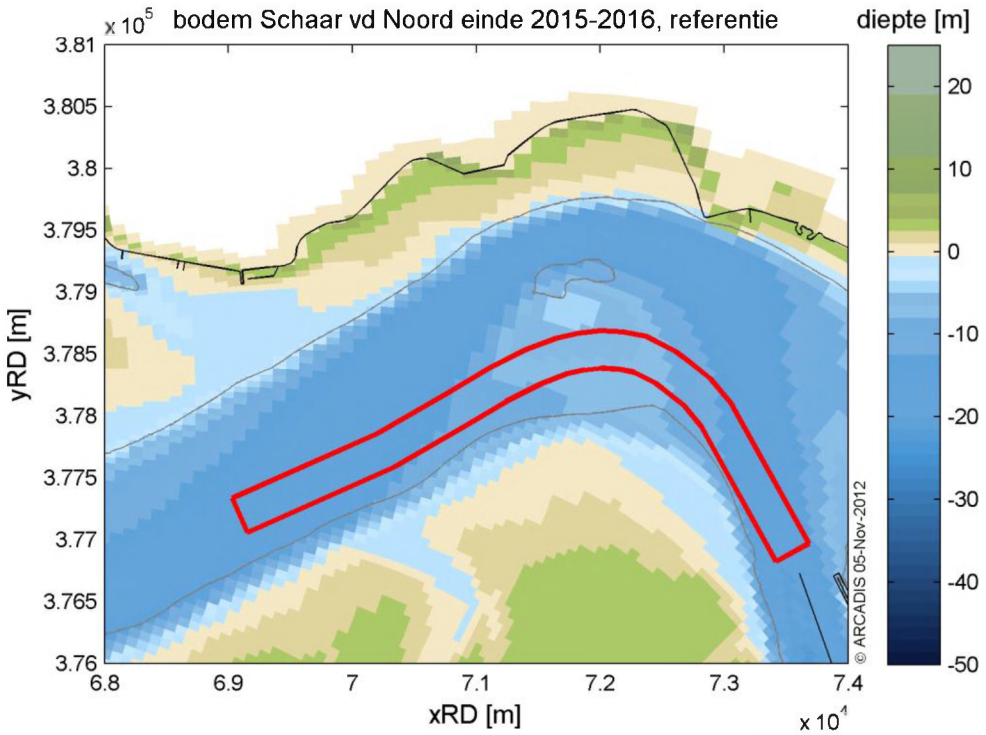
4.2.1.3 Schaar van de Noord

In Figuur 4-12 en Figuur 4-13 is de bodemligging aan de Schaar van de Noord voor het eerste en het laatste simulatiejaar te zien voor de situatie zonder verdiepte geul. Het ondiepe gedeelte van de nevengeul sedimenteert licht en breidt zich uit in westelijke richting, wat ook te zien is in Figuur 4-14.

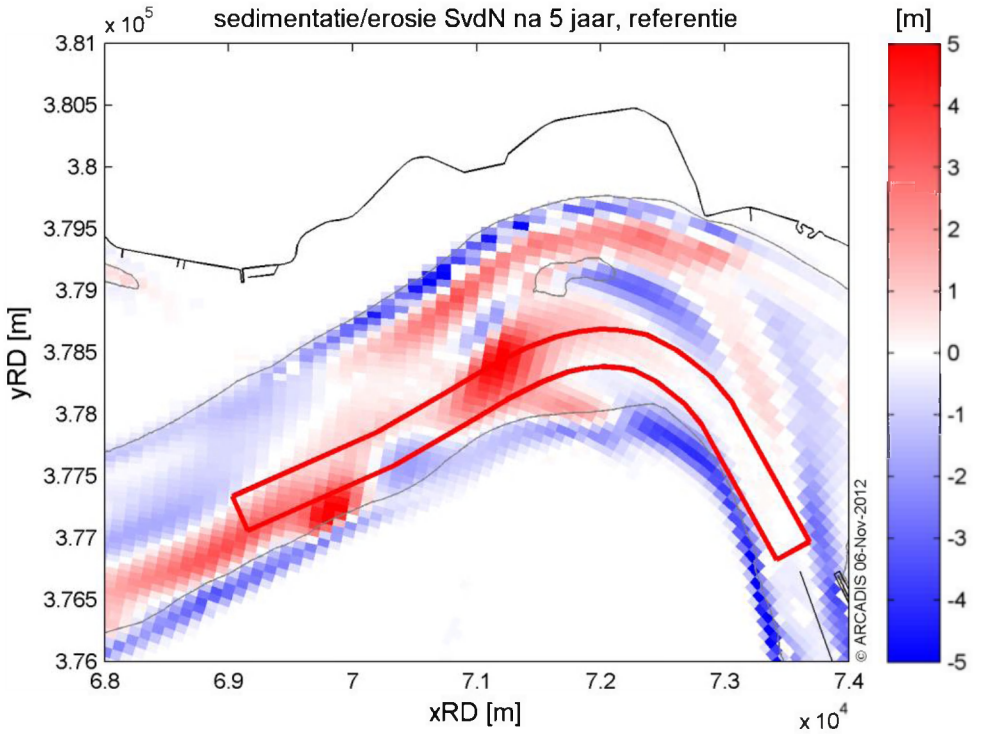
In Figuur 4-15 zijn de sedimentatie- en erosiepatronen voor de verdiepte situatie weergegeven. Ook hier zijn deze gelijkaardig aan deze zonder de verdiepte nevengeul, maar is de sedimentatie lager (minder intens rode kleur tot zelfs witte kleur centraal in de polygoon). Opnieuw zijn de onderhoudsbaggerwerken de voornaamste verklaring voor deze mindere "aanzanding". Hier is het baggervolume het laagst in de het eerste simulatiejaar om nadien toe te nemen (zie Tabel 4-1 en Figuur 4-7). De reden van deze verhoging is moeilijk te bepalen, maar ligt mogelijks in het feit dat de stroomsnelheid hier na de verdieping afneemt en er dus meer sedimentatie mogelijk wordt (zie Bijlage G).



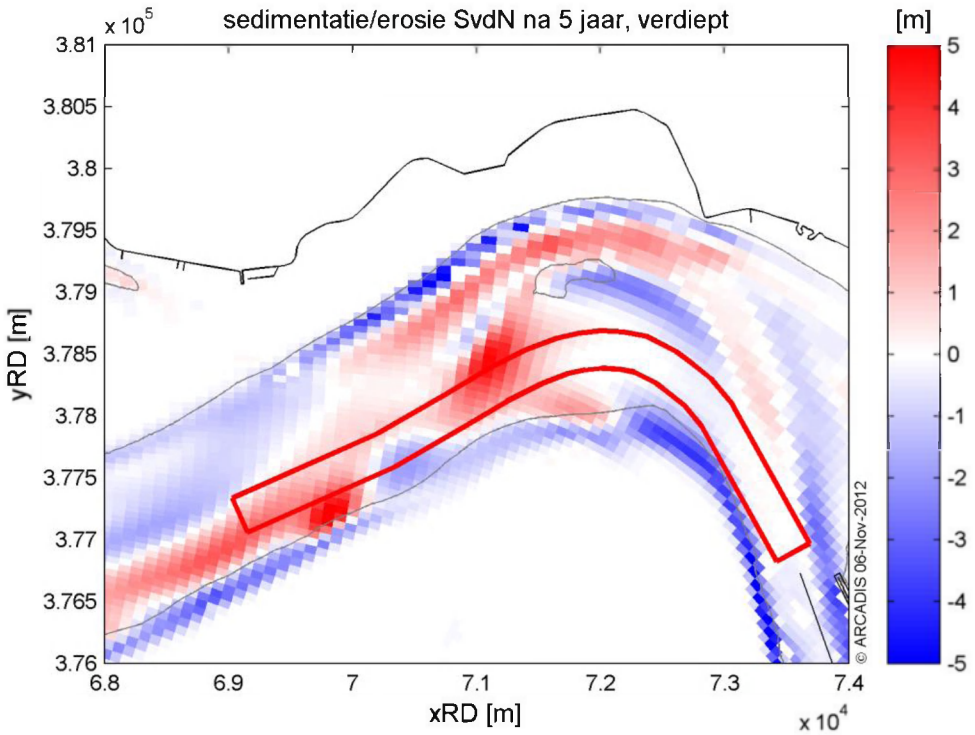
Figuur 4-12: Bodemligging aan de Schaar van de Noord op het einde van het eerste simulatiejaar, onverdiept



Figuur 4-13: Bodemligging aan de Schaar van de Noord op het einde van het vijfde simulatiejaar, onverdiept



Figuur 4-14: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Schaar van de Noord na vijf jaar, onverdiept

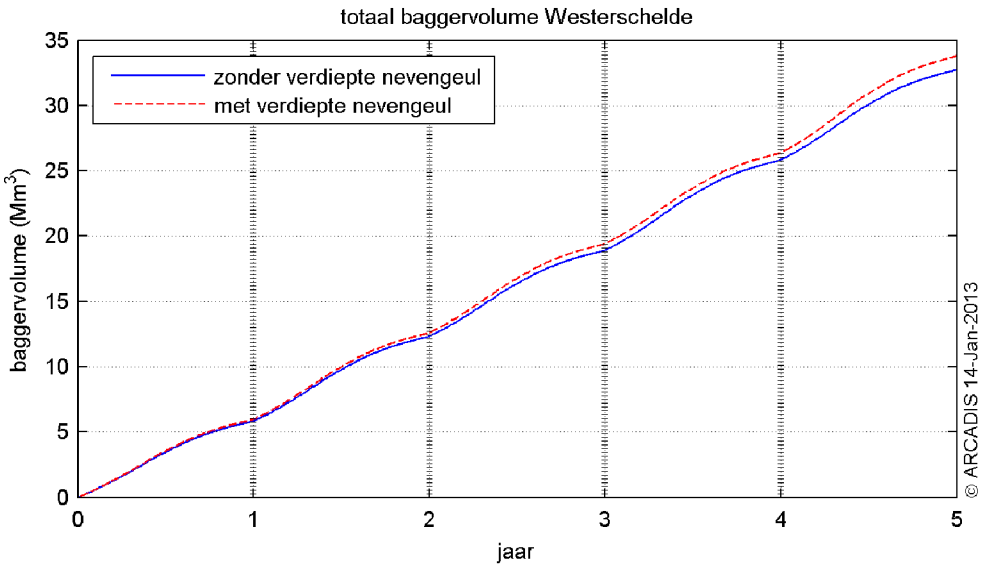


Figuur 4-15: Sedimentatie (rood) en erosie (blauw) aan de Schaar van de Noord na vijf jaar, verdiept

4.2.1.4 Volledige Westerschelde (hoofd- en nevenvaargeul)

In Figuur 4-16 zijn de cumulatieve onderhoudsvolumes voor de volledige Westerschelde, inclusief de nevengeulen gegeven. De volgende elementen zijn op te merken:

- Het totale baggervolume voor de 5 jaren is voor de situatie zonder verdieping en onderhoud van de nevengeulen 33 Mm³, voor deze met verdieping en onderhoud 34 Mm³ (zie Figuur 4-16), wat een stijging van 1 Mm³ betekent.
- In de hoofdvaargeul zijn voornamelijk de locaties Drempel van Walsoorden (DWA) en Bocht van Bath (BBA73) verantwoordelijk voor deze stijging. Dit komt omdat deze baggervakken overlappen met de geselecteerde stortzones van de onderhoudsspecie uit de nevengeulen. In deze modelsimulaties lijkt de capaciteit van de stortvakken lokaal niet voldoende om dit extra baggerwerk te dragen.
- Op de locaties Overloop van Valkenisse (OVA54 en OVA58) en Drempel van Valkenisse (DVA) nemen de baggervolumes af. De reden hiervoor is dat deze overlappen met de nieuwe polygonen in de nevengeul.



Figuur 4-16: Totale cumulatieve baggervolumes in de Westerschelde in de situatie zonder en met verdiepte nevengeul

4.2.1.5 Conclusie

- In de Geul van Baarland is pas in het 5e simulatiejaar significant baggeronderhoud nodig als gevolg van het sedimentatie van Plaat van Baarland. Het is te verwachten dat hierdoor, zonder verlegging van de betonning, op de langer termijn een intensiever onderhoud van de geul nodig is.
- In de Schaar van Valkenisse treedt er sedimentatie op dewelke enigszins afneemt door de verdiepingsingreep.
- In de Schaar van de Noord is er eveneens sedimentatie waar te nemen. Deze stijgt jaarlijks.
- Door het verdiepen en onderhouden van de nevengeulen neemt het totale baggerbezwaar in de Westerschelde over vijf jaar toe met 1 Mm^3. Daarvan zijn er ongeveer 800.000 m^3 rechtstreeks afkomstig uit de nevengeulen. Dit houdt een extra jaarlijkse baggerinspanning van gemiddeld ongeveer 200.000 m^3 in (160.000 m^3 voor de nevengeulen en 40.000 m^3 voor de hoofdgeul). Deze hoeveelheden kunnen echter verlaagd worden middels een systeem van dynamische stortingen, waarbij (kritieke punten van) de hoofdgeul minder belast worden.

4.2.2 FINEL2d

De berekeningen met FINEL2d verschillen van deze met Delft3D in het feit dat er een bijkomend scenario gemodelleerd werd waarbij de betonning (baggerpolygonen) jaarlijks (of om de enkele jaren) aanpast worden aan de berekende geulontwikkeling van de situatie zonder verdieping (Figuur 4-17). Hiermee wordt getracht strategie a.) uit Hoofdstuk 2.1 uit te werken: de betonning van de nevenvaargeul aanpassen aan de evolutie van de bodem om zodoende de onderhoudsbaggerwerken te minimaliseren.

Een ander onderscheid is dat het FINEL2d-model tot 11 jaren doorgerekend is. Het eerste jaar betreft een inspeeljaar voor de simulatie en dient niet beschouwd te worden. De resultaten tot 5 jaar geven een vergelijkingspunt met het Delft3D-model.

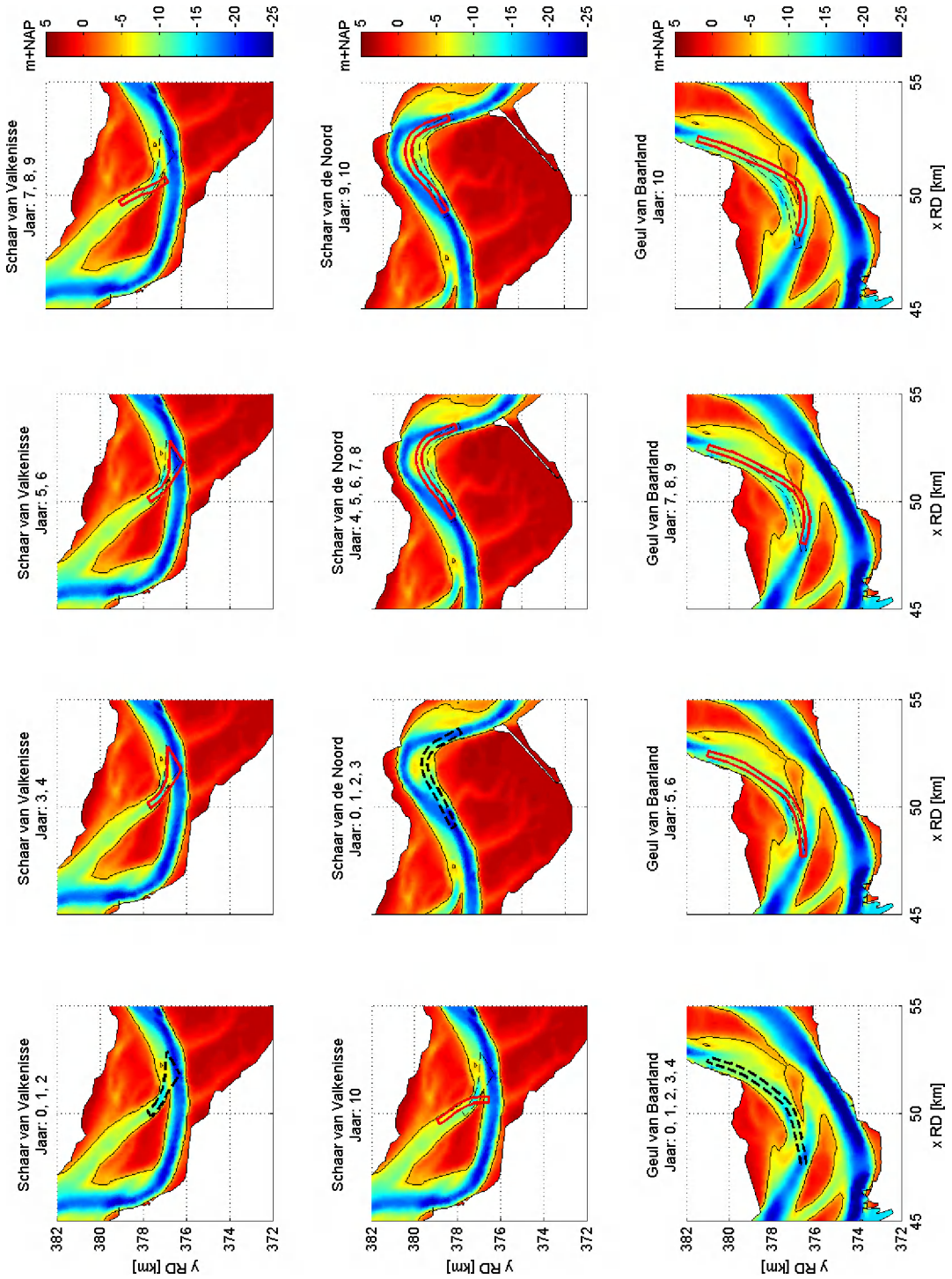
4.2.2.1 Geul van Baarland

In Figuur 4-18, Figuur 4-20 en Figuur 4-22 zijn de bodemliggingen na 10 jaar voor respectievelijk de onverdiepte situatie (T0), de verdiepte situatie met vaste betonning (T1) en de verdiepte situatie met meebewegende betonning (T2) te zien. Figuur 4-19, Figuur 4-21 en Figuur 4-23 geven meer info over de bodemontwikkeling in de verschillende situaties.

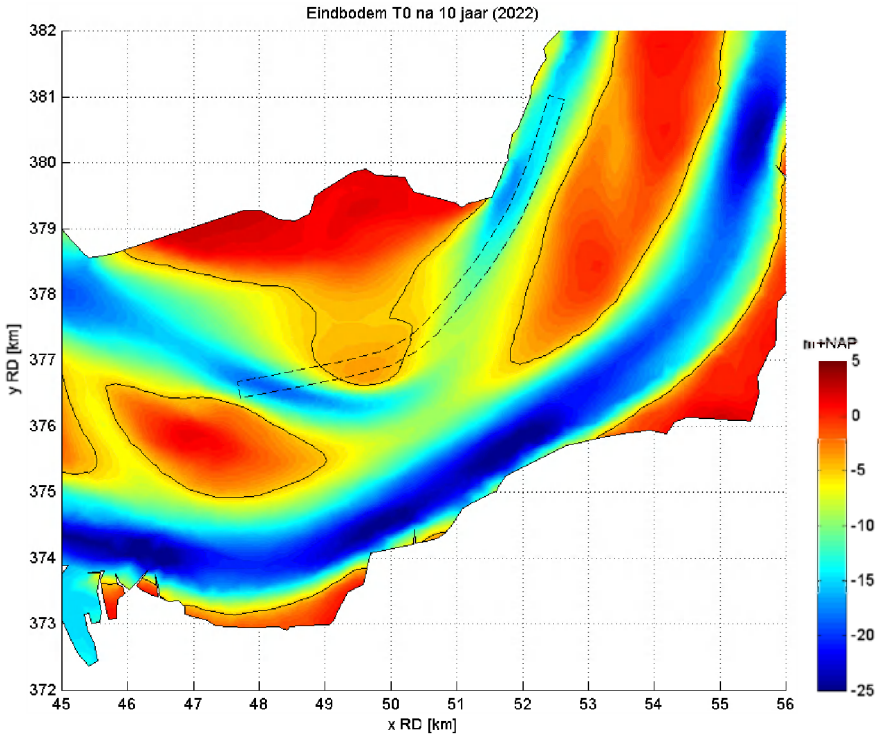
Opnieuw is de zuidwaartse migratie van de plaat ten noorden van de geul zichtbaar in het scenario zonder verdieping (zie Figuur 4-18 en Figuur 4-19). Figuur 4-20 en Figuur 4-21 tonen dat deze sedimentatie in de nevenvaargeul tegengegaan wordt door het baggeren (relatieve erosie in Figuur 4-21) en deze dus op diepte blijft. In Figuur 4-22 en Figuur 4-23 is te zien dat wanneer de betonning mee evolueert er geen verschil in ontwikkeling met de onverdiepte situatie optreedt en er amper of geen onderhoud gepleegd hoeft te worden (geen blauwe kleur meer in Figuur 4-23).

In Tabel 4-2, Tabel 4-3 en Figuur 4-24 wordt het baggeronderhoud per jaar weergegeven, Voor de Geul van Baarland is er in de situatie met vaste betonning pas vanaf het 6^{e} jaar significant onderhoud vereist (± 130.000 m³). Dit loopt op tot ongeveer 1,2 Mm³ per jaar voor de laatste simulatiejaren. In de situatie met variabele betonning blijft er, zoals gesteld, amper of geen baggernoodzaak over de volledige periode van de simulatie. Dit is een aanzienlijke vermindering ten opzichte van het scenario met vaste betonning.

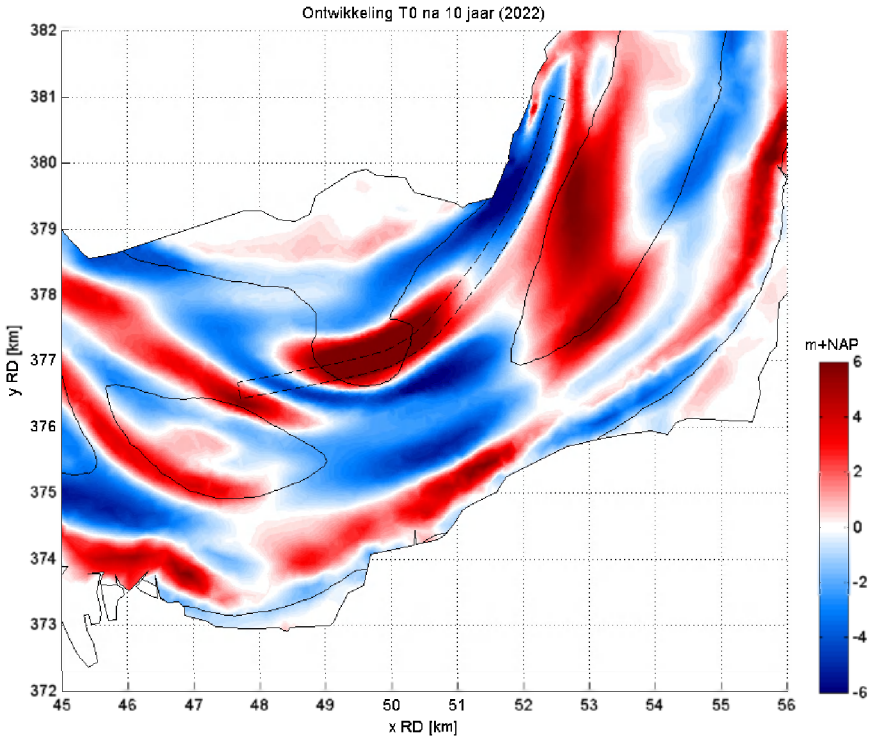
De resultaten kunnen moeilijk met deze van het Delft3D-model vergeleken worden aangezien er voor Finel2d pas vanaf het 6^{e} jaar significant onderhoud vereist is. De resultaten komen overeen in de zin van dat er de eerste 5 jaar nauwelijks onderhoud vereist is (zie Tabel 4-1 en Tabel 4-2).



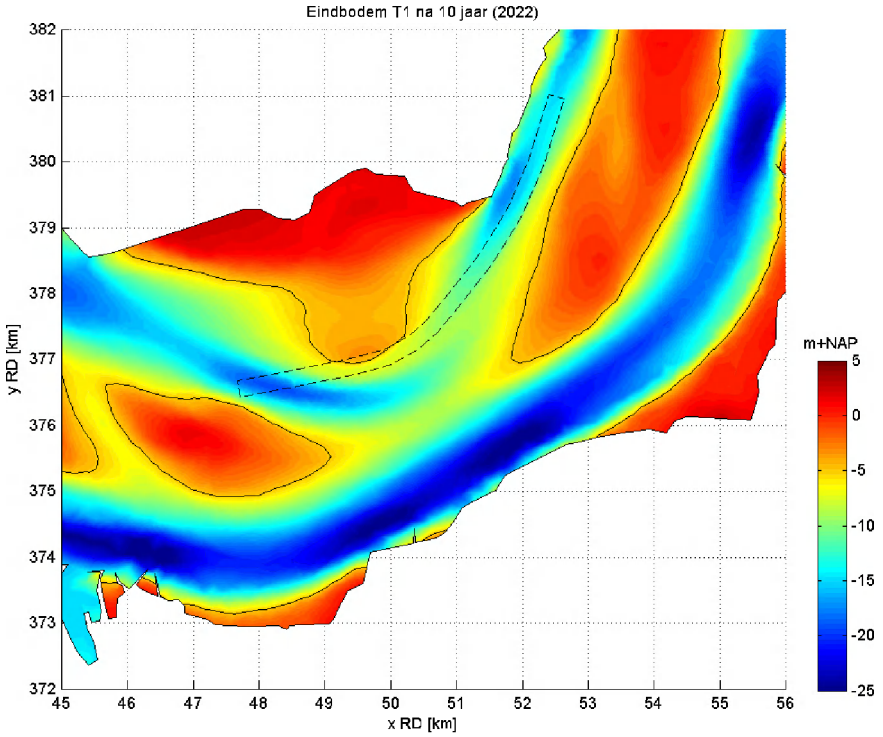
Figuur 4-17: Locaties van de baggerpolygonen in de verschillende jaren voor de situatie met variabele betonning



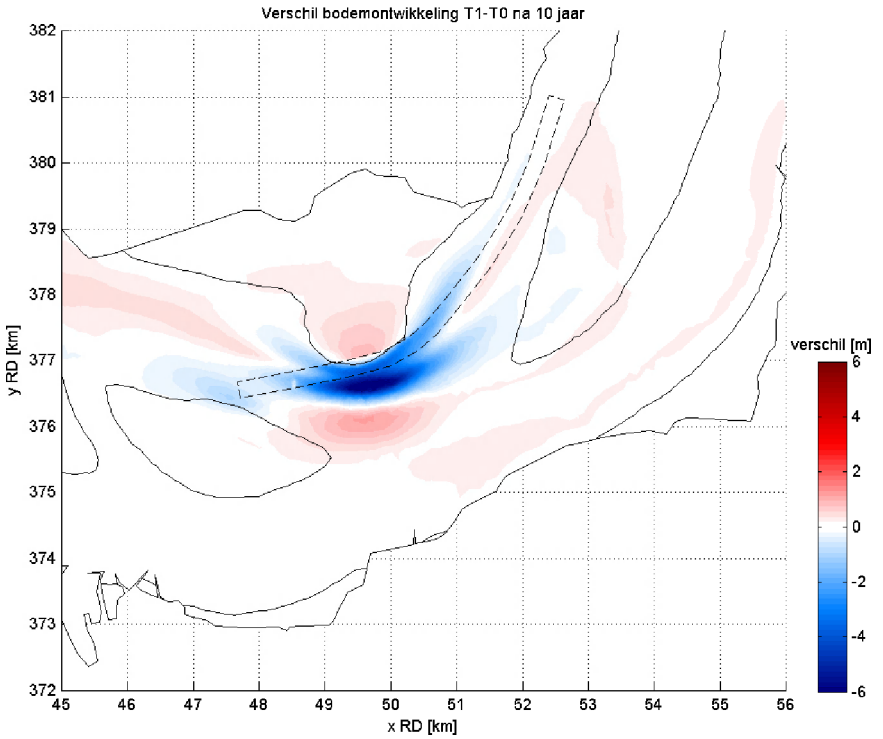
Figuur 4-18: Bodemligging aan de Geul van Baarland na 10 jaar, onverdiept



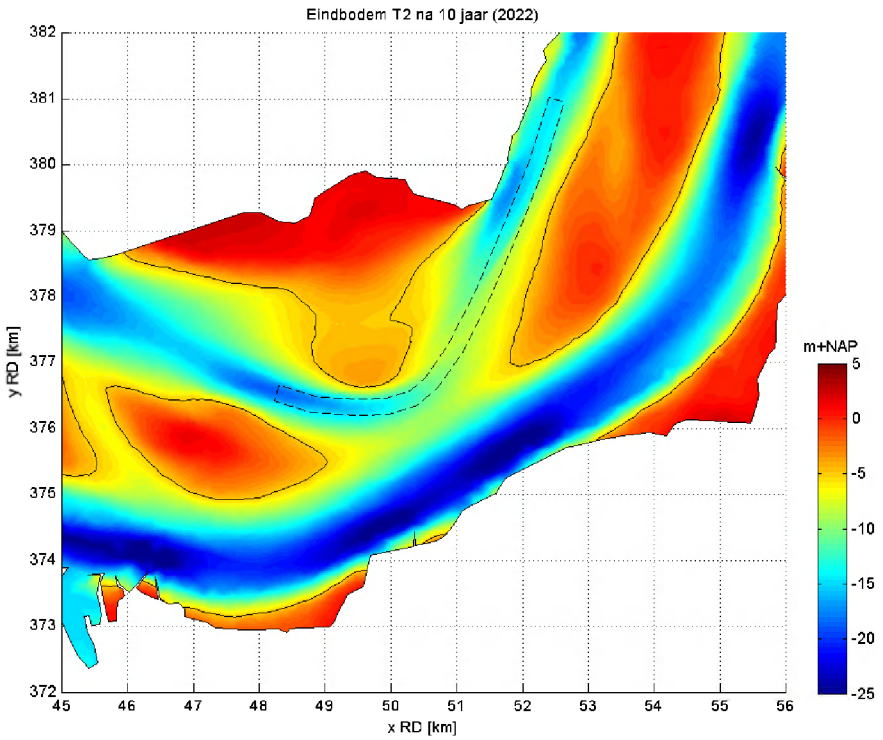
Figuur 4-19: Bodemontwikkeling aan de Geul van Baarland na 10 jaar, onverdiept



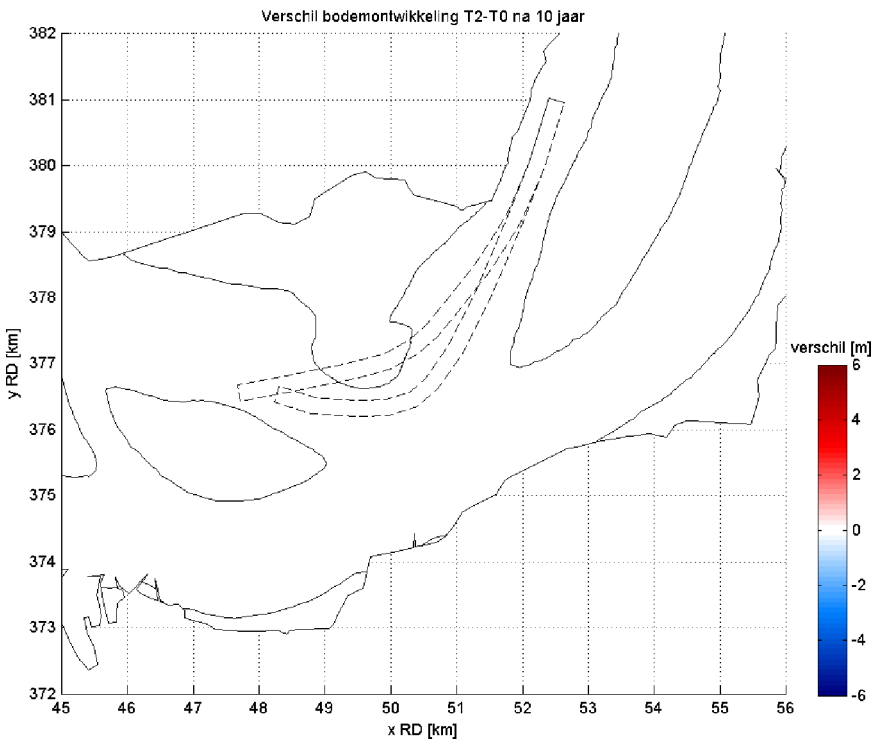
Figuur 4-20: Bodemligging aan de Geul van Baarland na 10 jaar, verdiept en met vaste betonning



Figuur 4-21: Verschil in de bodemontwikkeling aan de Geul van Baarland na 10 jaar tussen de onverdiepte en de verdiepte situatie met vaste betonning



Figuur 4-22: Bodemligging aan de Geul van Baarland na 10 jaar, verdiept en met variabele betonning



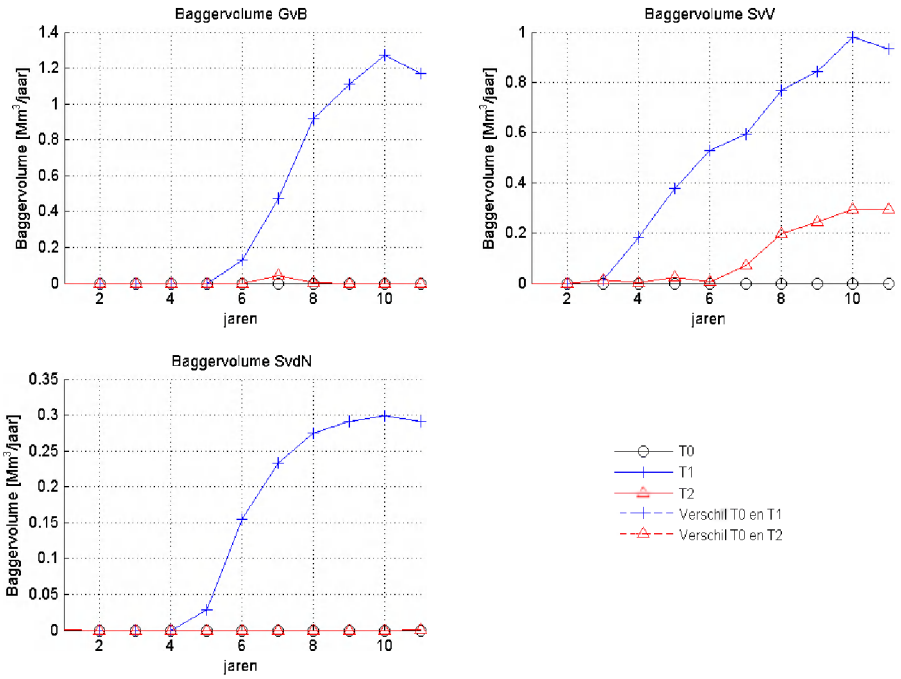
Figuur 4-23: Verschil in de bodemontwikkeling aan de Geul van Baarland na 10 jaar tussen de onverdiepte en de verdiepte situatie met variabele betonning

Tabel 4-2: Baggervolumes voor de aanleg en het onderhoud per simulatiejaar met vaste betonning (m³/jaar)

Nevengeul	Aanleg-volume	Onderhoudsvolume verdiepte nevengeul - vaste betonning										
		Jaar 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Geul van Baarland	0	0	0	0	0	0	130.000	470.000	920.000	1.110.000	1.270.000	1.170.000
Schaar van Valkenisse	300.000	0	0	10.000	180.000	380.000	530.000	600.000	770.000	840.000	980.000	930.000
Schaar van de Noord	200.000	0	0	0	0	30.000	160.000	230.000	270.000	290.000	300.000	290.000

Tabel 4-3: Baggervolumes voor de aanleg en het onderhoud per simulatiejaar met variabele betonning (m³/jaar)

Nevengeul	Aanleg-volume	Onderhoudsvolume verdiepte nevengeul - variabele betonning										
		Jaar 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Geul van Baarland	0	0	0	0	0	0	0	40.000	0	0	0	0
Schaar van Valkenisse	300.000	0	0	10.000	0	20.000	10.000	70.000	200.000	240.000	290.000	290.000
Schaar van de Noord	200.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Figuur 4-24: Baggervolumes voor het onderhoud per simulatiejaar in de situatie onverdiept (T0), verdiept met vaste betonning (T1) en verdiept met variabele betonning (T2)

4.2.2.2 Schaar van Valkenisse

In Figuur 4-25, Figuur 4-27 en Figuur 4-29 zijn de bodemliggingen na 10 jaar voor respectievelijk de onverdiepte situatie, de verdiepte situatie met vaste betonning en de verdiepte situatie met variabele betonning te zien. Figuur 4-26, Figuur 4-28 en Figuur 4-30 geven meer info over de bodemontwikkeling in de verschillende situaties.

Ook hier is een sedimentatie van de drempelgebieden (baggerpolygonen) waar te nemen in het scenario zonder verdieping (zie Figuur 4-25 en Figuur 4-26). Figuur 4-27 en Figuur 4-28 tonen dat deze sedimentatie in de nevenvaargeul tegengegaan wordt door het baggeren (relatieve erosie in Figuur 4-28) en deze dus op diepte blijft. Hetzelfde geldt voor de situatie waarin de betonning mee evolueert met de natuurlijke ontwikkeling, zij het in mindere mate (zie Figuur 4-29 en Figuur 4-30). Let op de haakse ligging van de nevengeul ten opzichte van de hoofdgeul, waardoor een hinderlijke dwarsstroming in de hoofdgeul zou kunnen ontstaan. De haakse aansluiting is mogelijk ook ongunstig voor het in- en uitvaren van de nevengeul.

In de Schaar van Valkenisse komt voor de verdiepte situatie met vaste betonning het jaarlijks onderhoud sneller op gang dan in de Geul van Baarland, namelijk reeds vanaf het 3^{e} simulatiejaar (zie Tabel 4-2 en Figuur 4-24). Het onderhoud neemt toe tot ± 1 Mm³ per jaar. Met de variabele betonning blijft het onderhoudsbaggerwerk aanvankelijk erg laag en loopt het slechts in het 7^{e} jaar op. Dit echter in beperkte mate: 0,3 Mm³ per jaar wordt niet overschreden. Ook hier levert de variabiliteit van de betonning een grote winst in baggervolume op.

De resultaten met vaste betonning (zie Tabel 4-2) verschillen enigszins met deze van Delft3D (zie Tabel 4-1). De onderhoudsvolumes zijn in beide gevallen laag, maar lopen voor Finel2d vanaf het 4^{e} jaar sterk op terwijl ze voor Delft3D reeds na jaar 1 stelselmatig verlagen. Op jaar 5 bedraagt het volume hier 380.000 m³, terwijl dit voor Delft3D 30.000 m³ is. De

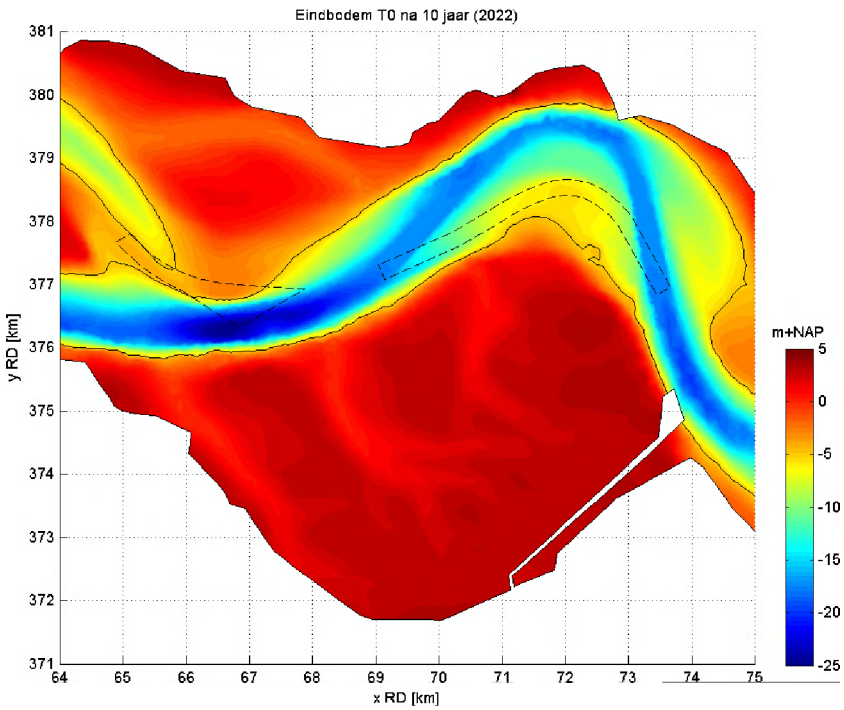
morfodynamica van de Schaar van Valkenisse waarin de plaat ten noordoosten van de schaar in zuidwestelijke richting migreert en de baggerpolygoon bijgevolg zal binnentreden (zie Hoofdstuk 2.3) wordt door de Delft3D modelsimulaties slechts in beperkte mate bevestigd. Het aantal van vijf simulatiejaren is mogelijks te kort om deze verplaatsing daadwerkelijk correct weer te geven.

4.2.2.3 Schaar van de Noord

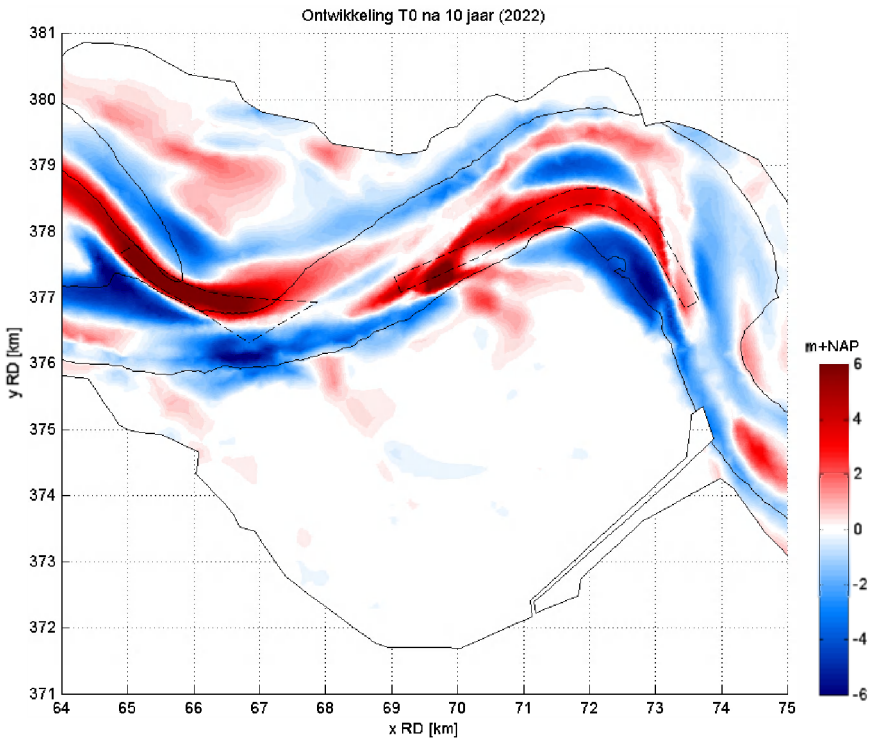
In betonning over de Schaar van de Noord is eveneens sedimentatie terug te vinden vanwege de noordwaartse ontwikkeling van de plaat die ten zuiden van de schaar ligt (zie Figuur 4-25 en Figuur 4-26). Opnieuw is er met een vaste betonning relatieve erosie in de zone te zien vanwege de baggerwerken in Figuur 4-27 en Figuur 4-28 zodat de schaar op diepte gehouden wordt. In Figuur 4-29 en Figuur 4-30 is, net als bij de Geul van Baarland, te zien dat wanneer de betonning mee evolueert er geen verschil in ontwikkeling met de onverdiepte situatie optreedt en er amper of geen onderhoud gepleegd hoeft te worden.

De evolutie van het jaarlijkse onderhoud bij een vaste betonning volgt een gelijkaardige trend als deze bij de Geul van Baarland. Pas vanaf het 5^{e} jaar is er significant onderhoud vereist (zie Tabel 4-2 en Figuur 4-24). De hoeveelheden blijven echter duidelijk lager dan deze in de Geul van Baarland: maximaal 0,3 Mm² per jaar. In de situatie met de variabele betonning is er nauwelijks onderhoud vereist.

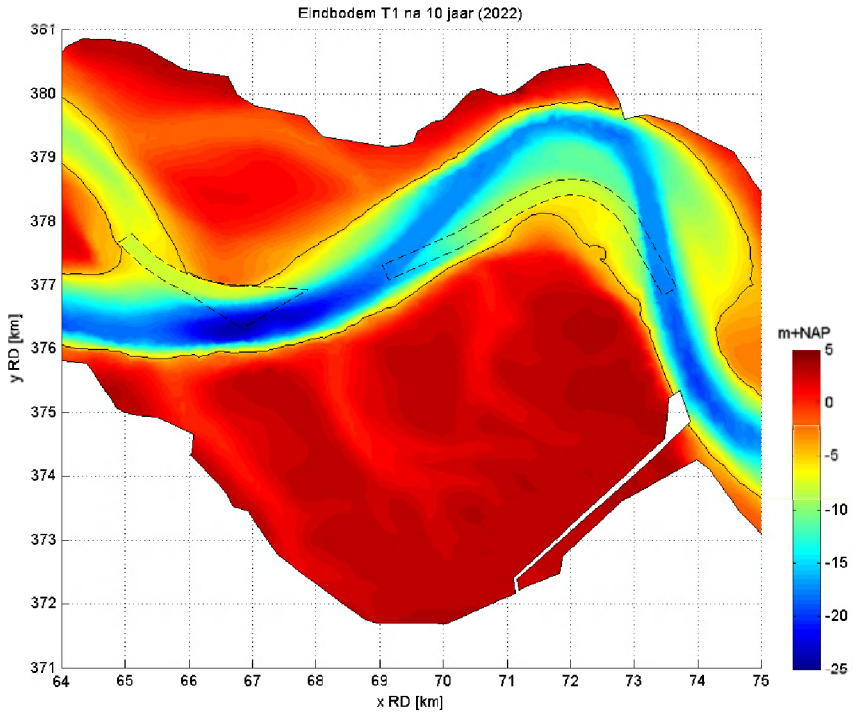
In vergelijking met Delft3D (zie Tabel 4-1) komt de stijging van het onderhoud (bij vaste betonning) hier iets later op gang (zie Tabel 4-2). Waardes van 100.000 m³ per jaar en meer worden pas vanaf het 5e à 6e simulatiejaar bereikt terwijl dit voor Delft3D reeds vanaf het moment van aanleg het geval was.



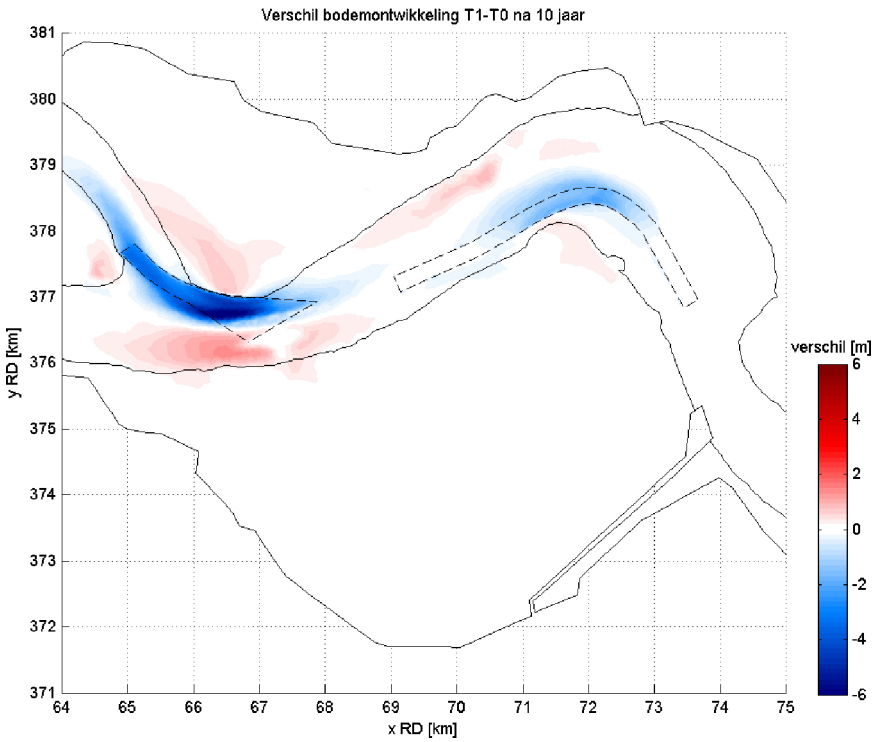
Figuur 4-25: Bodemligging aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar, onverdiept



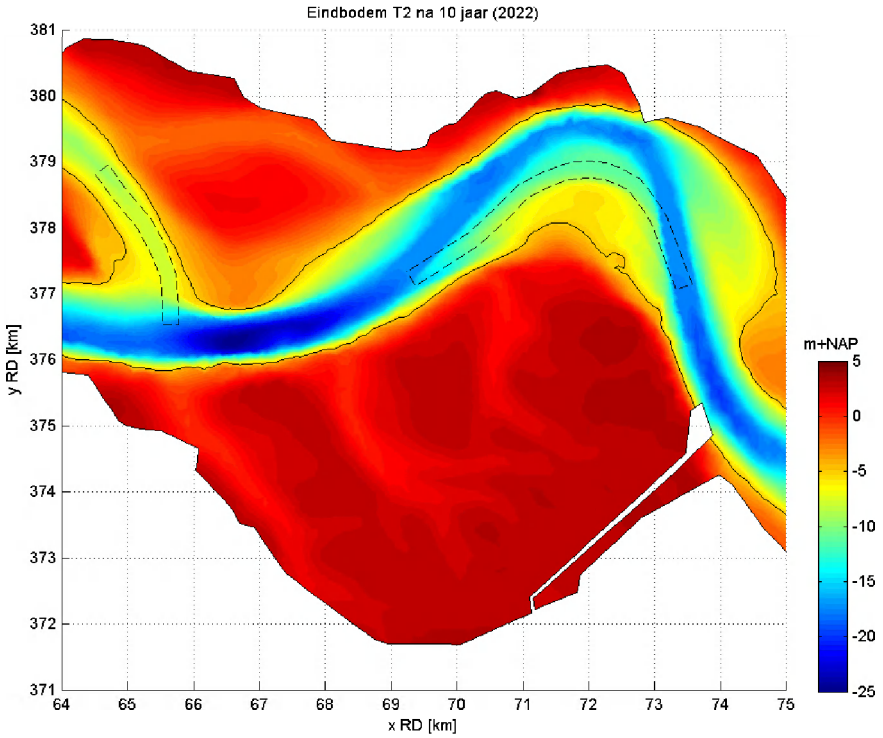
Figuur 4-26: Bodemontwikkeling aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar, onverdiept



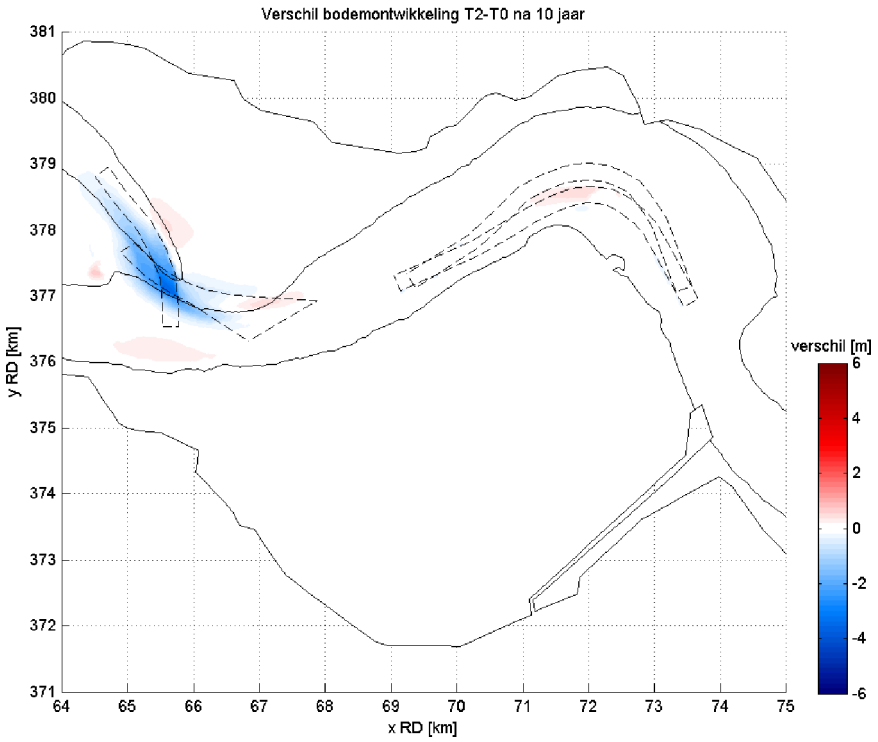
Figuur 4-27: Bodemligging aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar, verdiept met vaste betonning



Figuur 4-28: Verschil in de bodemontwikkeling aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar tussen de onverdiepte en de verdiepte situatie met vaste betonning



Figuur 4-29: Bodemligging aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar, verdiept met variabele betonning

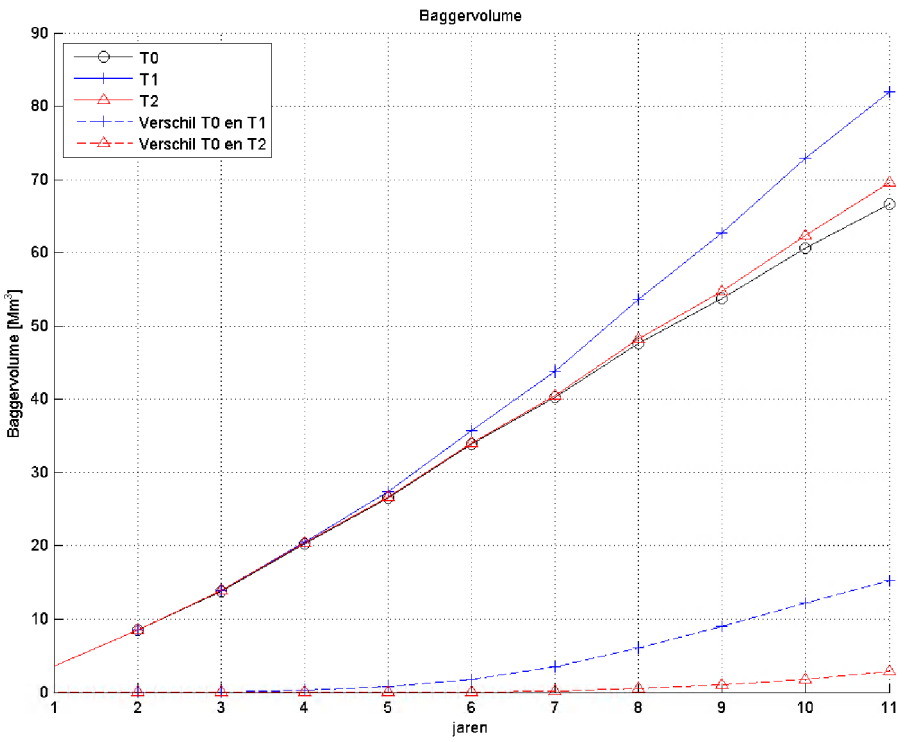


Figuur 4-30: Verschil in de bodemontwikkeling aan de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord na 10 jaar tussen de onverdiepte en verdiepte situatie met variabele betonning

4.2.2.4 Volledige Westerschelde (hoofd- en nevenvaargeul)

Voor het onderhoud van volledige Westerschelde zijn nu de volgende elementen op te merken:

- Het totale baggervolume voor de 11 jaren samen (zie Figuur 4-31) is voor de situatie zonder verdieping en onderhoud van de nevengeulen 67 Mm³, voor deze met verdieping en vaste betonning wordt dit 82 Mm³ wat een verschil van 15 Mm³ inhoudt. Het verschil is aanvankelijk relatief klein, maar neemt duidelijk toe wanneer de plaat uitbreidt tot in de nevengeul. De jaarlijkse hoeveelheden liggen aanvankelijk laag (4 à 5 Mm³), maar stijgen na enkele jaren naar 6 à 7 Mm³ wat meer in de lijn van het huidige baggerbezwaar ligt. Het model heeft een aantal jaren nodig om op te starten.
- Voor het scenario met verdieping en variabele betonning wordt het totale baggervolume voor de 11 jaren samen nu 70 Mm³ wat slechts 3 Mm³ meer is dan de onverdiepte situatie (zie Figuur 4-31). Dit is opvallend minder dan de stijging met een vaste betonning.
- In de hoofdvaargeul zijn het ook in dit model voornamelijk de locaties Drempel van Walsoorden (DWA) en Bocht van Bath (BBA73) in het oostelijk deel van de Westerschelde die verantwoordelijk zijn voor de stijging in baggervolume na de verdieping. Dit komt opnieuw omdat deze baggervakken overlappen met de geselecteerde stortzones van de onderhoudsspecie uit de nevengeulen. In de modelsimulaties lijkt de capaciteit van de stortvakken lokaal niet voldoende om dit extra baggerwerk te dragen.



Figuur 4-31: Cumulatieve baggervolumes in de Westerschelde in de situatie onverdiept (T0), verdiept met vaste betonning (T1) en verdiept met variabele betonning (T2)

4.2.2.5 Conclusie

- Voor de Geul van Baarland is er met een vaste betonning pas vanaf het 6e simulatiejaar significant baggeronderhoud vereist vanwege de zuidelijke migratie van de Plaat van Baarland. In de jaren nadien stijgt het jaarlijks onderhoud fors. Wanneer de betonning van de nevengeulen mee verschuift met de natuurlijke (cyclische) ontwikkeling is het mogelijk grote baggerinspanningen te vermijden.
- De Schaar van Valkenisse betreft een gelijkaardige situatie, maar het onderhoud begint bij een vaste betonning reeds vanaf jaar 3 stelselmatig te stijgen tot hoge waardes na 10 jaren. Met een variabele betonning kunnen de baggeronderhoudinspanningen ook hier drastisch verminderd worden, maar door de ligging haaks op de hoofdgeul ontstaat er mogelijk een problematische situatie voor het scheepsverkeer. In praktijk zou er gezocht kunnen worden naar een middenweg waarbij het onderhoudsvolume geminimaliseerd wordt zonder de scheepvaart te compromitteren.
- De Schaar van de Noord ondervindt een zelfde ontwikkeling als de Geul van Baarland, zij het veel beperkter in omvang. Met een vaste betonning dient de migratie van een zandplaat tegengehouden te worden door middel van baggerwerk. Een variabele betonning brengt opnieuw de oplossing om grote, jaarlijkse onderhoudshoeveelheden te voorkomen.
- Vanwege de verdieping en het onderhoud van de nevengeulen komt er met een vaste betonning over 11 jaar 15 Mm³ baggerinspanning bij waarvan ongeveer 12 Mm³

rechtstreeks afkomstig is van de nevengeulen. Jaarlijks betekent dit een extra onderhoudsvolume van 130.000 m³ (120.000 m³ voor de nevengeulen en 10.000 m³ voor de hoofdgeul) voor de eerste 5 jaar en 2,4 Mm³ (1,9 Mm³ voor de nevengeulen en 0,5 Mm³ voor de hoofdgeul) voor de laatste 6 jaar. In het geval van de variabele betonning komt er over 11 jaar slechts 3 Mm³ onderhoudsvolume bij waarvan 1,2 Mm³ van de nevengeulen. Het jaarlijkse gemiddelde blijft ongeveer gelijk voor de eerste 5 jaar en stijgt met 500.000 m³ (200.00 m³ voor de nevengeulen en 300.000m³ voor de hoofdgeul) voor de laatste 6 jaar. Met variabele betonning van de nevengeulen wordt het onderhoud dus sterk gereduceerd waardoor dit te verkiezen is boven het strak vasthouden aan de betonning.

4.2.3 Volumes

Een overzicht van de bijkomende onderhoudsvolumes volgens de beide modelsimulaties wordt gegeven in Tabel 4-4 (opgelet, het betreft hier enkel de baggervolumes die bij de verdiepte situatie komen ten opzichte van de onverdiepte situatie). Ook voor de FINEL2D werden de totale en jaarlijkse volumes over 5 jaar weergegeven.

Tabel 4-4: Bijkomende onderhoudsbaggervolumes in m³ in situ volgens de modelsimulaties

Model	Totaal over 5 jaar	Totaal over 11 jaar	Jaarlijks gemiddelde over eerste 5 jaar	Jaarlijks gemiddelde over laatste 6 jaar
Delft3 (vast)	1.000.000	/	200.000	/
Finel2D (vast)	700.000	15.000.000	130.000	2.400.000
Finel2D (variabel)	0	3.000.000	0	500.000

4.3 BUDGETRAMING ONDERHOUDSBAGGERWERKEN

Voor de budgetraming van de extra onderhoudsbaggerwerken worden dezelfde randvoorwaarden, baggertuigen en aannames verondersteld als voor de aanleg. Zodoende kan opnieuw een gemiddelde eenheidsprijs van **4,2 € per m³ in situ** (exclusief mobilisatie/demobilisatie) aangenomen worden.

In Tabel 4-5 zijn de kostprijzen voor dit bijkomende onderhoud weergegeven. Voor het jaarlijks gemiddelde wordt tussen haakjes de uitvoeringstermijn weergegeven.

Tabel 4-5 : Kostprijzen in € voor de extra onderhoudsbaggerwerken

Model	Totaal over 5 jaar	Totaal over 11 jaar	Jaarlijks gemiddelde over eerste 5 jaar	Jaarlijks gemiddelde over laatste 6 jaar
Delft3D	4.200.000	/	840.000 (16 d.)	/
Finel2d (vast)	2.800.000	63.000.000	550.000 (11 d.)	10.100.000 (196 d.)
Finel2d (variabel)	0	13.000.000	0 (0 d.)	2.100.000 (41 d.)

5. IMPACT VAN DE INGREPEN

In dit hoofdstuk wordt de impact van de verdiepingsingrepen op de morfologie, de waterstanden, de hydrodynamica en de ecologie besproken. Is er een merkbare invloed van het op diepte brengen en houden van de nevenvaargeul op deze rivierkarakteristieken en zo ja, is deze impact positief of negatief, of kan de impact als uiterst beperkt beschouwd worden?

5.1 MORFOLOGIE

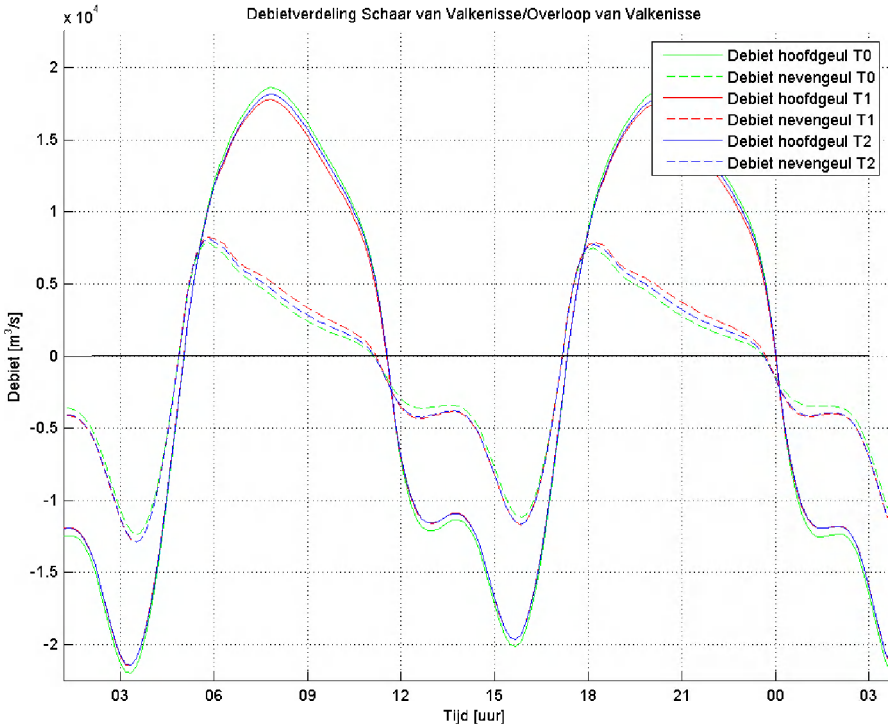
Zoals reeds in Hoofdstuk 4 aangehaald, is de invloed van de verdieping op de natuurlijke, morfologische evoluties beperkt. De meeste van de ontwikkelingen die zich reeds voor 2011 manifesteren zoals de verschuivingen van platen en geulen (zie Hoofdstuk 2), blijken gewoon door te gaan na de verdiepingsingreep. Indien star vastgehouden wordt aan een vaste betonning zullen er dan ook enorme baggerinspanningen nodig zijn om deze evoluties tegen te gaan. De modellen voorspellen geen opmerkelijke trendbreuken bij uitvoering van de verdiepings- en onderhoudsbaggerwerken in de nevengeulen.

5.2 WATERSTANDEN

De waterstanden worden niet of nauwelijks beïnvloed door de verdieping van de nevengeulen (zie Bijlage H en Bijlage I). De veranderingen die binnen de modelsimulaties waargenomen worden, liggen binnen de foutenmarges van de simulaties zodat er geen significante uitspraken kunnen gedaan worden op basis van deze resultaten.

5.3 HYDRODYNAMICA

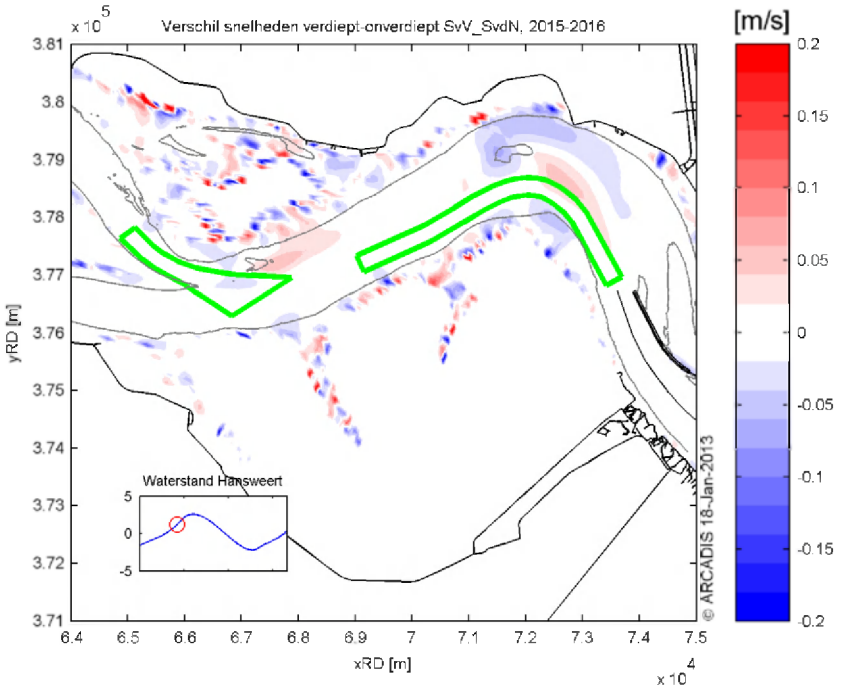
De debieten door dwarsdoorsnedes van de rivier veranderen licht door de morfologische ingreep. Zoals besproken in Bijlage H en Bijlage I zullen de nevengeulen meer water 'aantrekken' en zal het debiet dat door deze geulen gaat, toenemen. De debieten elders in de Westerschelde veranderen nauwelijks of niets (zie Figuur 5-1).



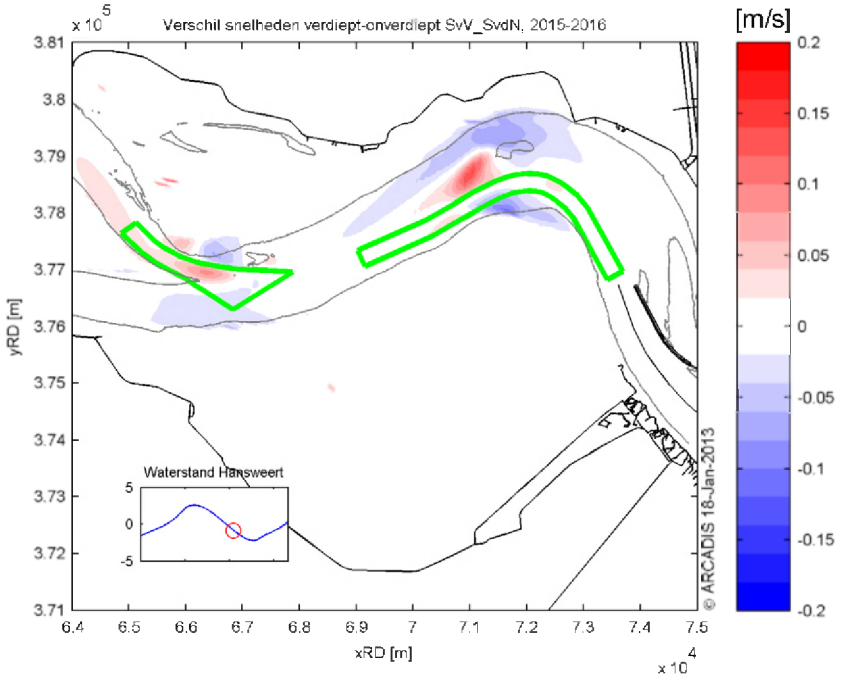
Figuur 5-1: Debietverdeling Schaar van Valkenisse / Overloop van Valkenisse

Dit effect is eveneens terug te zien in de analyse van de stroomsnelheden. Deze werden in beide modellen uitgevoerd en tonen allebei aan dat de stroomsnelheden stijgen (of eerder minder afnemen) in de verdiepte situatie ten opzichte van de onverdiepte. In Figuur 5-2 en Figuur 5-3 is dit fenomeen te zien zoals het zich in het Delft3D model voordoet. Vooral in de Schaar van Valkenisse gedurende de ebstroom is te zien dat de stroomsnelheden in de verdiepte situatie na vijf jaar groter zijn dan in de onverdiepte situatie (rode kleur). In de Schaar van de Noord en voor beide scharen tijdens de vloedstroom is het effect minder groot. Men ziet tevens het omgekeerde effect ter hoogte van de hoofdgeul (blauwe kleur). Hier neemt de stroomsnelheid af vanwege de verdieping van de nevengeulen. Hetzelfde geldt voor de situatie na elf jaar zoals vastgesteld in het Finel2d model.

Ook in het geval er een variabele betonning gekozen wordt, gelden dezelfde effecten zij het minder sterk als in het geval met de vaste betonning.



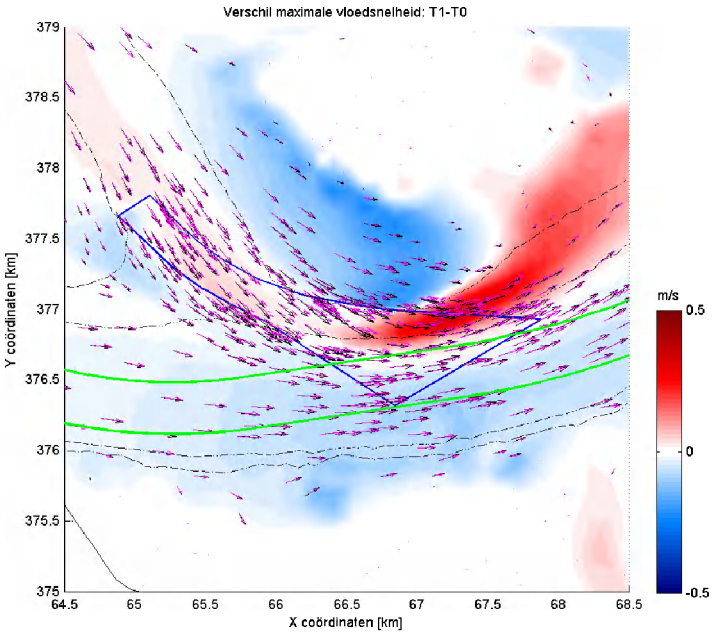
Figuur 5-2: Stroomsnelheidsverschillen na vijf jaar tussen de verdiepte en de onverdiepte situatie voor de SvV en SvdN tijdens maximale vloedstroom



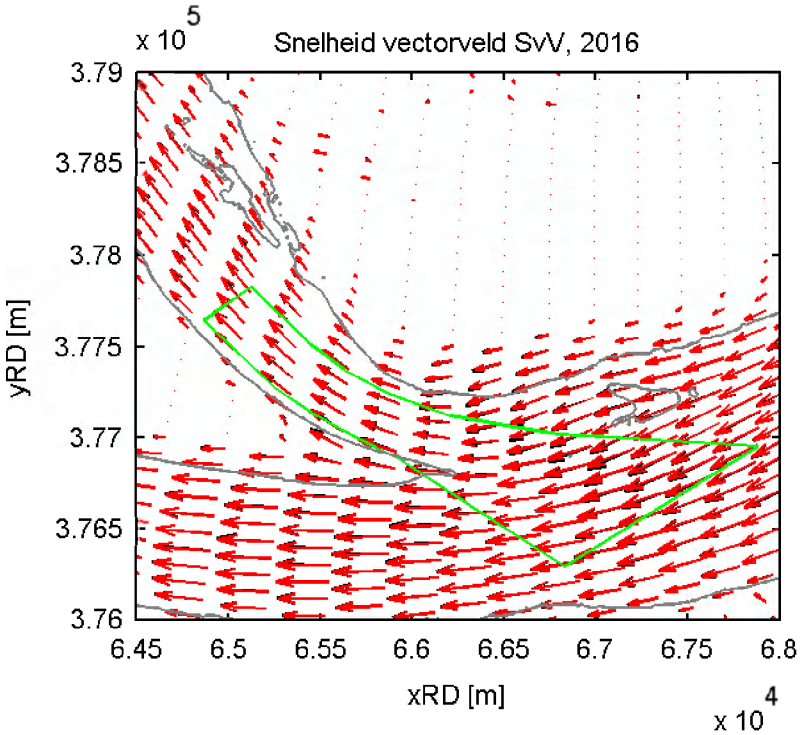
Figuur 5-3: Stroomsnelheidsverschillen na vijf jaar tussen de verdiepte en de onverdiepte situatie voor de SvV en SvdN tijdens maximale ebstroom

Wanneer we de dwarsstromingen in de hoofdgeul ter hoogte van de aansluiting met de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord meer in detail gaan bekijken, merken we de volgende zaken.

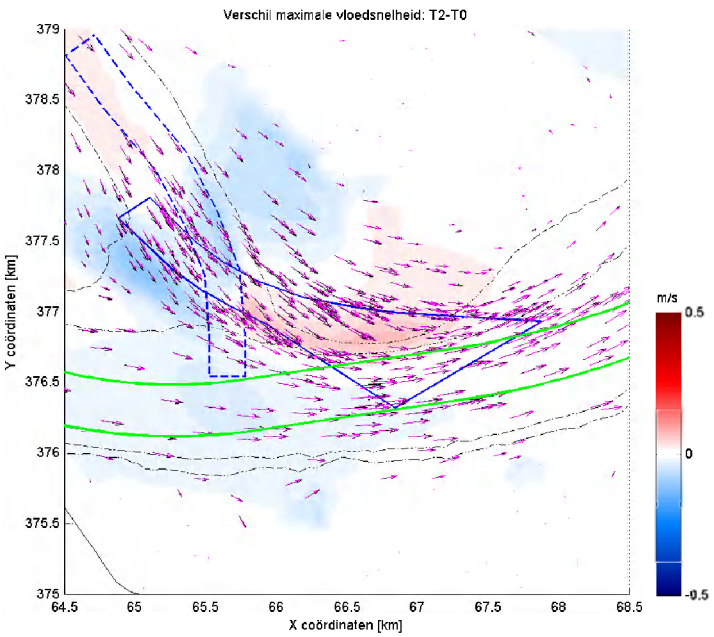
Voor de Schaar van Valkenisse zien we in beide modellen voor het scenario met vaste betonning dat de stroming bij vloed lichtjes toeneemt ter hoogte van de aansluiting van de nevengeul op de hoofdvaargeul (zie Figuur 5-4). De richting van deze stroming is echter min of meer parallel aan de hoofdvaargeul waardoor er amper of geen extra dwarsstroming gegenereerd wordt. Voor de ebstroom verandert de stroming eveneens nauwelijks en is de richting opnieuw bijna evenwijdig met de hoofdvaargeul (zie Figuur 5-5). Voor de situatie met variabele betonning is een gelijkaardig patroon zichtbaar, ondanks dat de ligging van de nevengeul significant anders is (zie Figuur 5-6). Het verschil in snelheidsveranderingen is zelfs duidelijk lager dan voor de situatie met vaste betonning.



Figuur 5-4: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van Valkenisse met vaste betonning (Finel2d model)

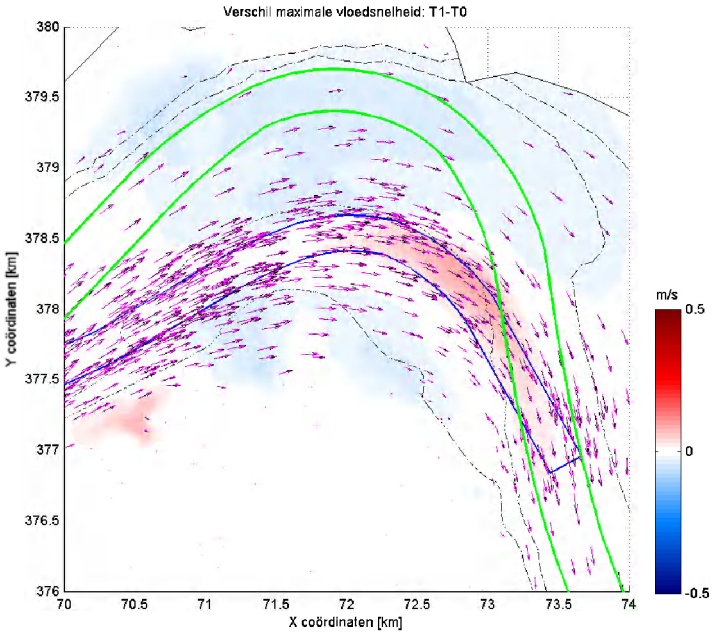


Figuur 5-5: Verschil in maximale ebsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van Valkenisse met vaste betonning (Delft3D model)

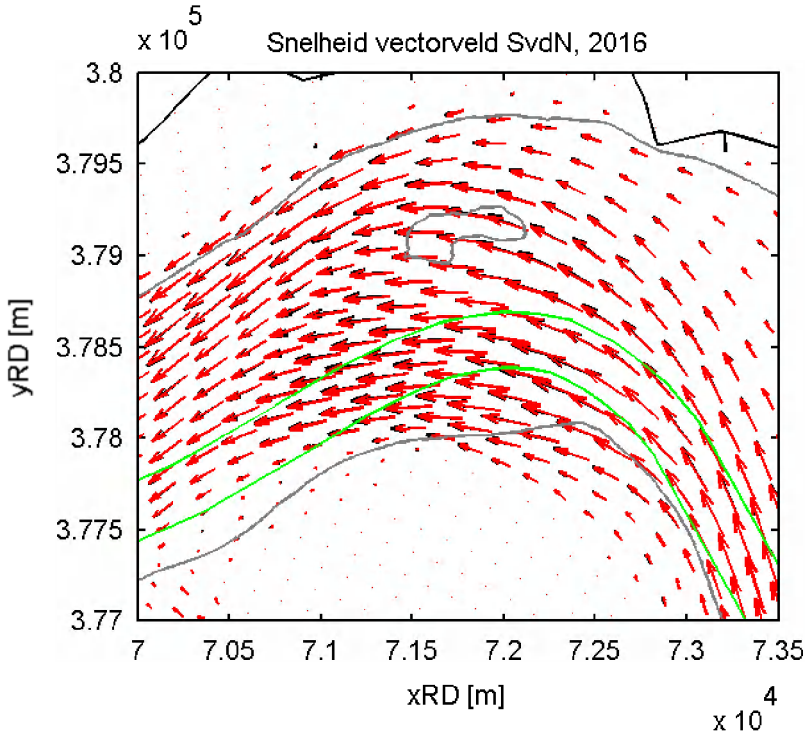


Figuur 5-6: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van Valkenisse met variabele betonning (Finel2d model)

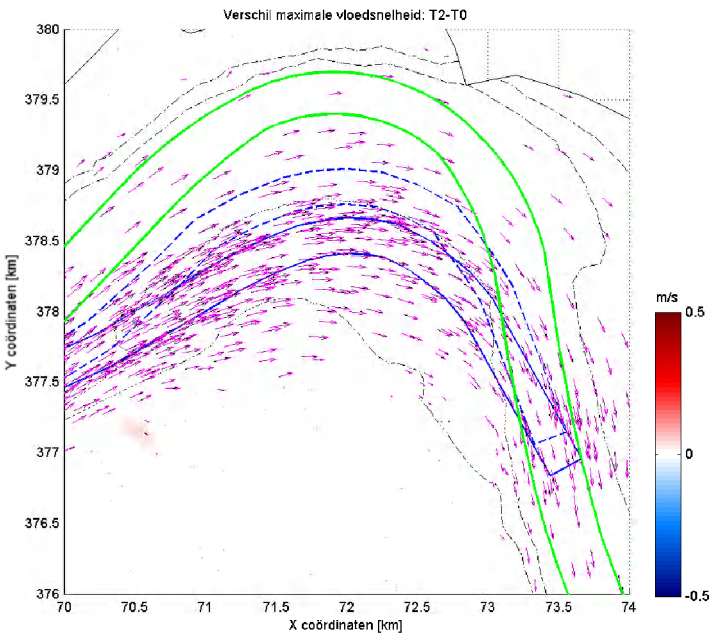
Voor de Schaar van de Noord is er in beide modellen te zien dat de stroming in het scenario met vaste betonning licht stijgt ter hoogte van de aansluiting nevengeul-hoofdvaargeul (zie Figuur 5-7). Aangezien deze stroming niet volledig parallel met de hoofdvaargeul ligt, zal er hier een lichte verhoging van de dwarsstroming ontstaan. In het geval van ebstroom ziet men hetzelfde fenomeen terug: een lichte verhoging van de stroming en bijgevolg een beperkte verhoging van de dwarsstroming (zie Figuur 5-8). Voor de situatie met de variabele betonning is er nauwelijks een verschil tussen de huidige situatie en de verdiepte (zie Figuur 5-9). De dwarsstroming zal nagenoeg niet verhogen.



Figuur 5-7: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van de Noord met vaste betonning (Finel2d model)



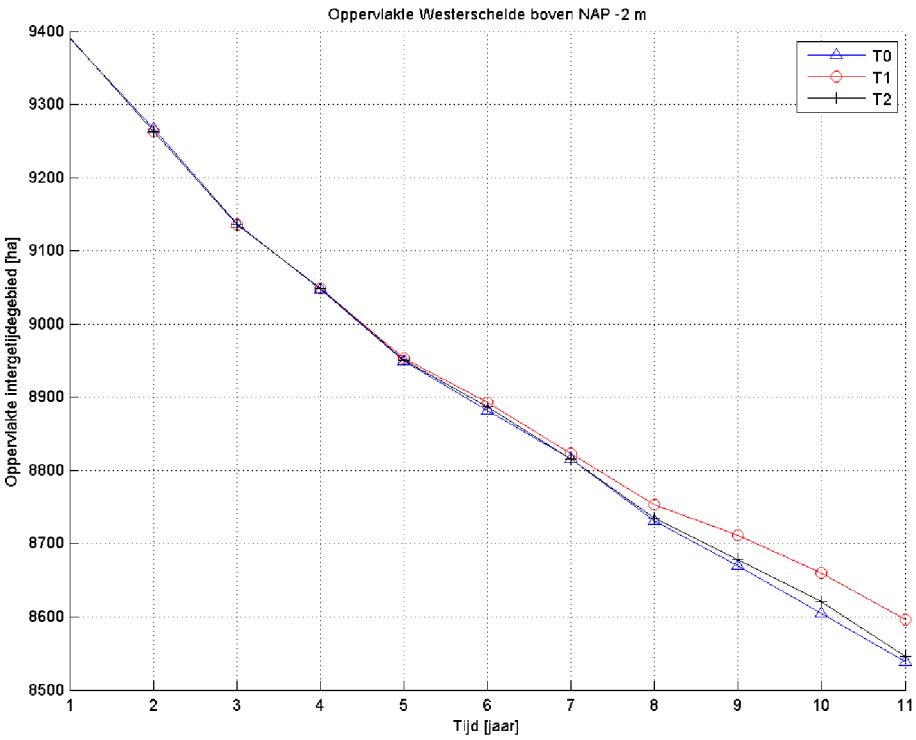
Figuur 5-8: Verschil in maximale ebsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van de Noord met vaste betonning (Delft3D model)



Figuur 5-9: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen de situatie met verdiepte nevengeul en deze zonder voor de Schaar van de Noord met variabele betonning (Finel2d model)

5.4 ECOLOGIE

Beide modelsimulaties tonen dat het areaal intergetijdengebied over de volledige Westerschelde in de eerste jaren nauwelijks verandert voor de verdiepte situatie ten opzichte van de onverdiepte (zie Figuur 5-10). De natuurlijke ontwikkeling in de Westerschelde vertoont een dalende trend (dit is niet realistisch en kan als een modelartefact beschouwd worden). Vanaf het 6e à 7e simulatiejaar daalt deze oppervlakte echter minder sterk in de verdiepte situatie. Met de vaste betonning is dit effect duidelijker als met de variabele betonning. De verhoging van de baggervolumes heeft tot gevolg dat er ook een groter volume zand gestort zal worden op de plaatranden. Het creëren van extra intergetijdengebied ten opzichte van de onverdiepte situatie, kan als een positieve impact op de ecologie beschouwd worden.



Figuur 5-10: Areaalontwikkeling intergetijdengebied voor de volledige Westerschelde

6. CONCLUSIE

Wat de historische ontwikkeling van de drie drempelgebieden betreft, kan gesteld worden dat voor elke zone een gelijkaardige situatie geldt. De Geul van Baarland is een bijzonder dynamische omgeving waarbij er een sterk zuidelijke migratie van de Plaat van Baarland (en bijgevolg ook de geul) waar te nemen is. De verwachting is dat de locatie, zoals ze in Hoofdstuk 1 bepaald is, in de volgende jaren erg ondiep zal worden. De drempel aan de Schaar van Valkenisse ligt momenteel al een stuk ondieper. Ook hier zal de noordelijke rand van de geul zuidwaarts verschuiven, zij het trager dan voor de Geul van Baarland. De drempel zelf vlakt in de voorbije jaren af. Aan de Schaar van de Noord is de bodem de laatste jaren een stuk minder dynamisch en relatief ondiep in het centrale gedeelte.

De bepaling van de aanlegbaggervolumes werd uitgevoerd voor een vaarwegbreedte van 250 meter met een talud van 1:10. Voor de drie locaties werd een streefdiepte van -2,5 m LAT, -3,5 m LAT en -4,5 m LAT aangehouden, telkens vermeerderd met 30 cm overdiepte. De Geul van Baarland vraagt voor alle drie de streefdieptes amper of geen aanlegwerken. In de Schaar van Valkenisse stijgt dit van bijna niets voor -2,5 m LAT naar meer dan 300.000 m³ voor -4,5 m LAT dewelke zich voornamelijk op de drempel tussen de hoofdgeul en de nevengeul situeren. Aan de Schaar van de Noord stijgt het volume naar ongeveer 200.000 m³ voor -4,5 m LAT. Deze zullen centraal in de schaar gebaggerd dienen te worden.

De kostprijs van deze aanlegwerken werd berekend met een kleine TSHD. Deze zuigt het zandvolume van de baggerlocatie op en gaat het storten door middel van bodemdeuren op een locatie in de Westerschelde die binnen de 5 km van de baggerzone gelegen is. Er wordt voor een relatief kleine TSHD gekozen vanwege de beperkte diepgang. Op basis van enkele hypotheses werd een eenheidsprijs van 4,2 €/m³ in situ berekend. Dit is exclusief mobilisatie en demobilisatie van het baggertuig. De werken worden ingepast in het huidige onderhoud. Dit geeft de volgende kostprijzen in Euro voor de verschillende locaties en streefdieptes (herhaling Tabel 3-3, zonder de uitvoeringstermijn):

Streefdiepte	-2.5 m LAT	-3.5 m LAT	-4.5 m LAT
Geul van Baarland	0 €	0 €	3.000 €
Schaar van Valkenisse	100.000 €	600.000 €	1.300.000 €
Schaar van de Noord	30.000 €	300.000 €	800.000 €

Om een inschatting te maken van de onderhoudsbaggervolumes op middellange termijn wanneer de nevengeulen op diepte gehouden worden, werd gebruikt gemaakt van morfodynamische modelsimulaties met FINEL2d en Delft3D. In Delft3D werd tot 5 jaar doorgerekend, in FINEL2d tot 11 jaren. De FINEL2d simulaties werden ook uitgevoerd met een variabele betonning die mee met de ontwikkeling van de nevengeul evolueert om zo te bekijken of dit een besparing in onderhoud kan betekenen.

Dezelfde dwarsdoorsnede als bij de aanleg werd verondersteld. De streefdiepte werd op -4,5 m LAT + 30 cm overdiepte voor de nevengeulen en -14,5 m LAT voor de hoofdvaargeul gekozen. Dit stelt bijgevolg de situatie voor waarbij de baggerinspanning het grootst zal zijn.

Dezelfde stortverdeling als in 2011 werd aangehouden en voor de baggerspecie afkomstig van de nevengeulen werd de volgende stortlocatie gekozen:

- Geul van Baarland: SN31
- Schaar van Valkenisse: SH51
- Schaar van de Noord: SH61

Opvallend is dat in alle uitgevoerde simulaties de onderhoudshoeveelheden in de eerste jaren na aanleg slechts een fractie bedragen van de aanleghoeveelheden. Aangezien er tevens een toename van de debieten door de nevengeulen wordt voorspeld, kan geconcludeerd worden dat de toename in stroming er voor zorgt dat de onderhoudsvolumes beperkt blijven.

Voor de Geul van Baarland is, zoals voorspeld in de historische analyse, te zien dat de plaat zich in zuidelijke richting tot in de nevenvaargeul verplaatst. Ongeveer vanaf het 5^{e} jaar is er significant onderhoud vereist. Het FINEL2d-model berekent tegen het 11^{e} jaar ongeveer 1,2 Mm³ per jaar extra. Met een variabele betonning hoeft er over de beschouwde periode amper onderhoud gepleegd te worden.

De Schaar van Valkenisse sedimenteert reeds vanaf jaar 1 in die mate dat er een baggerinspanning nodig is. Aanvankelijk zijn de bijkomende volumes relatief laag met waardes onder de 200.000 m³, maar ook hier lopen ze op tot ± 1 Mm³ per jaar op het einde van de simulatie. Voor de variabele betonning bekomt men een gelijkaardige trend die echter minder groot is met 300.000 m³ per jaar extra na 11 jaren.

De haakse ligging van de nevengeul ten opzichte van de hoofdvaargeul, die ontstaat wanneer de betonning aan de morfologische evolutie van de nevengeul wordt aangepast, is echter mogelijk een problematische situatie voor de scheepvaart. Om dit te mitigeren kan overwogen worden de drempel volgens een vaste betonning te onderhouden. Dit zal echter leiden tot een toename van het onderhoudsbaggervolume.

In de Schaar van de Noord is een verondieping van de nevengeul waar te nemen vanwege de zuidelijk gelegen plaat die noordwaarts en beperkt westwaarts migreert. De beide modellen geven hier een wat verschillend resultaat, maar er kan verwacht worden dat het jaarlijks, bijkomende onderhoud de eerste jaren onder 100.000 m³ blijft om na 11 jaren rond de 300.000 m³ te liggen. Als een variabele betonning toegepast wordt, is er opnieuw nauwelijks nood aan baggeronderhoud.

Door het verdiepen van de nevengeulen en het star vasthouden aan de betonning verhoogt het totale baggervolume voor de Westerschelde (hoofdgeul en nevengeulen) met ongeveer 1 Mm³ over 5 jaar (gemiddeld ± 200.000 m³ jaarlijks) en ongeveer 15 Mm³ over 11 jaar (gemiddeld ± 2,4 Mm³ jaarlijks voor de laatste 6 jaar). Van die 200.000 m³ jaarlijks voor de eerste 5 jaar is er enkele tienduizenden m³ afkomstig van de hoofdvaargeul. Van de 2,4 Mm³ voor de laatste 6 jaar komt er ongeveer 0,5 Mm³ uit de hoofdgeul. Met variabele betonning verhoogt het totale onderhoud over 11 jaar met ongeveer 3 Mm³ of gemiddeld 500.000 m³ jaarlijks voor de laatste 6 jaar. In dit scenario is er iets meer dan de helft afkomstig van de hoofdvaargeul.

Belangrijk is te vermelden dat de stortingen in SH51 en SH61 ervoor zorgen dat het baggeronderhoud op de Drempel van Walsoorden en in de Bocht van Bath gevoelig stijgt. Deze stortvakken zijn met andere woorden niet in staat om de extra stortingen afkomstig van het onderhoud van de nevengeulen, te bergen.

De kostprijs voor het bijkomende onderhoud werd met dezelfde aannames als deze voor de aanleg berekend. Zodoende kan men hier eveneens een eenheidsprijs van 4,2 €/m³ in situ aannemen (opnieuw, enkel indien dit in het huidige onderhoud ingepast kan worden). Dit geeft volgende kostprijzen in Euro voor de verschillende modellen en over andere periodes (herhaling Tabel 4-5, zonder de uitvoeringstermijn):

Model	Totaal over 5 jaar	Totaal over 11 jaar	Jaarlijks gemiddelde over eerste 5 jaar	Jaarlijks gemiddelde over laatste 6 jaar
Delft3D	4.200.000 €	/	840.000 €	/
Finel2d (vast)	2.800.000 €	63.000.000 €	550.000 €	10.100.000 €
Finel2d (variabel)	0 €	13.000.000 €	0 €	2.100.000 €

Met vaste betonning kost het bijkomende onderhoud aanvankelijk gemiddeld ongeveer 700.000 € per jaar. Nadien loopt dit op en bereikt na 5 à 10 jaar gemiddeld zelfs 10.000.000 € per jaar. Door de betonning mee te laten variëren met de natuurlijke (cyclische) ontwikkeling van de nevengeul bekomt men eerst amper enige stijging om nadien toch meer dan 2.000.000 € per jaar te bereiken na 5 à 10 jaren. Dit is toch een significante vermindering ten opzichte van de vaste betonning. Indien de betonning in de Schaar van Valkenisse wordt gefixeerd, om een gunstige aansluiting van de nevengeul op de hoofdgeul te bekomen, zullen de onderhoudskosten toenemen ten opzichte van een variabele betonning in het gehele tracé. Er kan eveneens geconcludeerd dat het verdiepen en het in stand houden van de nevengeulen een zeer beperkte invloed heeft op de morfologie en hydrodynamische condities van de Westerschelde.

7. REFERENTIES

Decrop B., De Clercq B., Vanlede J., Van Holland G., Ides S., Plancke Y., De Mulder T. en Mostaert F. (2009). Dwarsstromingen Ossenisse-Zuidergat – rapport numeriek modelonderzoek. WL Rapporten 753_07. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/09.009/BDC, Antwerpen, België.

Verheyen B., Vanlede J., Plancke Y. en Mostaert F. (2011). Beheersbaarheid groene boeienzijde: scenario onderzoek met het numeriek istrumentarium voor dwarsstromingen Ossenisse-Zudiergat. WL Rapporten 753_14. Waterbouwkundig Laboratorium en IMDC rapport nr. I/RA/11313/11.019/VBA, Antwerpen, België.

IMDC (2010). Veiligheidsmaatregelen op de Westerschelde – Onderzoek scheiden zeevaart en binnenvaart/recreatievaart. Uitgevoerd i.o.v. Rijkswaterstaat (afdeling Scheepvaart) en Maritieme Dienstverlening en Kust (afdeling Scheepvaartbegeleiding), I/RA/12061/09.152/RAD, Antwerpen, België.

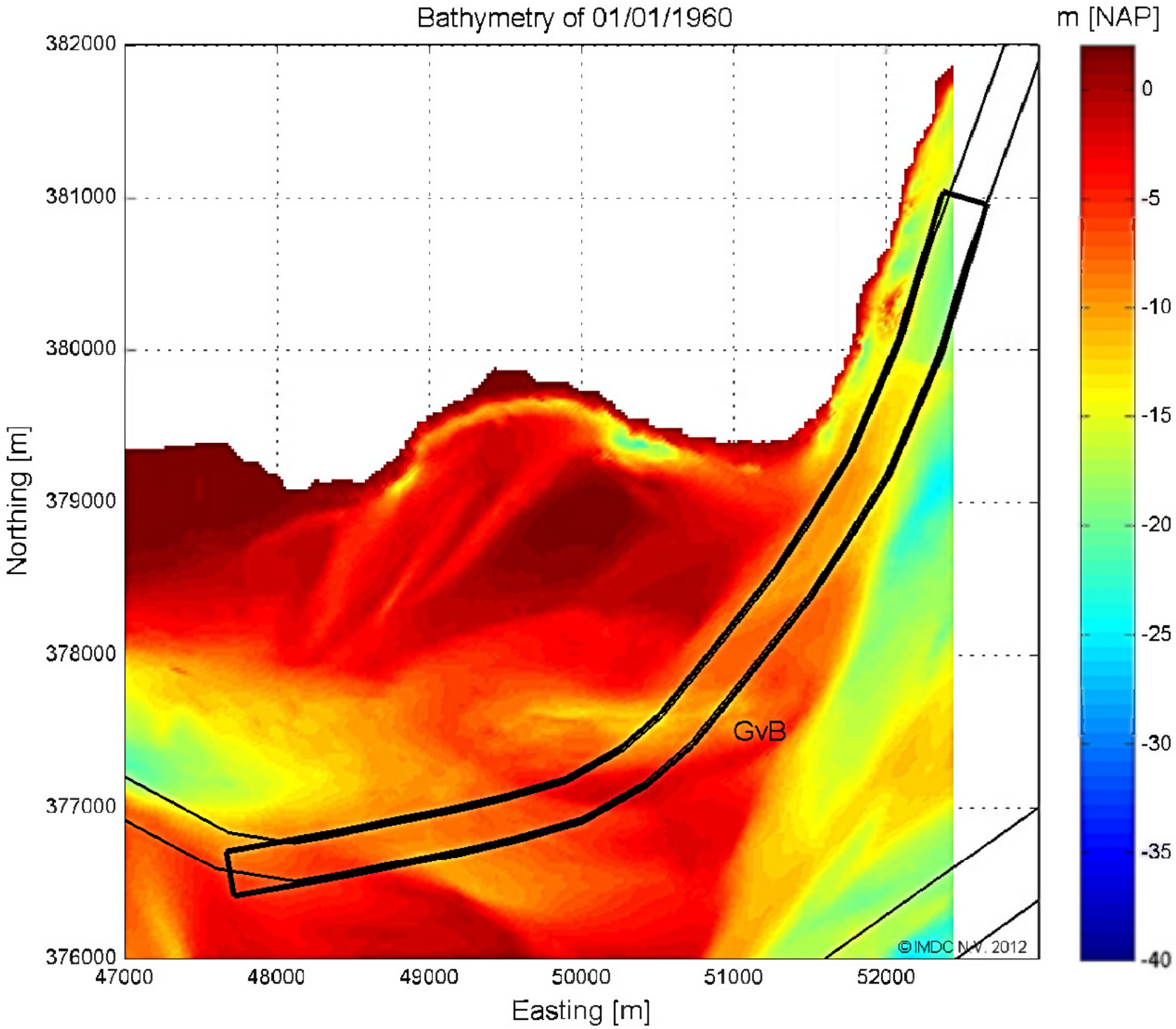
ARCADIS (2004). Baggerplan 2006-2010. Uitgevoerd in opdracht van Waterschap Velt en Vecht (november 2004).

ARCADIS – Technum (2007a). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergronddocumenten morfologische ontwikkeling Westerschelde. Fenomenologisch onderzoek naar de ontwikkelingen op meso-schaal. Uitgevoerd i.o.v. de Technische Scheldecommissie.

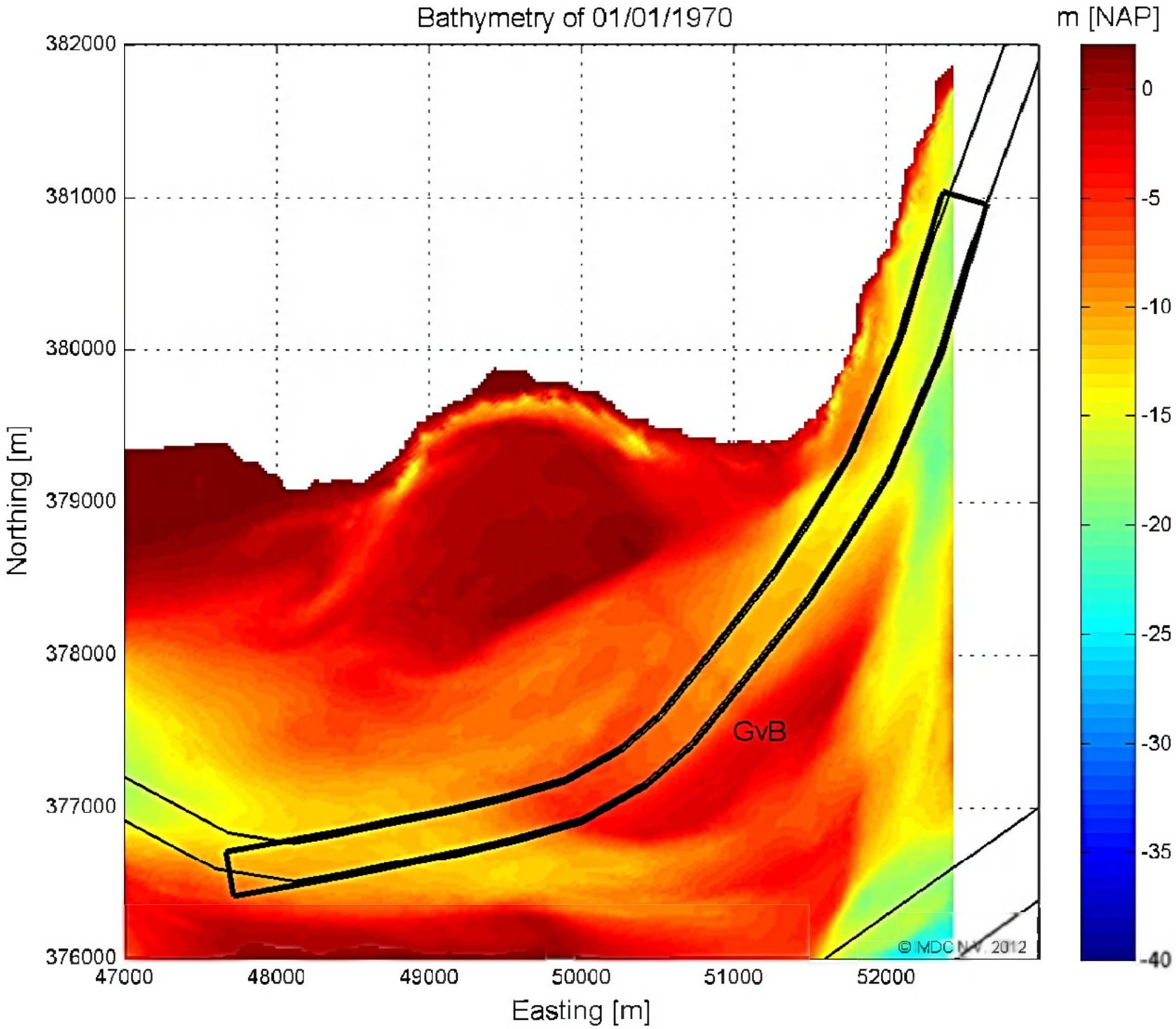
ARCADIS – Technum (2007b). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Basisrapport Morfologie. Uitgevoerd i.o.v. de Technische Scheldecommissie.

ARCADIS – Technum (2007c). Milieueffectrapport Verruiming vaargeul Beneden-Zeeschelde en Westerschelde. Achtergronddocument Systeembeschrijving Schelde-estuarium. Een visie op de macro-morfologische ontwikkeling. Uitgevoerd i.o.v. de Technische Scheldecommissie.

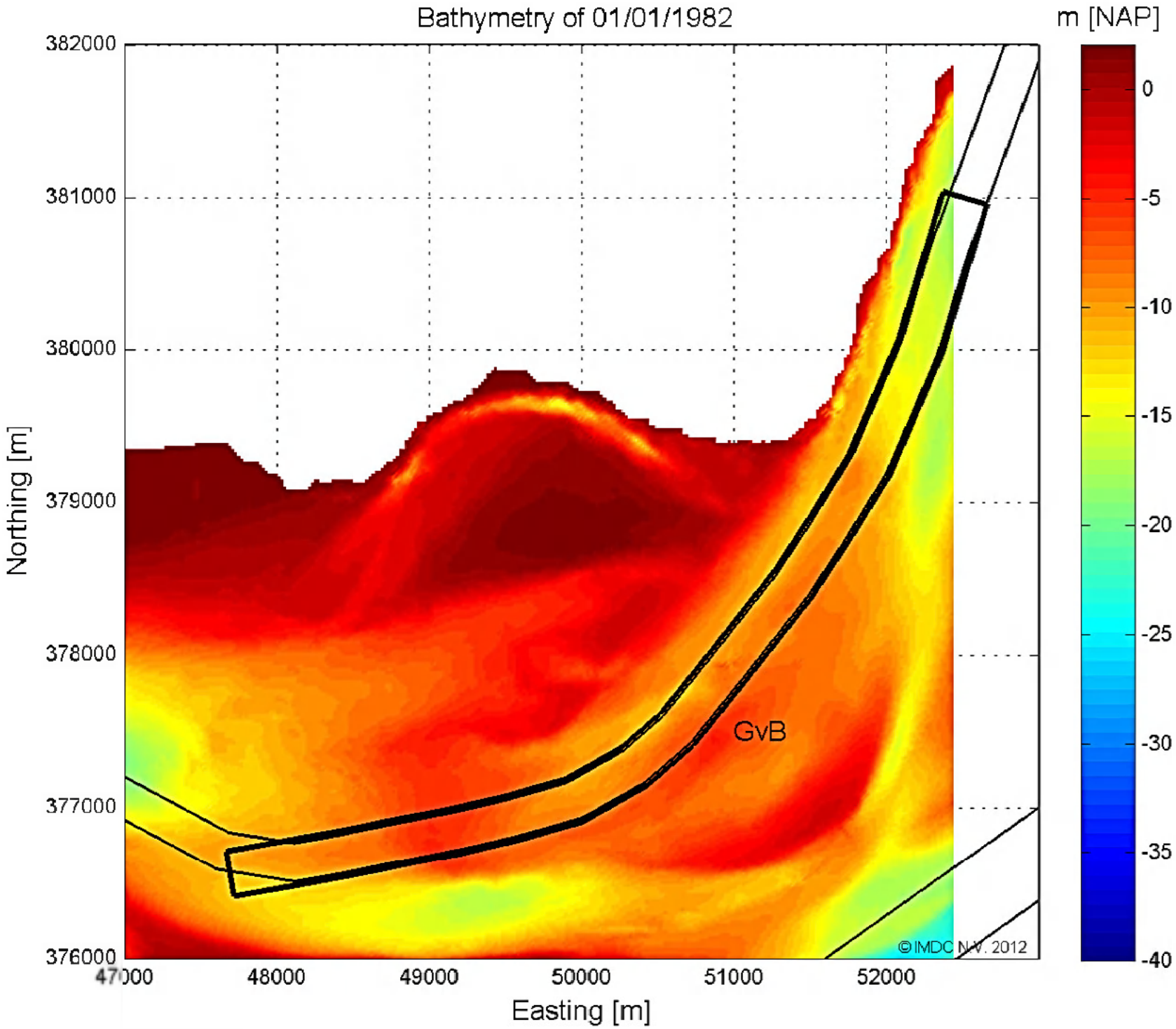
Bijlage A Geul van Baarland: Bathymetrieën



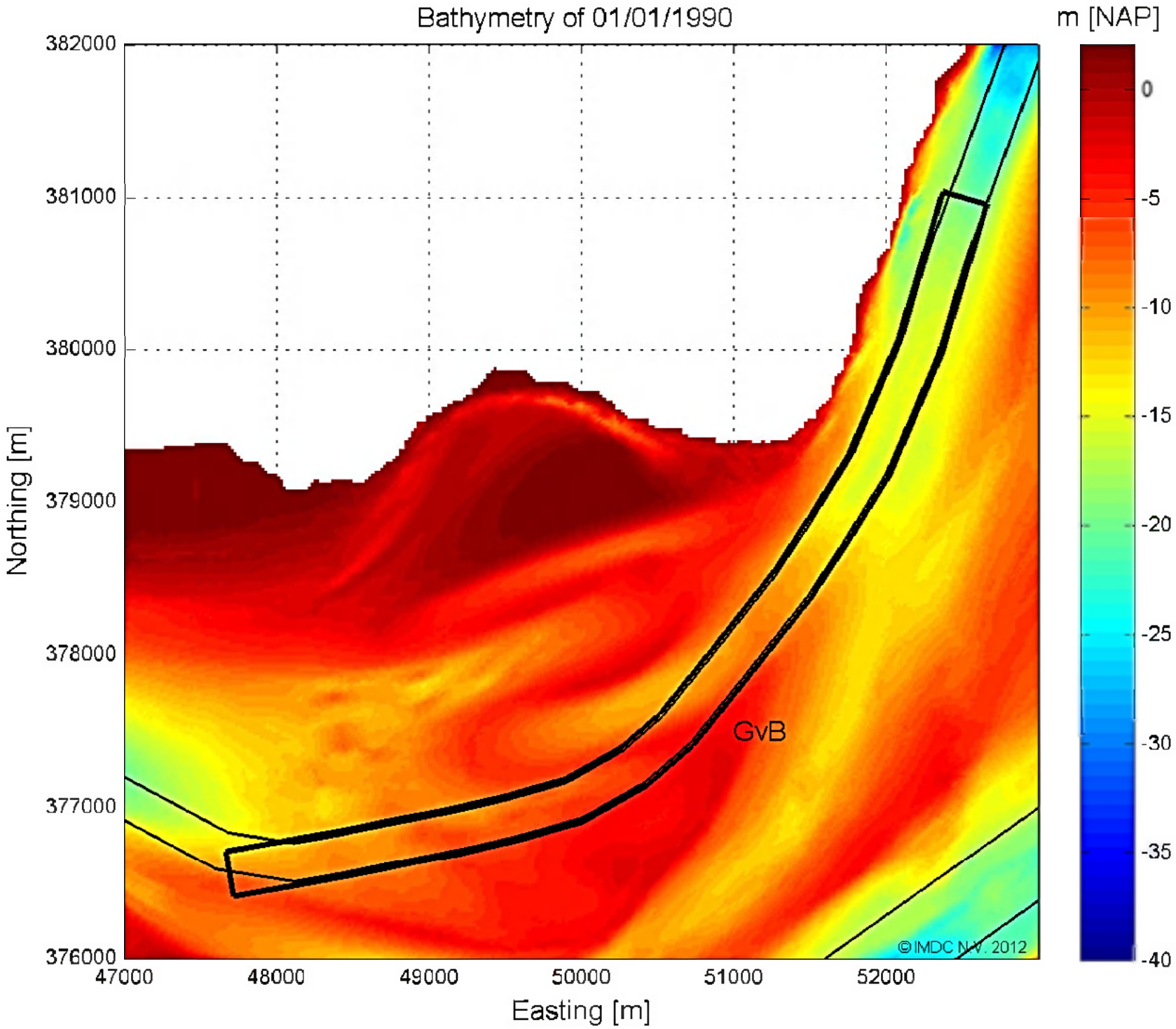
File Eocemdata-jaar-1960



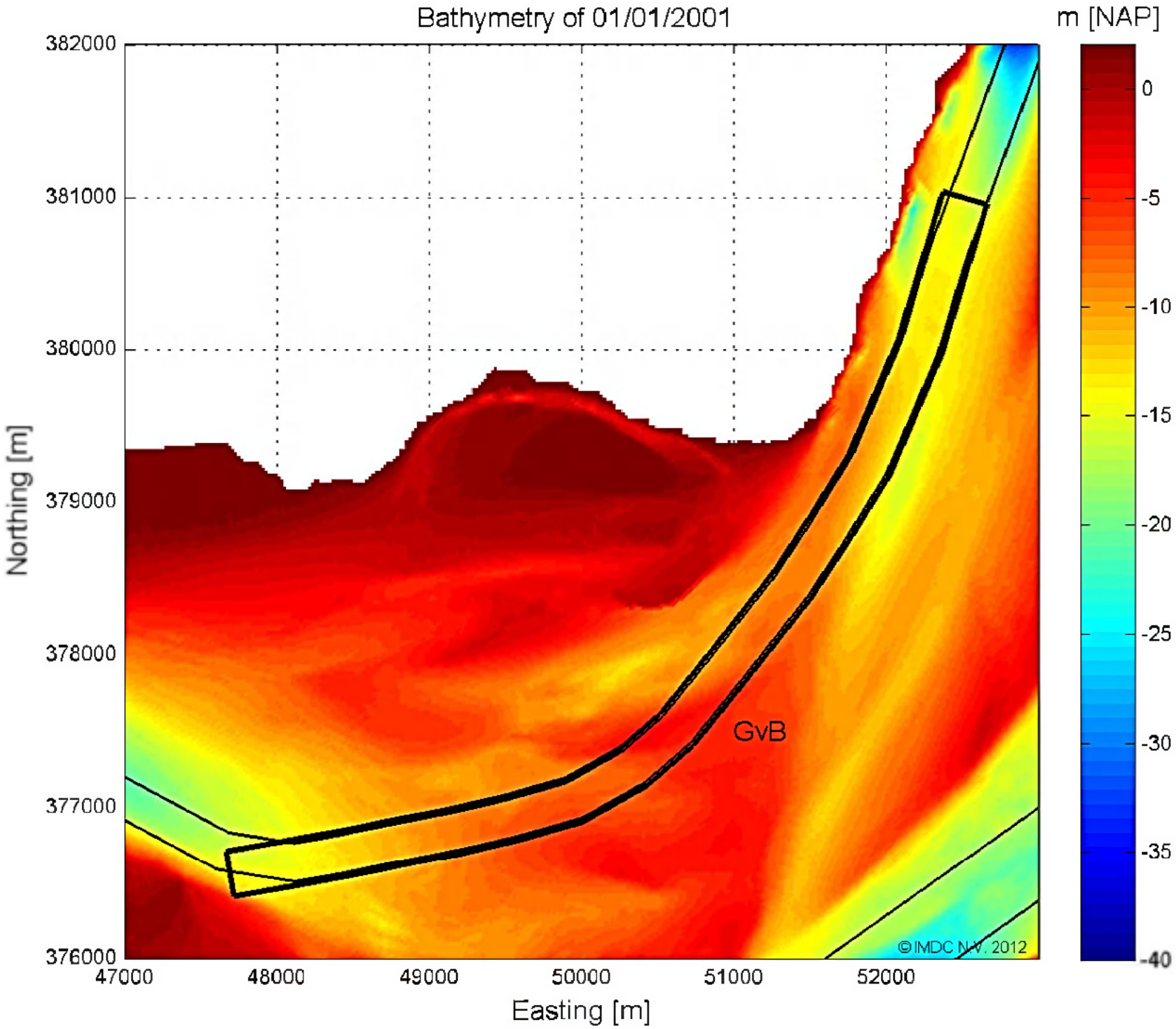
File Eocemdata-jaar-1970



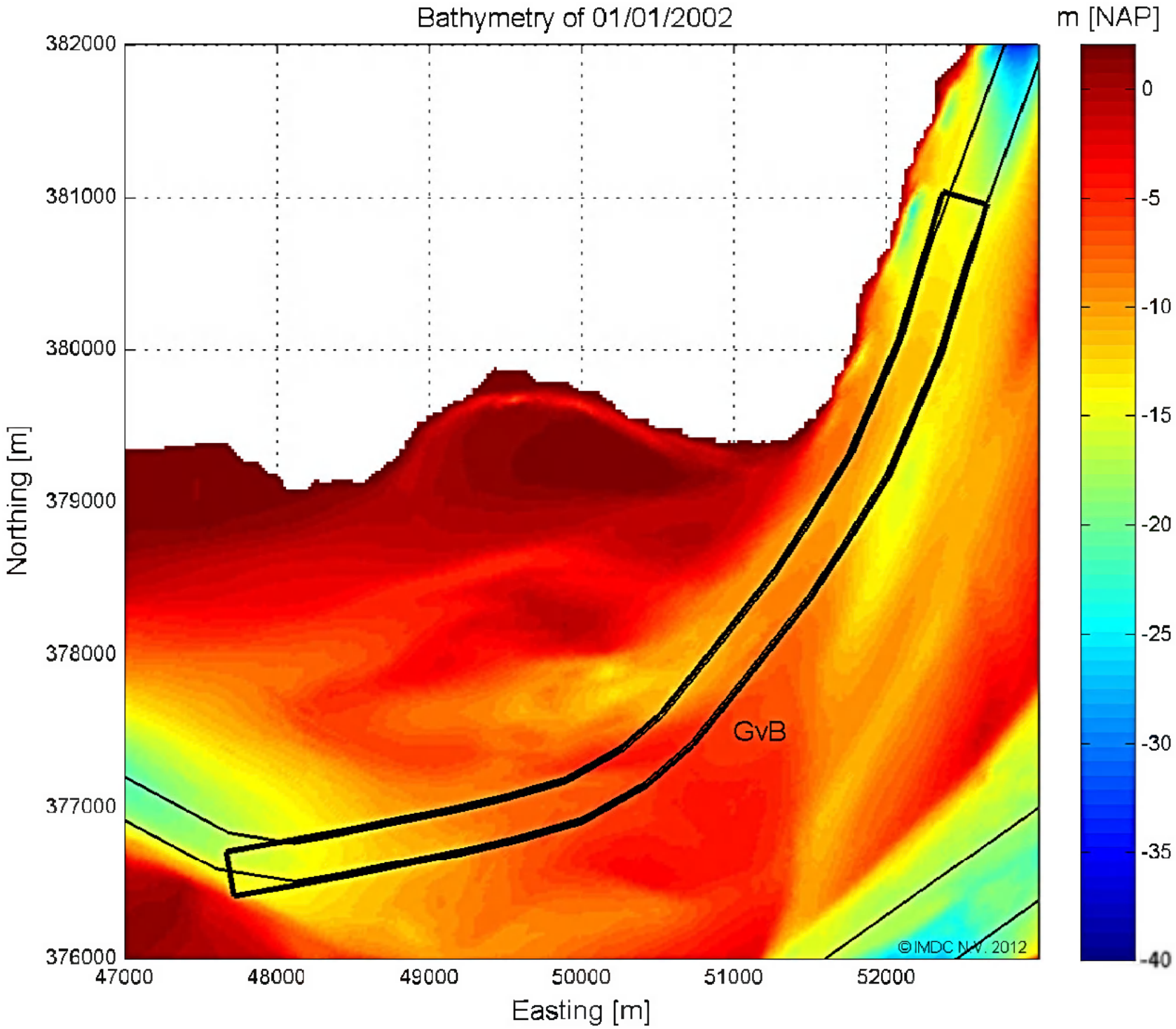
File Eocemdata-jaar-1982



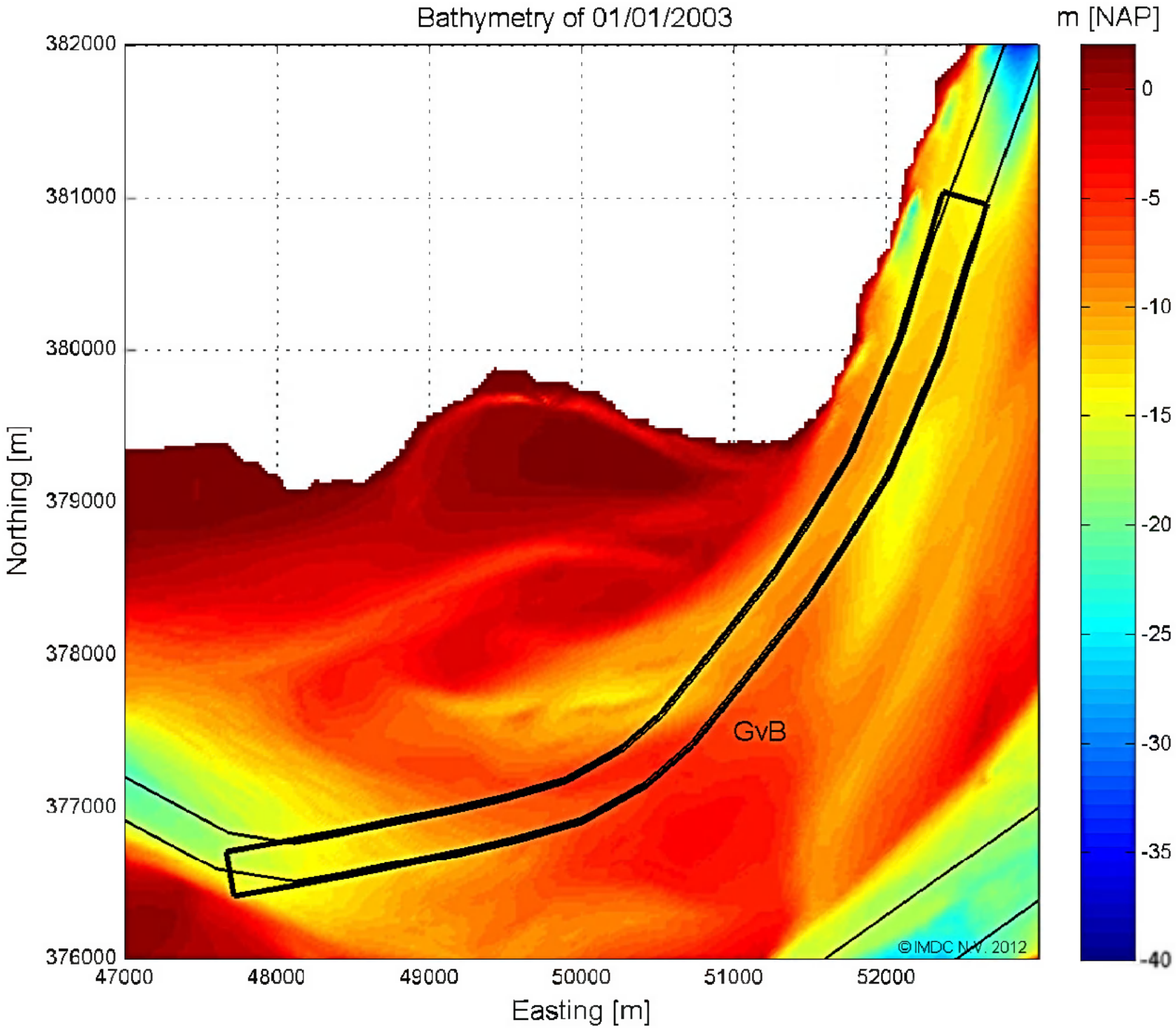
File Eocemdata-jaar-1990



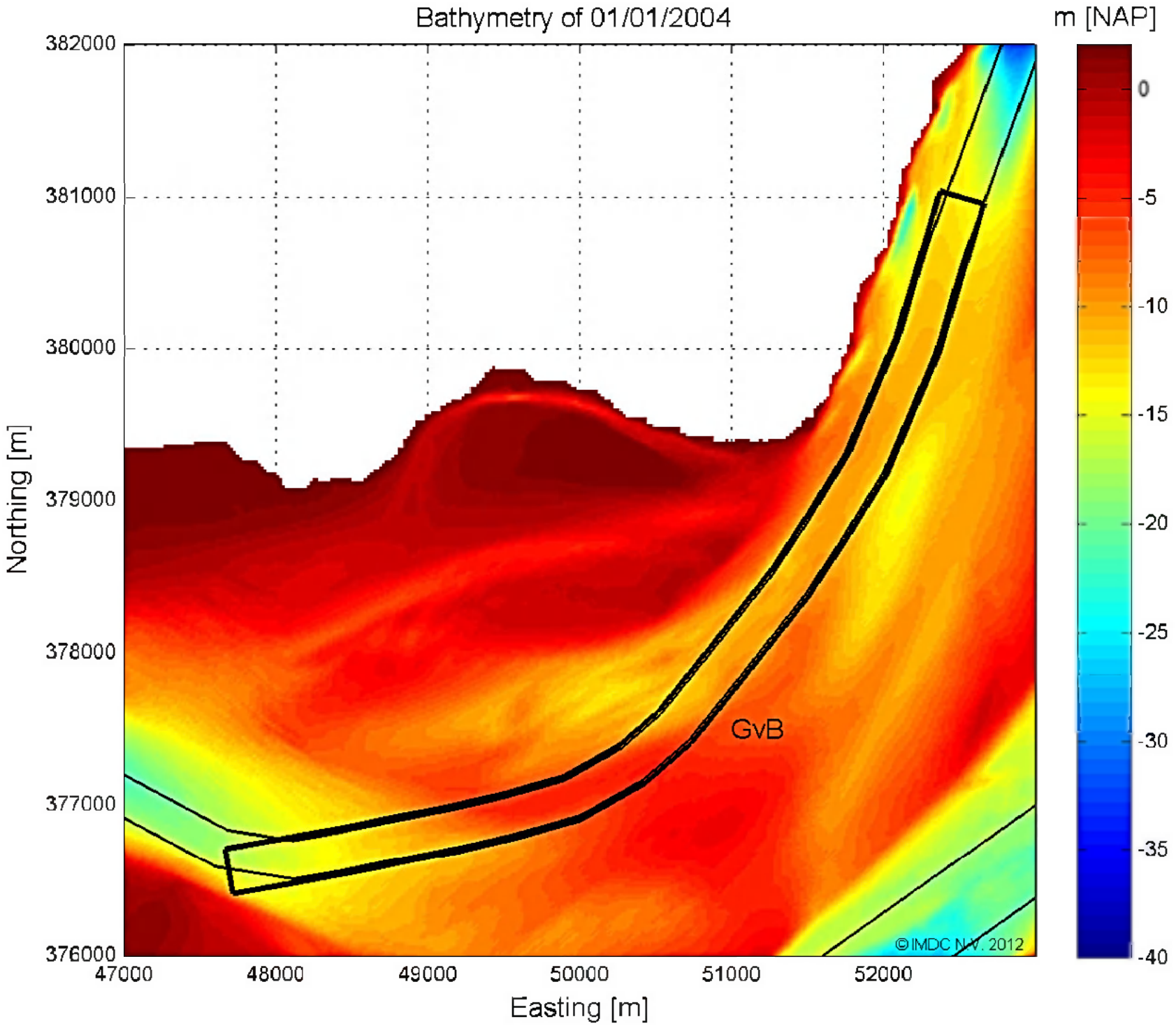
File Eocemdata-jaar-2001



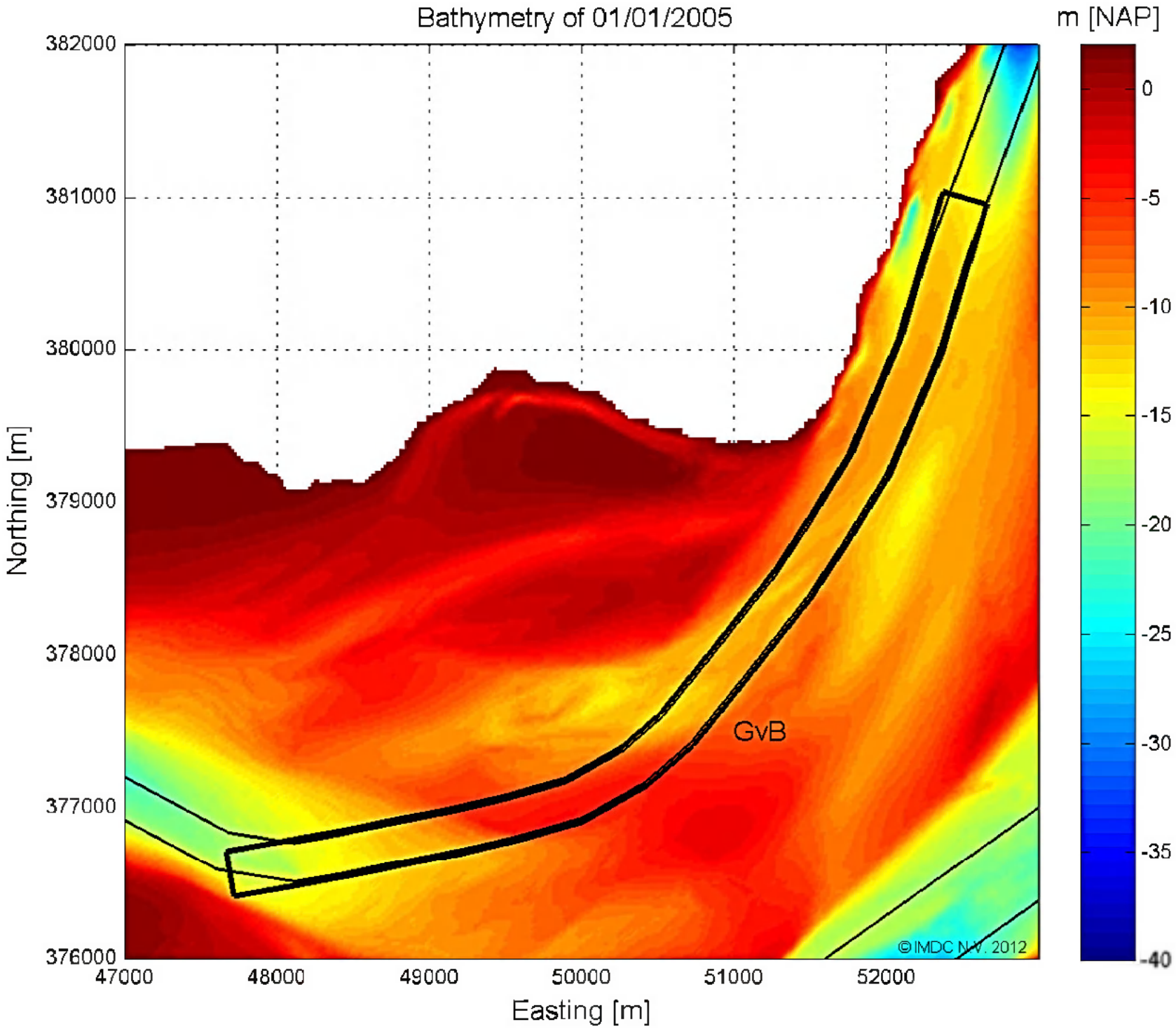
File Eocemdata-jaar-2002



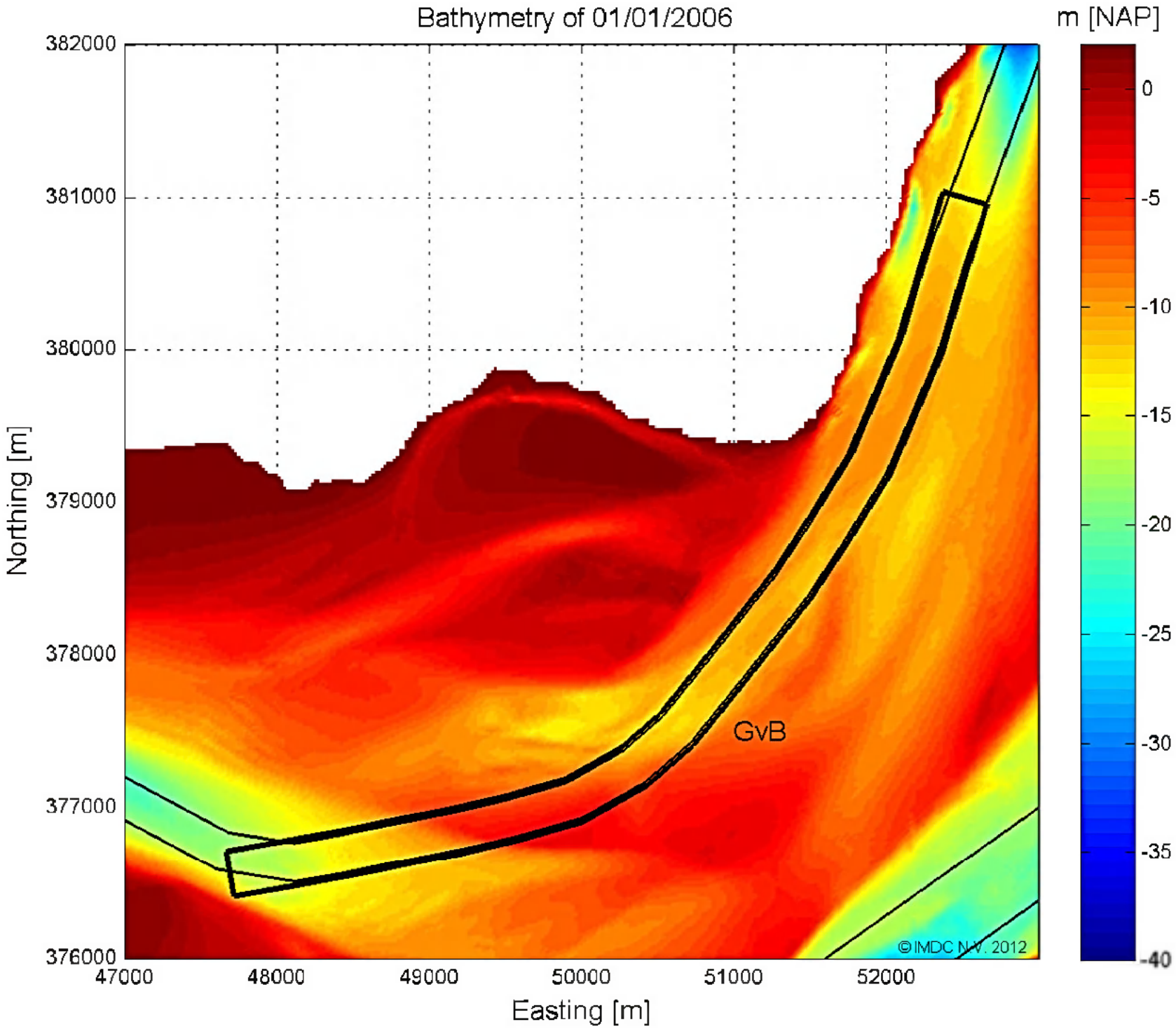
File Eocemdata-jaar-2003



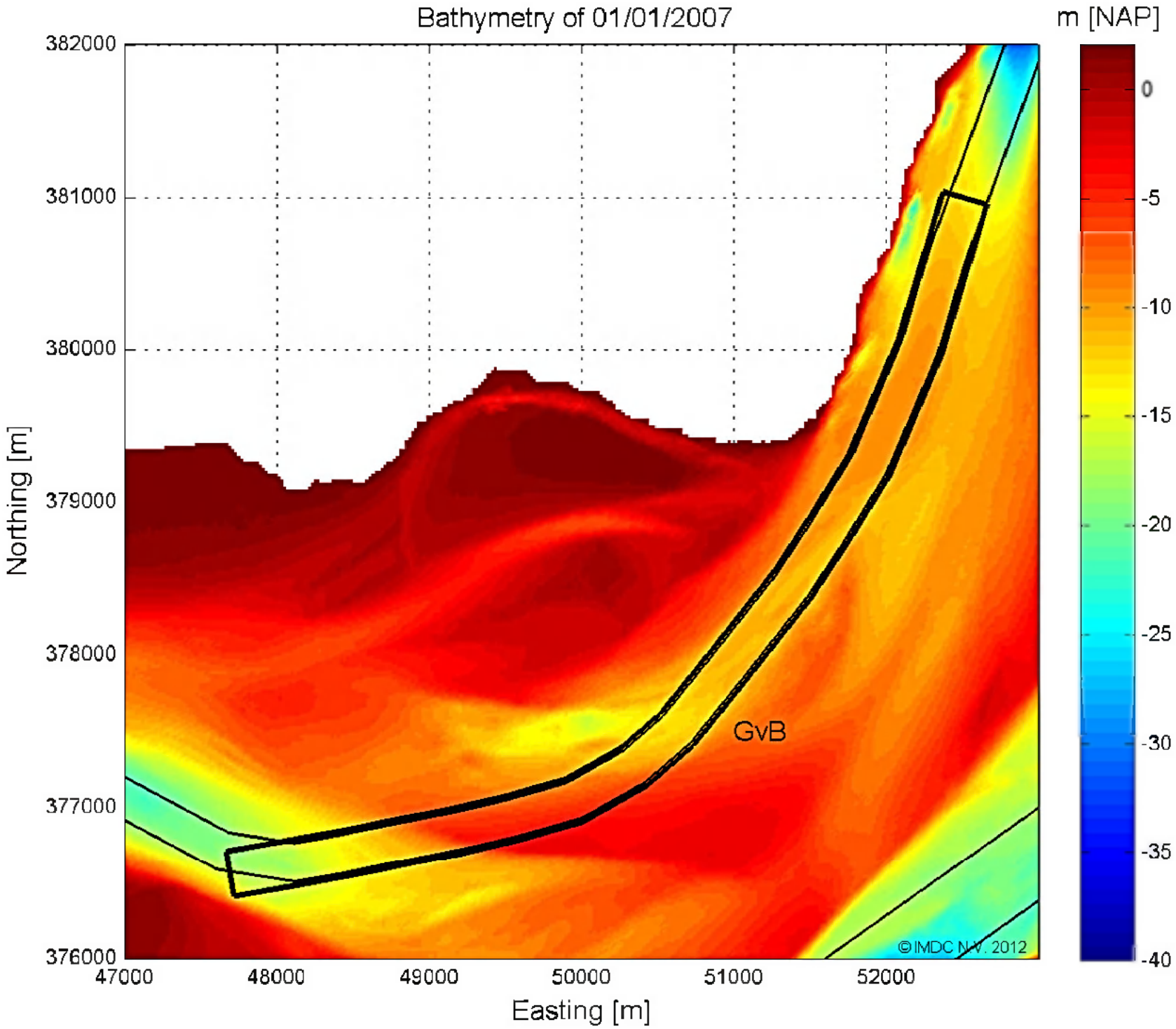
File Eocemdata-jaar-2004



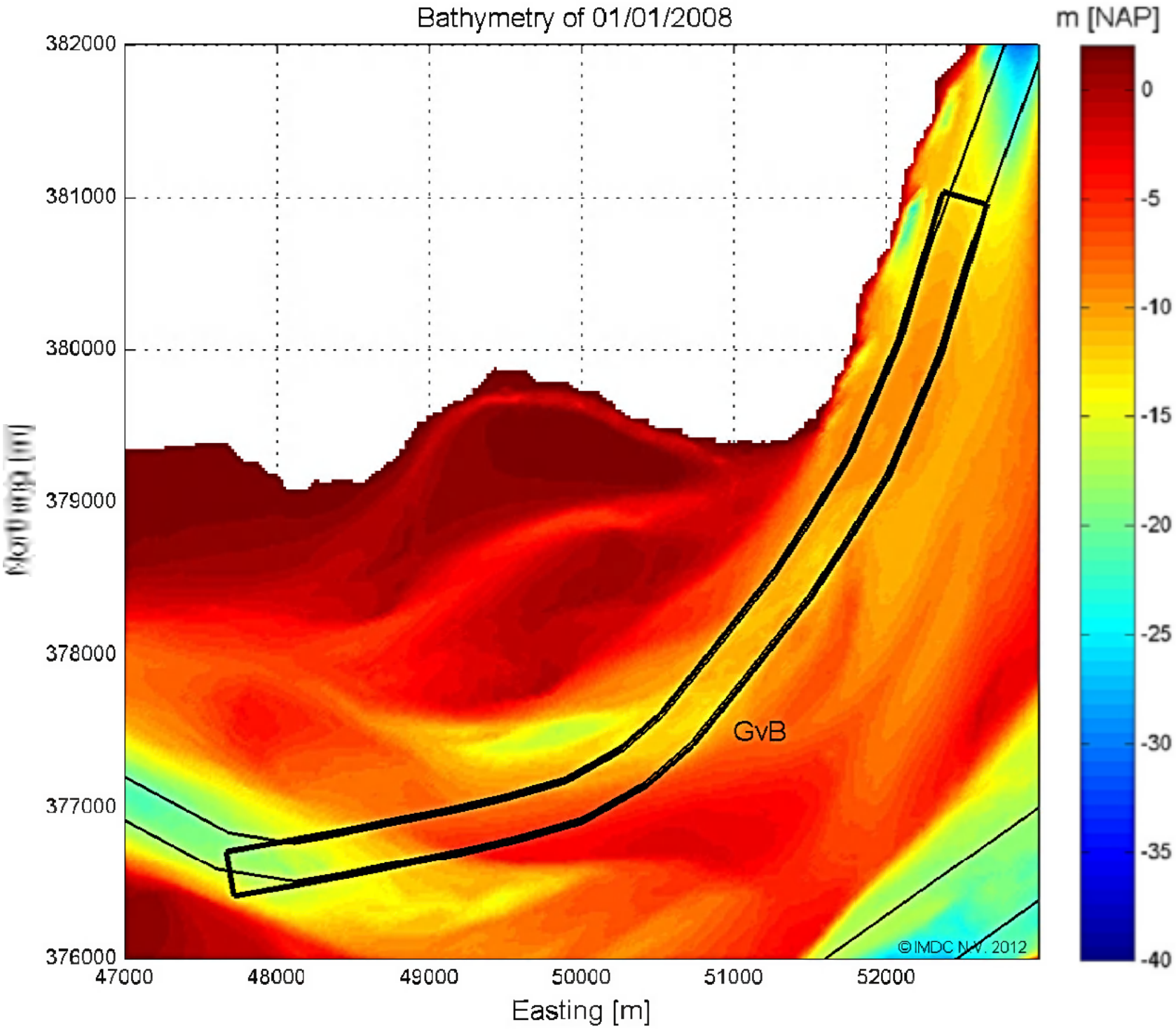
File Eocemdata-jaar-2005



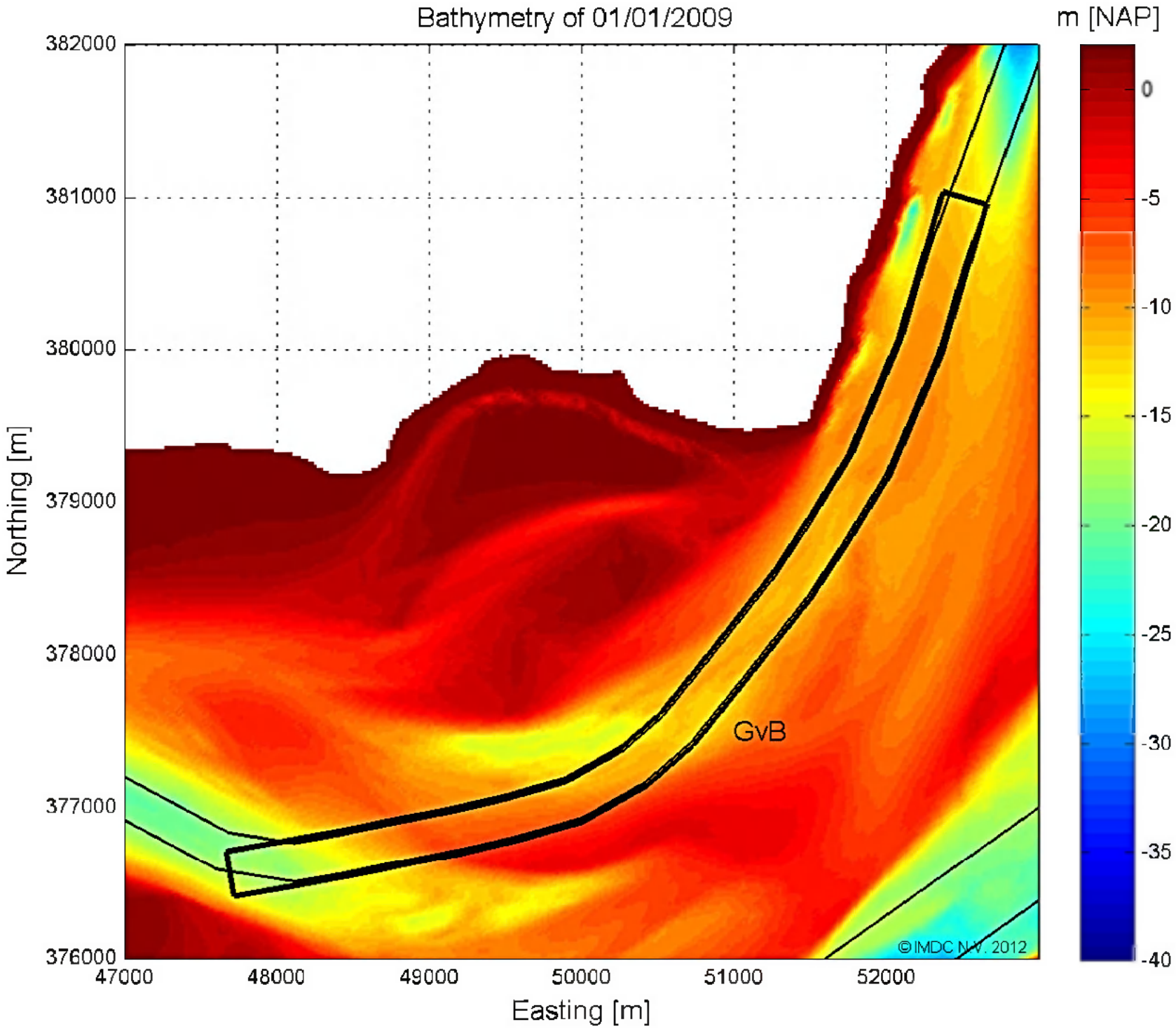
File Bodemdata-jaar-2006



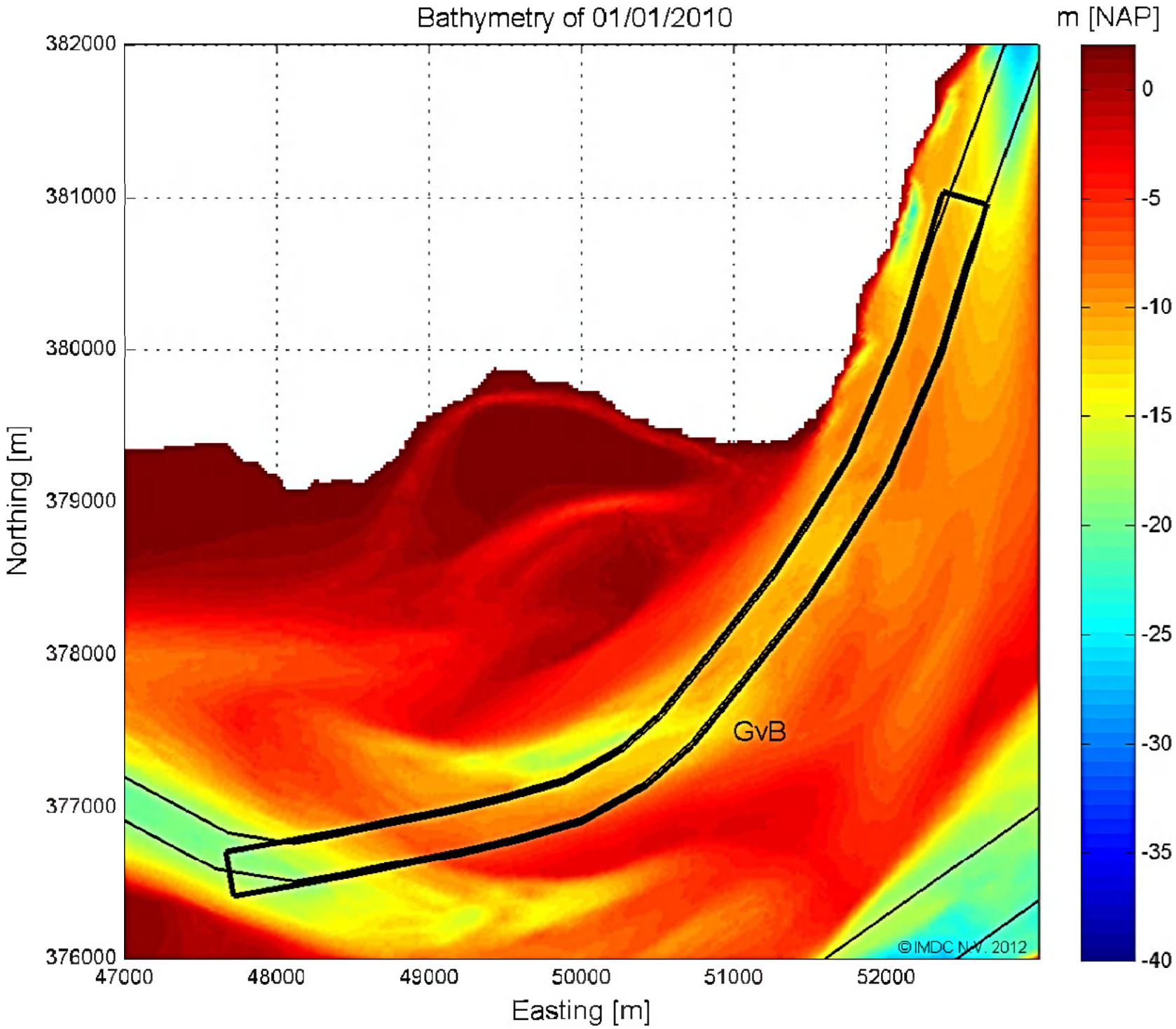
File Eocemdata-jaar-2007



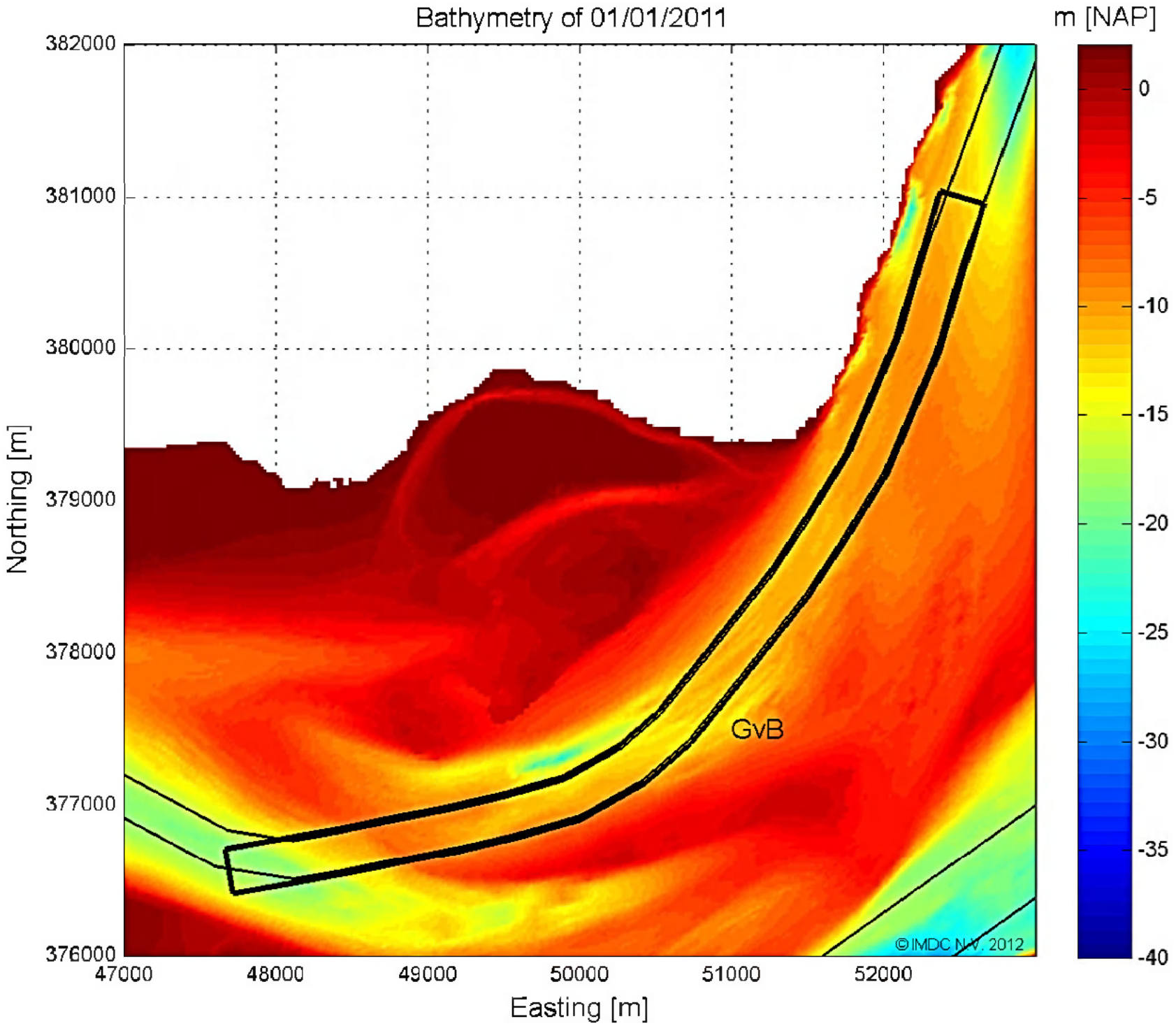
File Eocemdata-jaar-2008



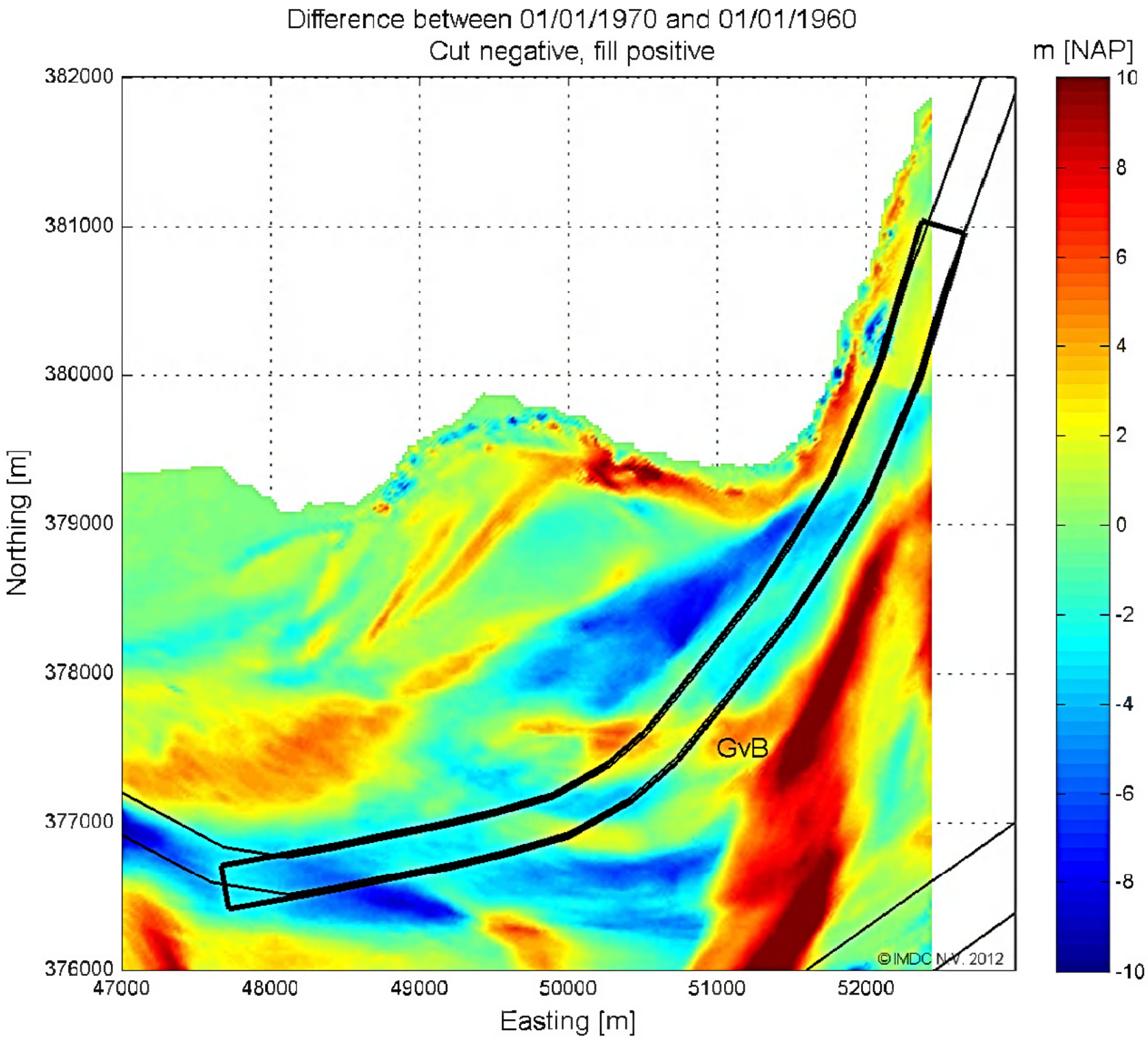
File Bodemdata-jaar-2009



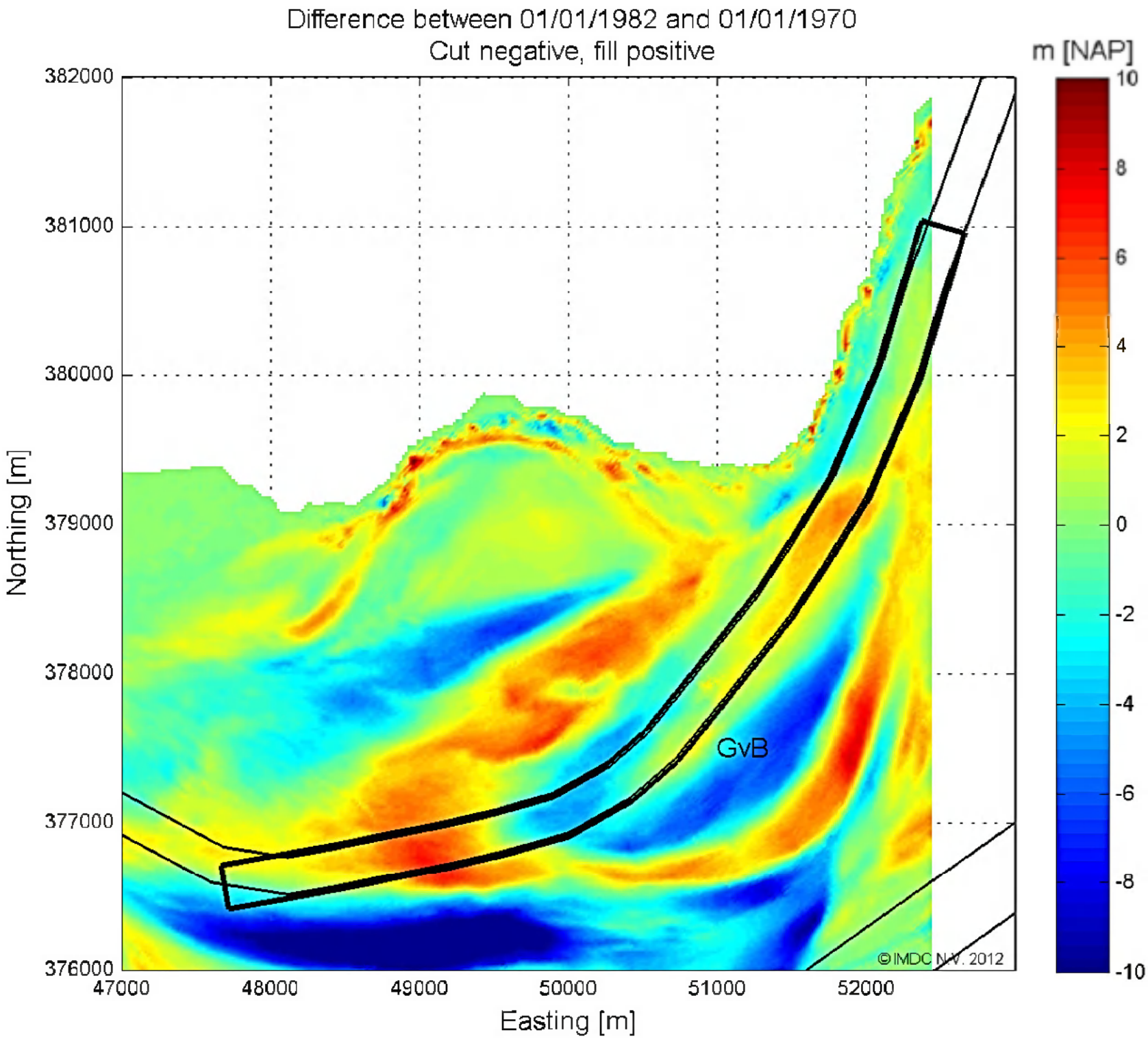
File Eocemdata-jaar-2010


Bathymetry of 01/01/2011
m [NAP]
382000
381000
380000
379000
378000
377000
376000
Northing [m]
47000
48000
49000
50000
51000
52000
Easting [m]
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
GvB
©IMDC N.V. 2012

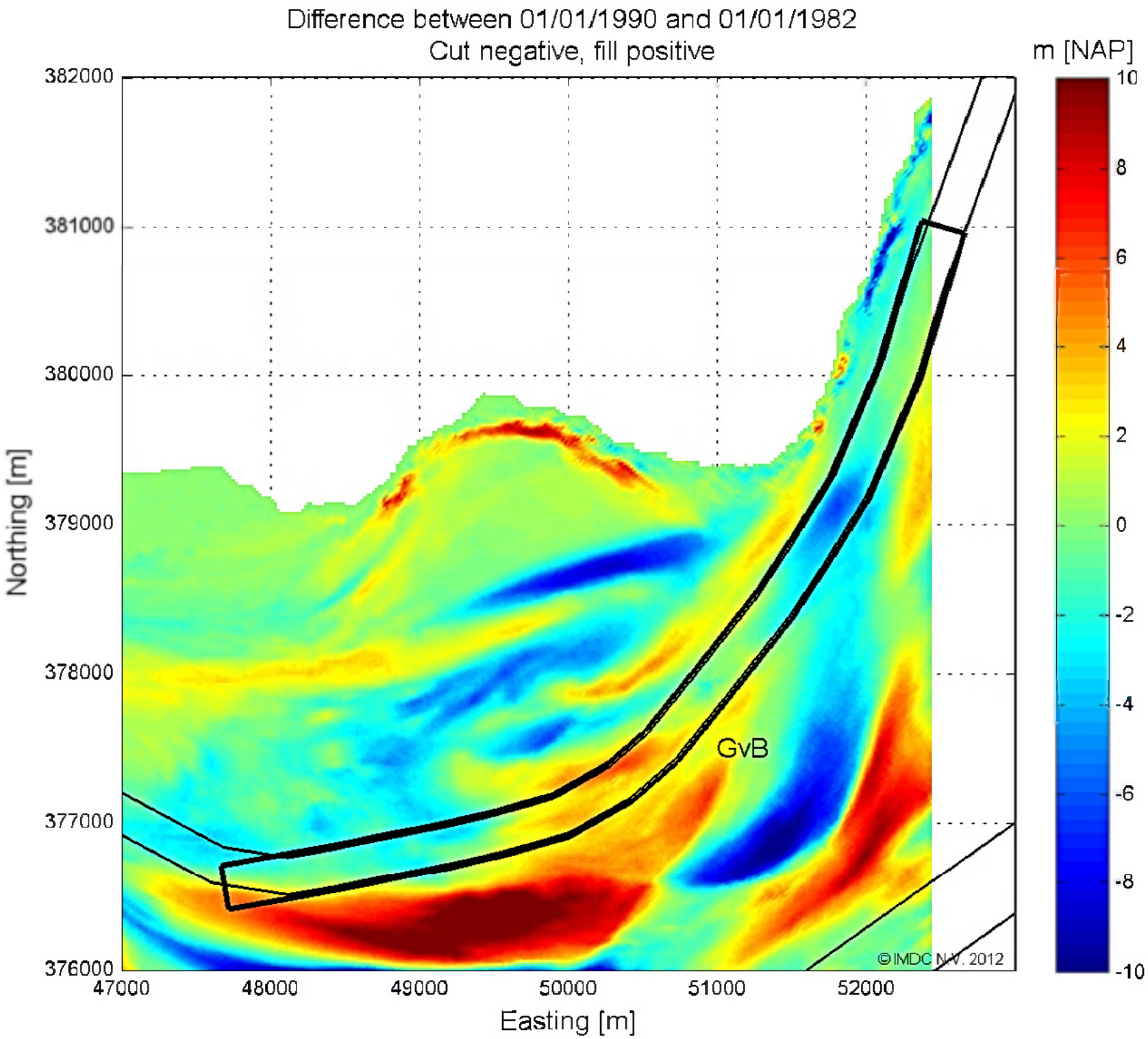
Bijlage B Geul van Baarland: Verschilkaarten



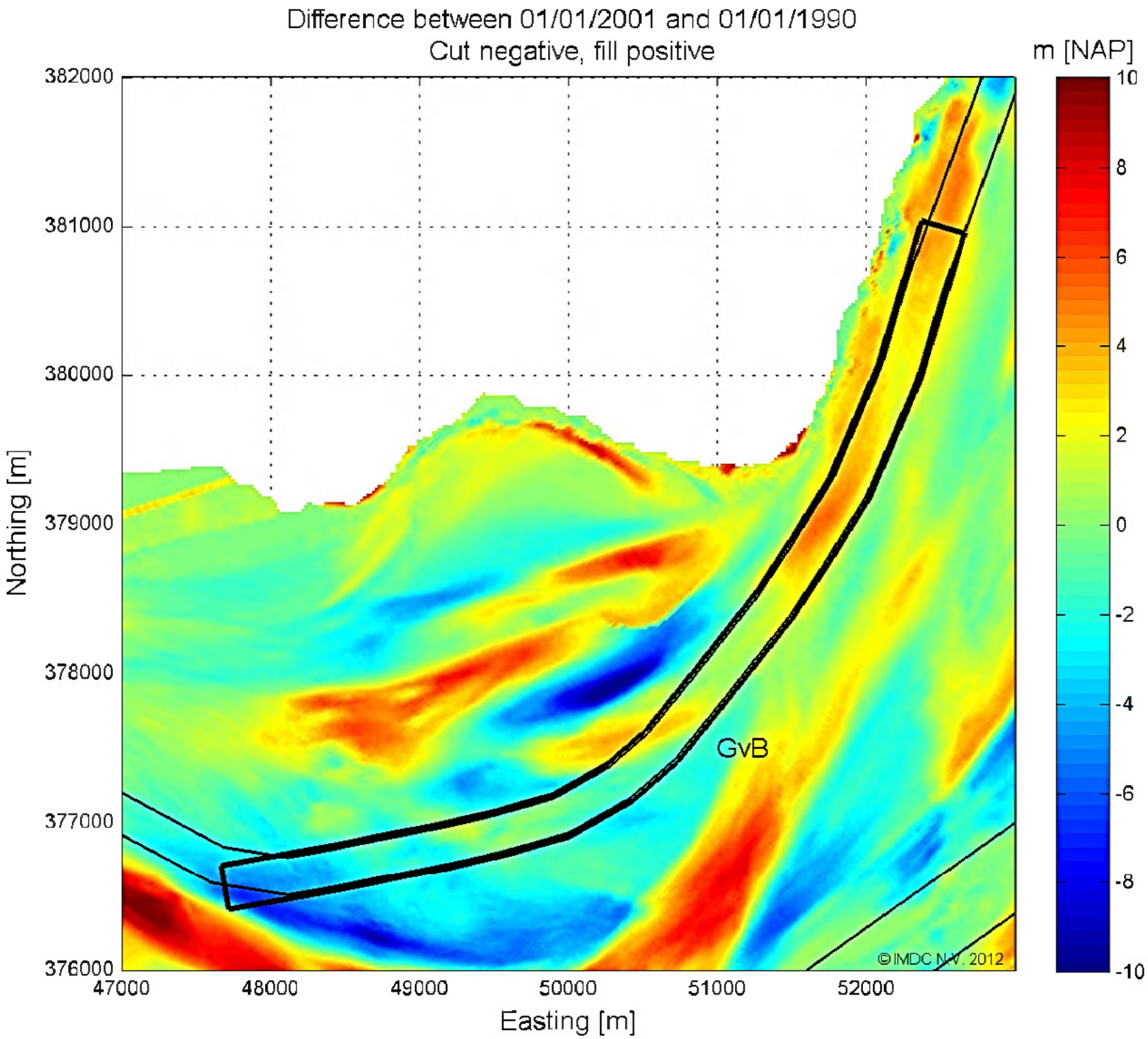
File Eocemdata-jaar-1970



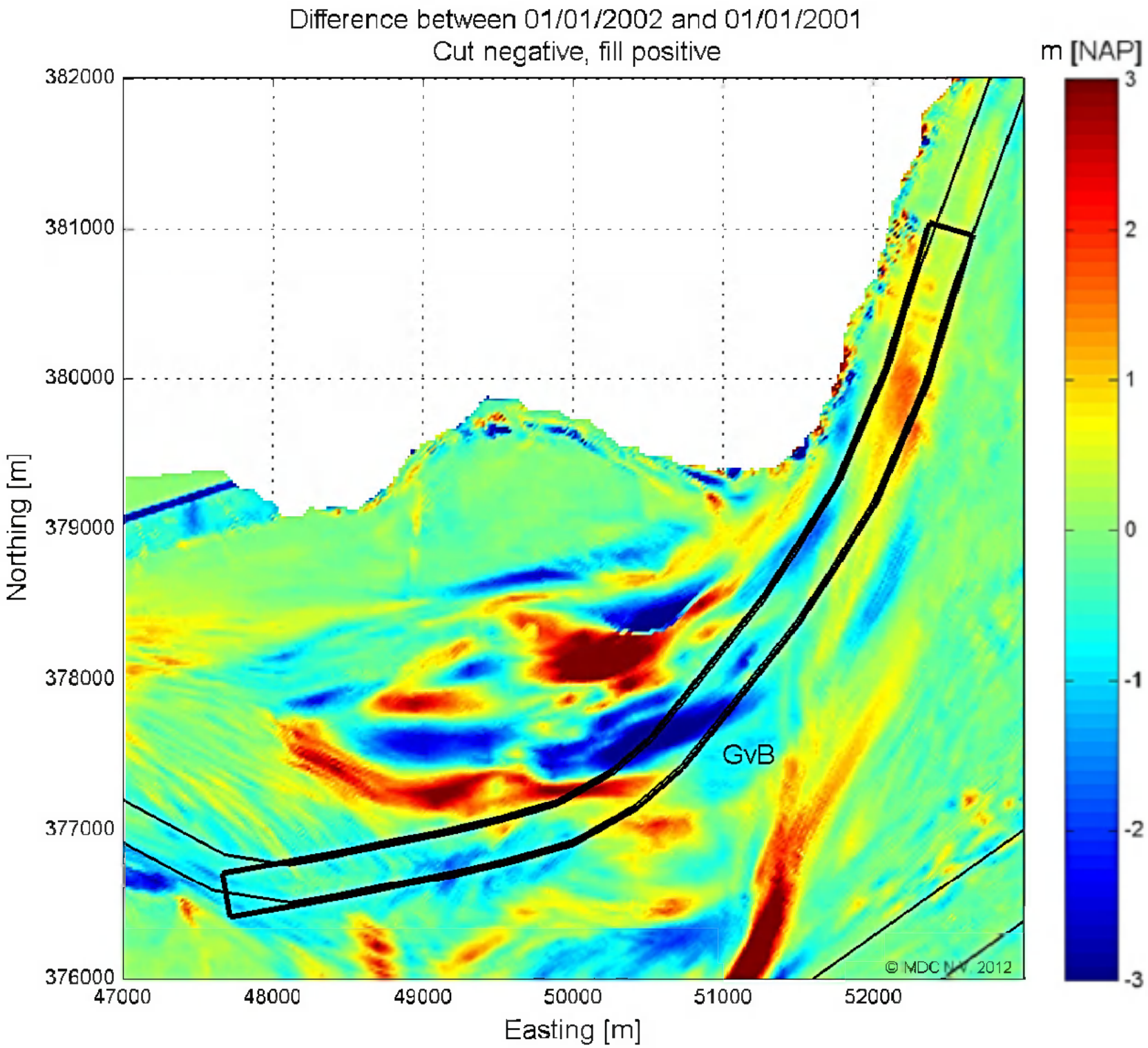
File Eocemdata-jaar-1982



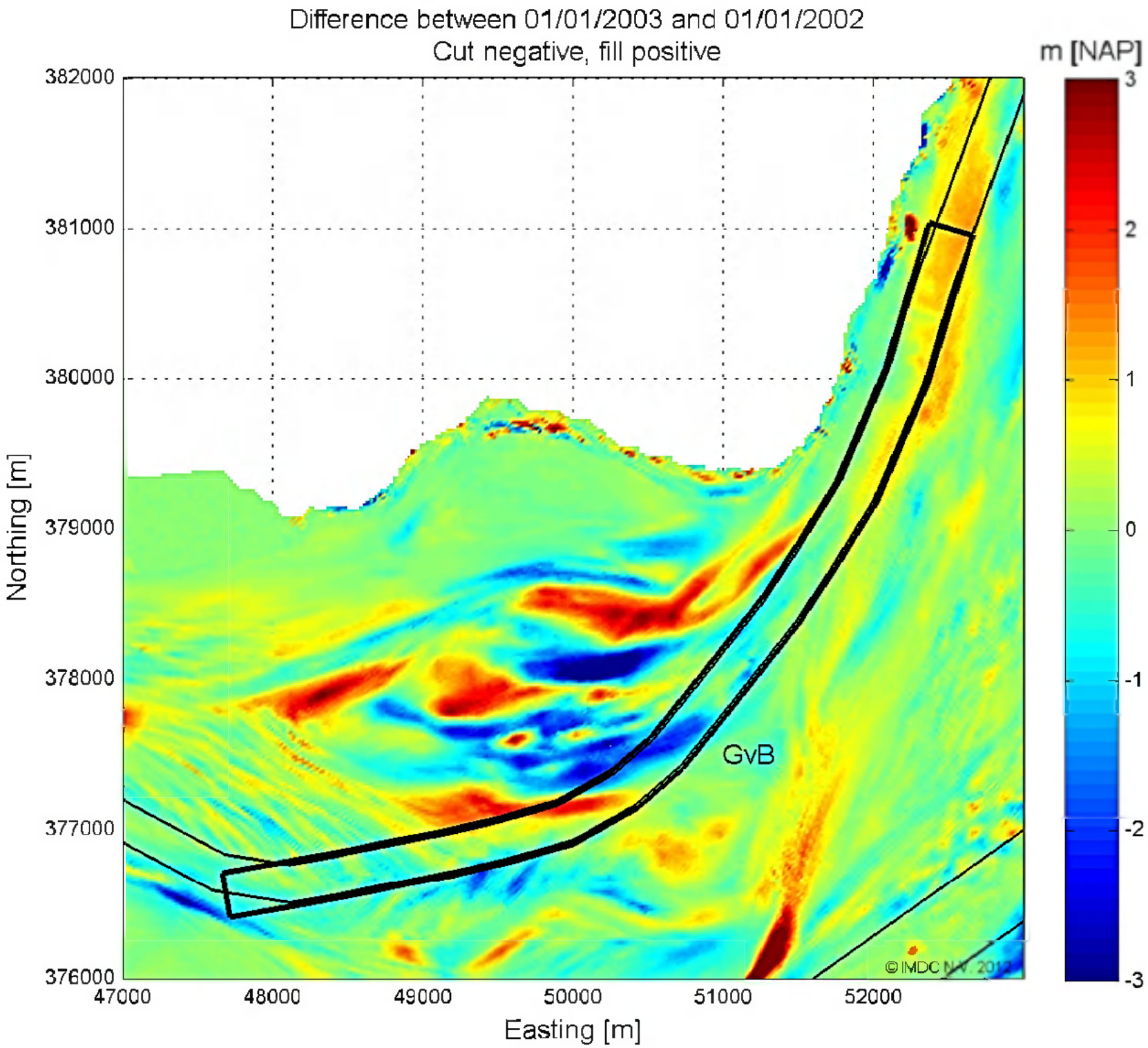
File Eocemdata-jaar-1990



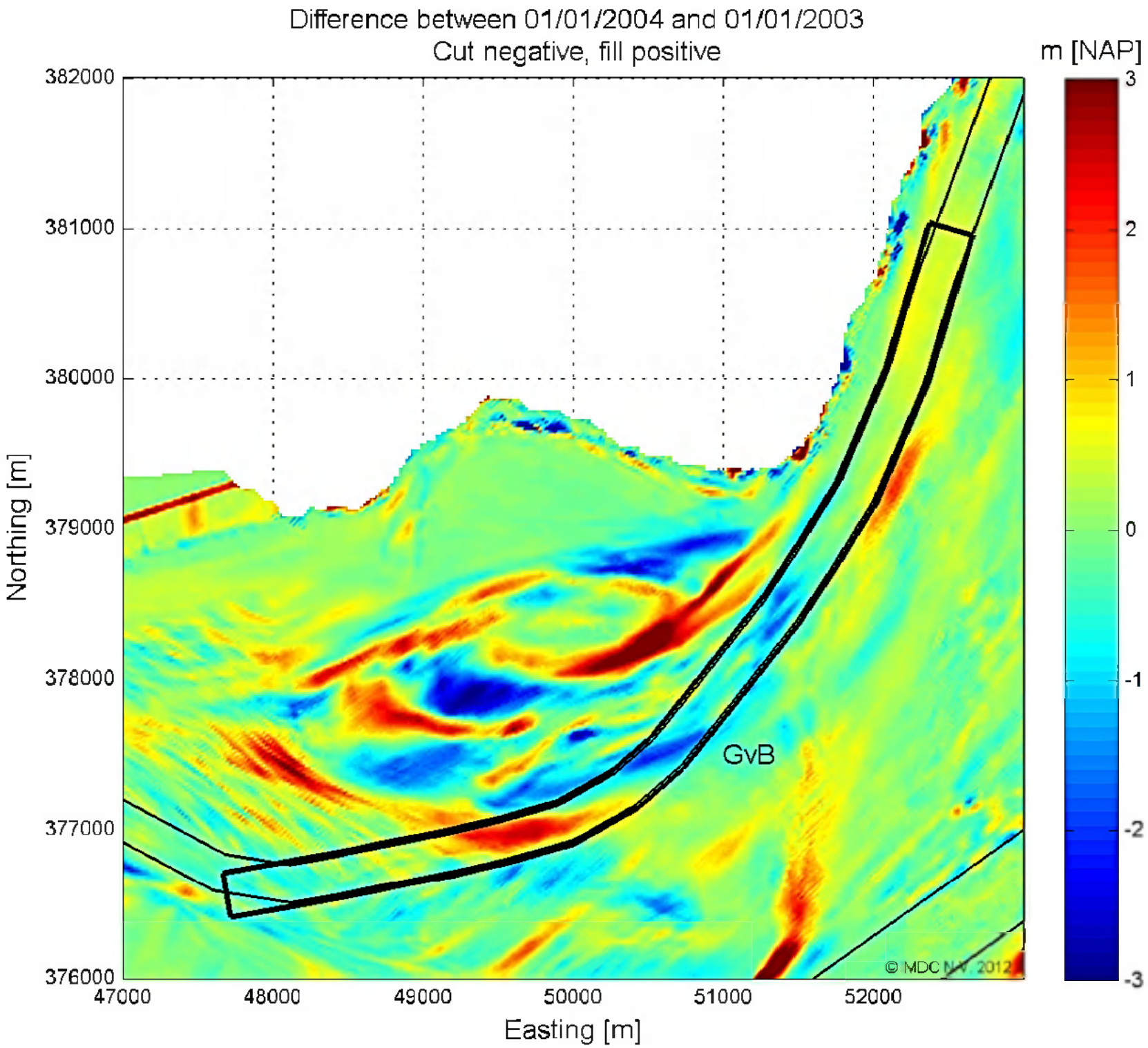
File Eocemdata-jaar-2001



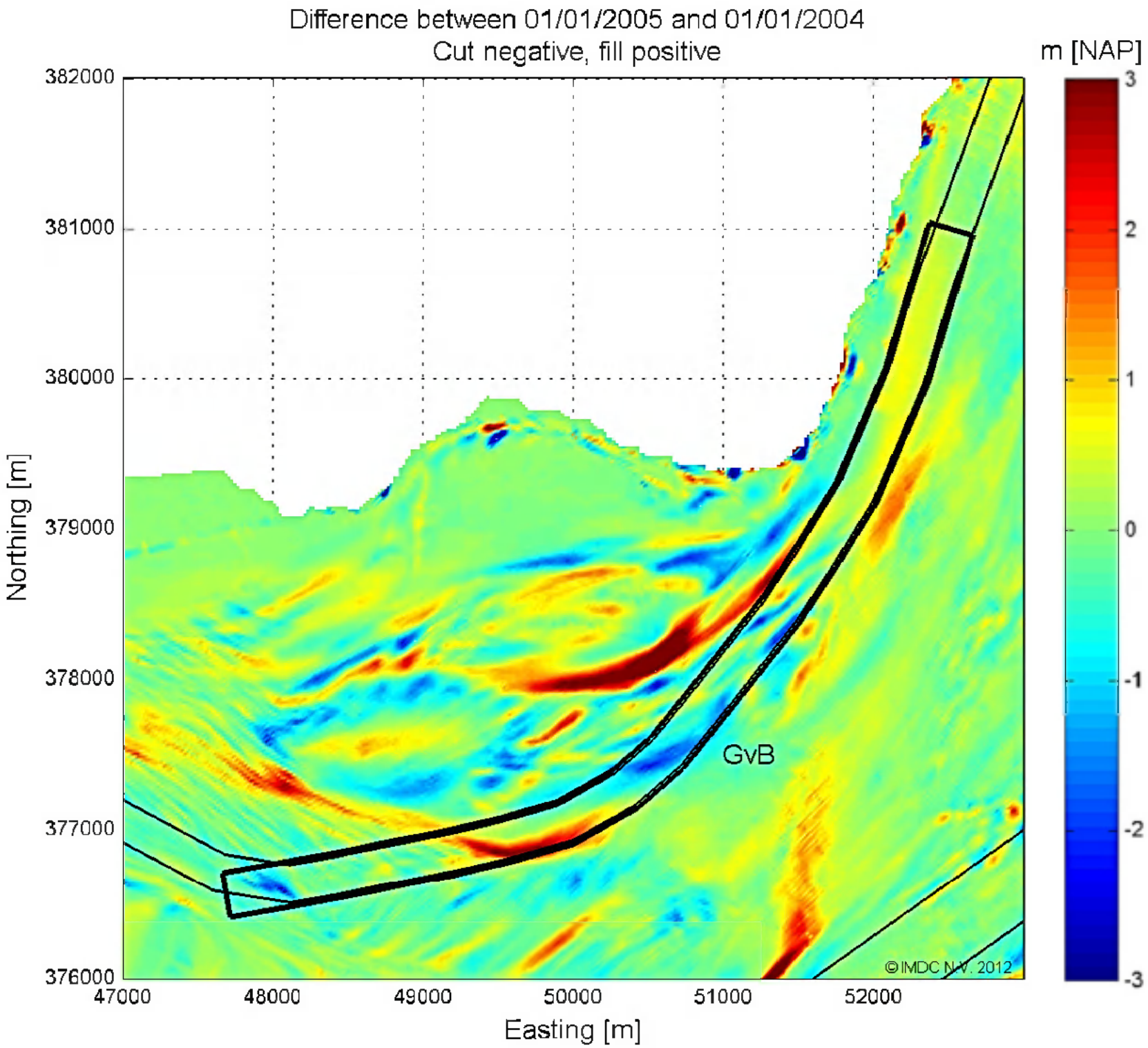
File Eocemdata-jaar-2002



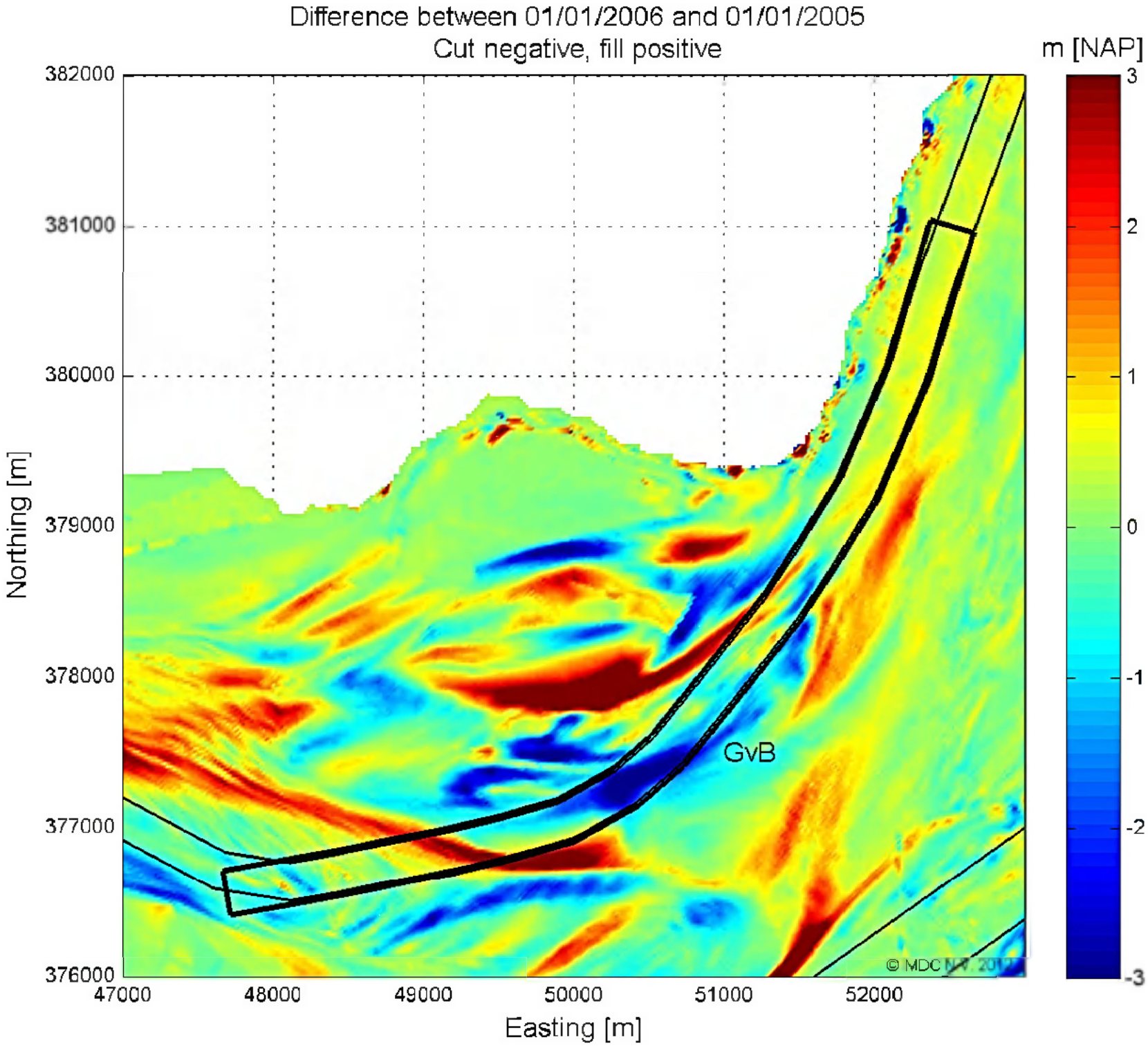
File Eocemdata-jaar-2003



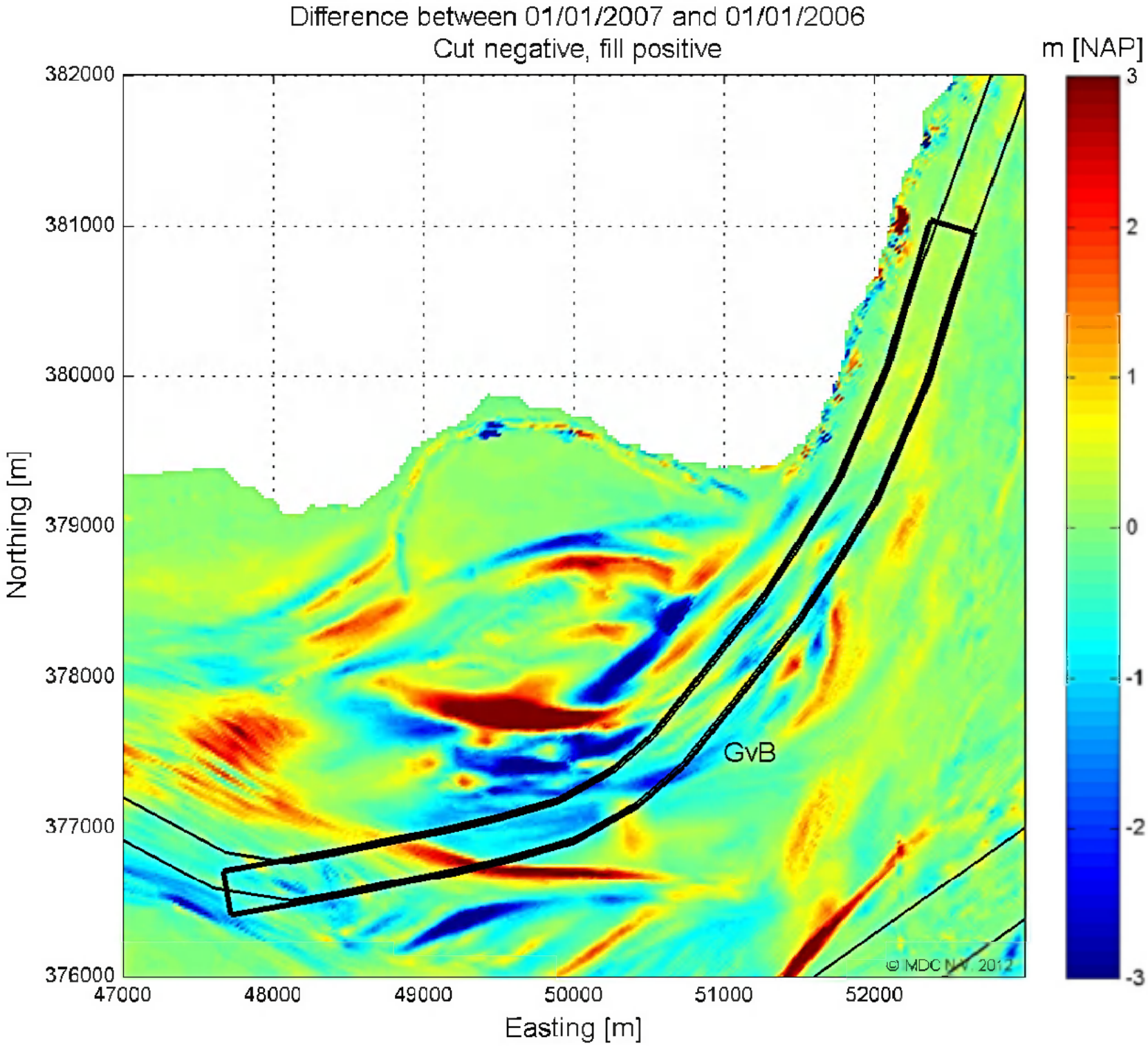
File Eocemdata-jaar-2004



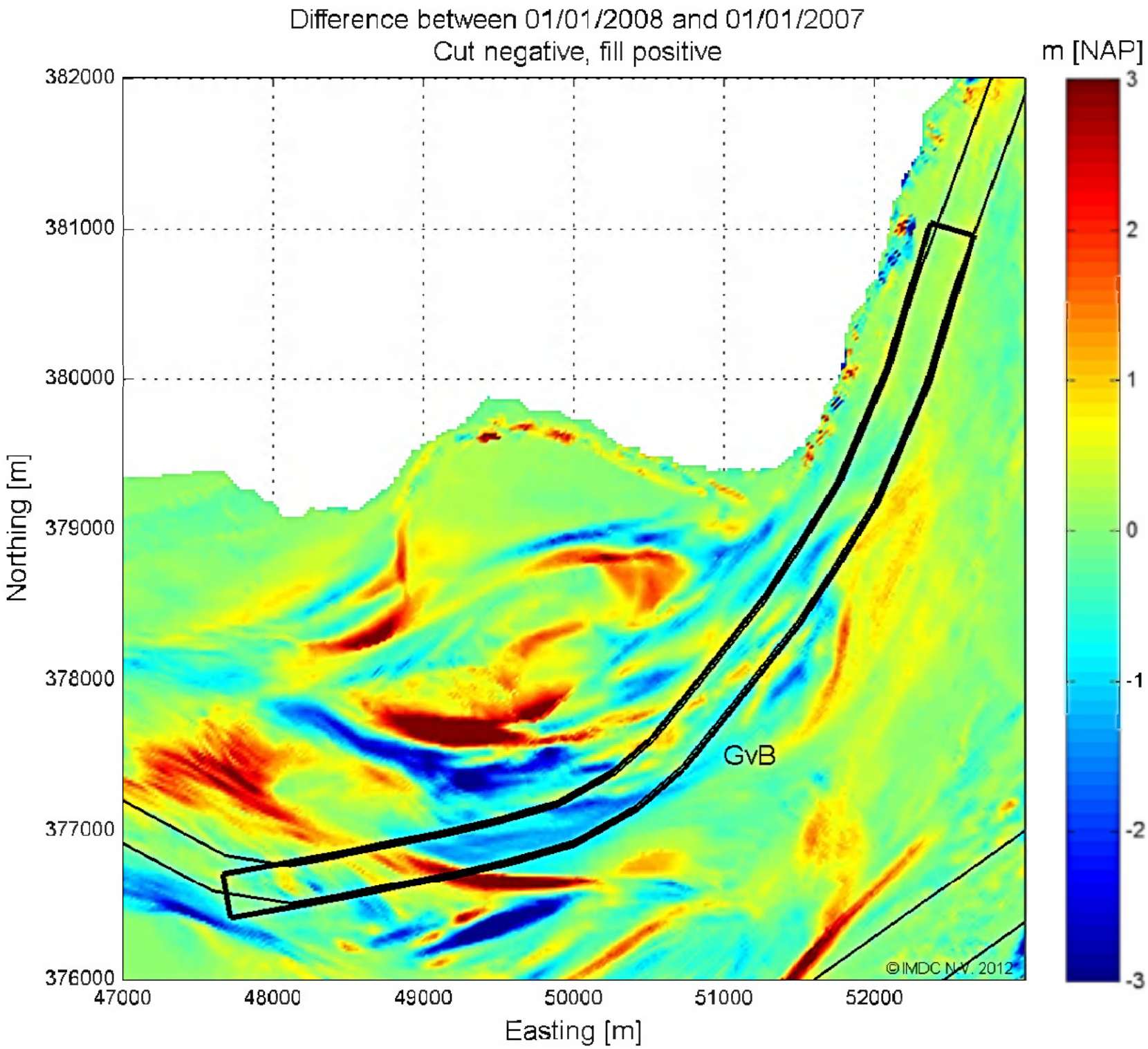
File Eocemdata-jaar-2005



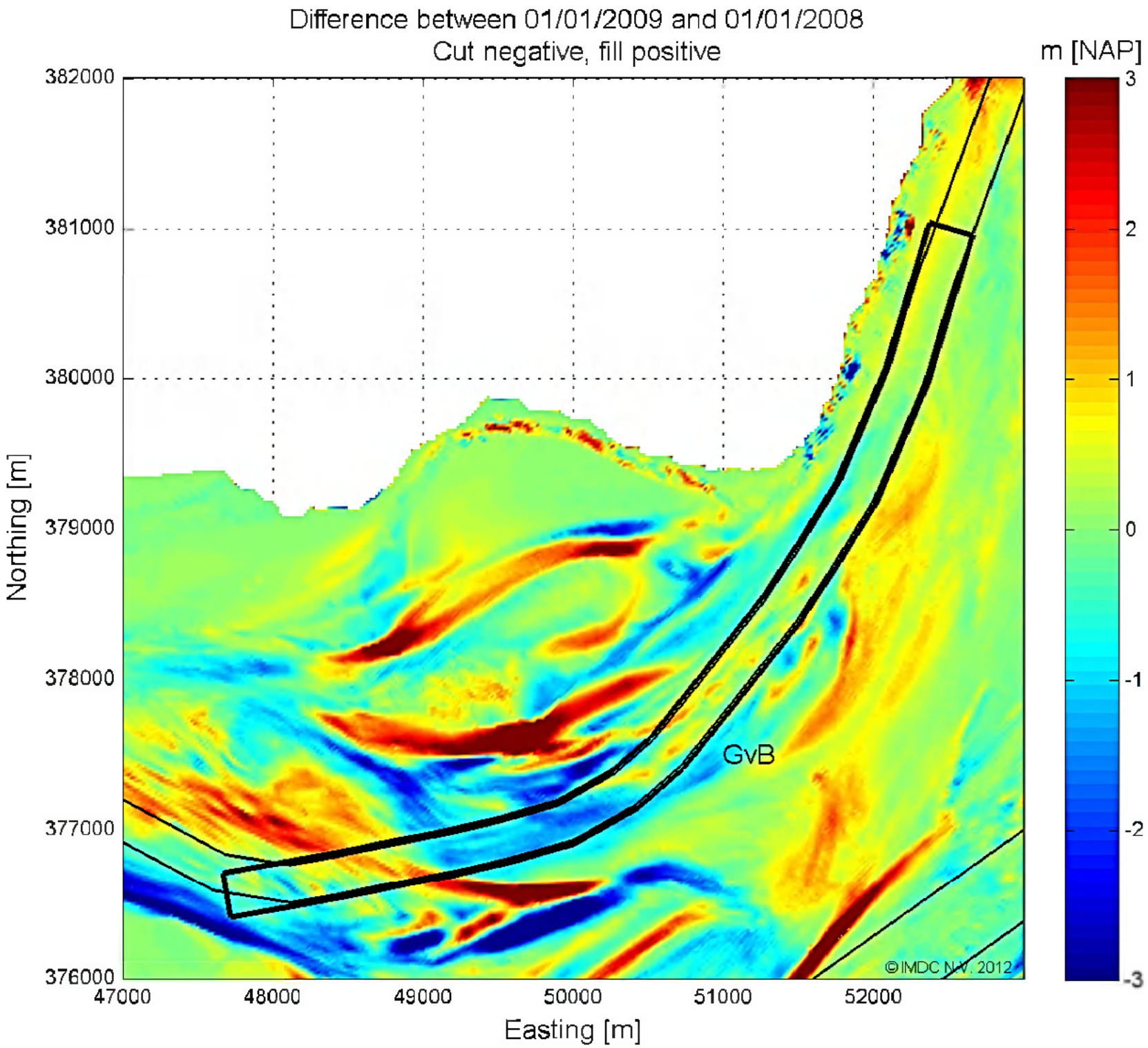
File Eocemdata-jaar-2006



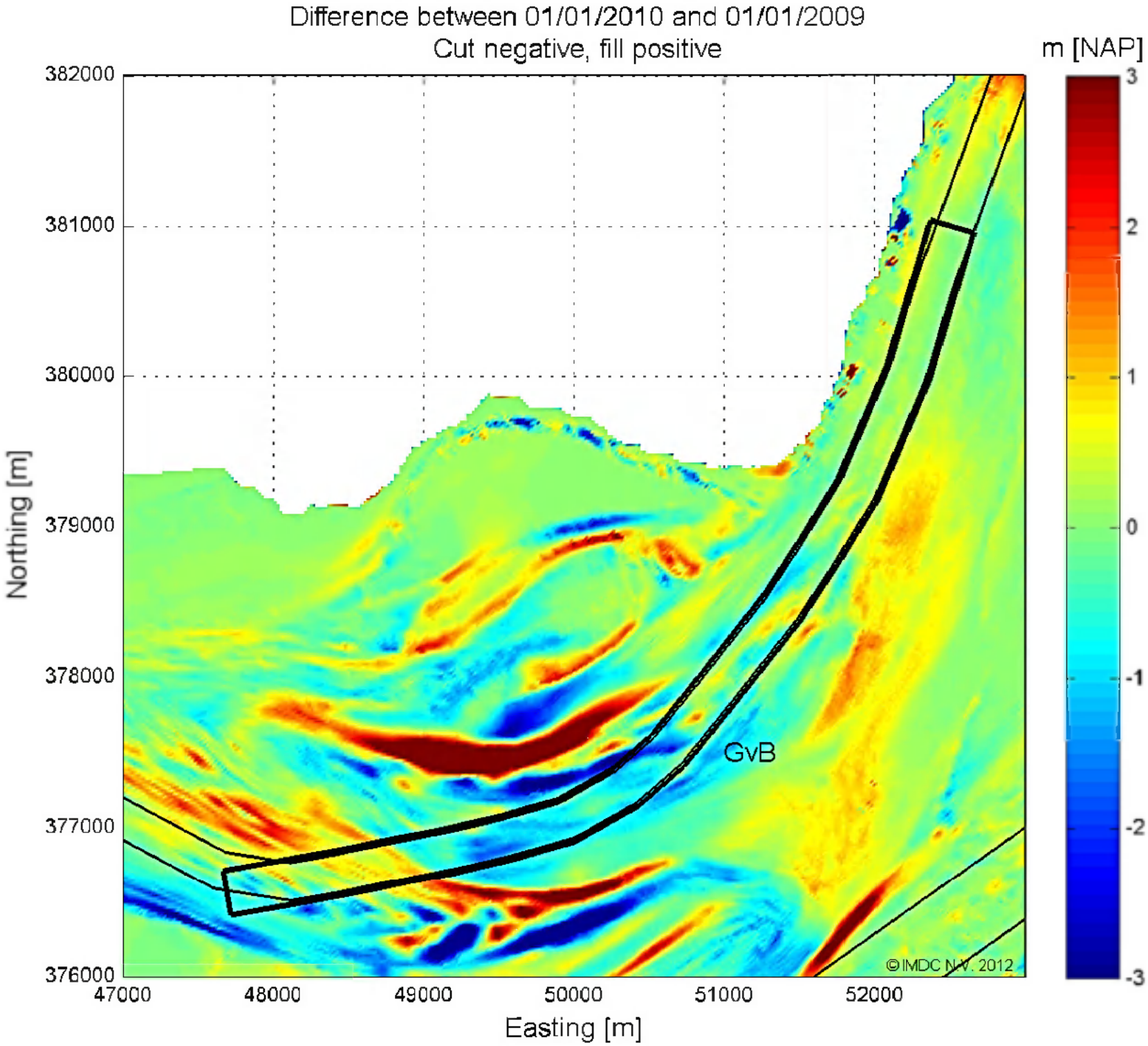
File Eocemdata-jaar-2007



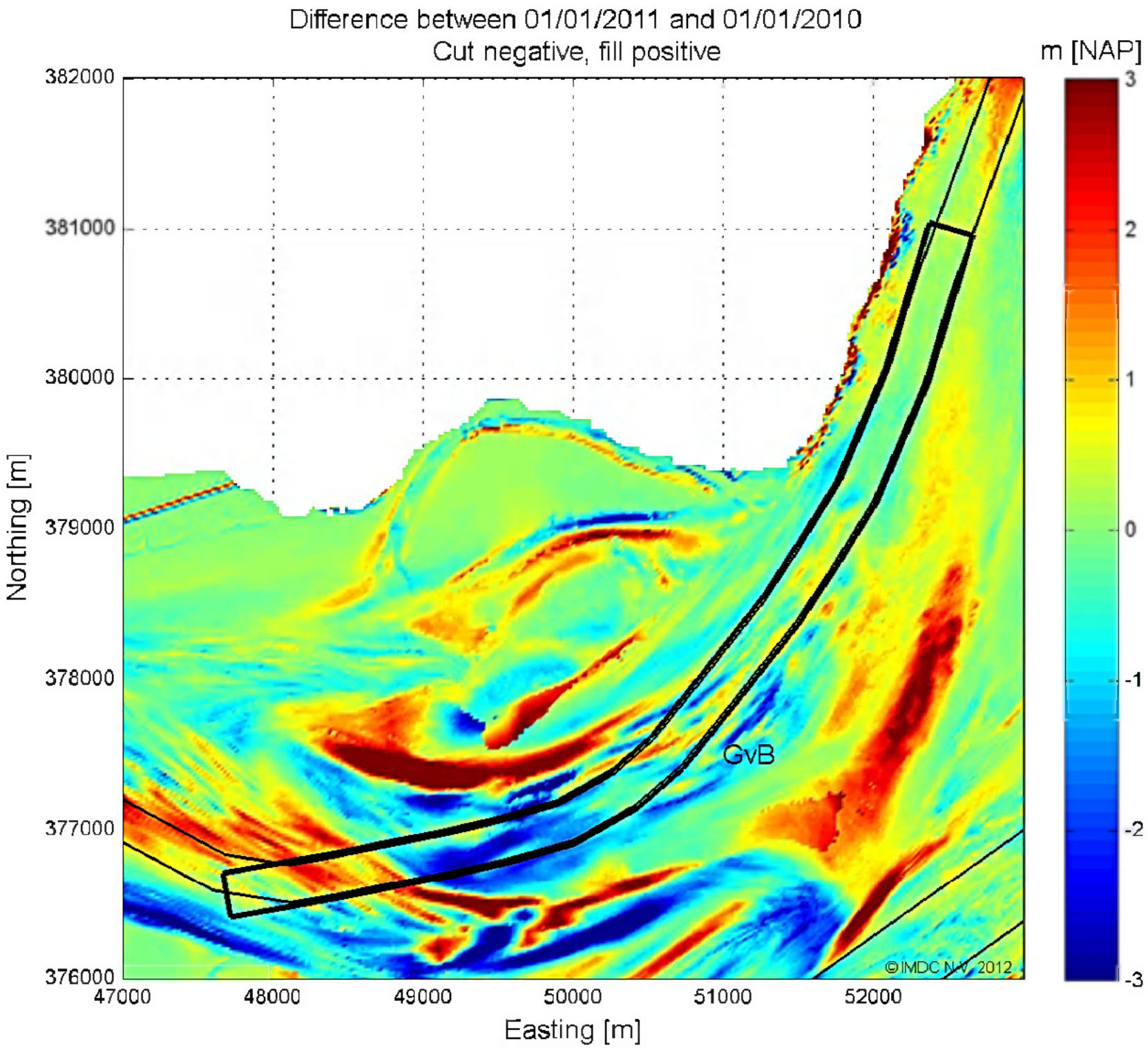
File Eocemdata-jaar-2008



File Eocemdata-jaar-2009

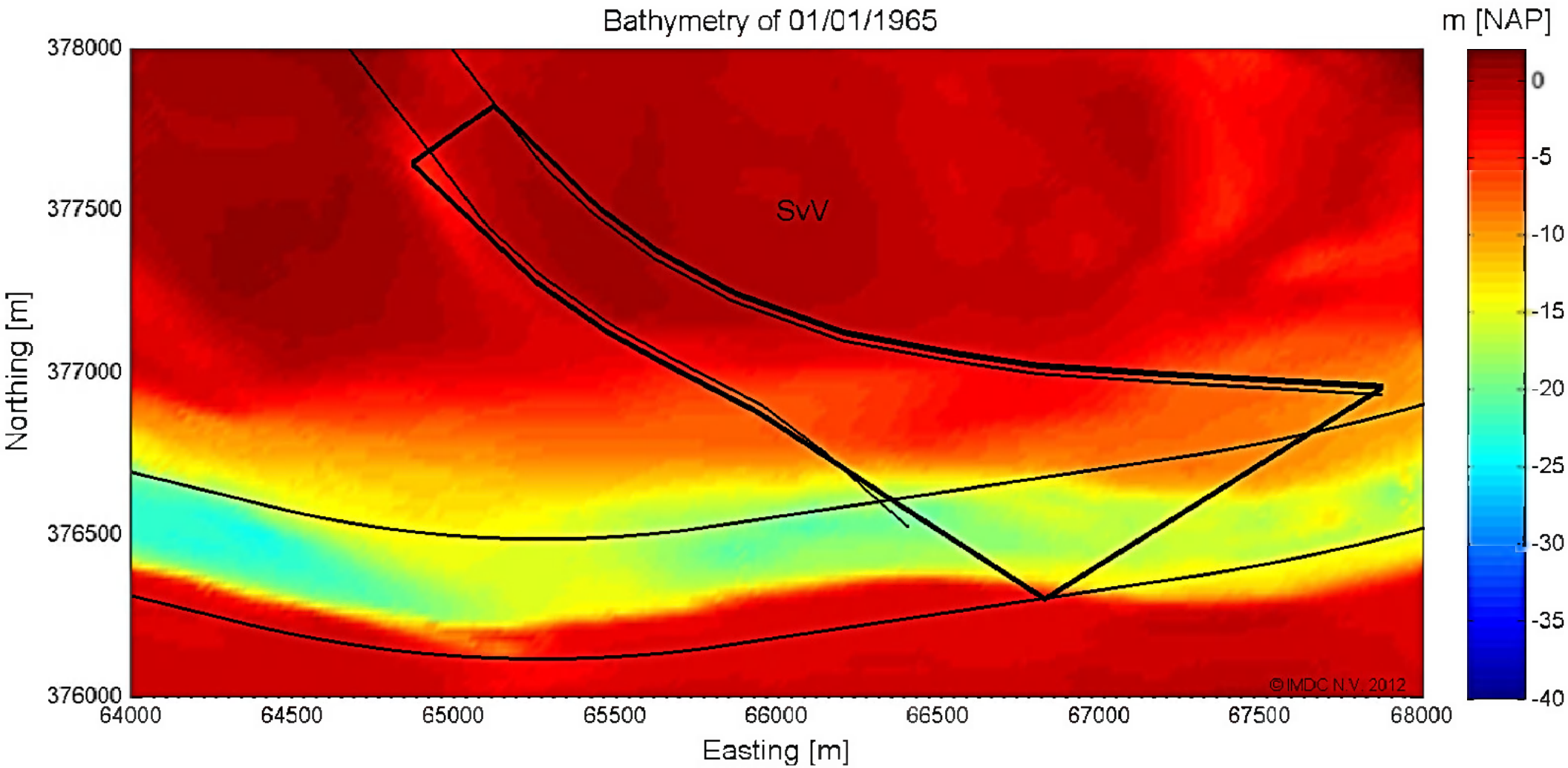


File Eocemdata-jaar-2010

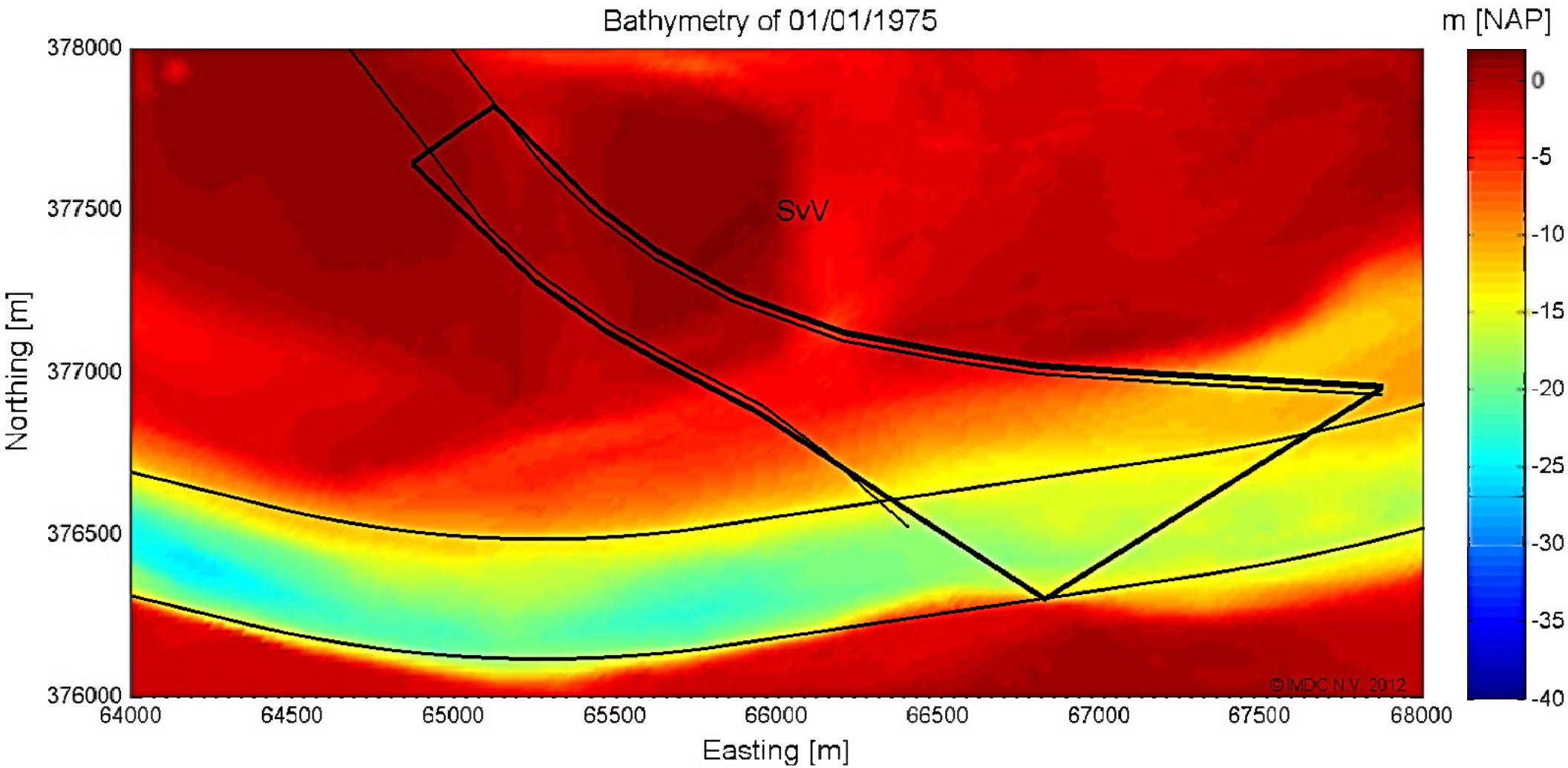


File Eocemdata-jaar-2011

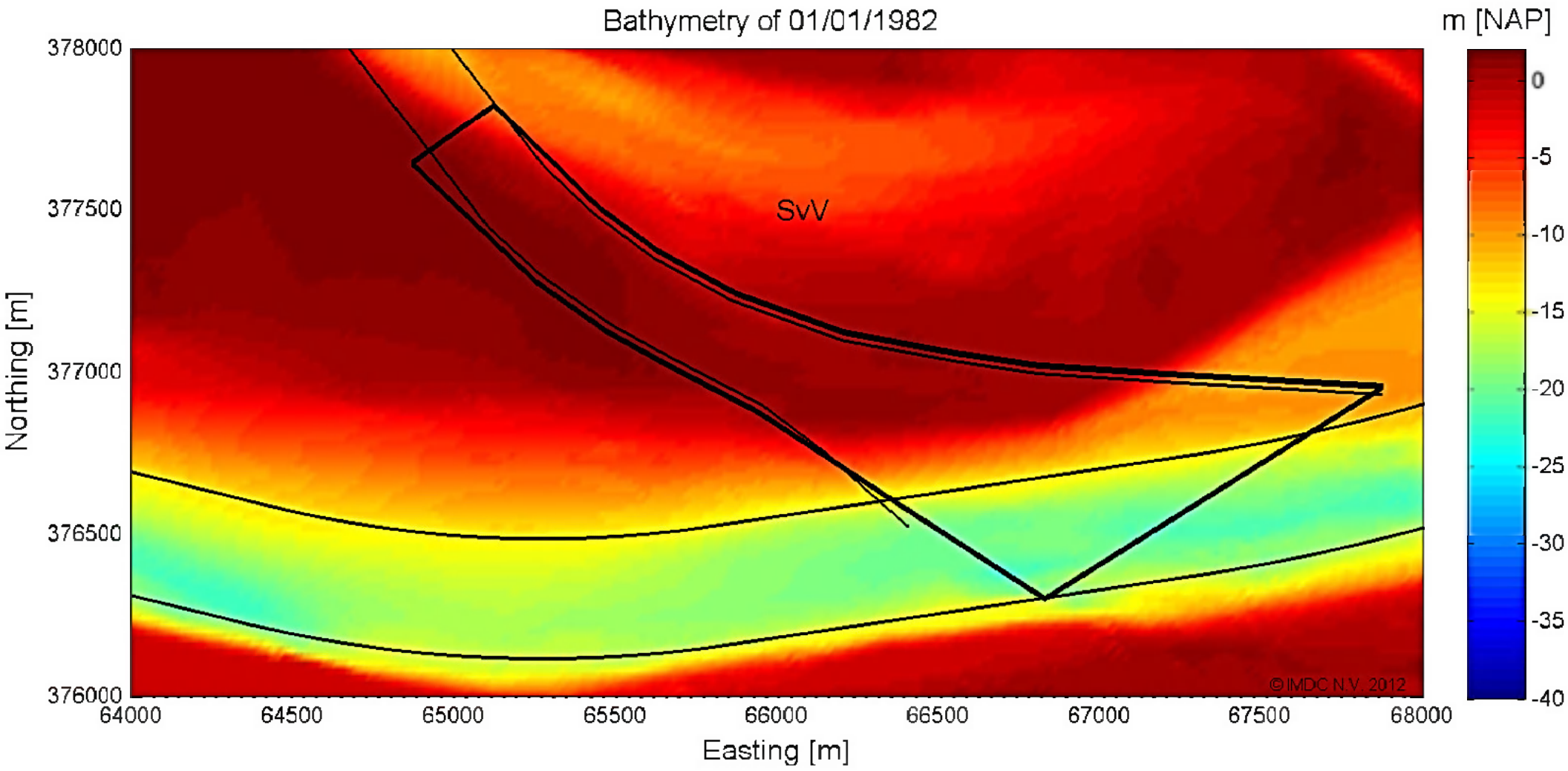
Bijlage C Schaar van Valkenisse: Bathymetrieën



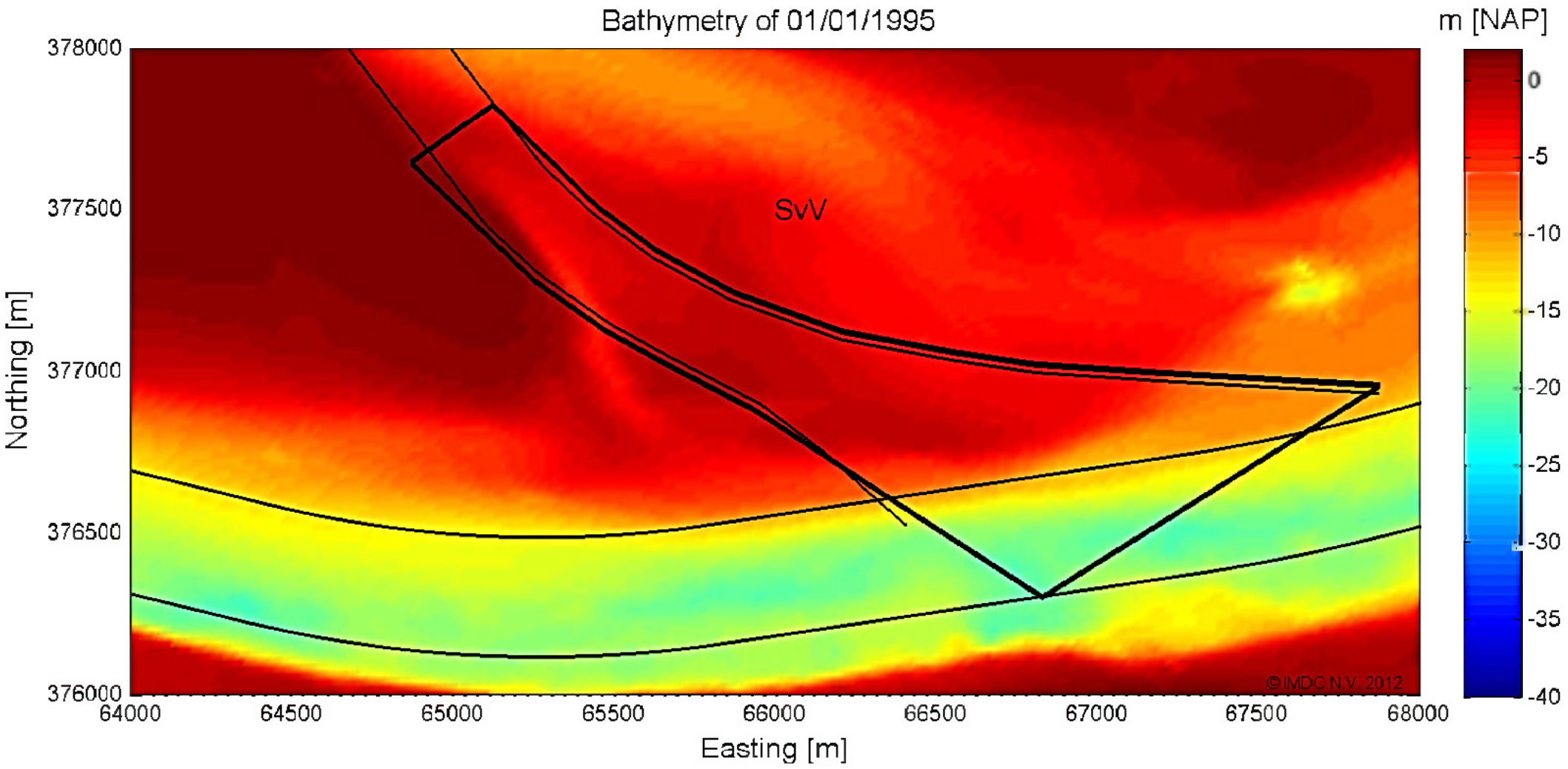
File Bocemdata jaar 1965



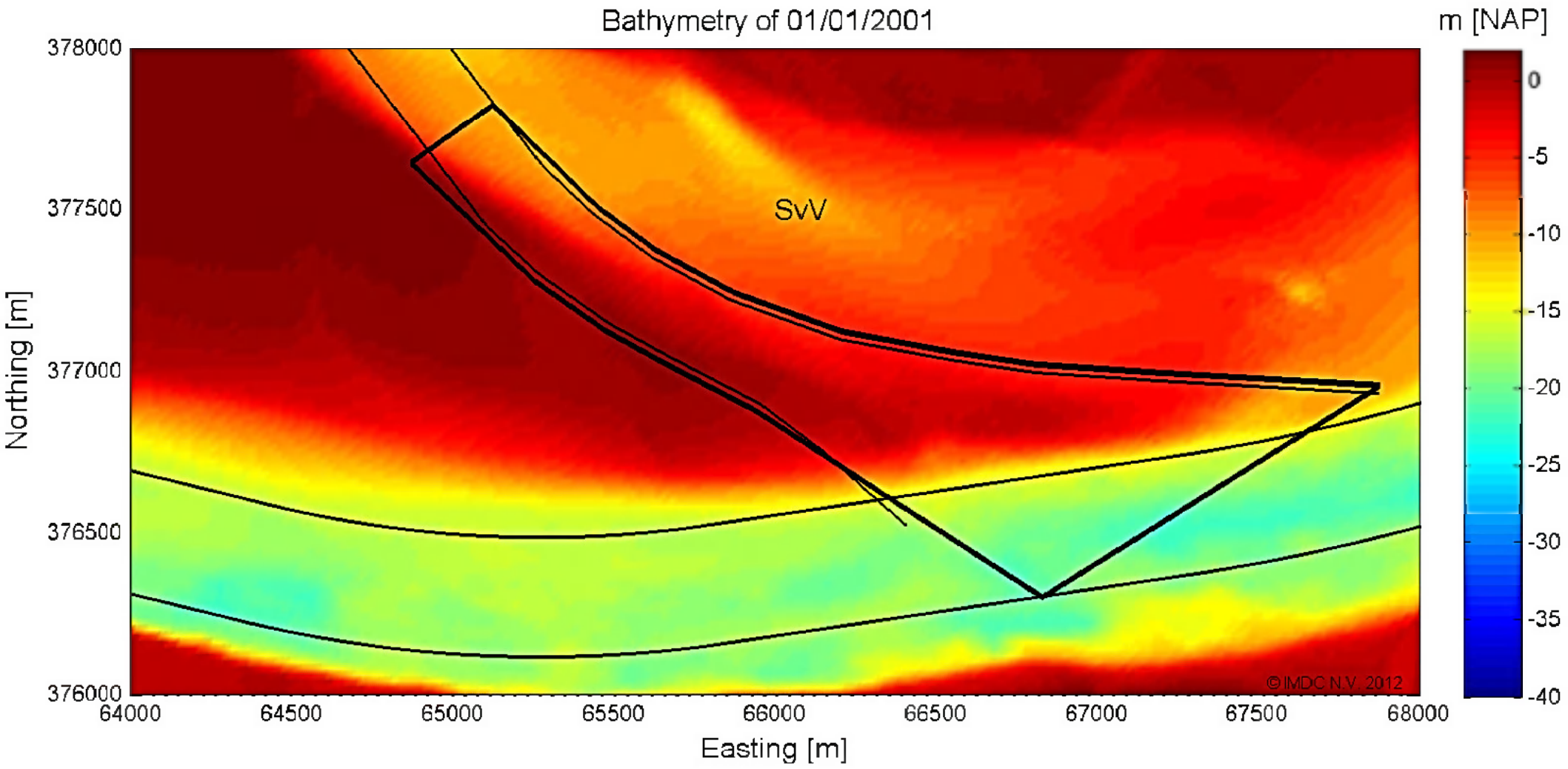
File Bocemdata jaar 1975



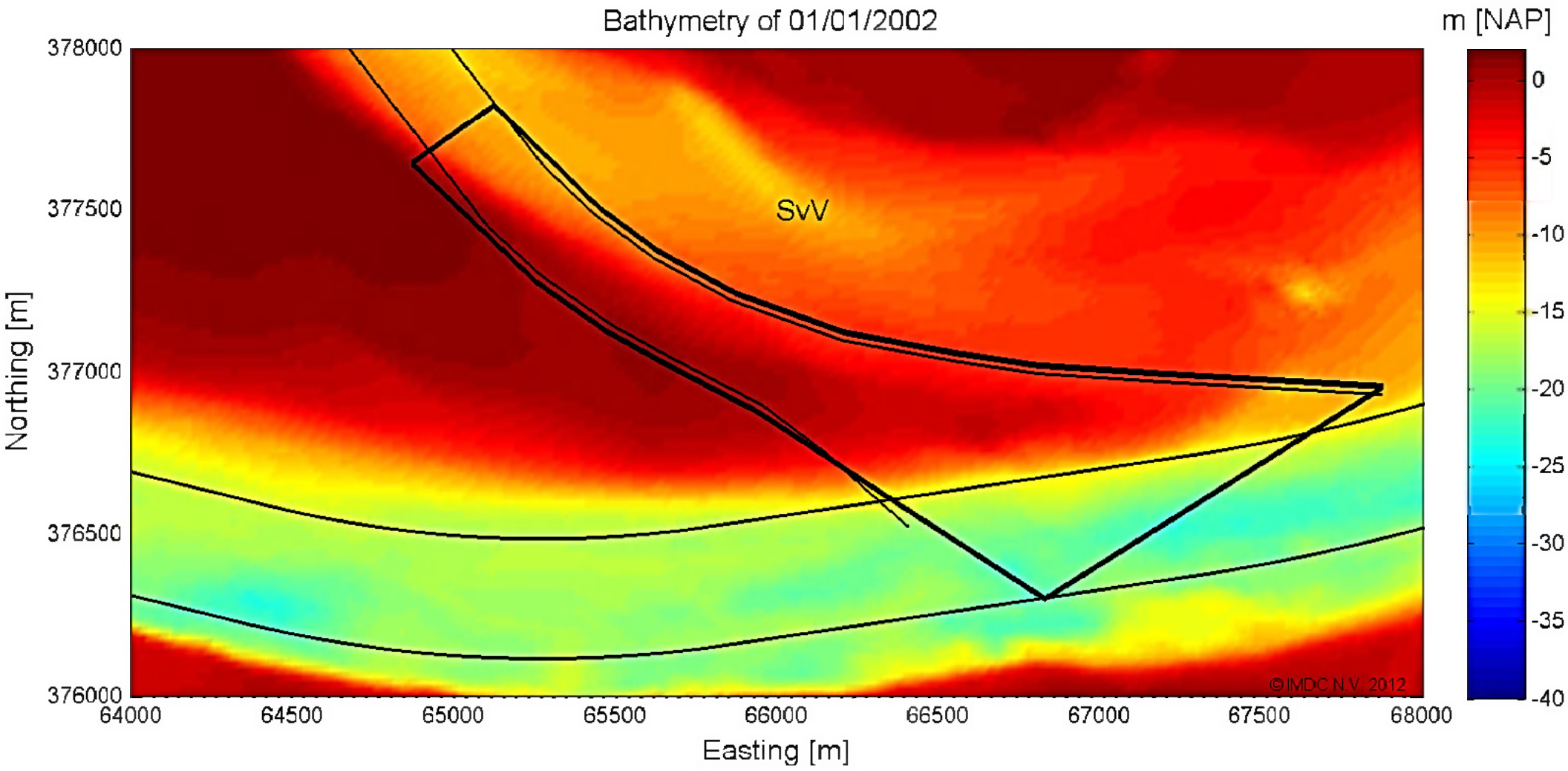
File Bocemdata_jaar_1982



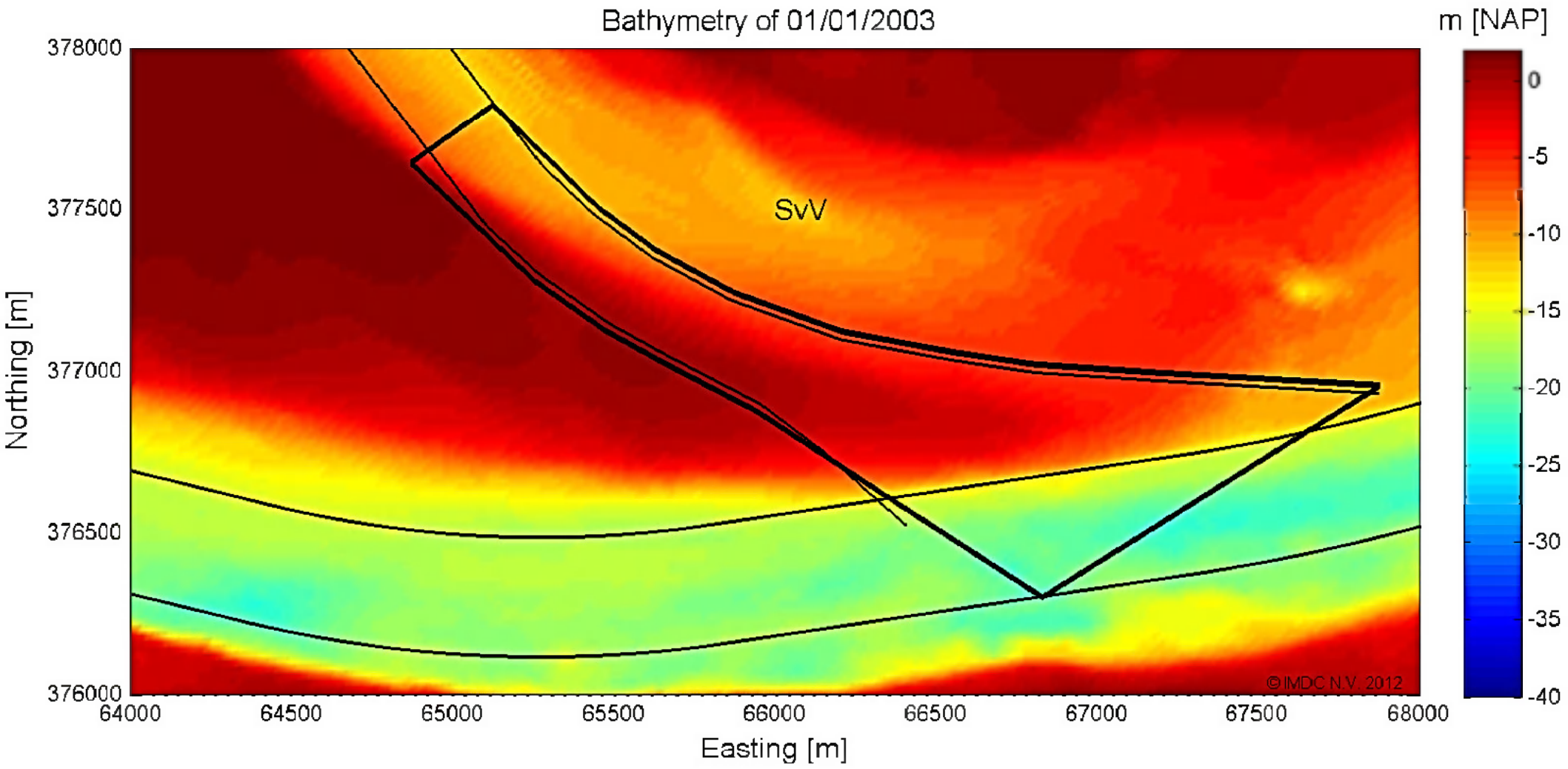
File Bocemdata jaar 1995



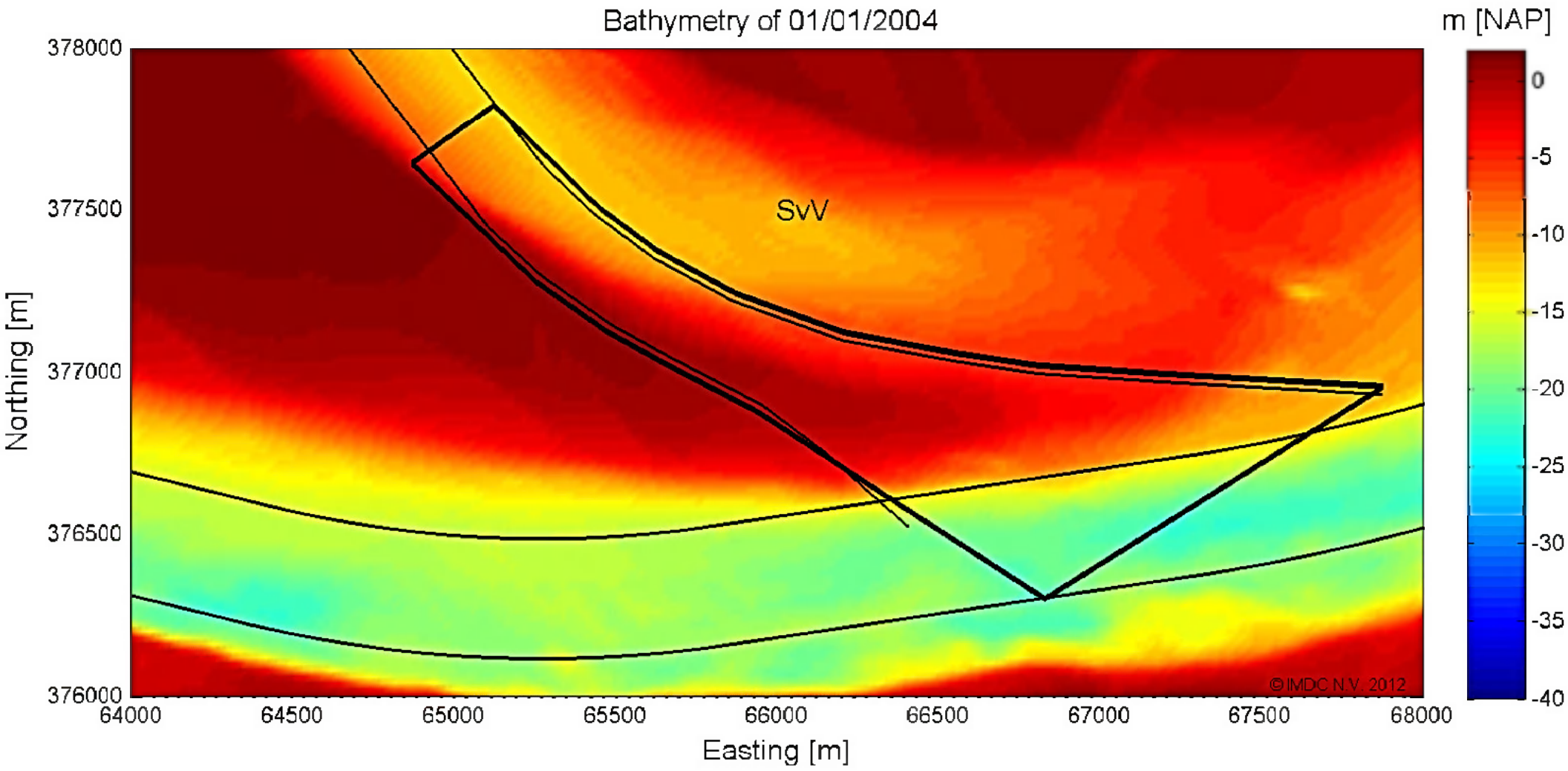
File Bocemdata jaar 2001



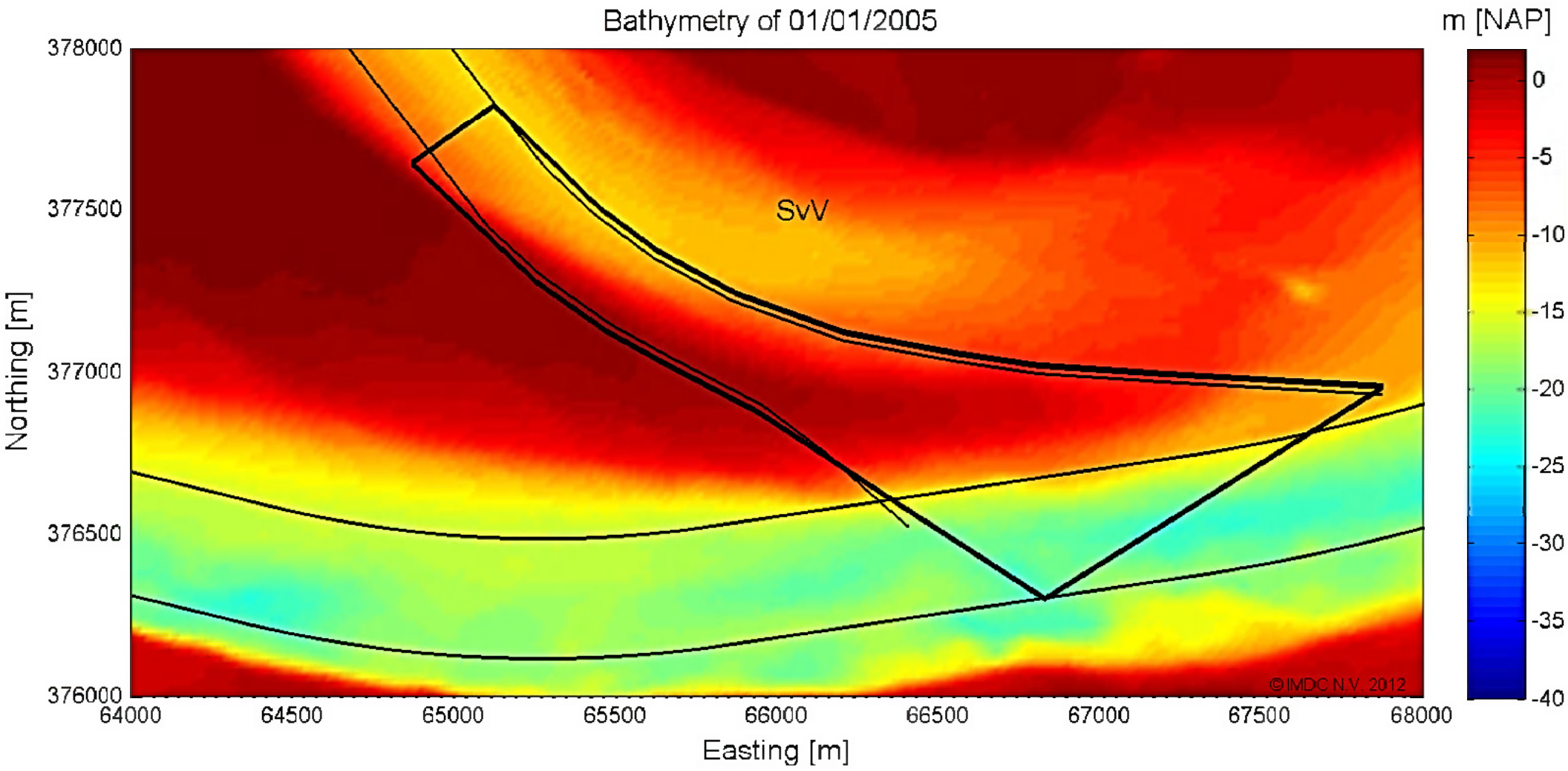
File: Bodemdata-jaar-2002



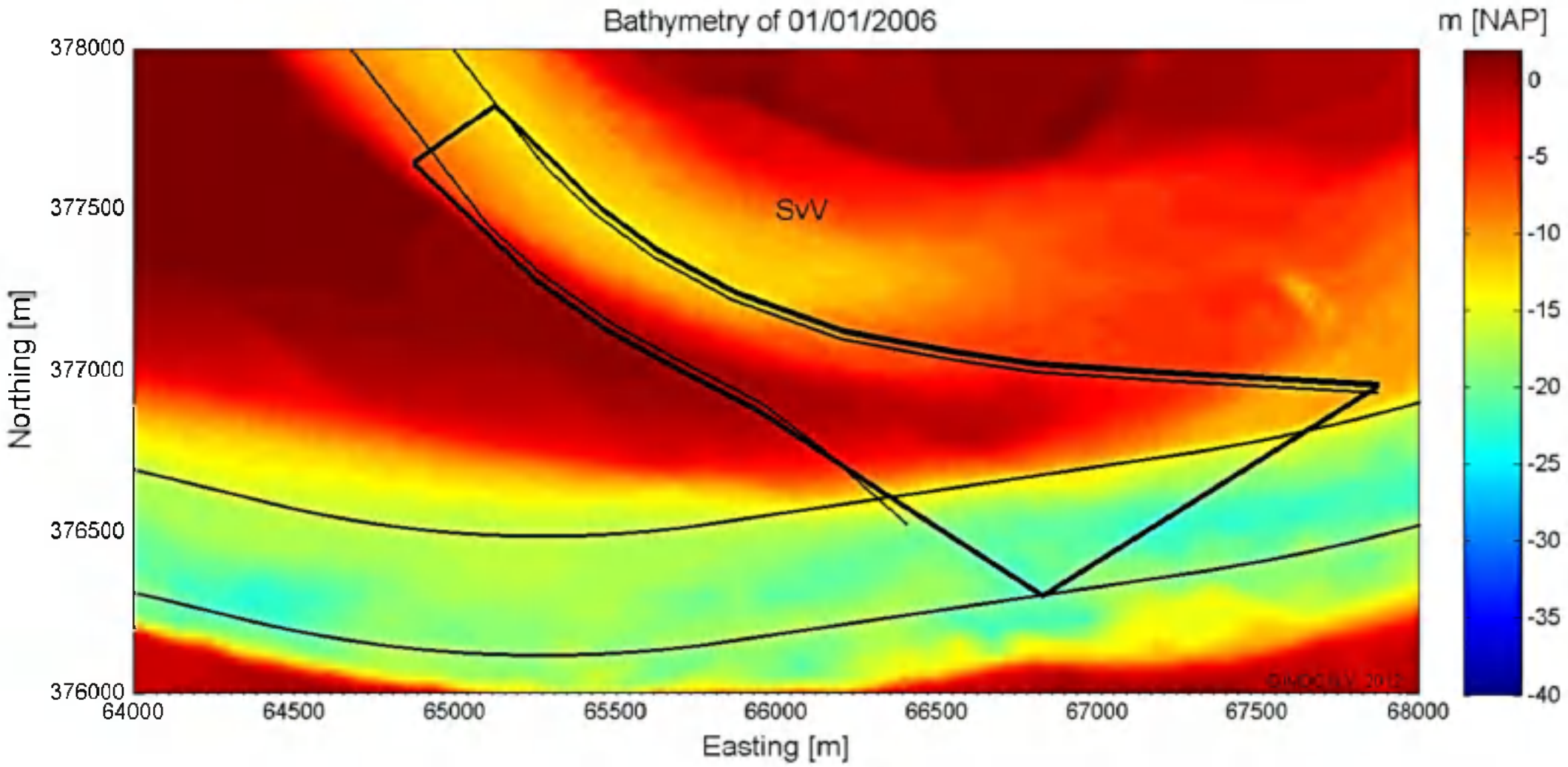
File Bocemdata jaar 2003



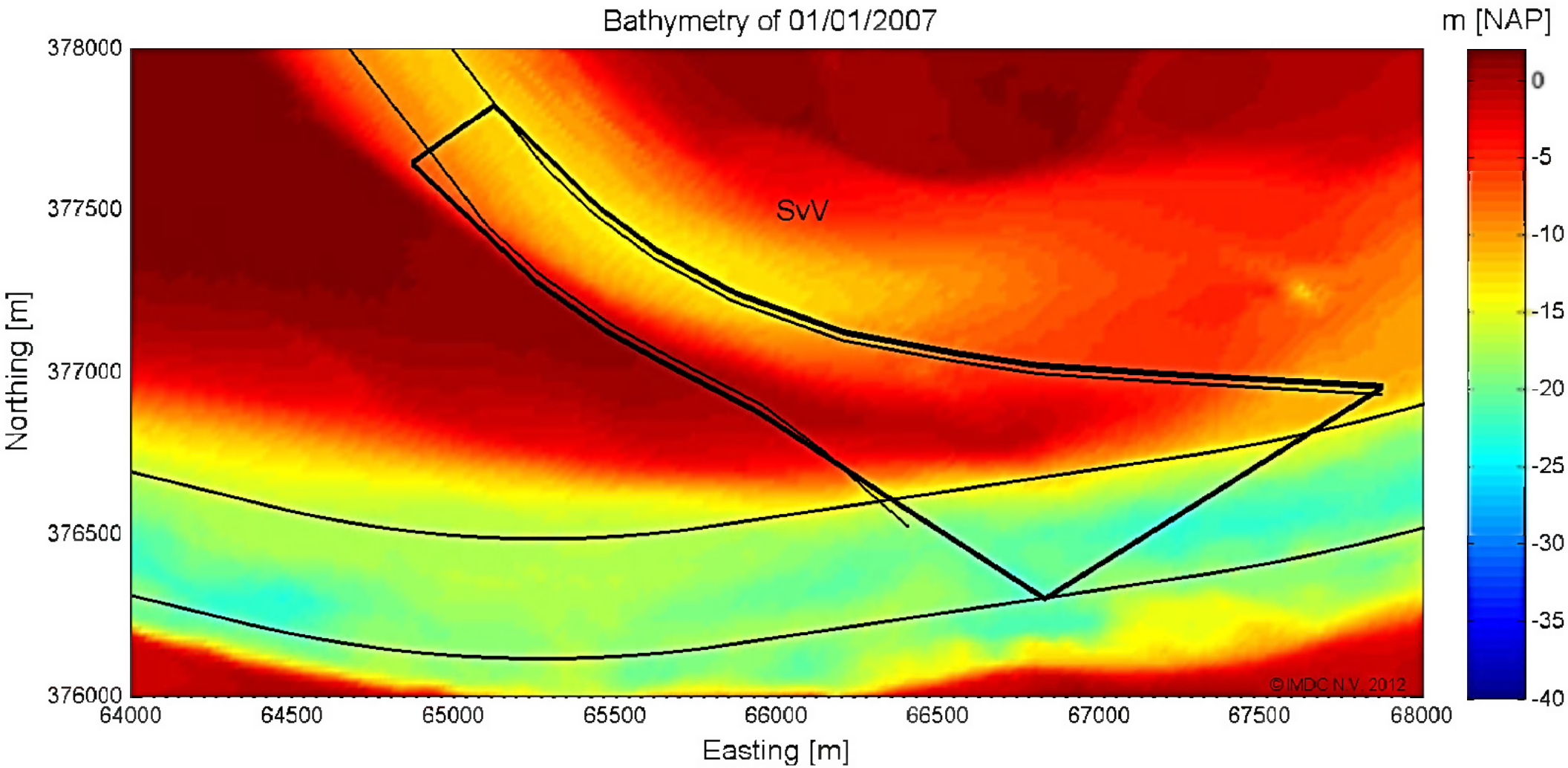
File Bocemdata jaar 2004



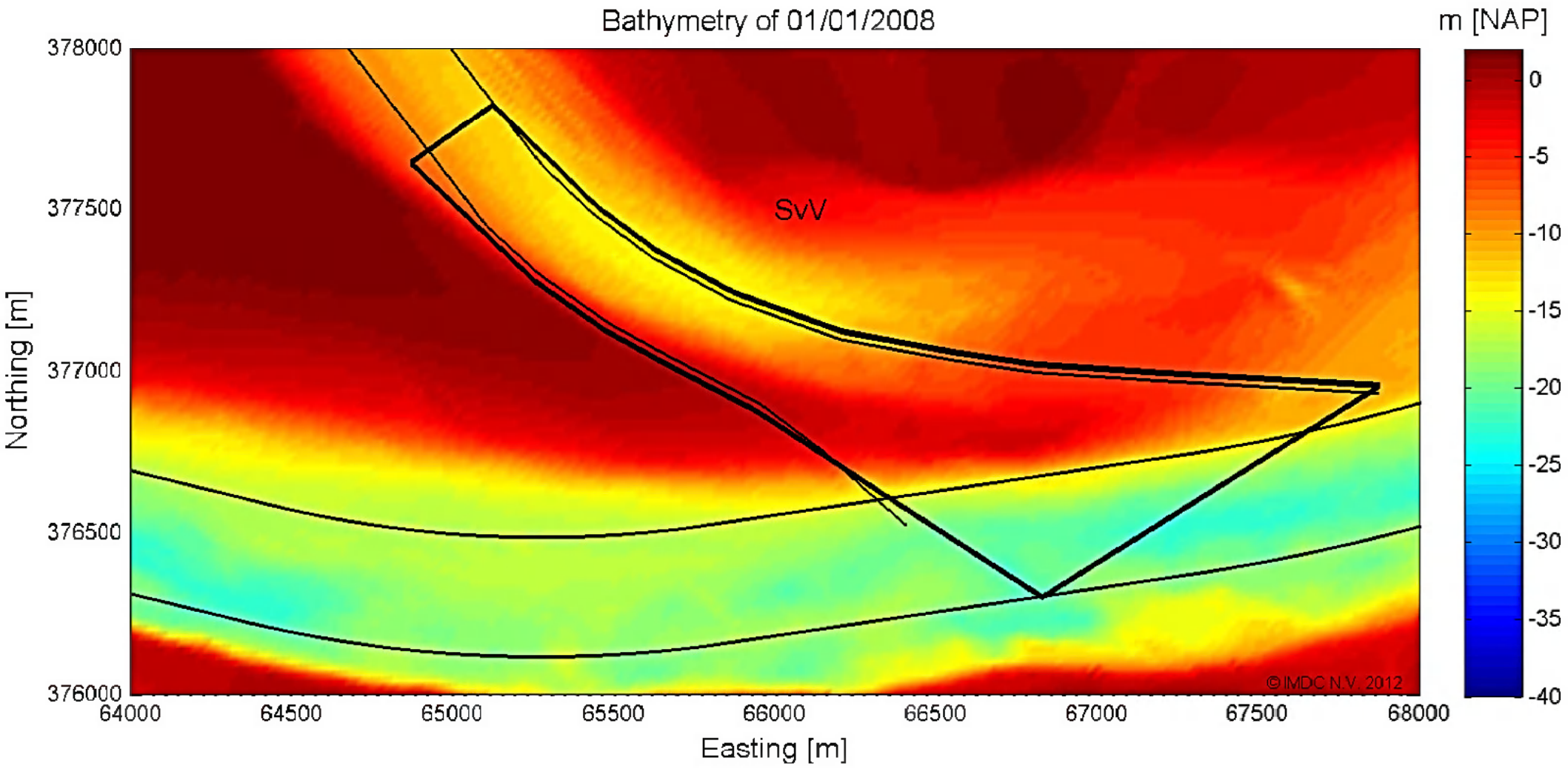
File Bocemdata jaar 2005



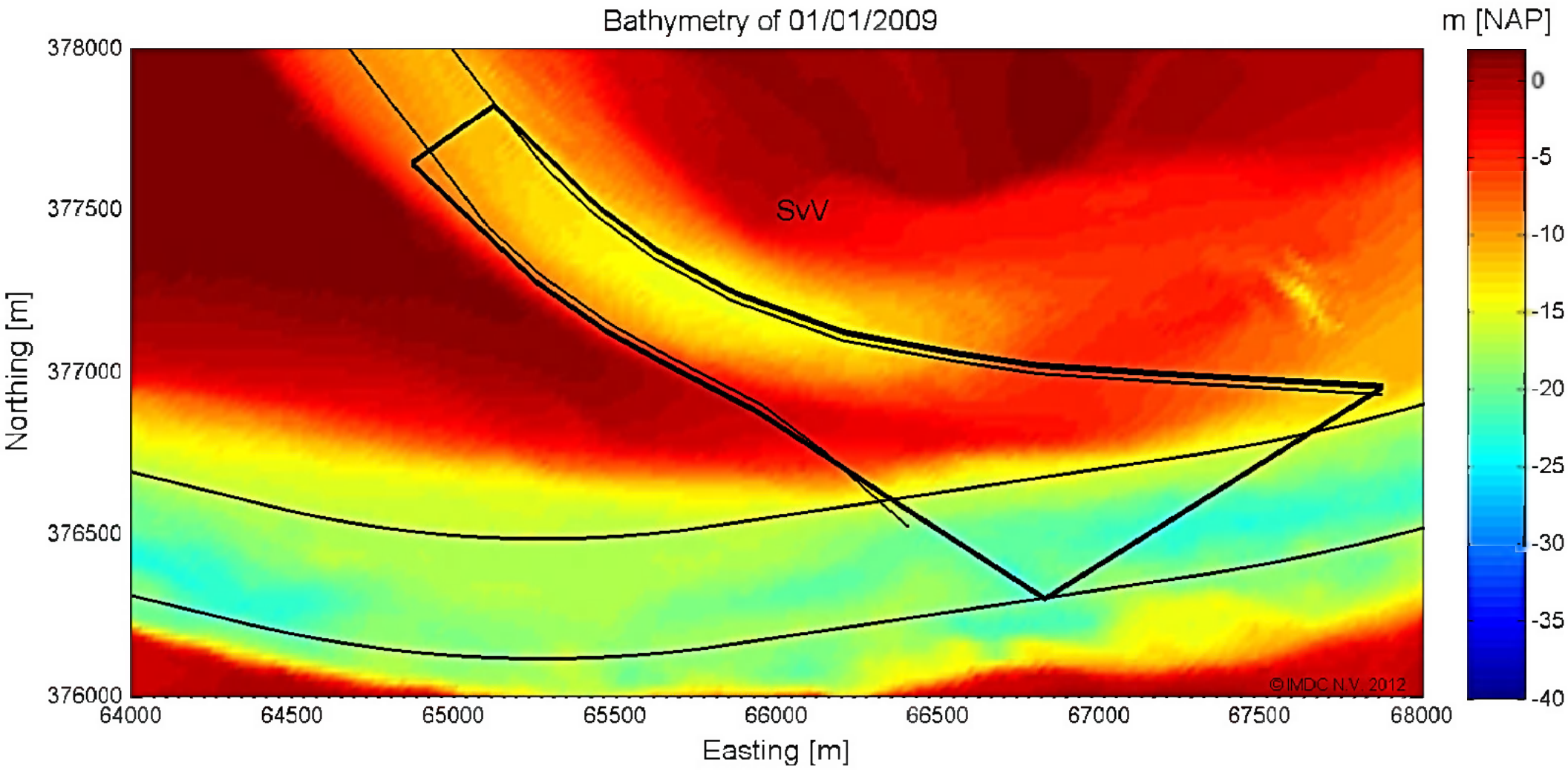
File: Bodemdata-jaar-2006



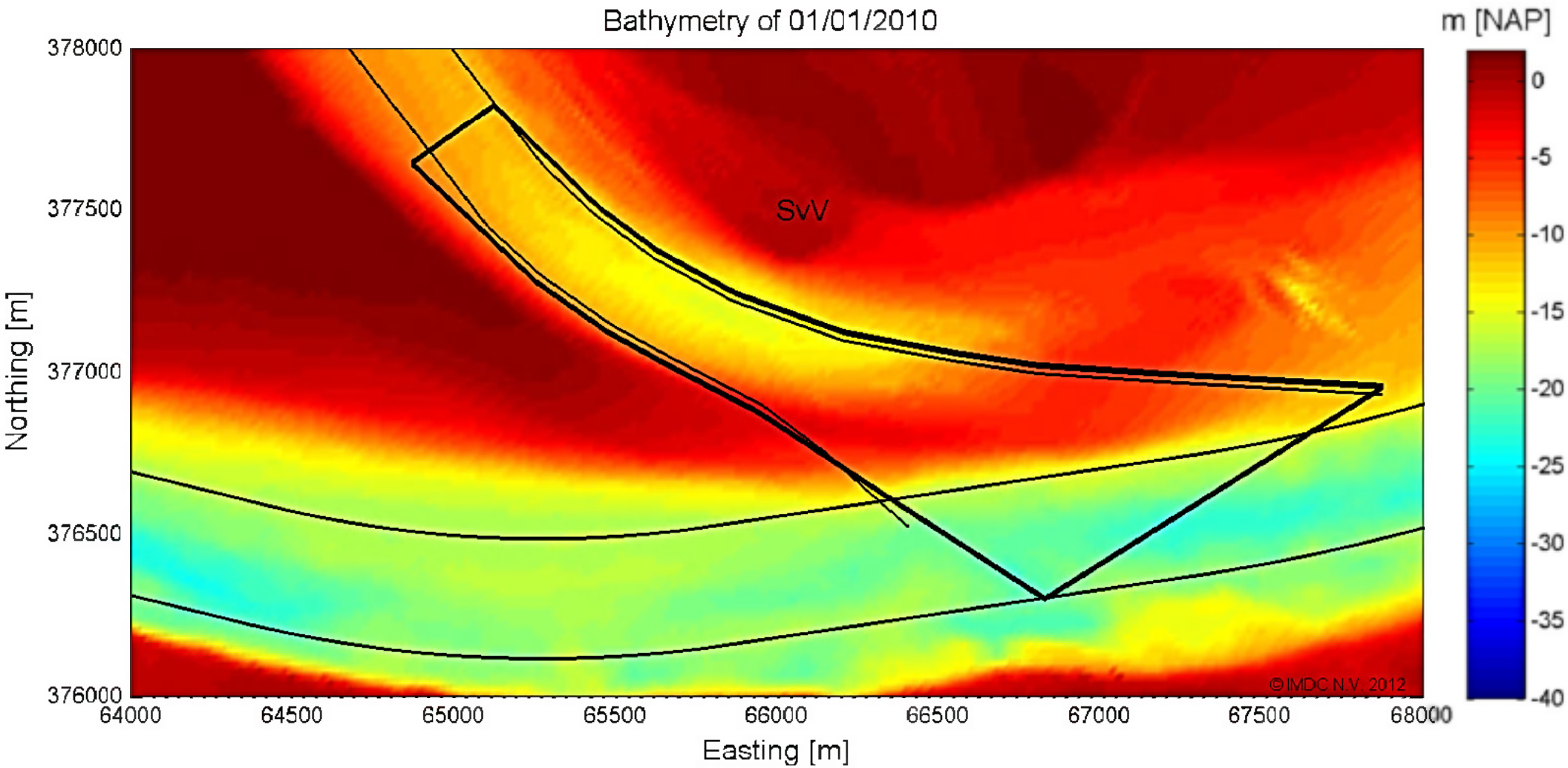
File Bocemdata jaar 2007



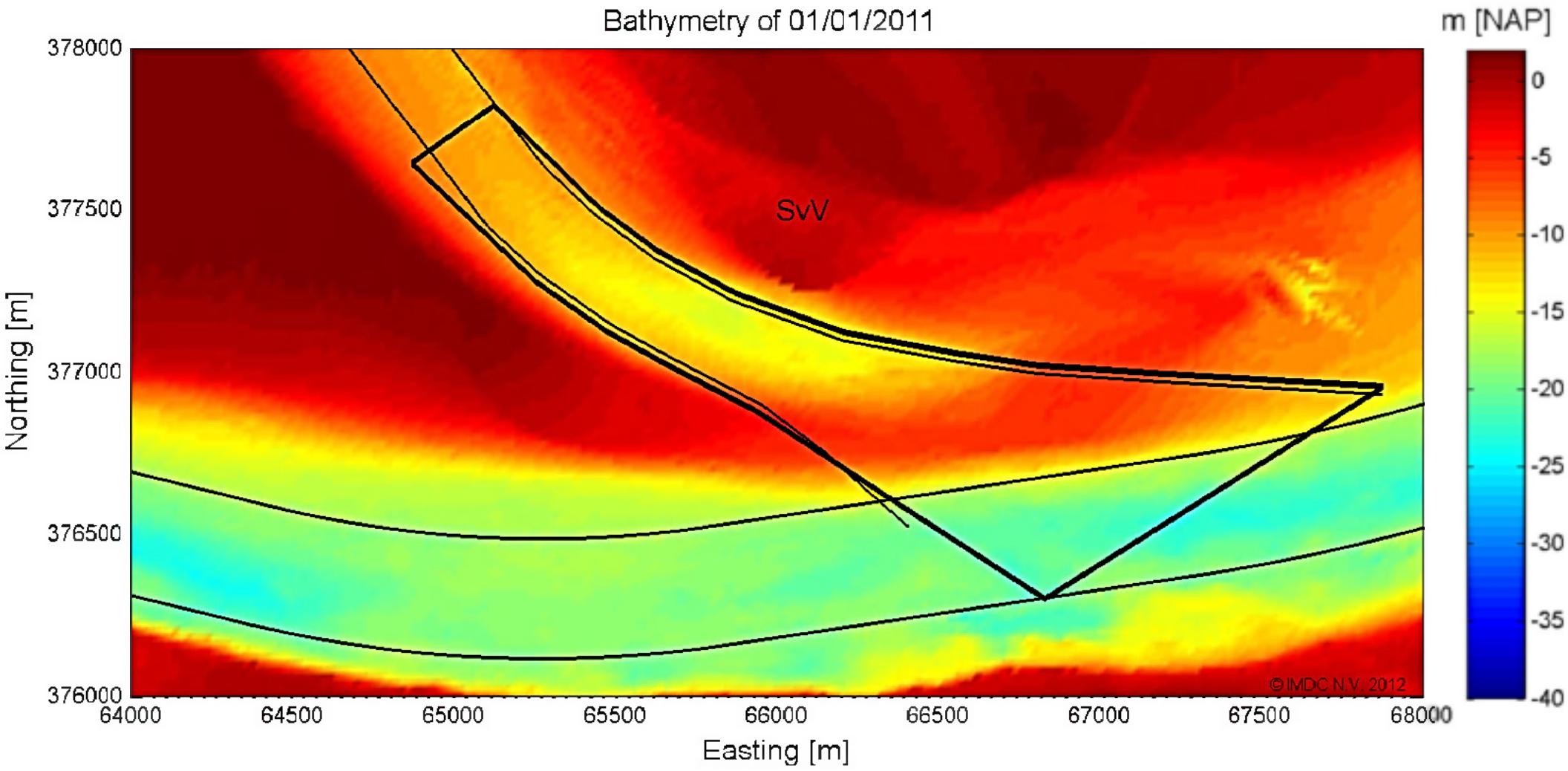
File Bocemdata jaar 2008



File: Bodemdata-jaar-2009

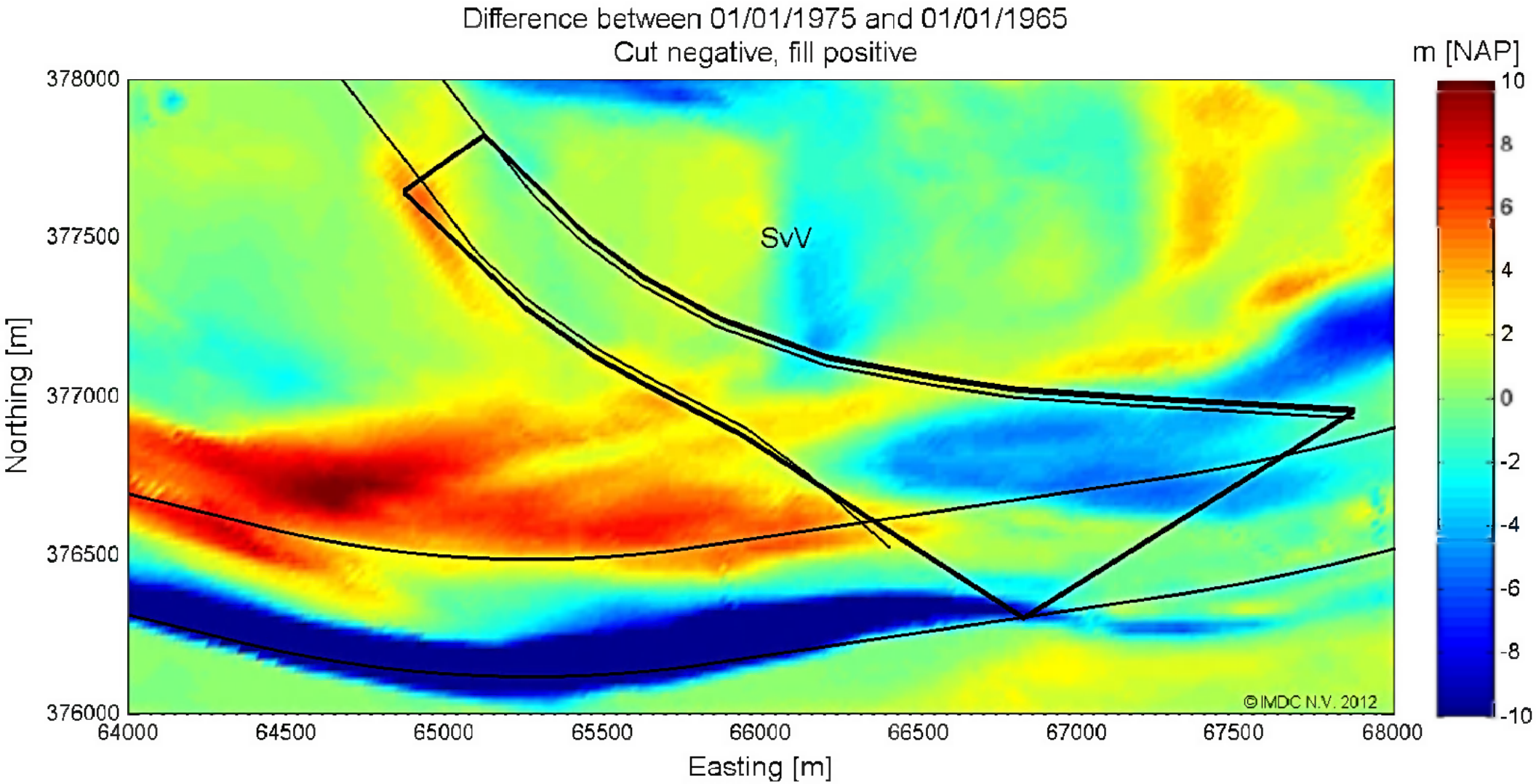


File Bocemdata jaar 2010

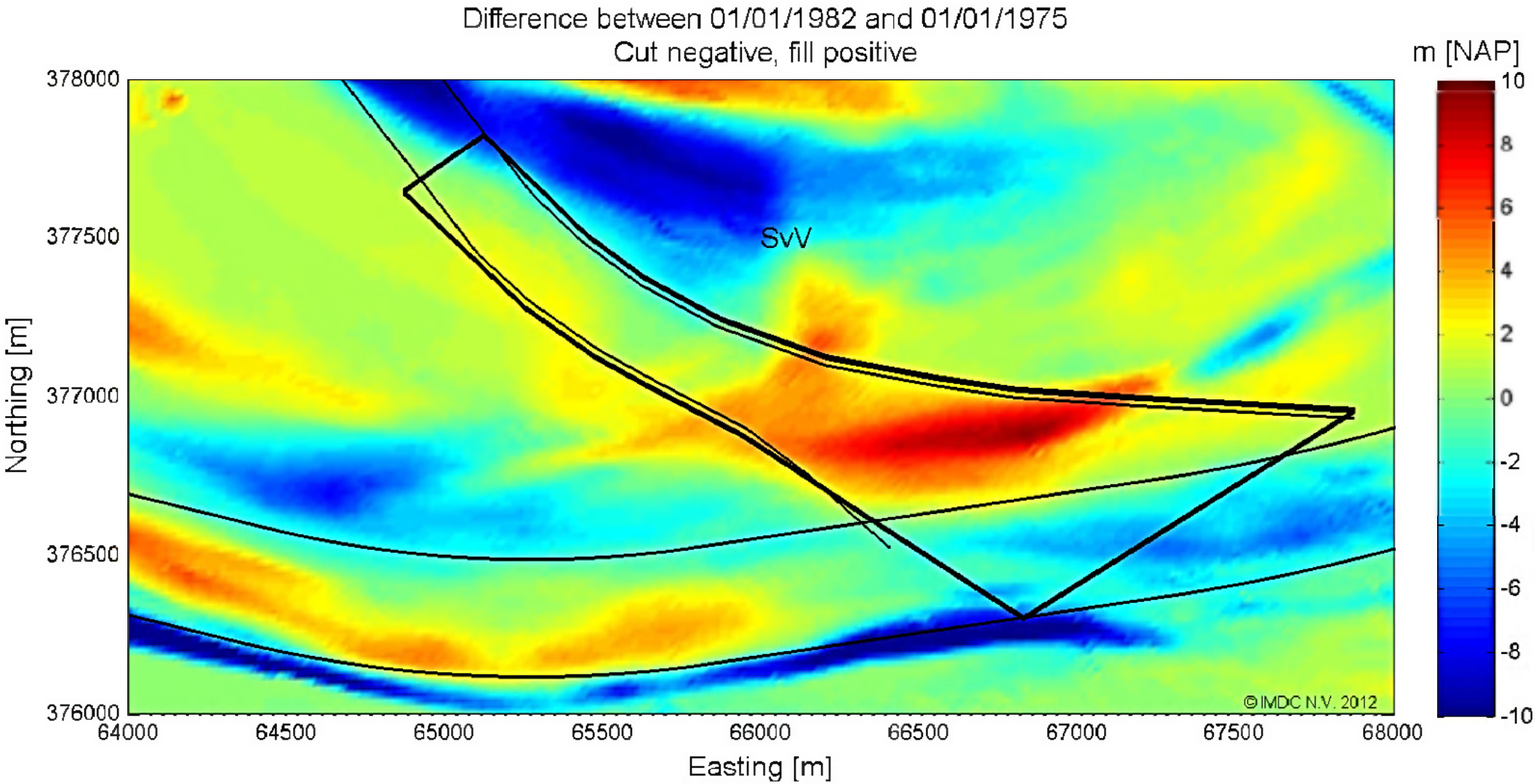


File Bocemdata_jaar_2011

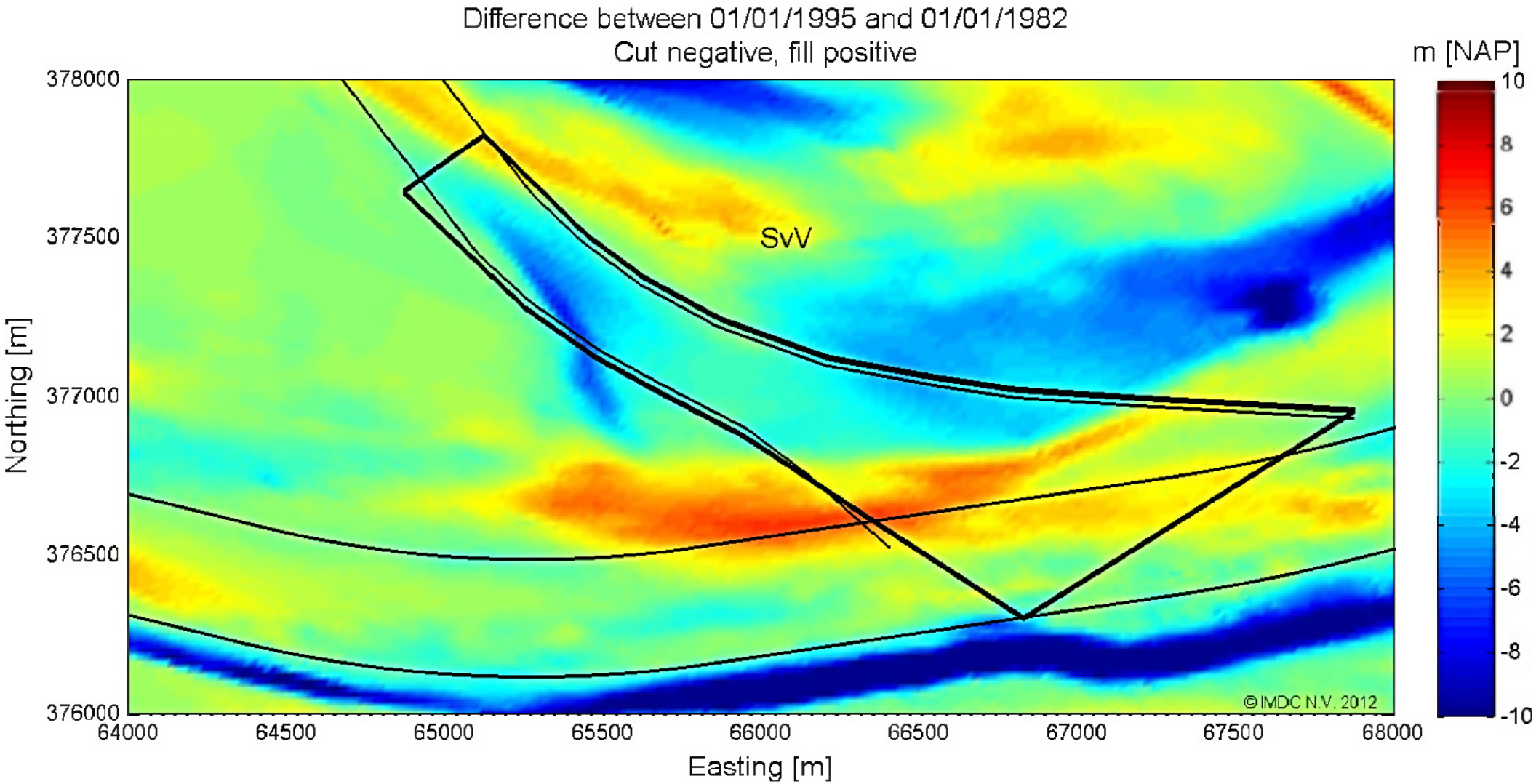
Bijlage D Schaar van Valkenisse: Verschilkaarten



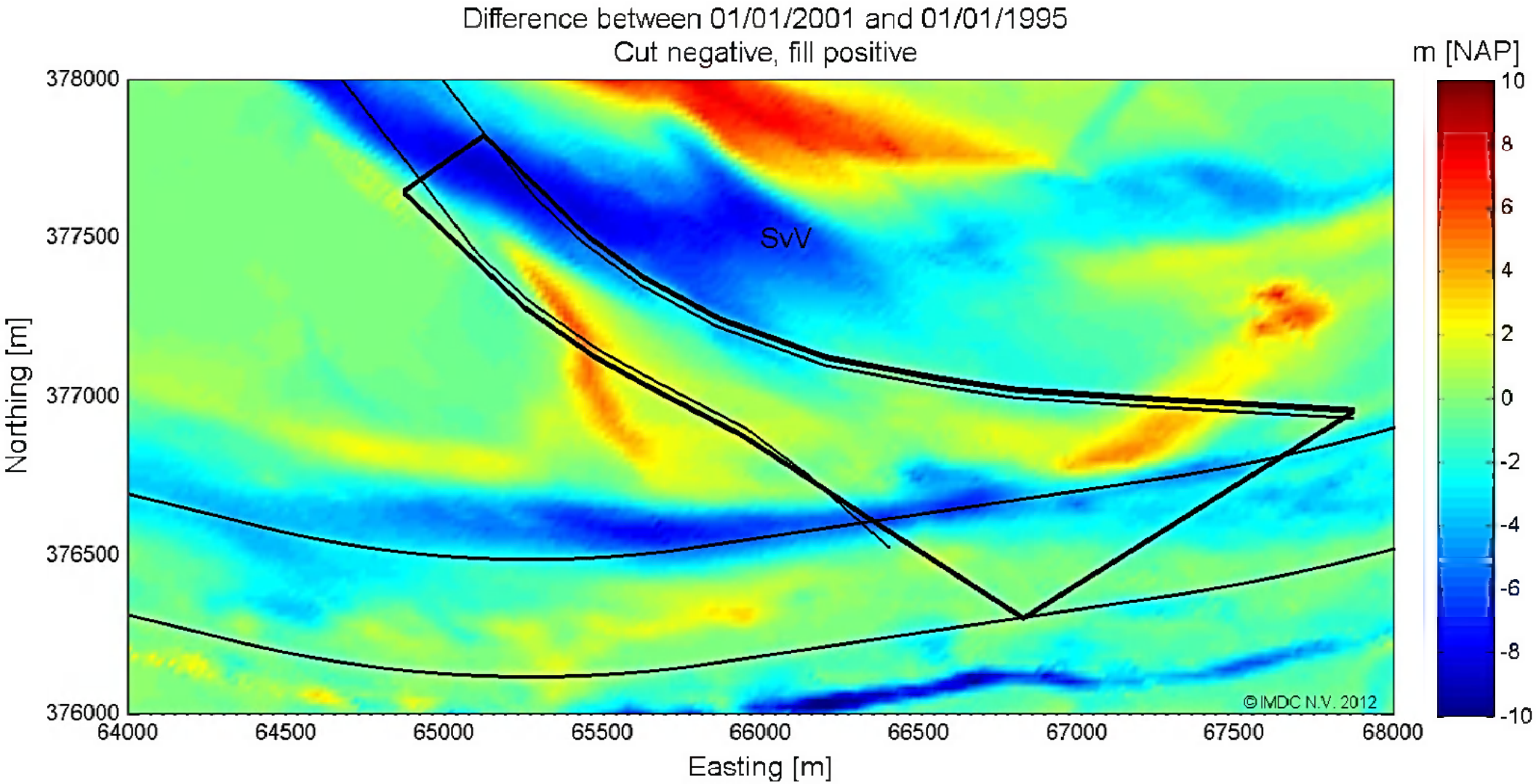
File Bocemdata-jaar-1975
File Bocemdata-jaar-1965



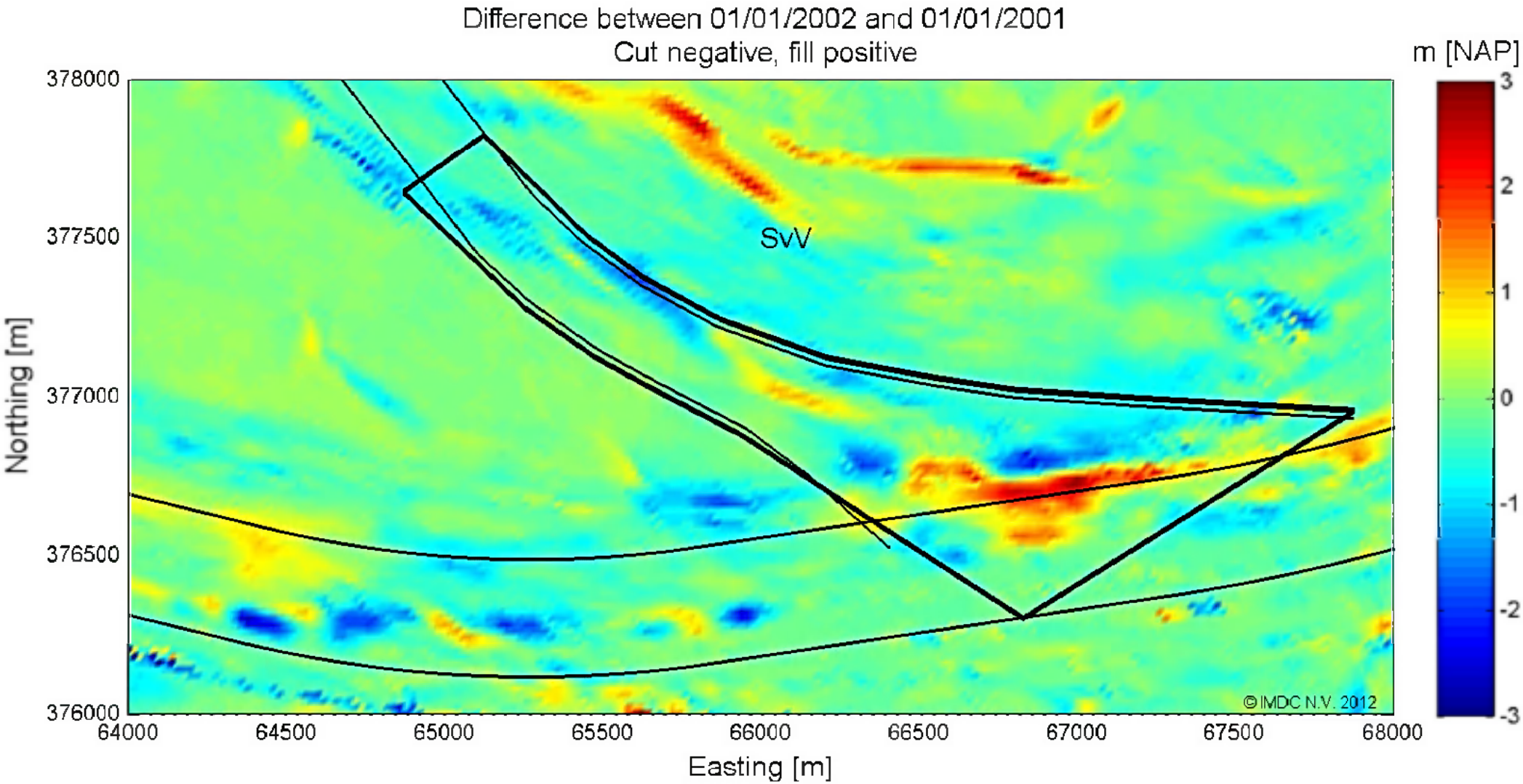
File Bocemdata-jaar-1982
File Bocemdata-jaar-1975



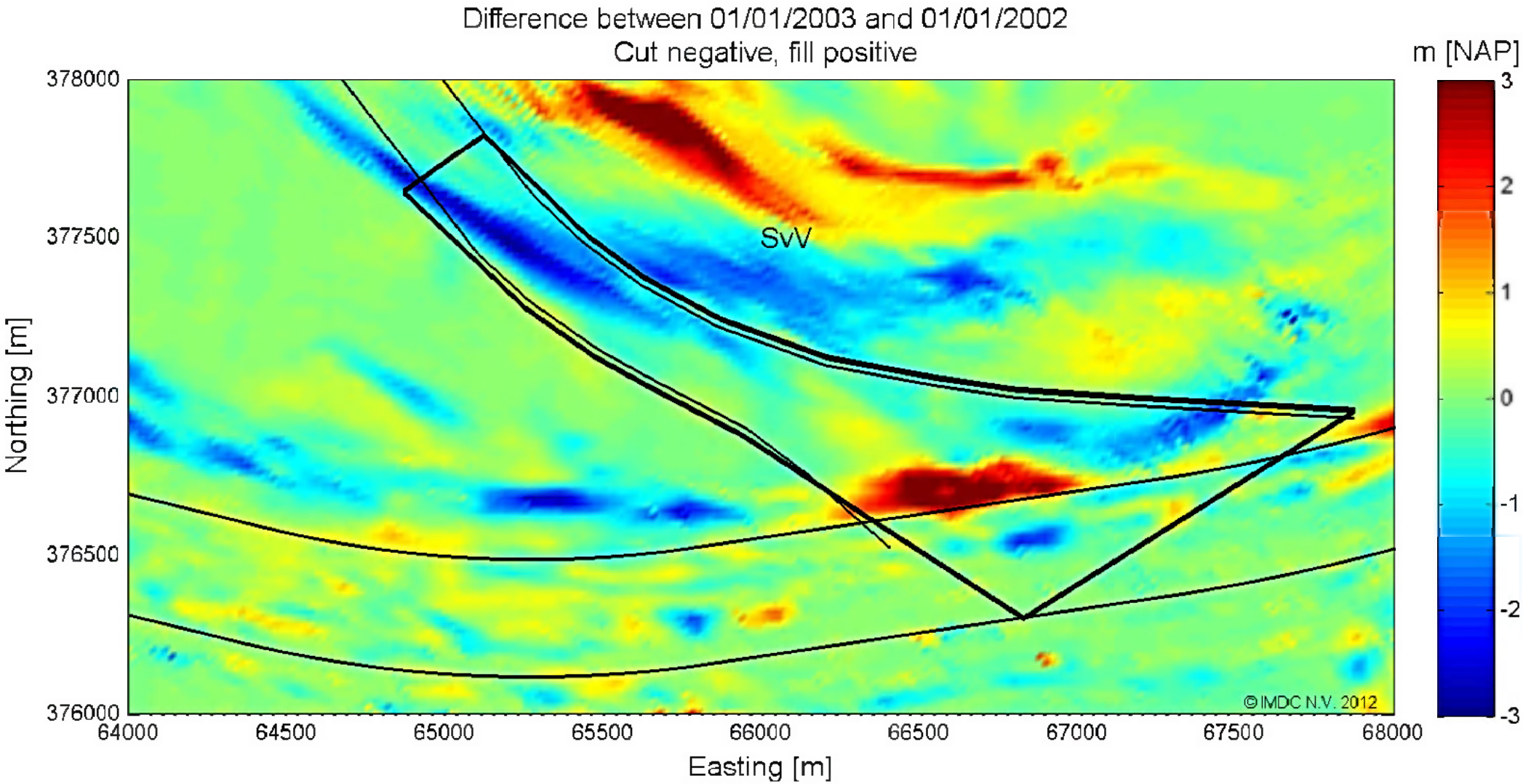
File Bocemdata-jaar-1995
File Bocemdata-jaar-1982



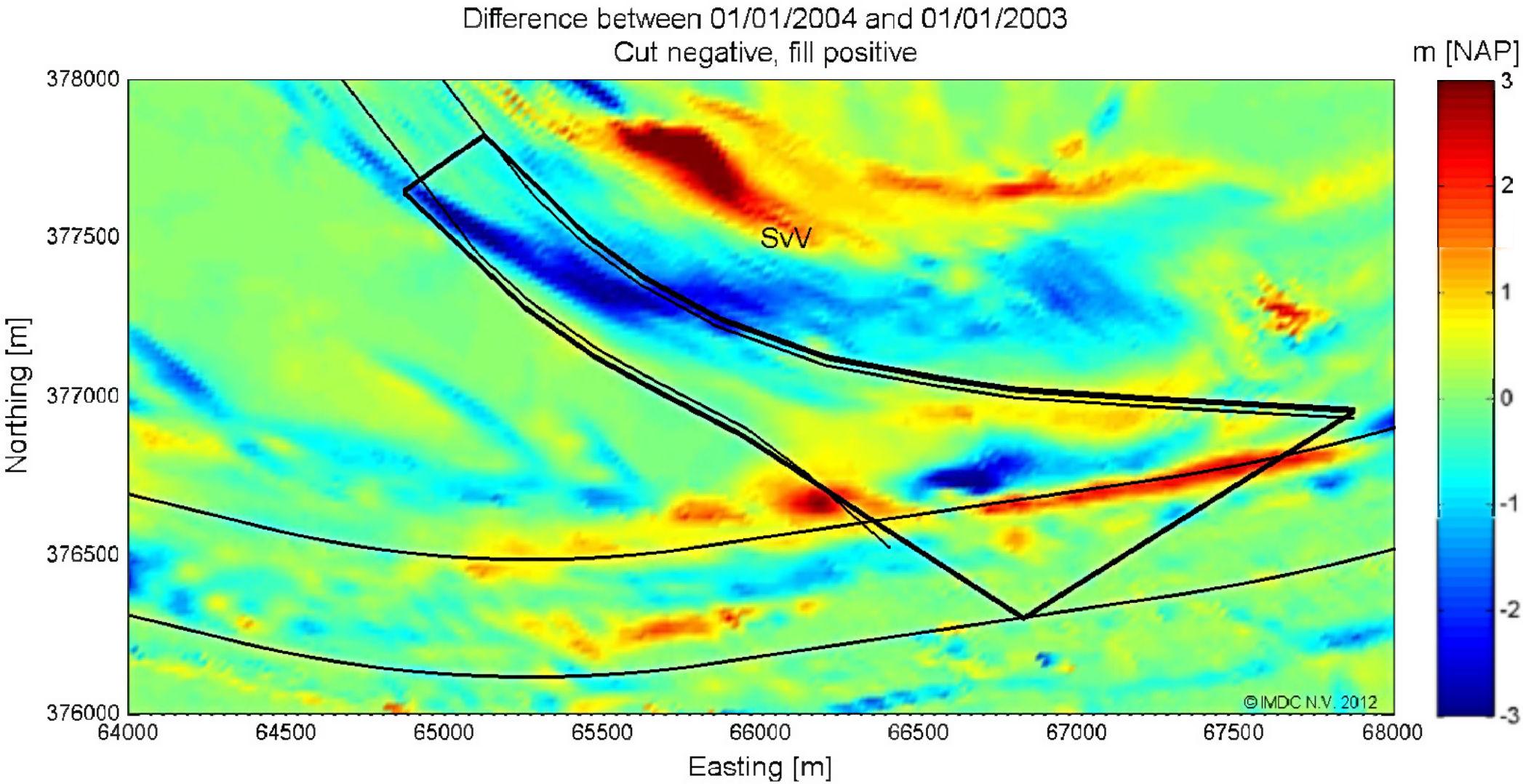
File Bocemdata-jaar-2001
File Bocemdata-jaar-1995



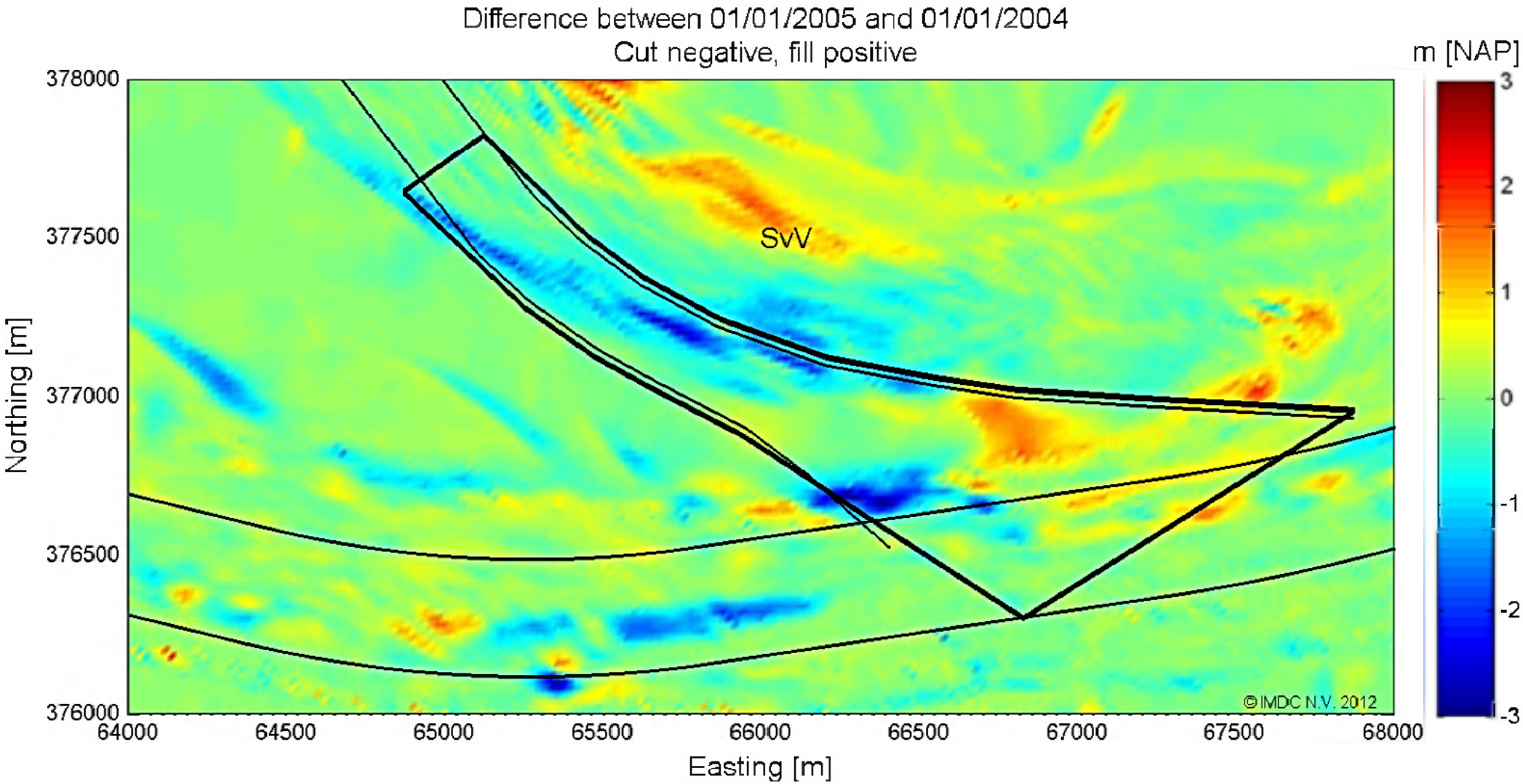
File Bocemdata-jaar-2002
File Bocemdata-jaar-2001



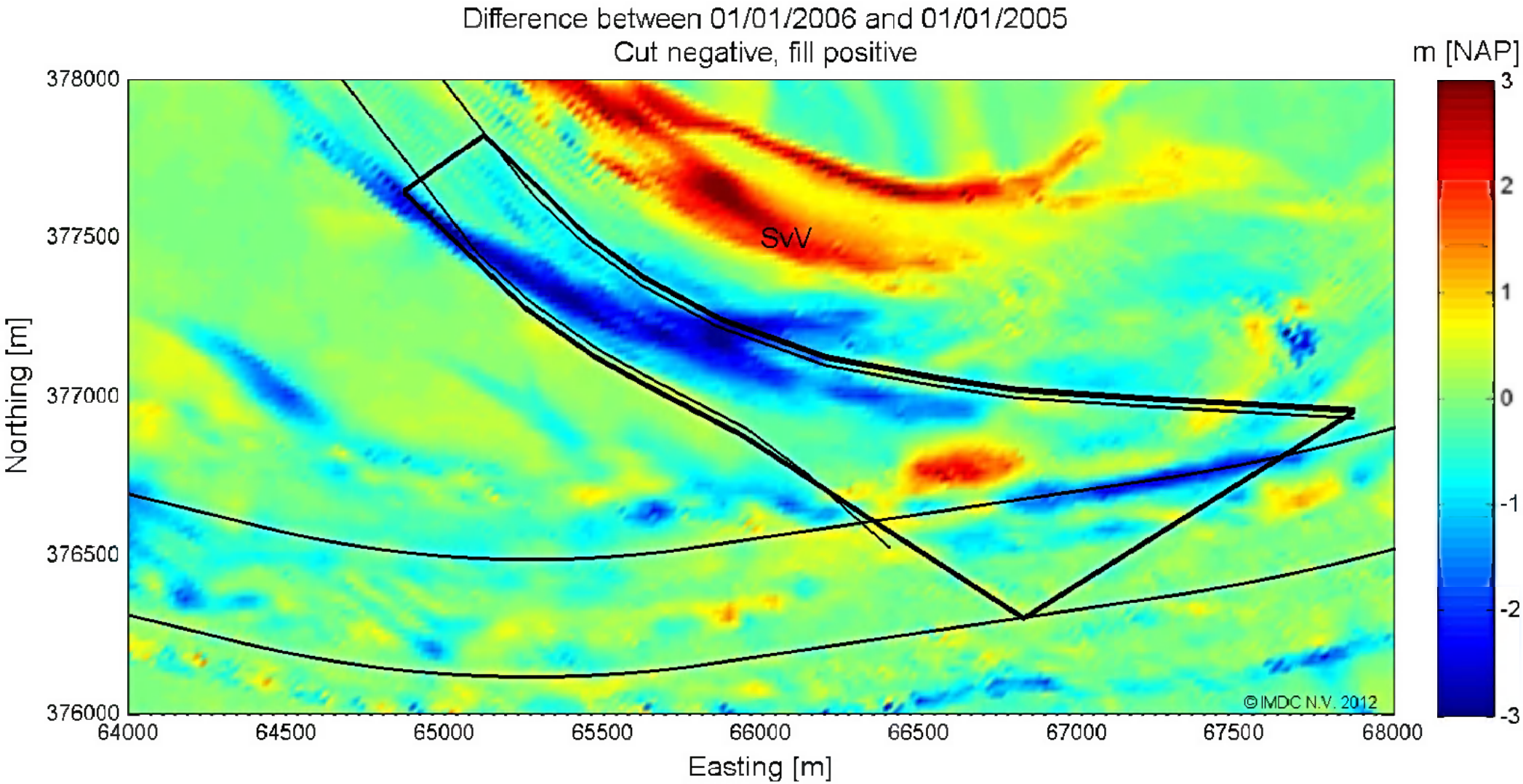
File Bocemdata-jaar-2003
File Bocemdata-jaar-2002



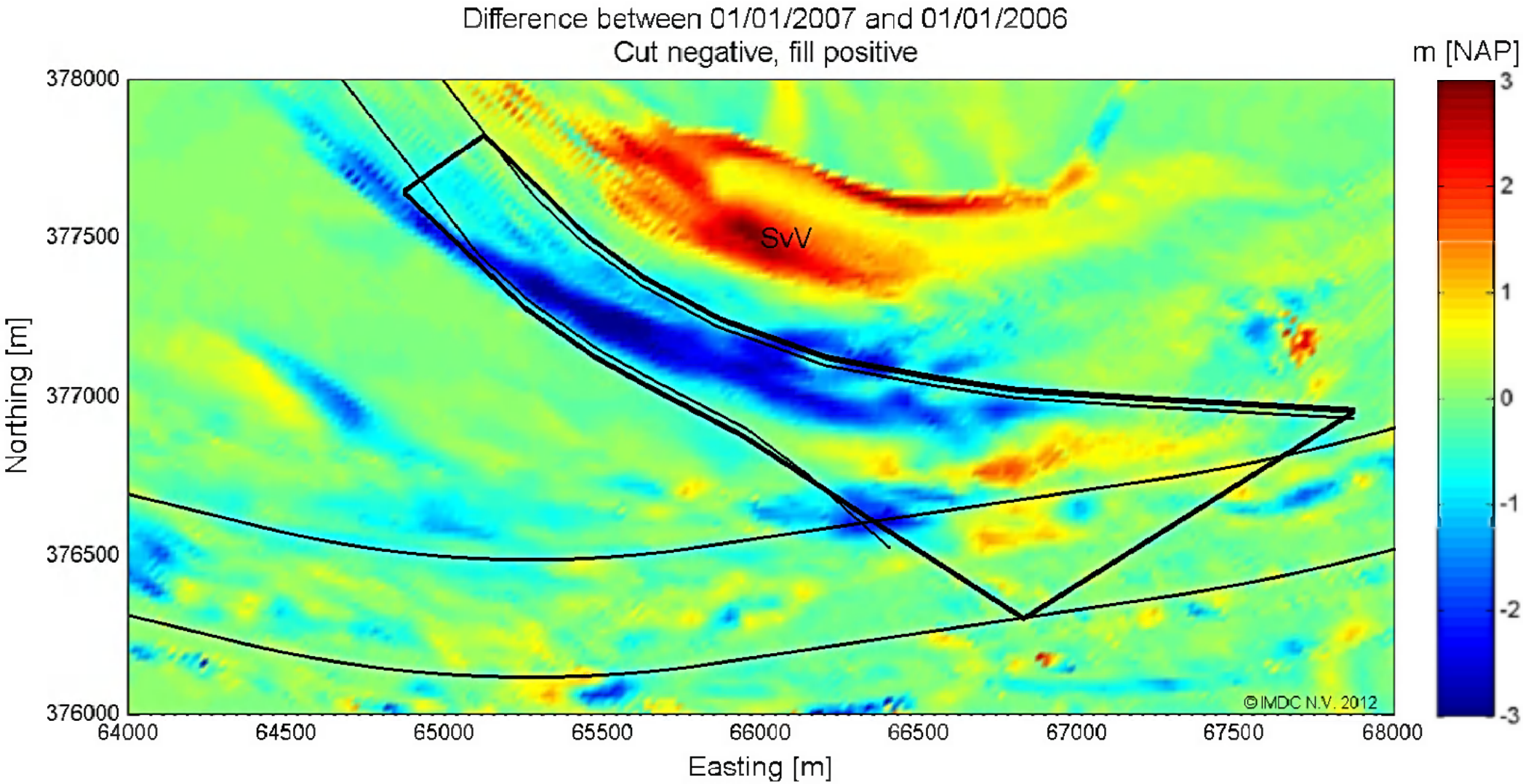
File Bocemdata-jaar-2004
File Bocemdata-jaar-2003



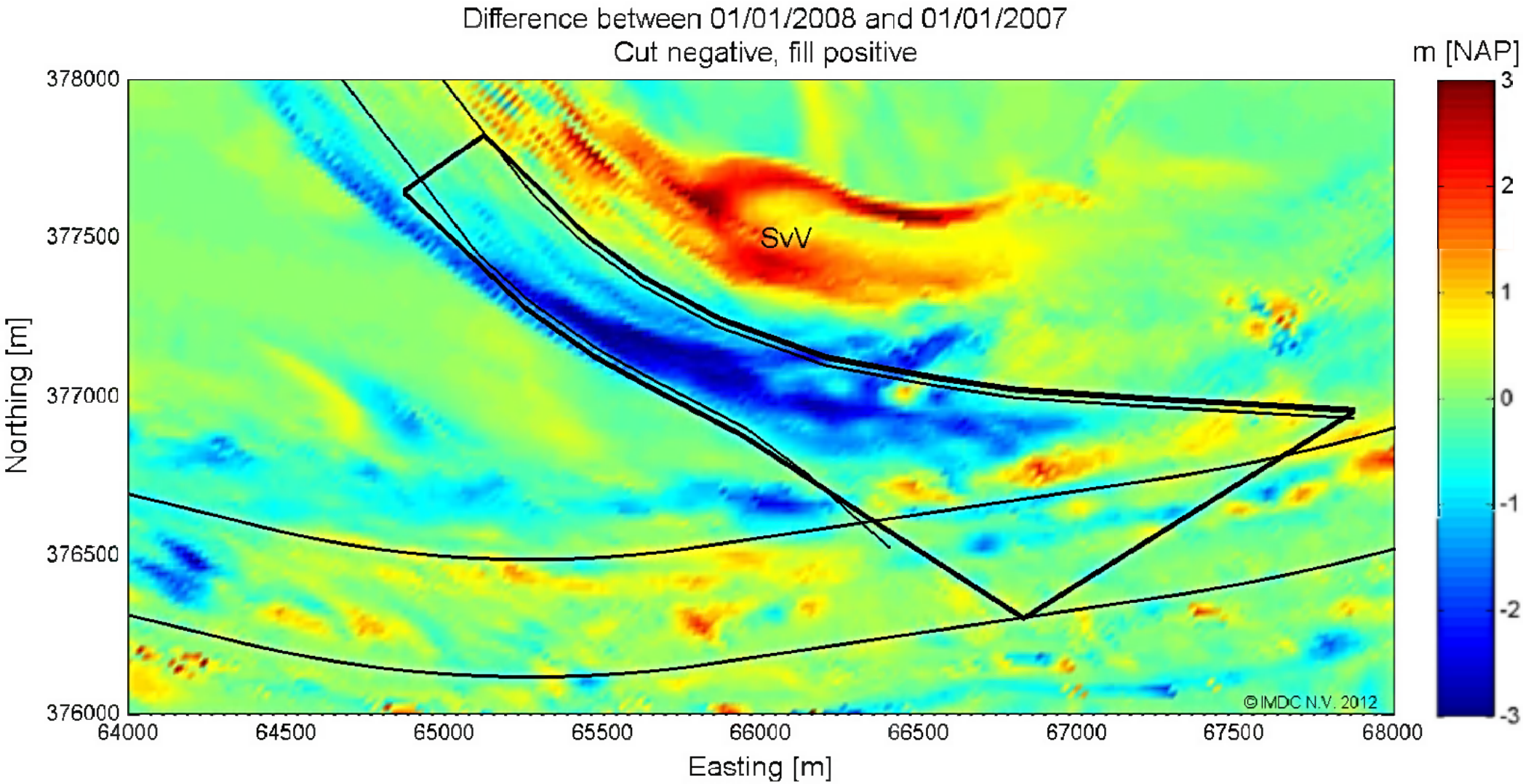
File Bocemdata-jaar-2005
File Bocemdata-jaar-2004



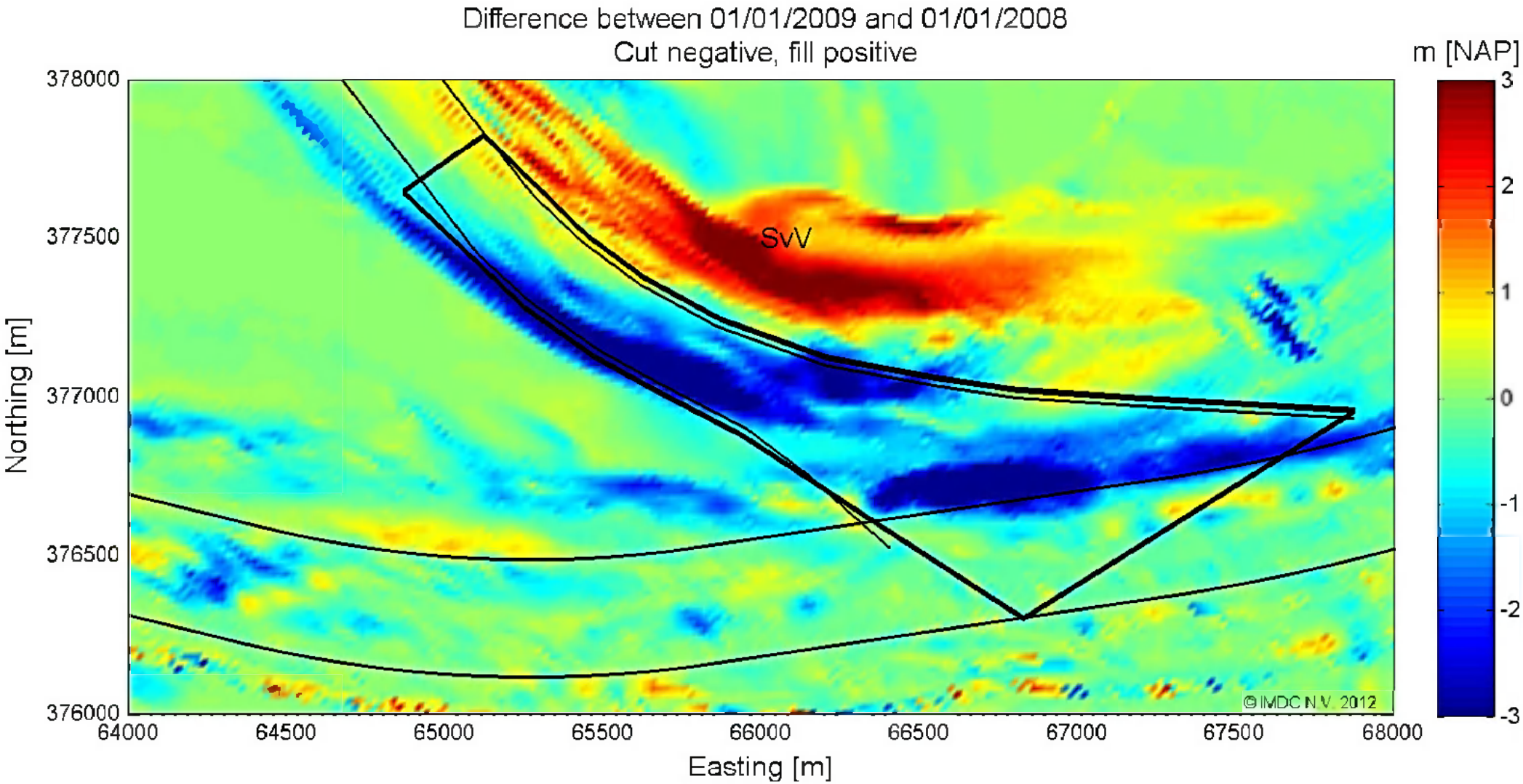
File Bocemdata-jaar-2006
File Bocemdata-jaar-2005



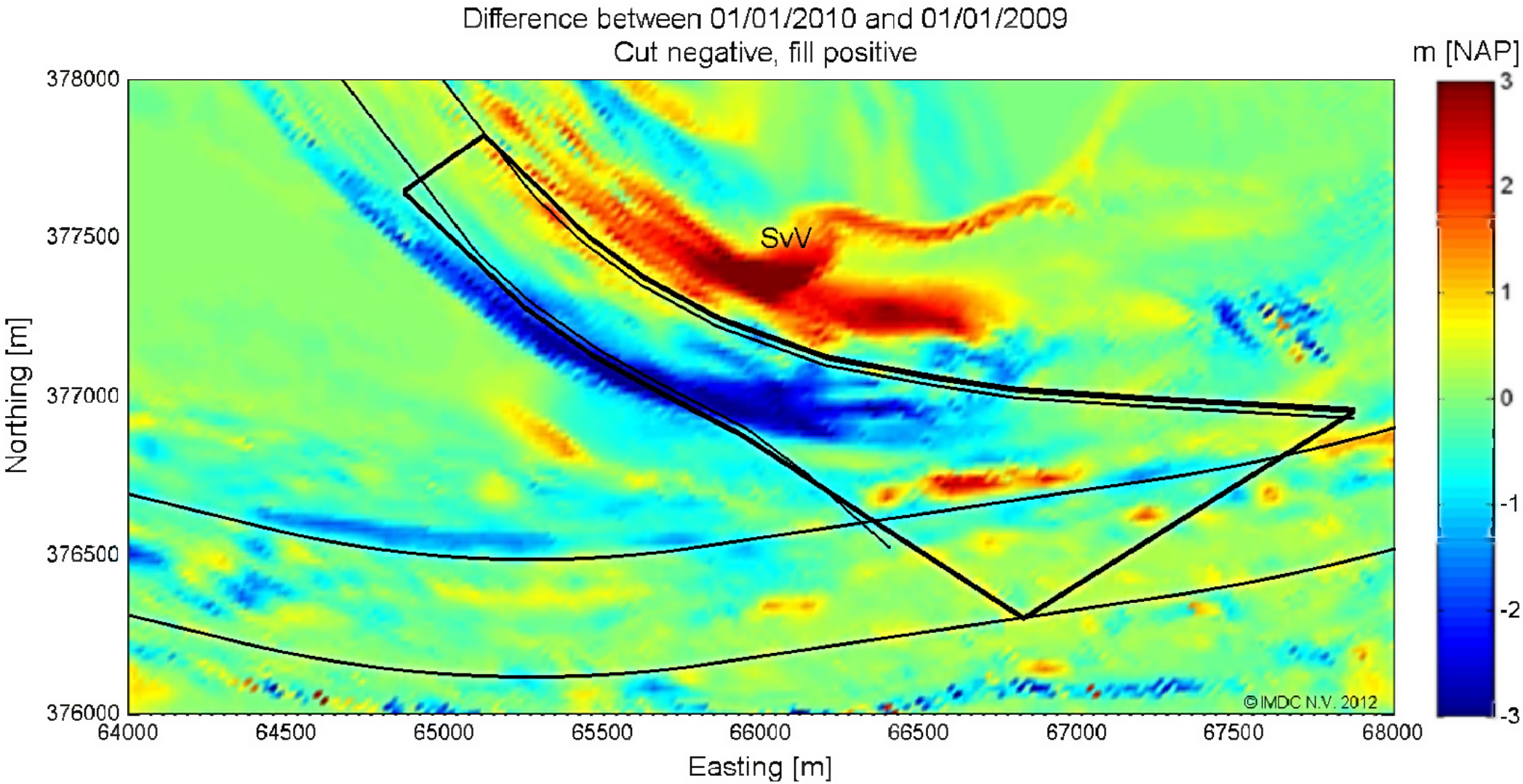
File Bocemdata-jaar-2007
File Bocemdata-jaar-2006



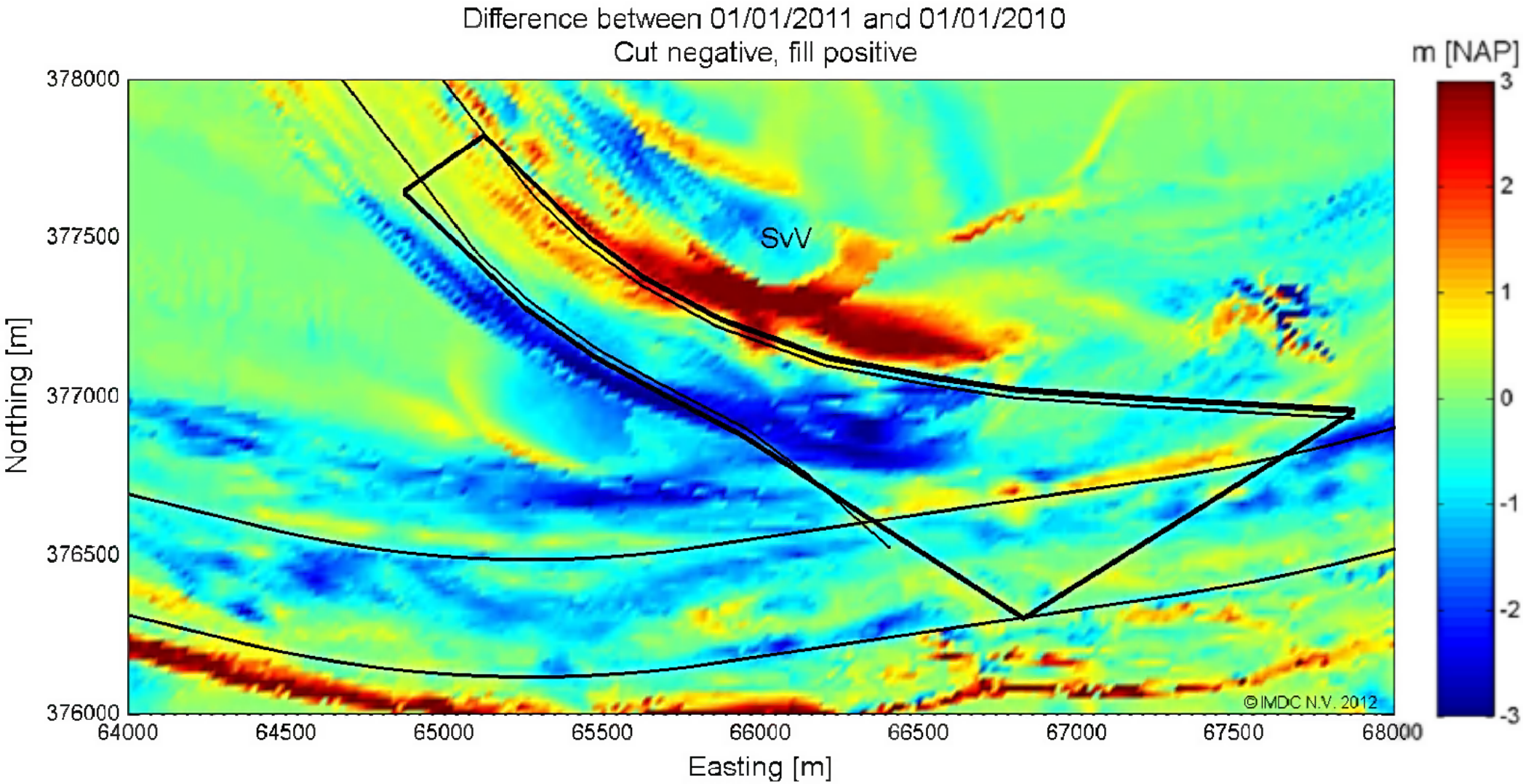
File Bocemdata-jaar-2008
File Bocemdata-jaar-2007



File Bocemdata-jaar-2009
File Bocemdata-jaar-2008

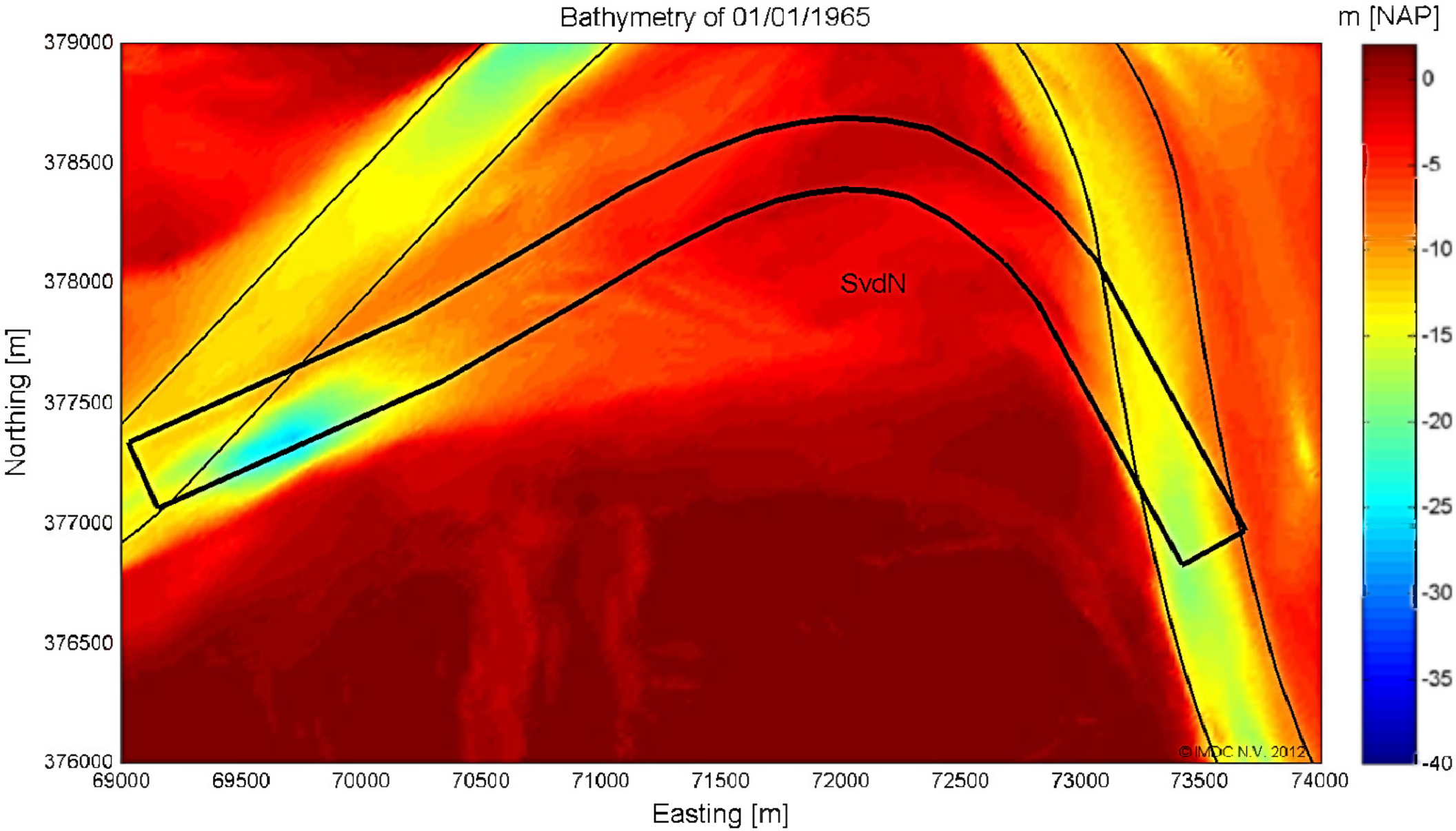


File Bocemdata-jaar-2010
File Bocemdata-jaar-2009

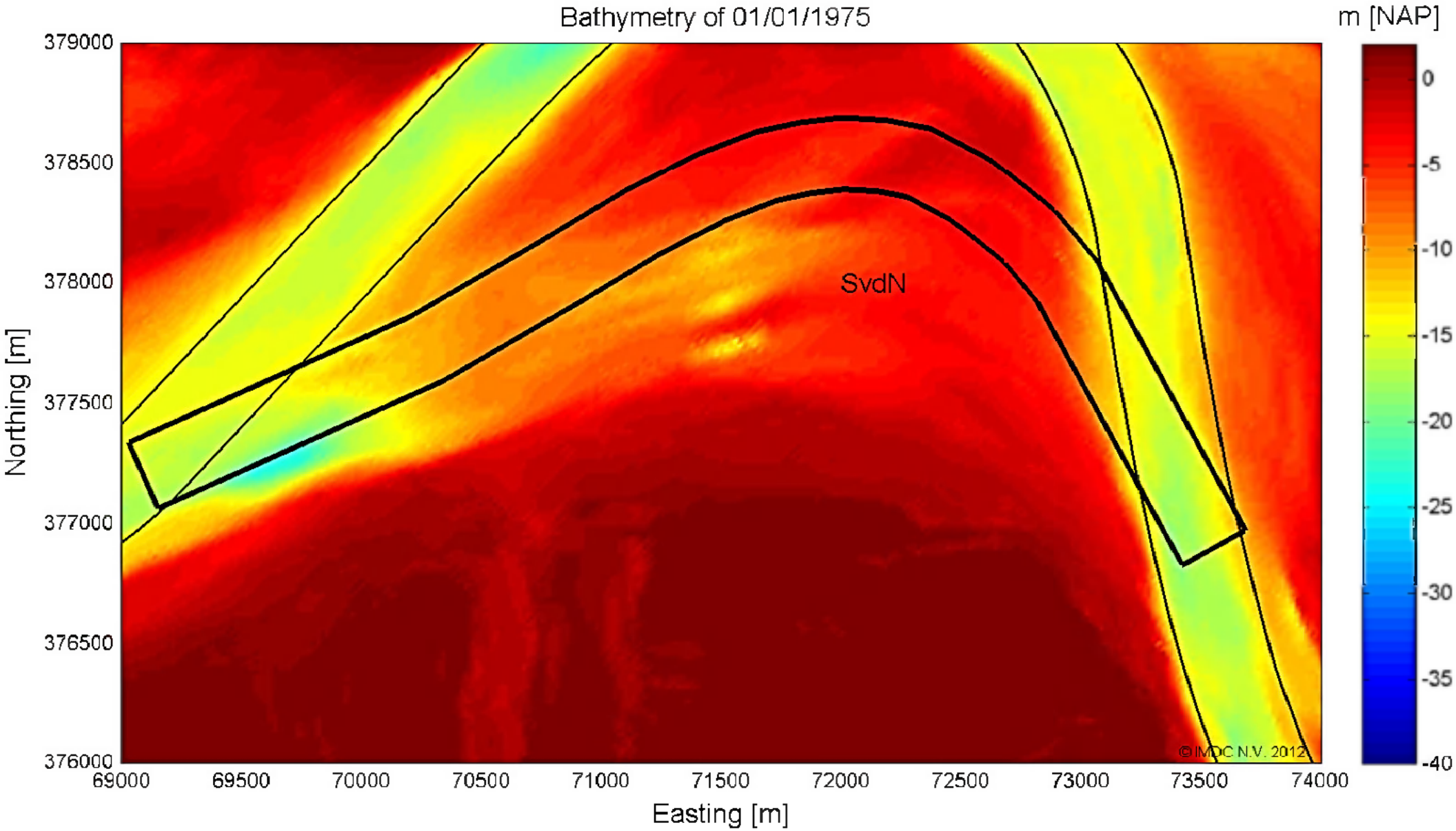


File Bocemdata-jaar-2011
File Bocemdata-jaar-2010

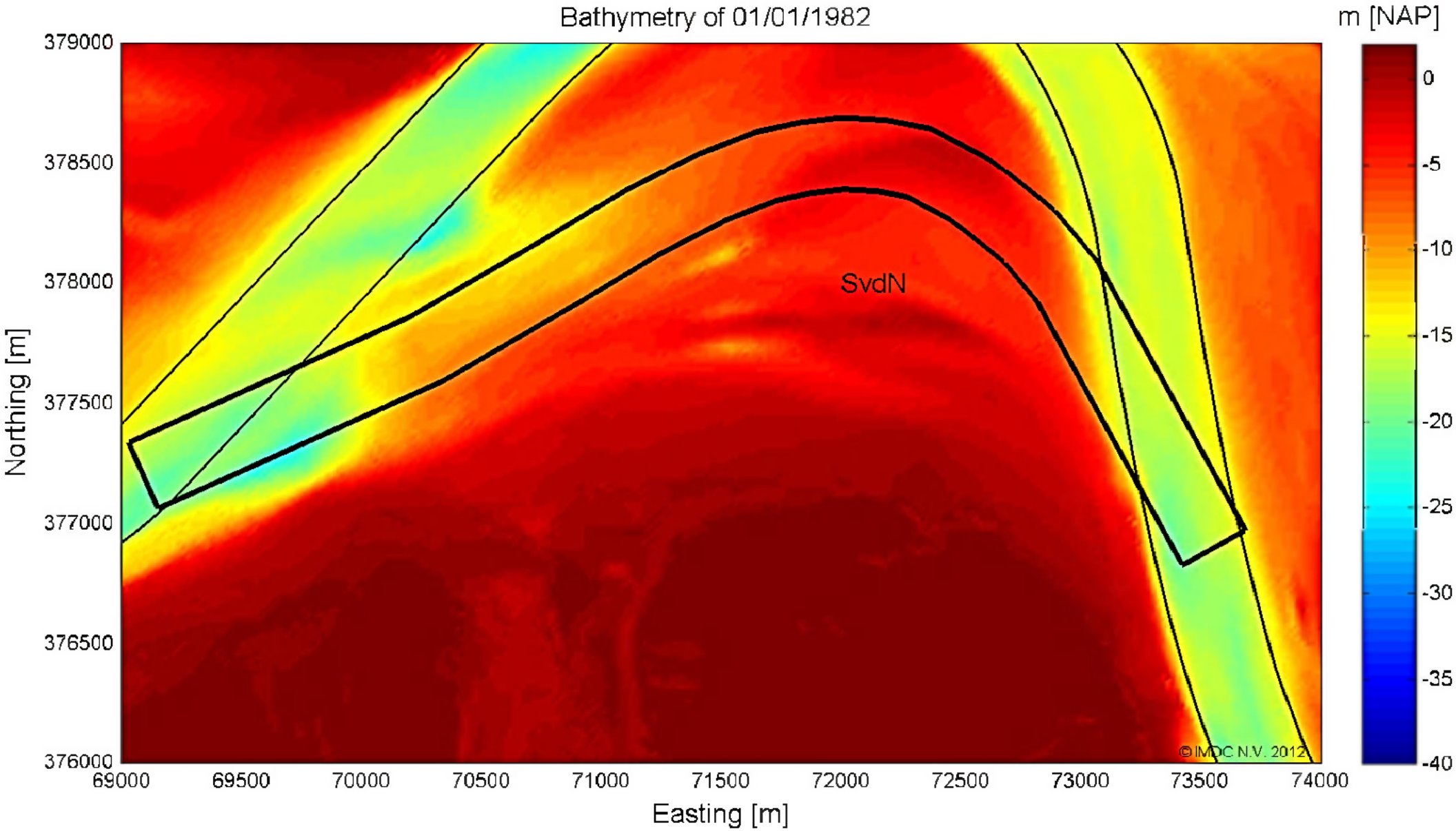
Bijlage E Schaar van de Noord: Bathymetrieën



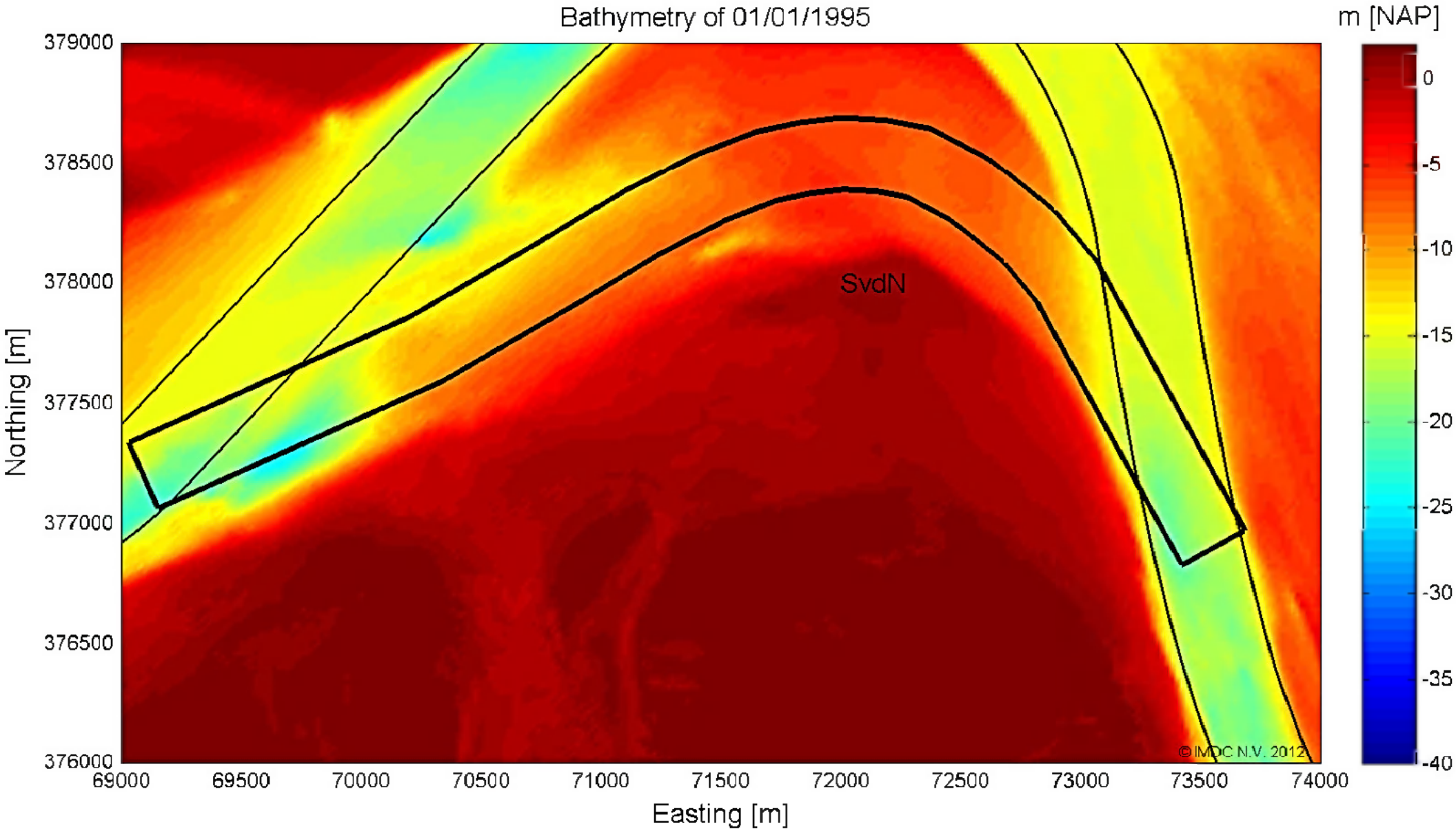
File Bocemdata-jaar-1965



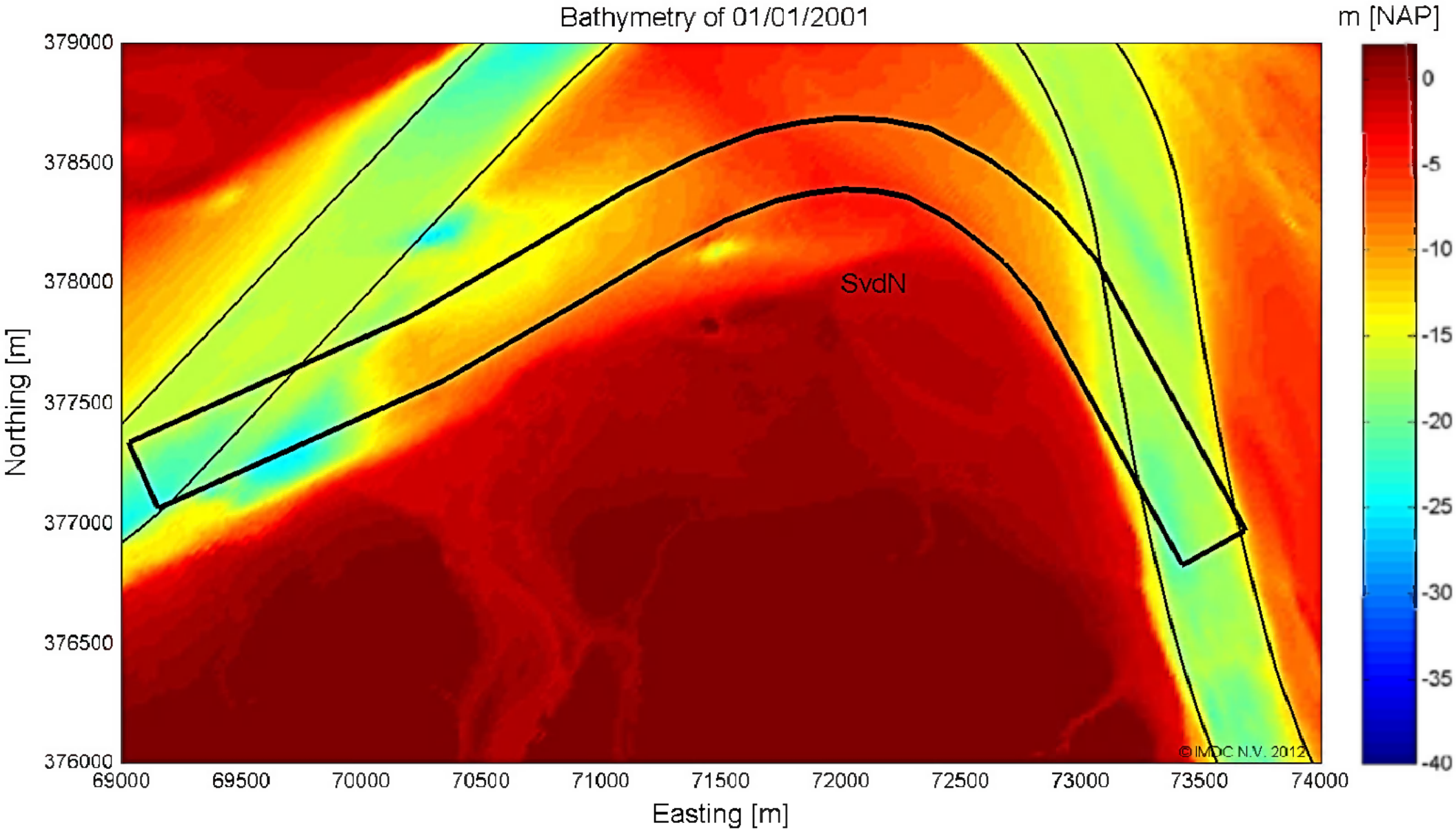
File Bocemdata-jaar-1975



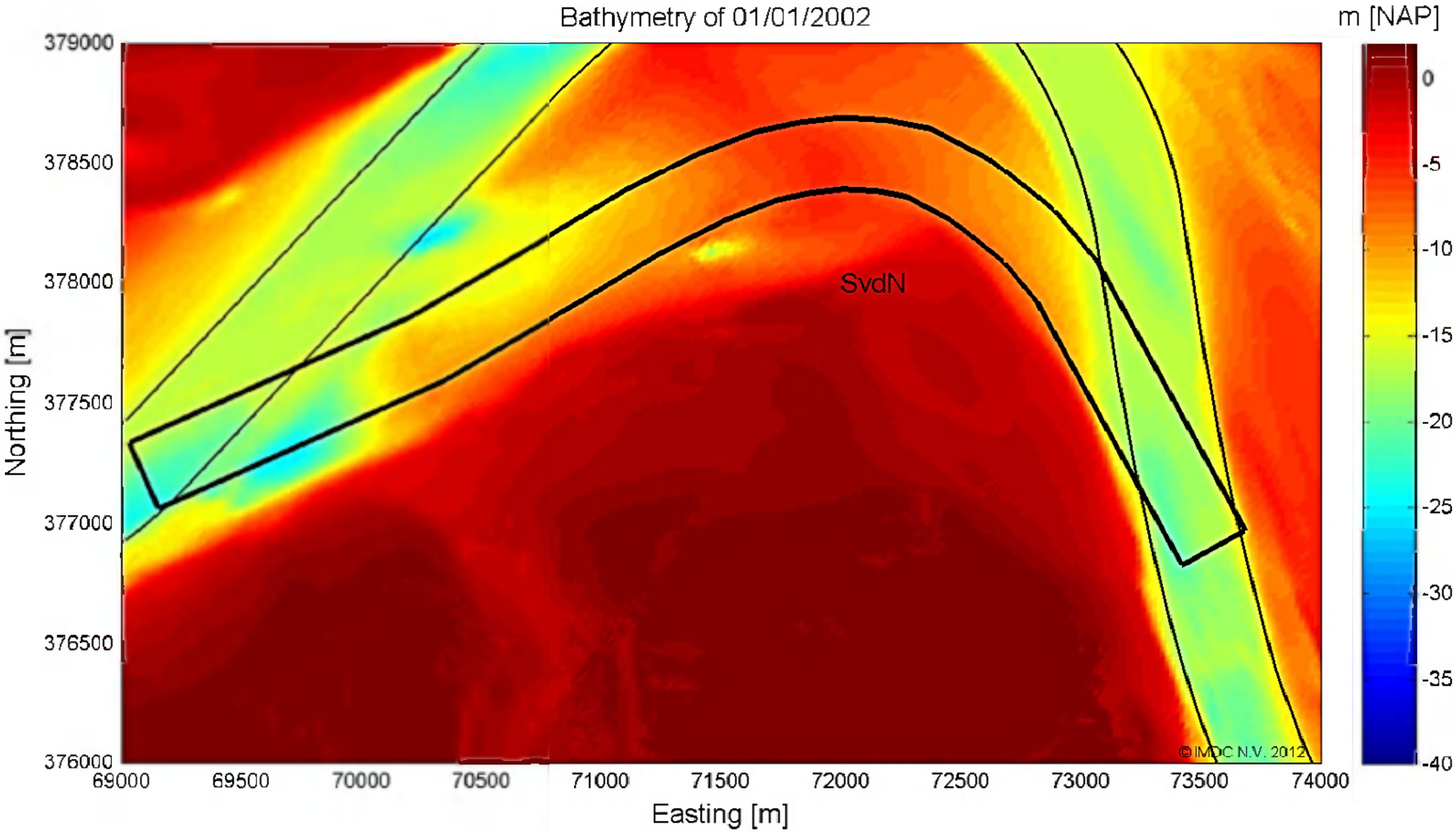
File Bocemdata-jaar-1982



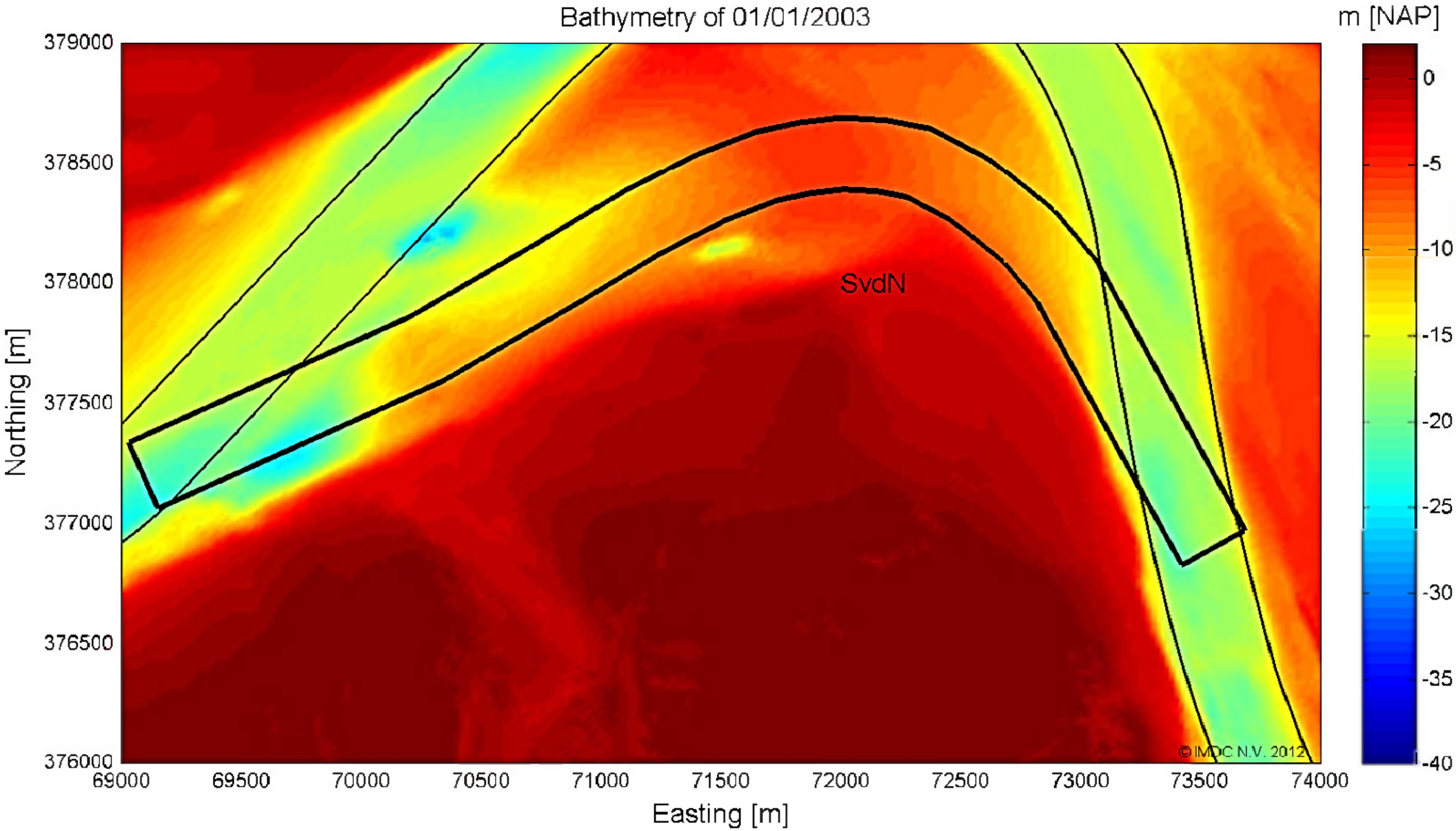
File Bocemdata-jaar-1995



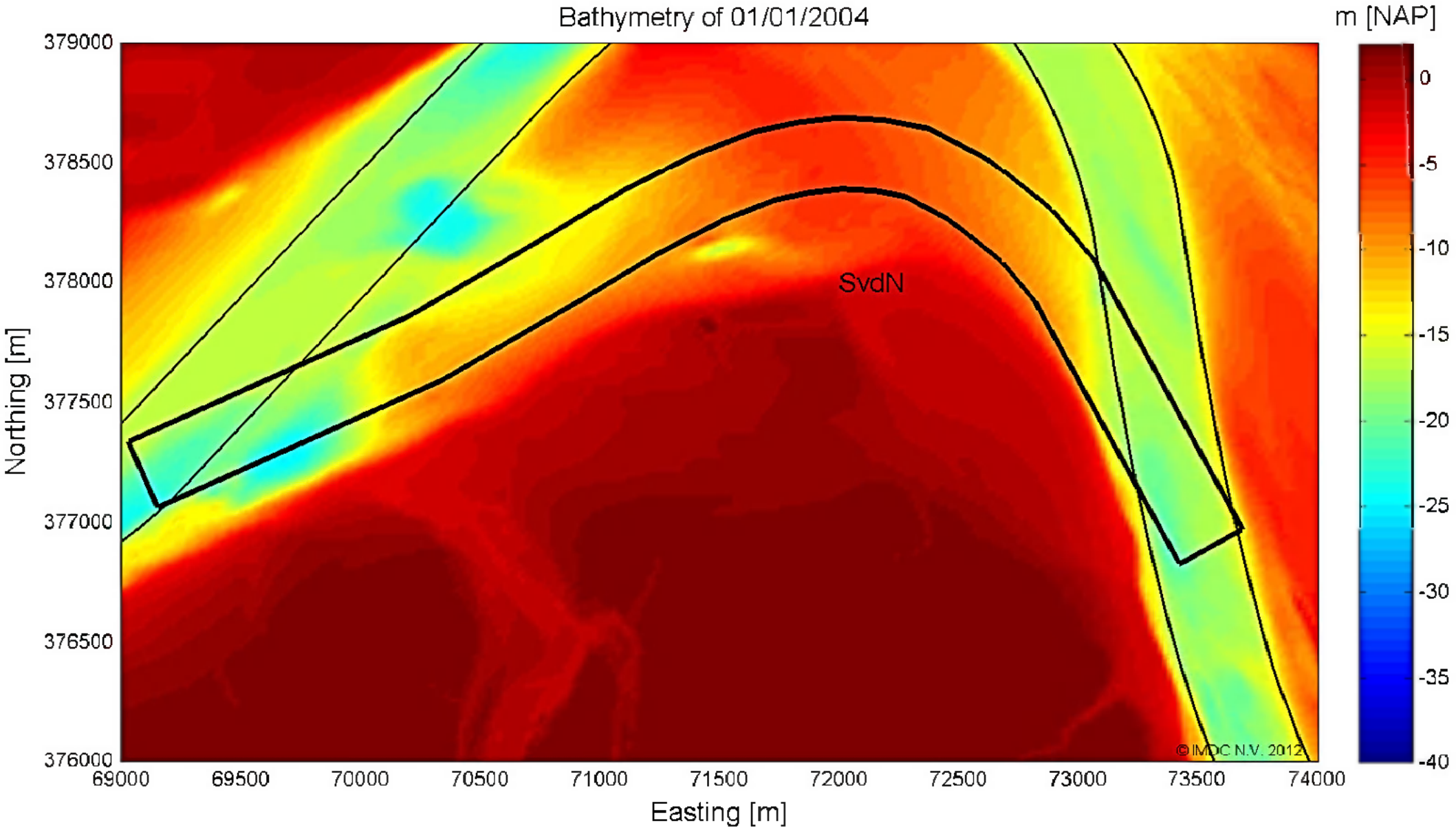
File Bocemdata-jaar-2001



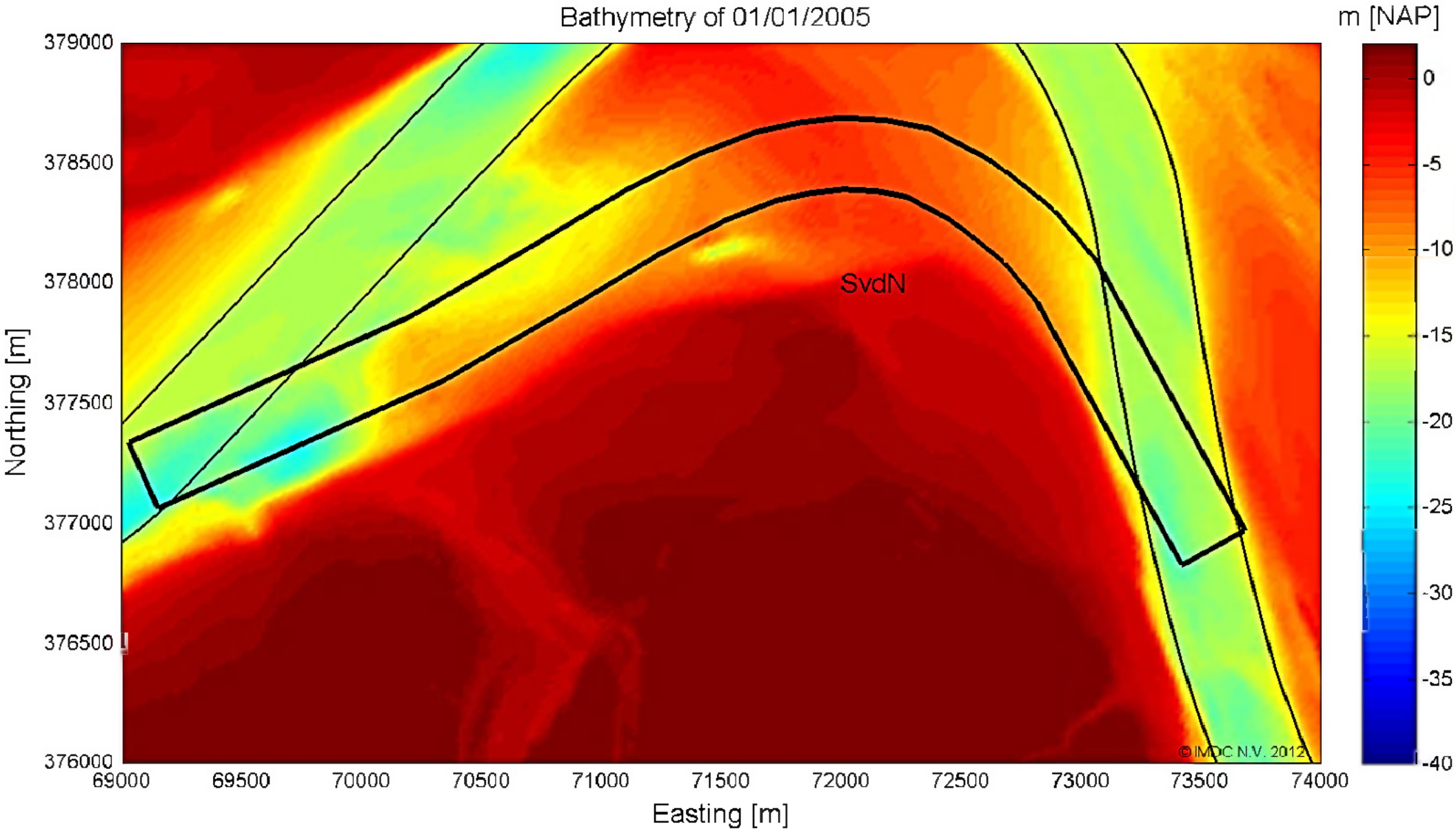
File: Bodemdata-jaar-2002



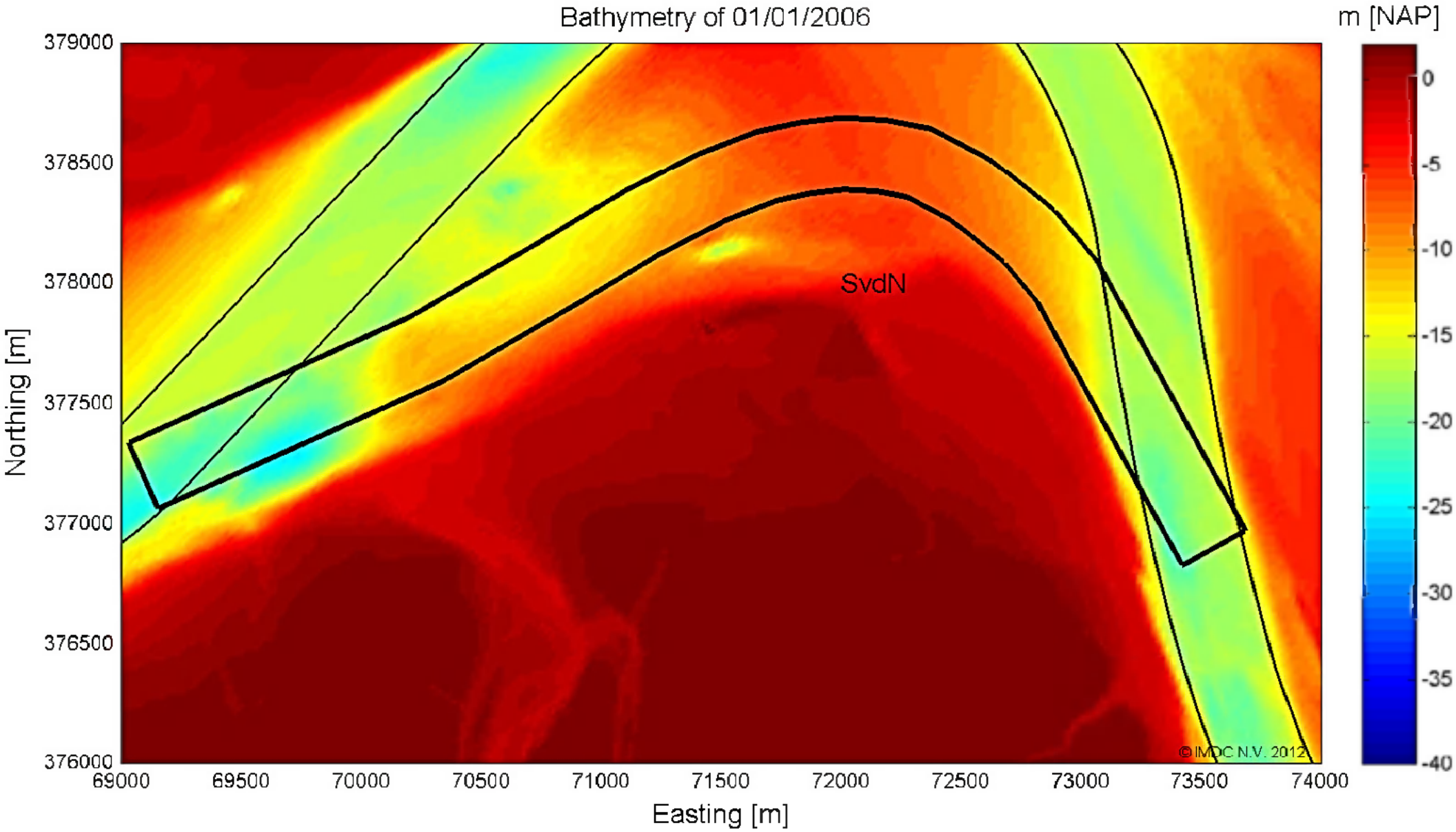
File Bocemdata-jaar-2003



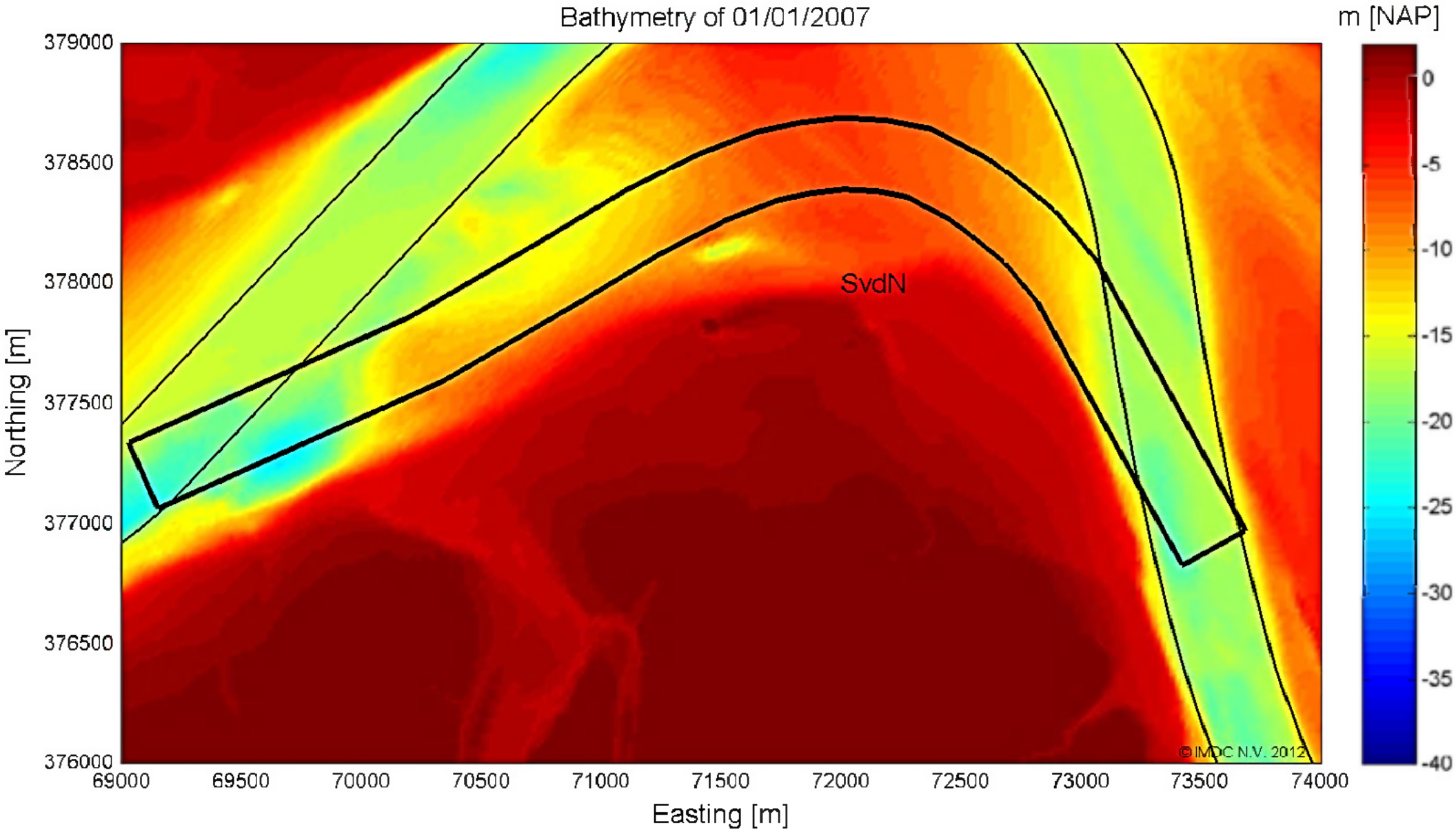
File Bocemdata-jaar-2004



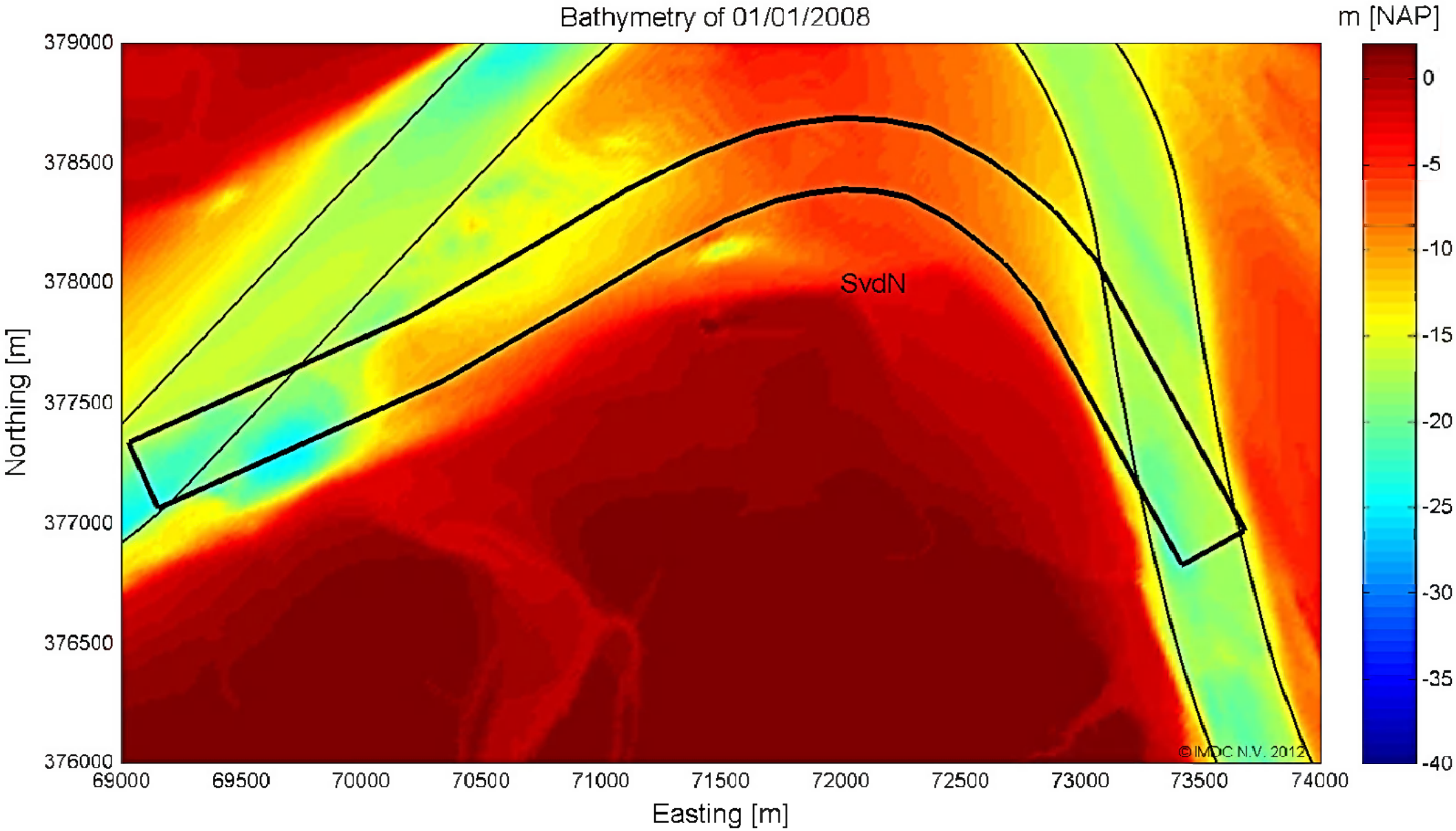
File Bocemdata-jaar-2005



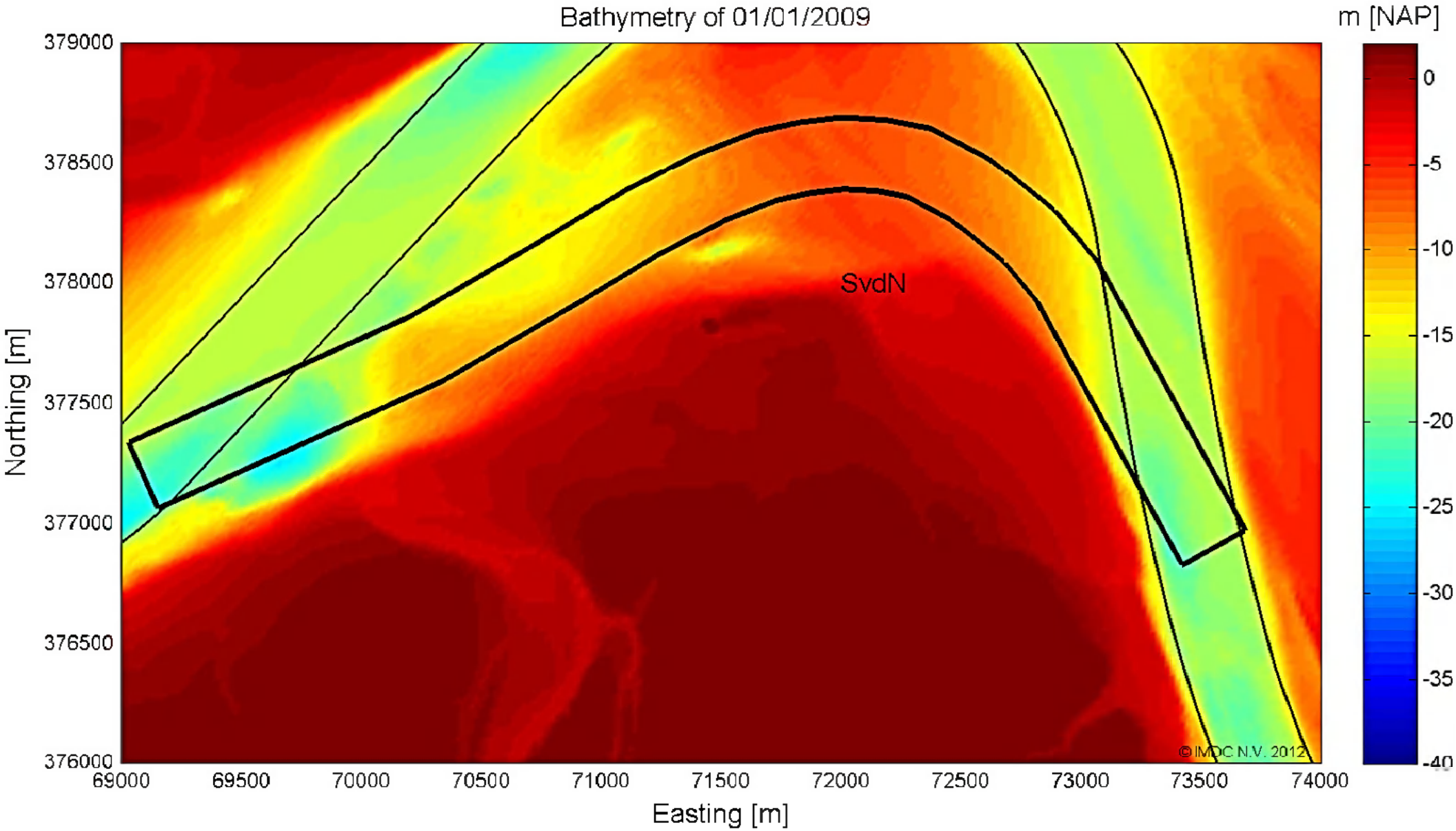
File Bocemdata-jaar-2006



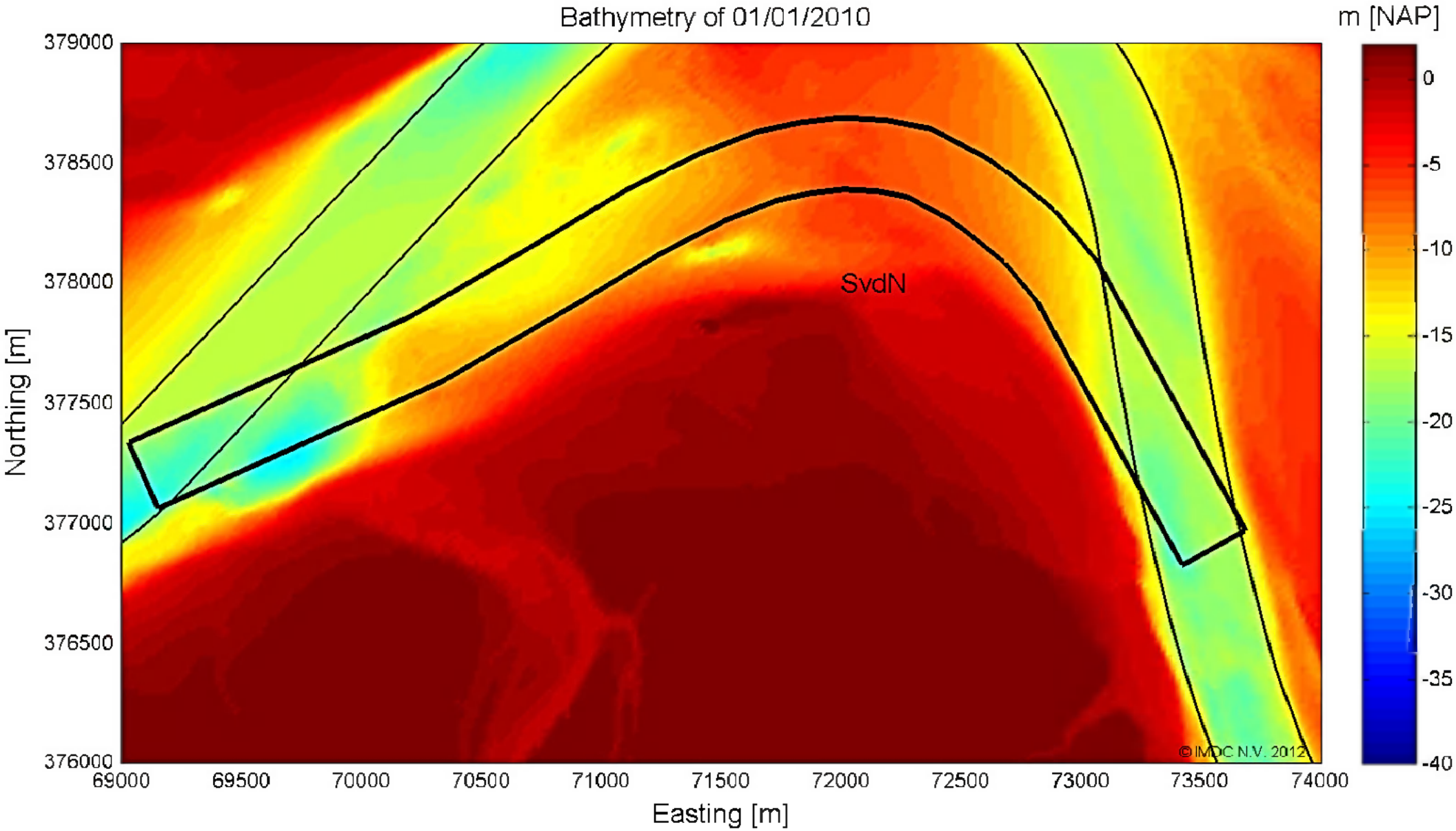
File Bocemdata-jaar-2007



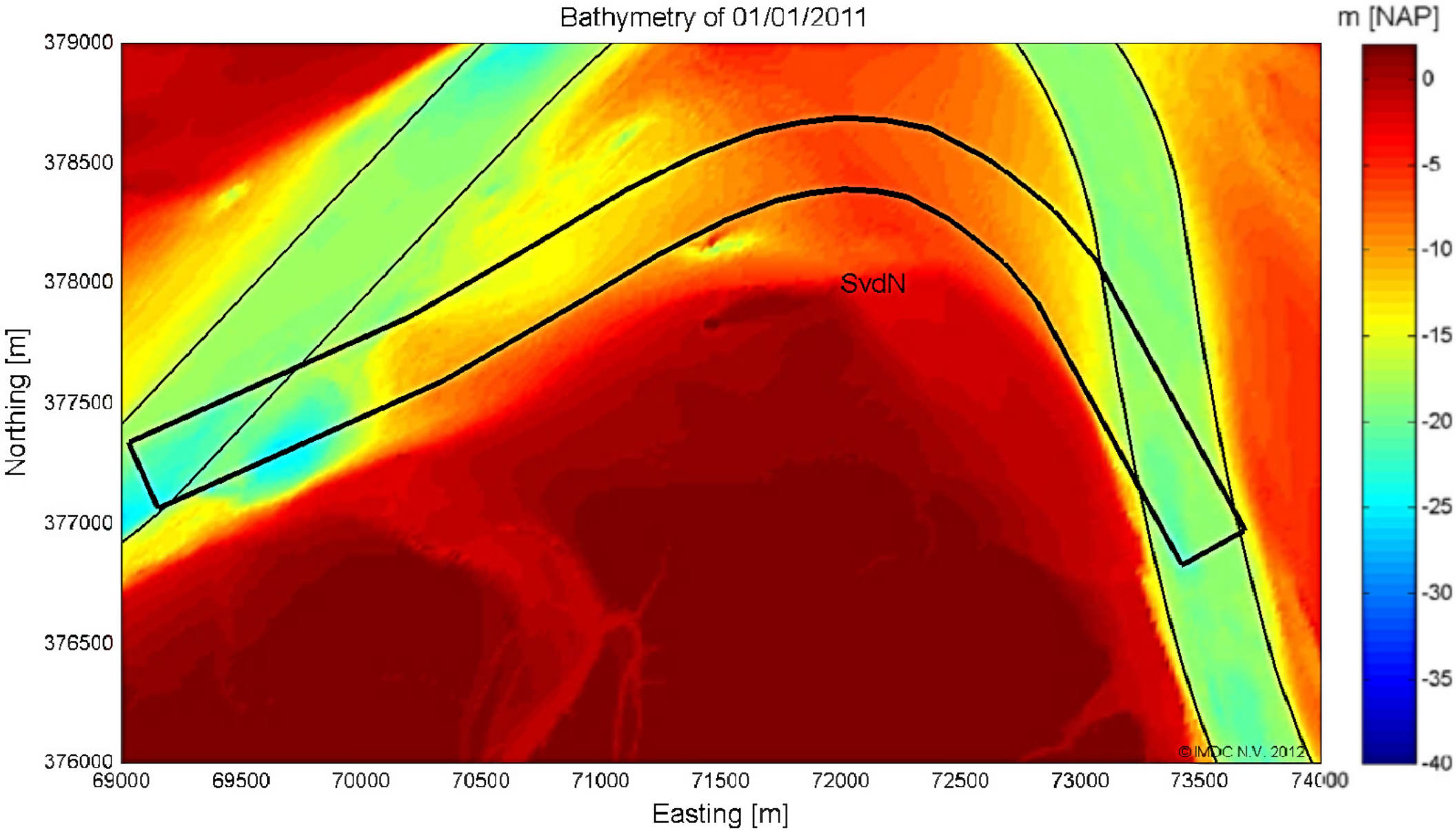
File Bocemdata-jaar-2008



File Bocemdata-jaar-2009

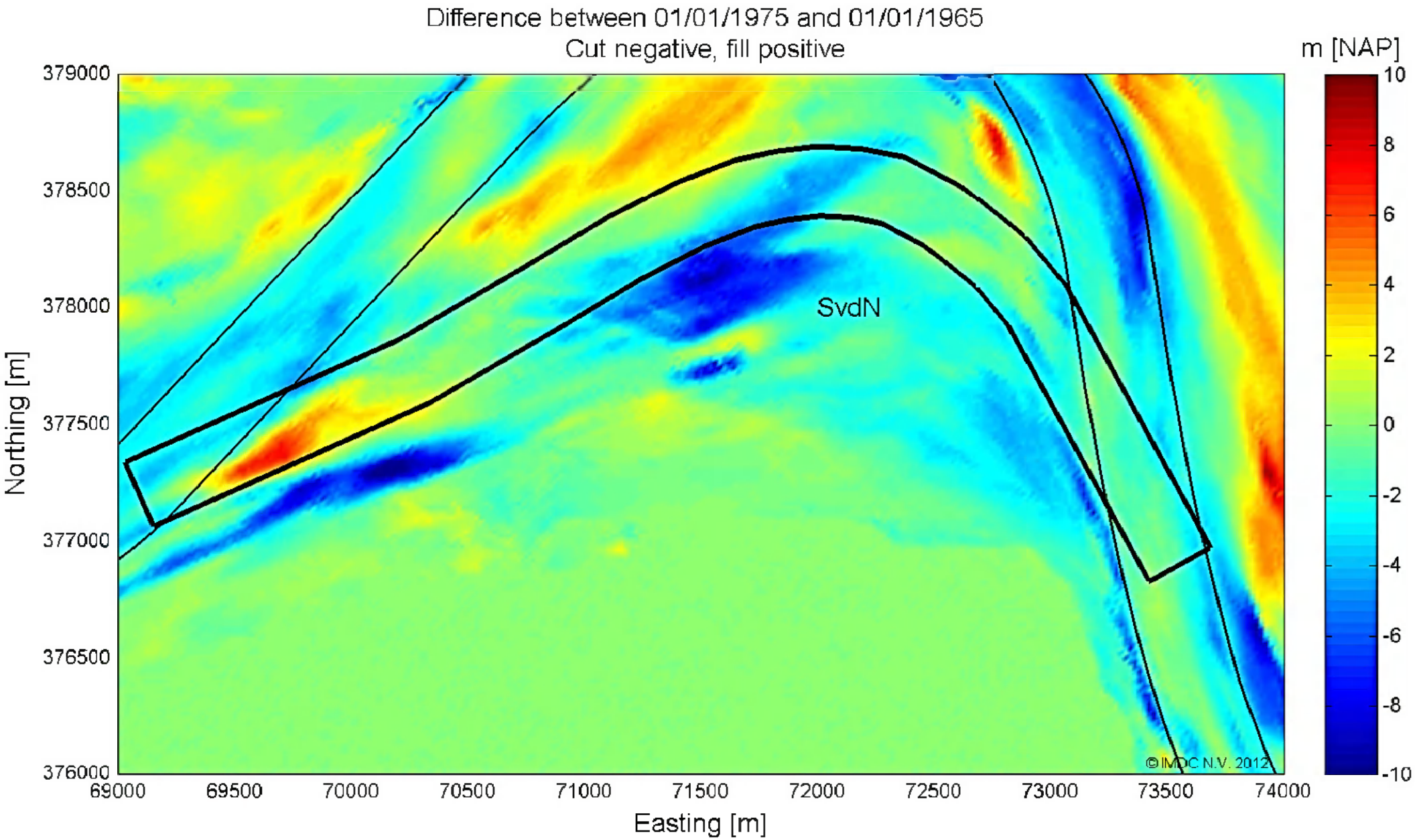


File Bocemdata-jaar-2010

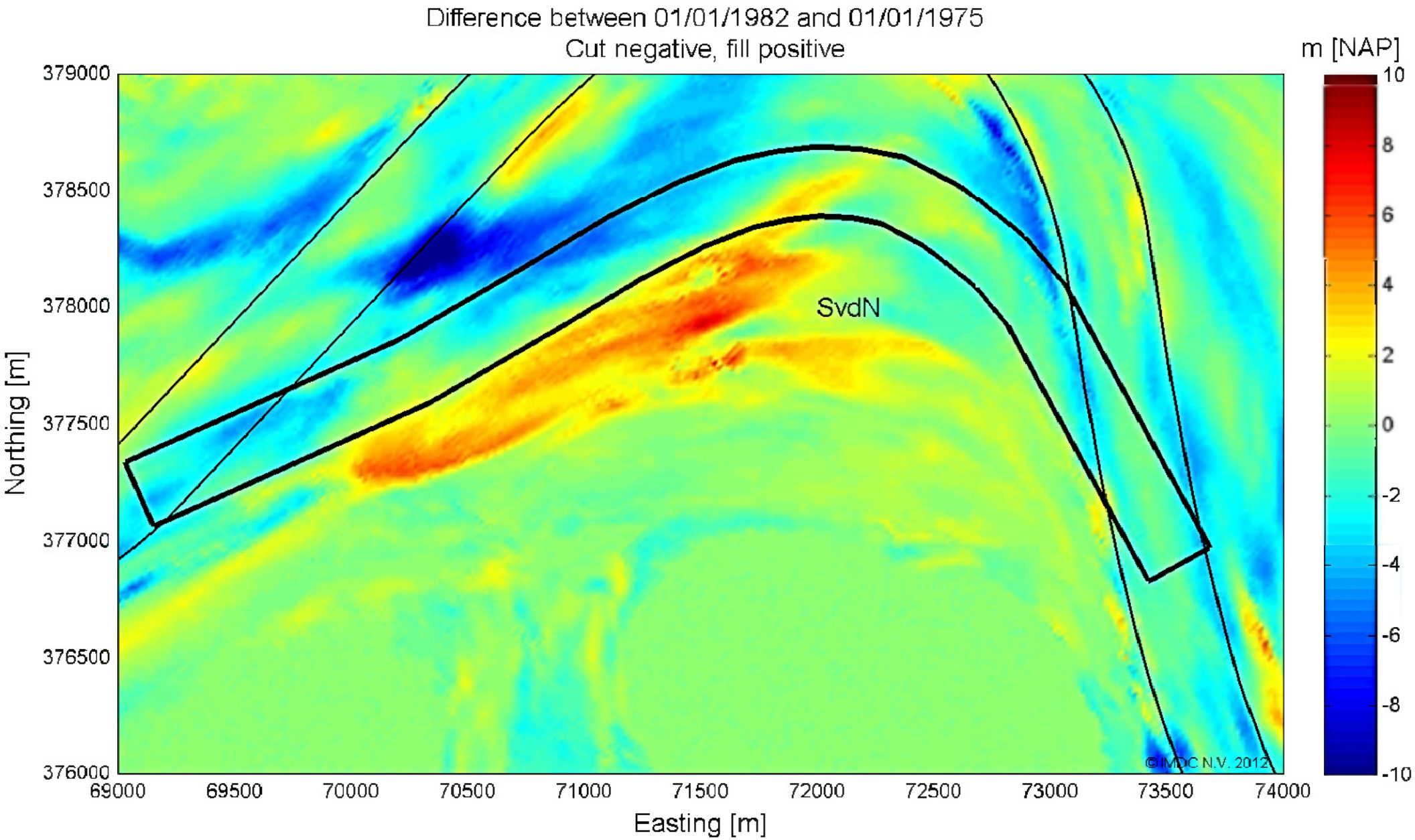


File Bocemdata-jaar-2011

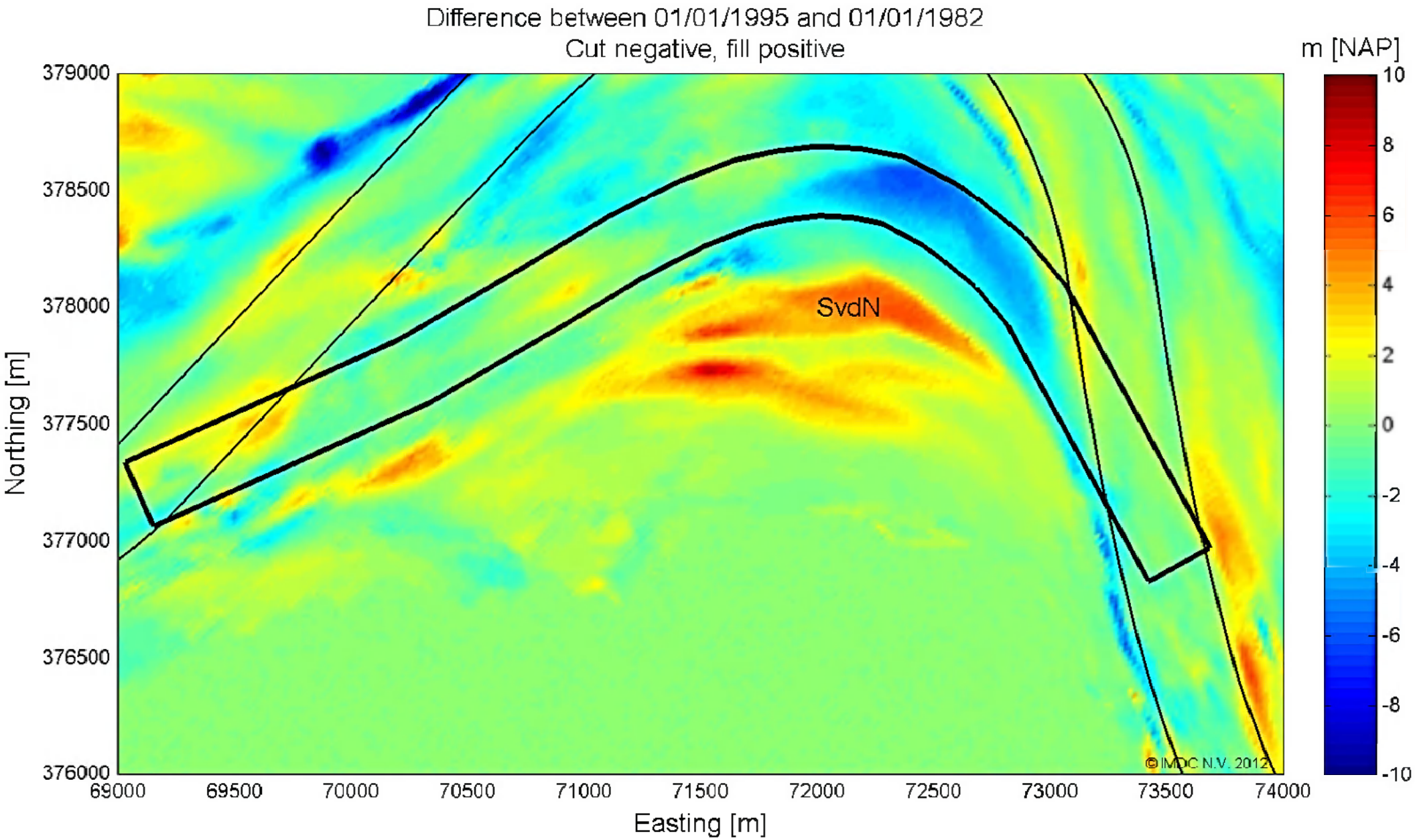
Bijlage F Schaar van de Noord: verschilkaarten



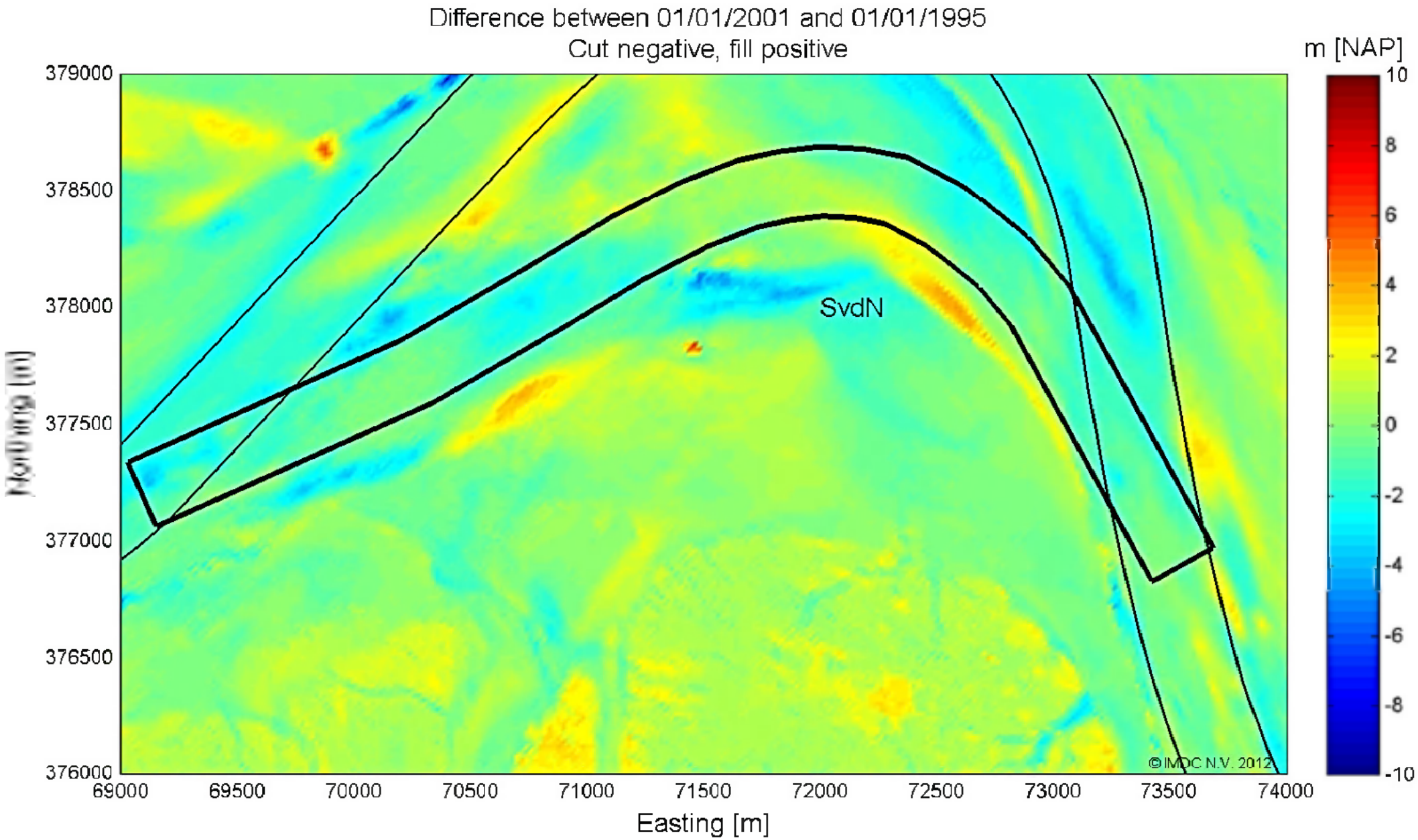
File Bocemdata-jaar-1975
File Bocemdata-jaar-1965



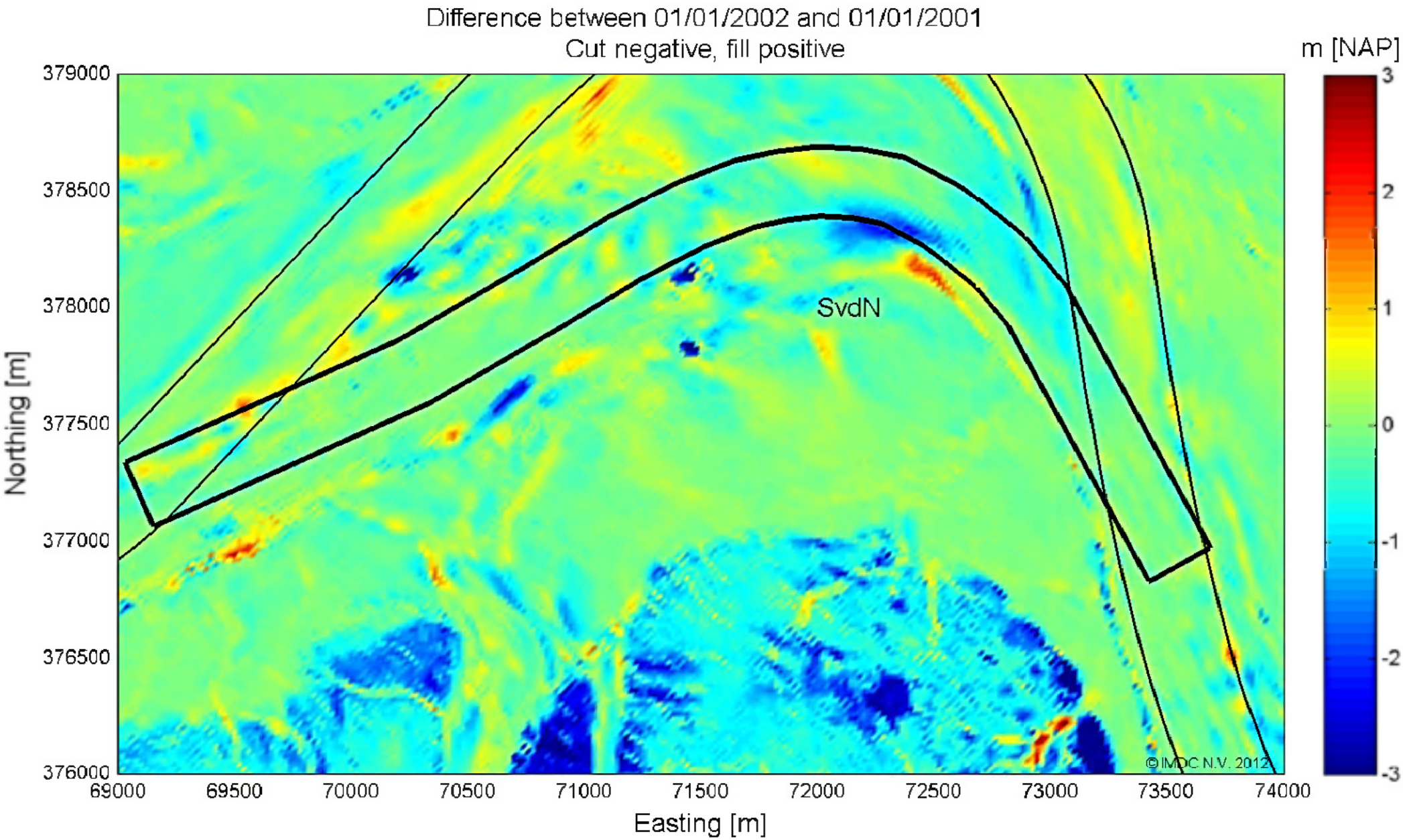
File Bocemdata-jaar-1982
File Bocemdata-jaar-1975



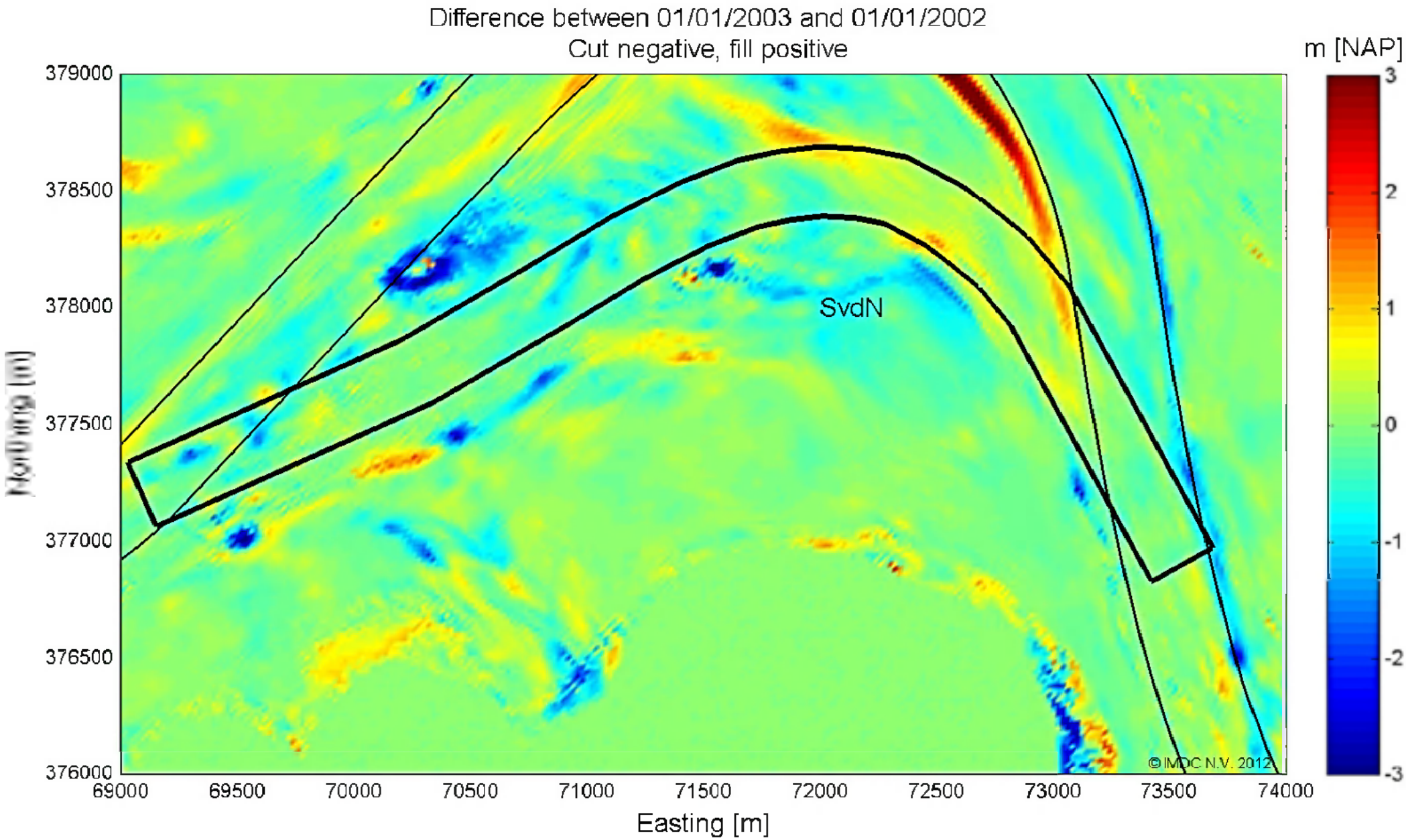
File Bocemdata-jaar-1995
File Bocemdata jaar-1982



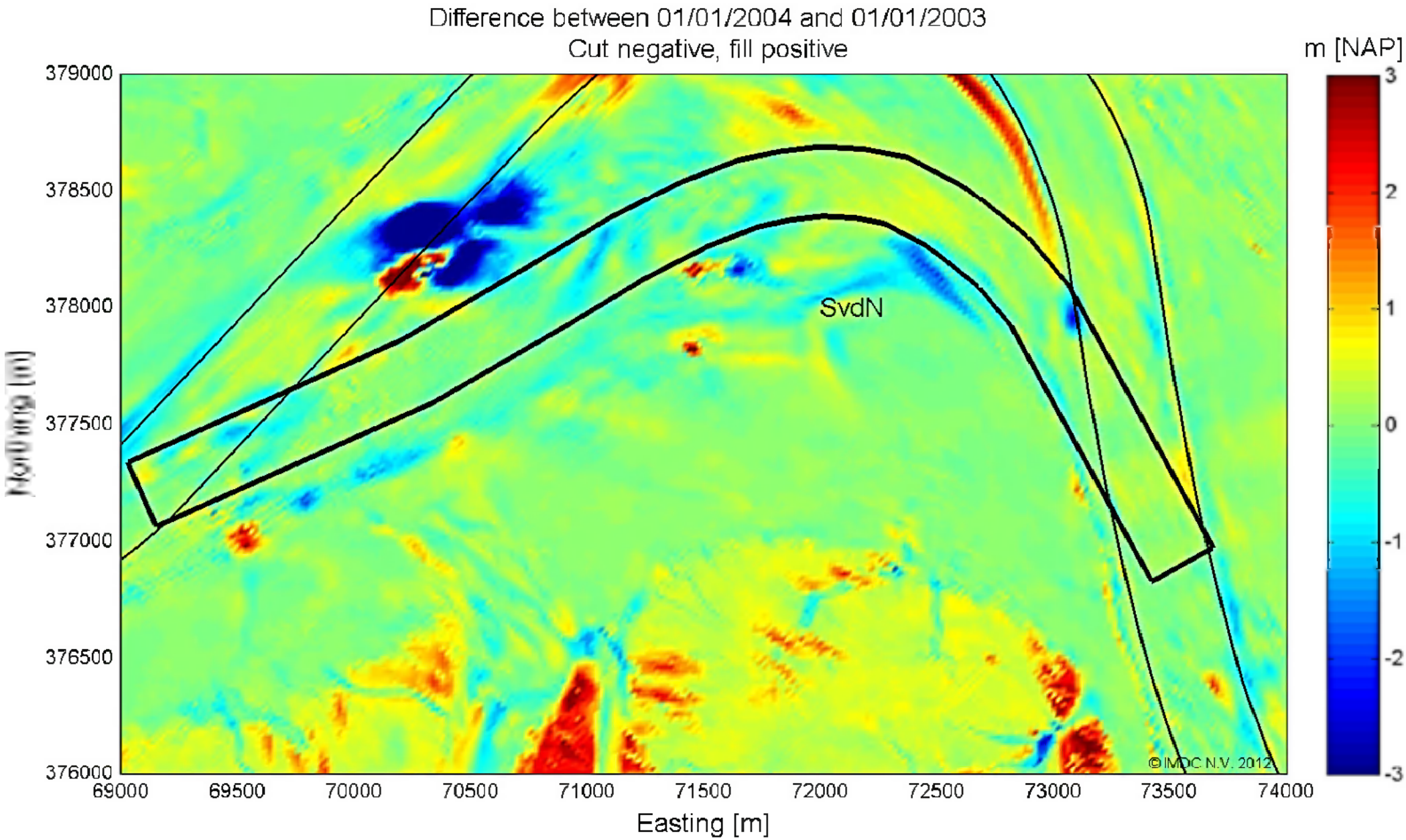
File Bocemdata-jaar-2001
File Bocemdata-jaar-1995



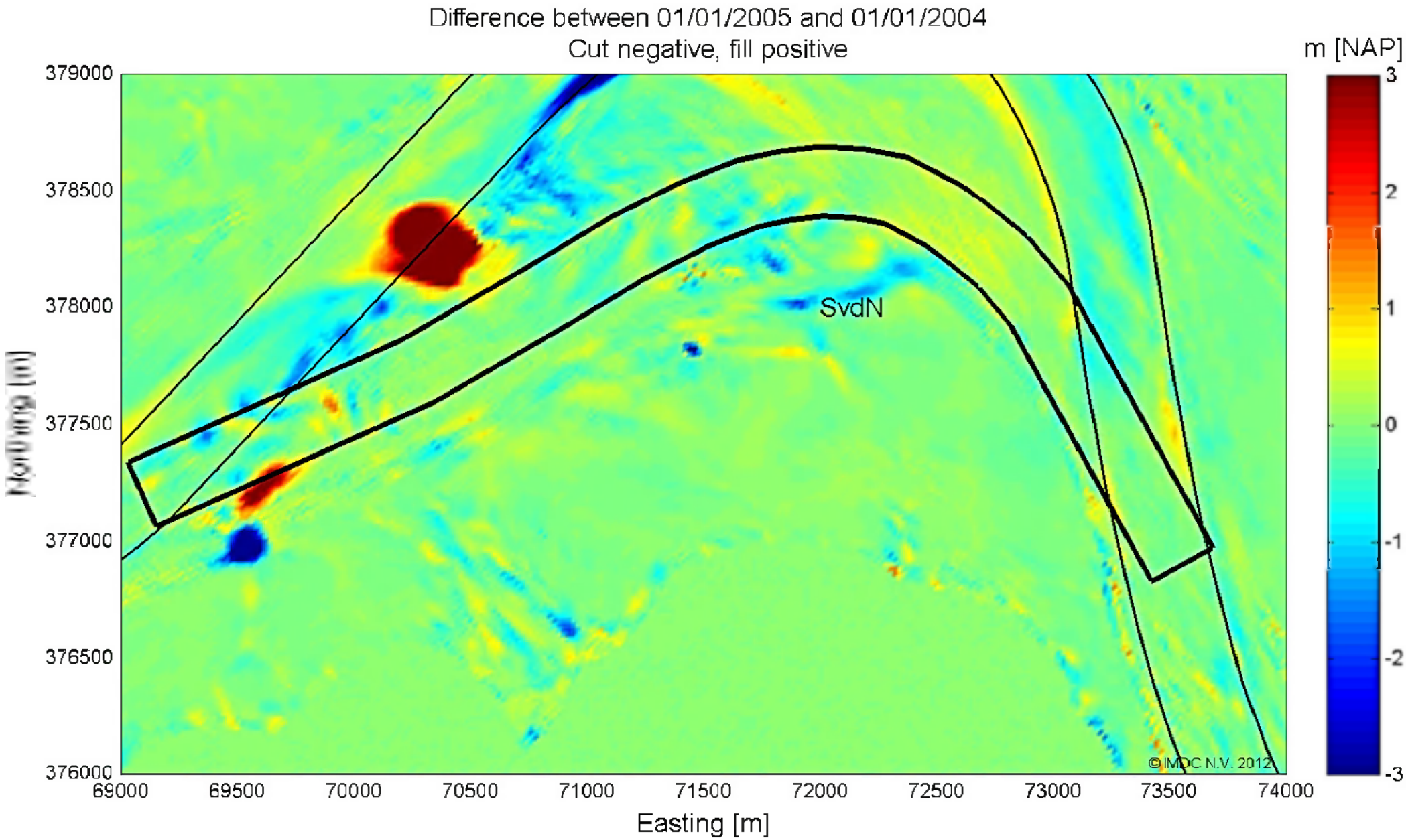
File Bocemdata-jaar-2002
File Bocemdata jaar-2001



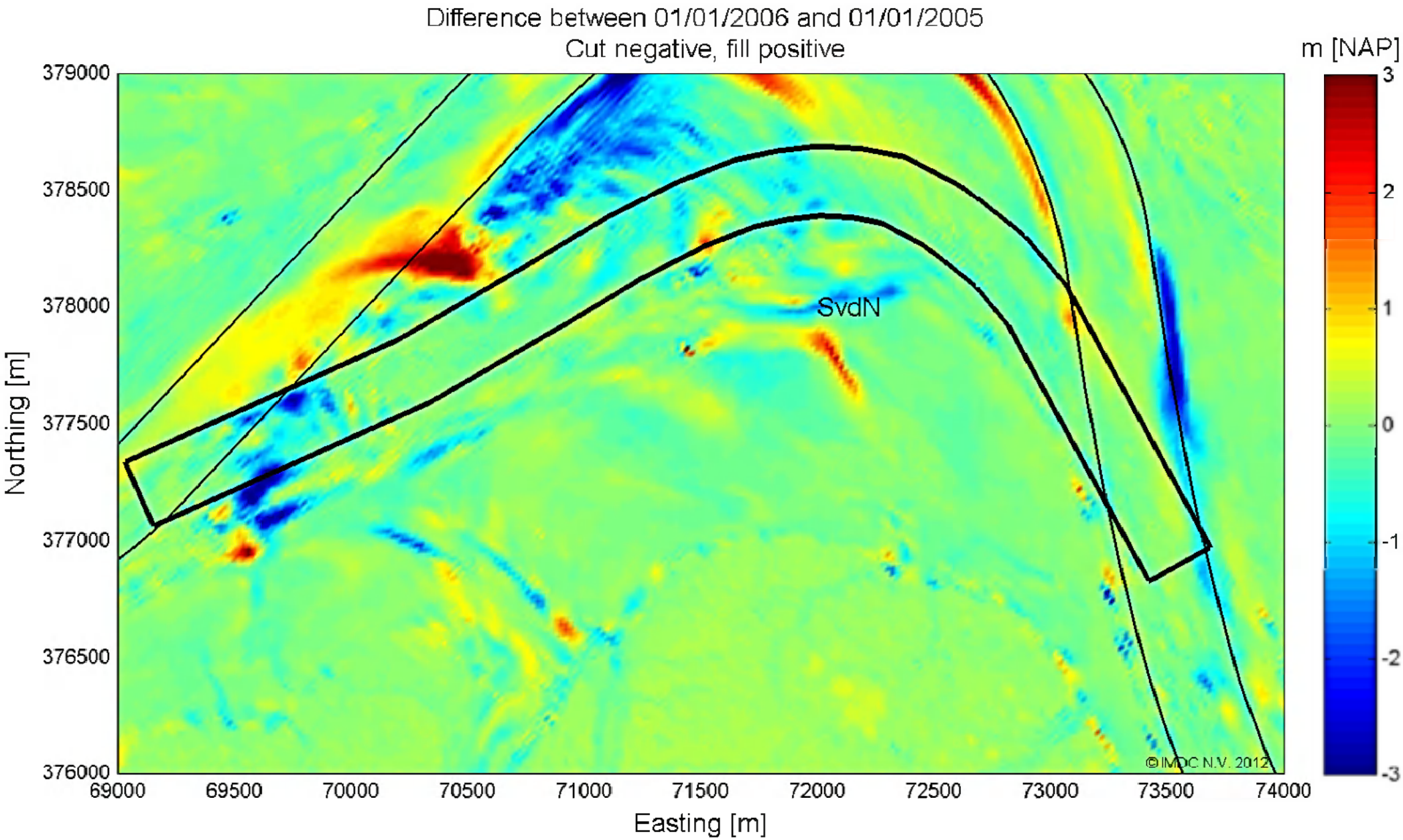
File Bocemdata-jaar-2003
File Bocemdata-jaar-2002



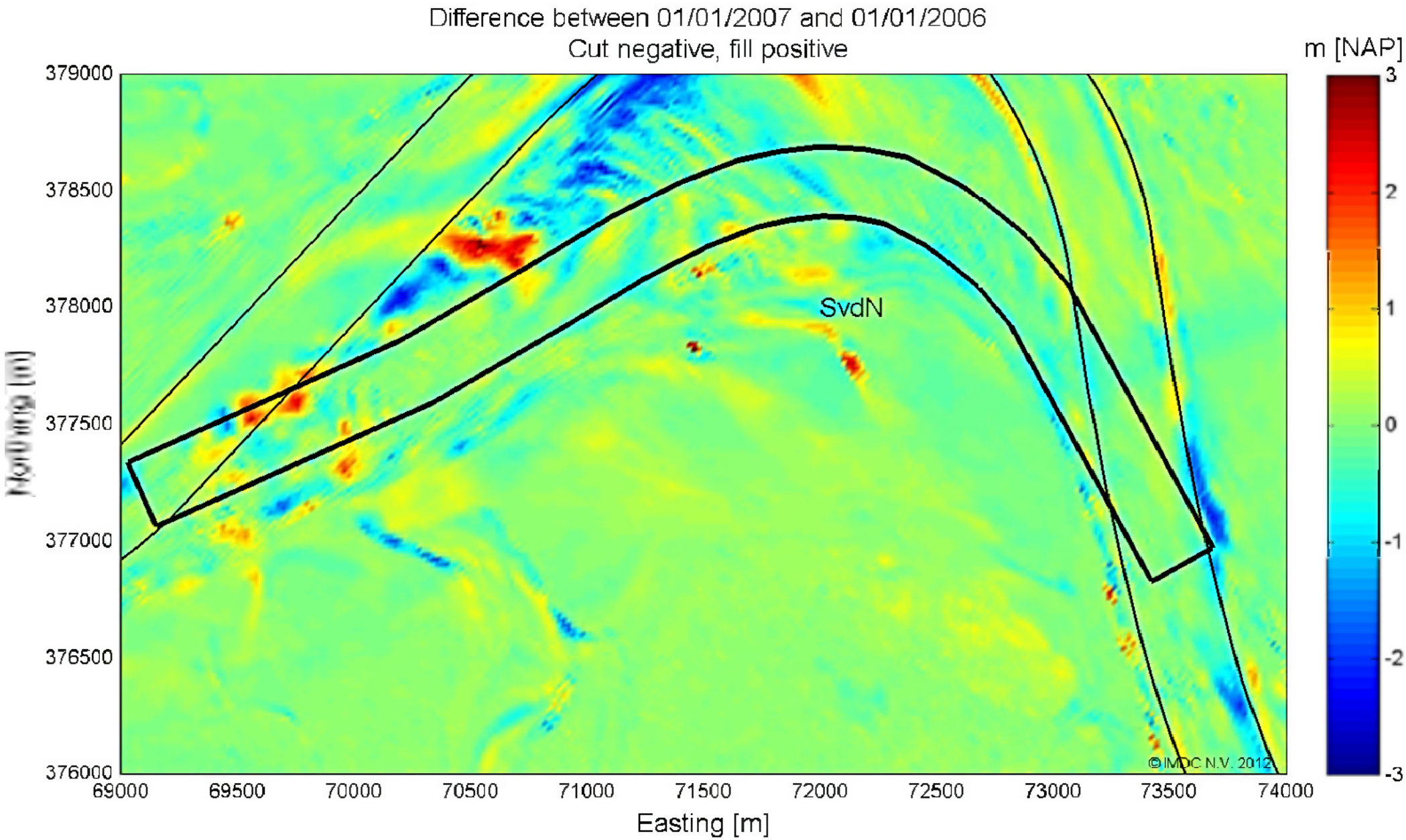
File Bocemdata-jaar-2004
File Bocemdata jaar-2003



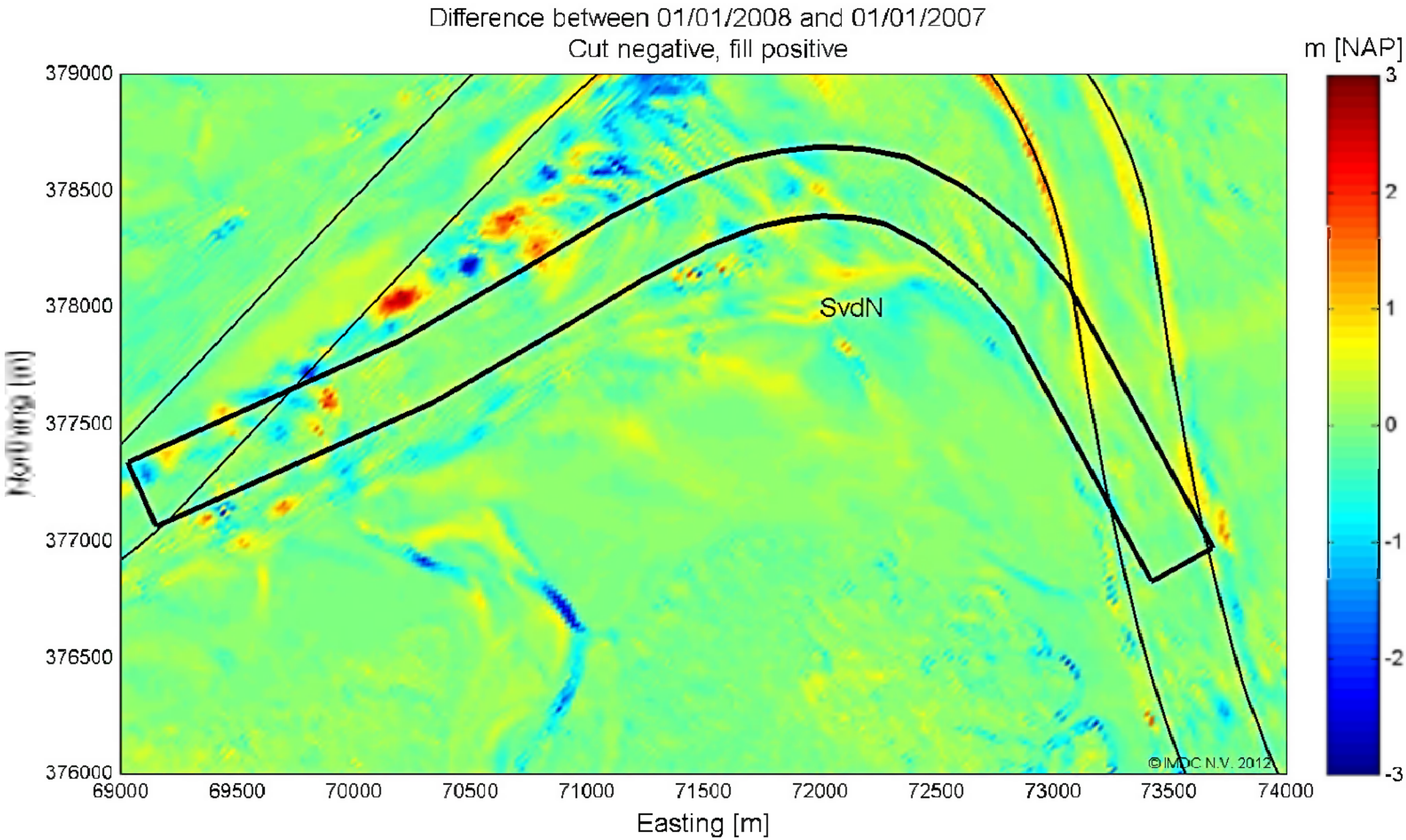
File Bocemdata-jaar-2005
File Bocemdata-jaar-2004



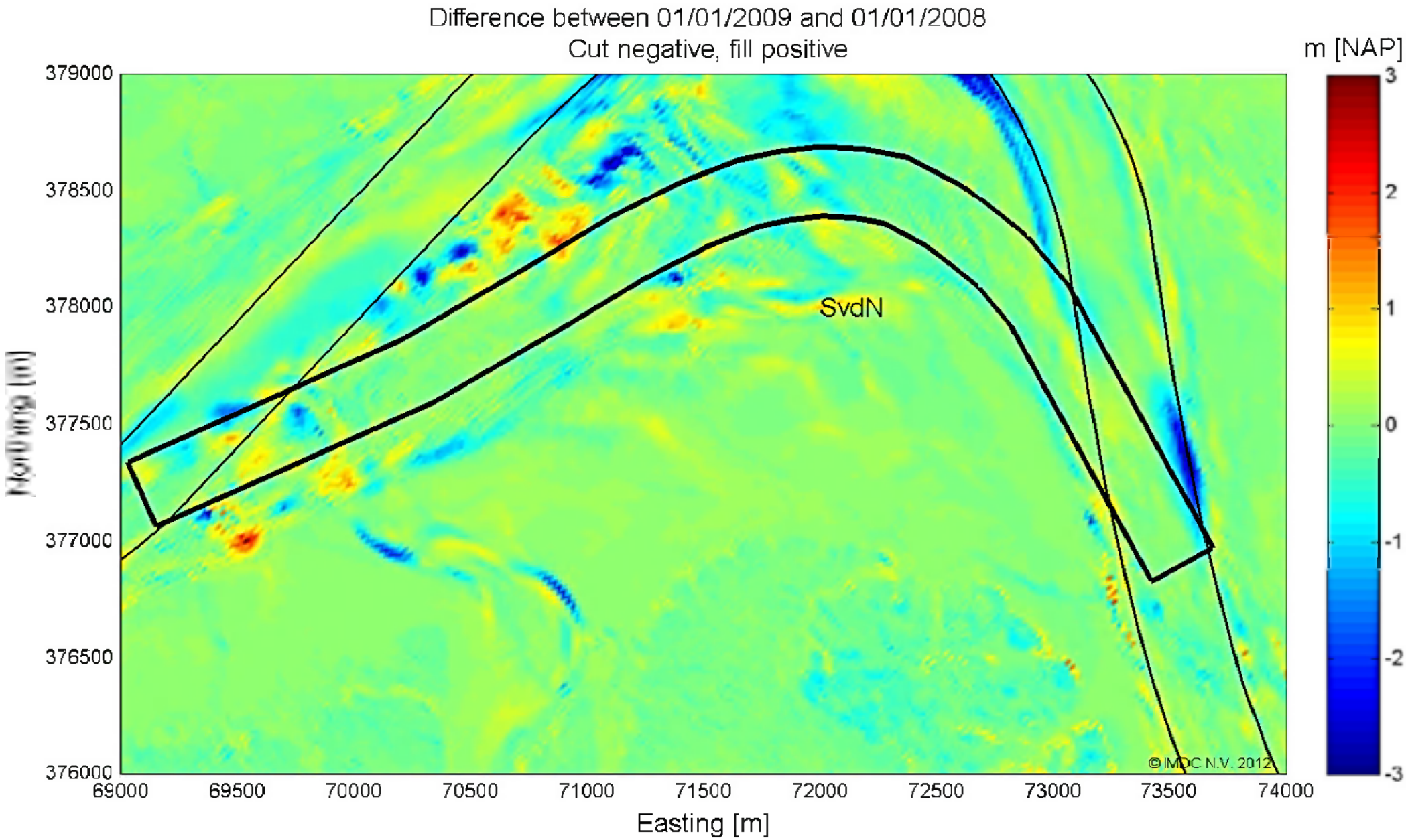
File Bocemdata-jaar-2006
File Bocemdata jaar-2005



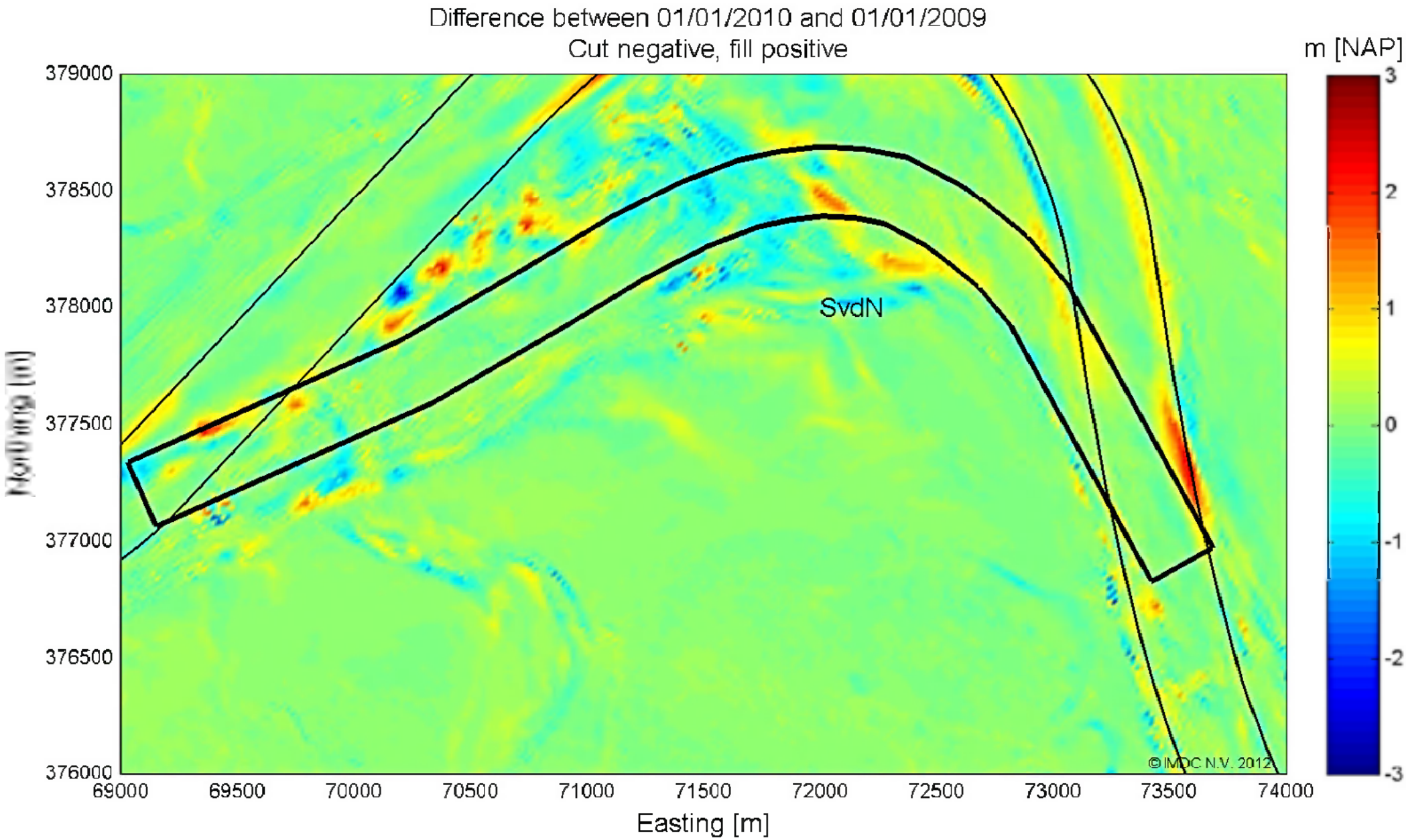
File Bocemdata-jaar-2007
File Bocemdata-jaar-2006



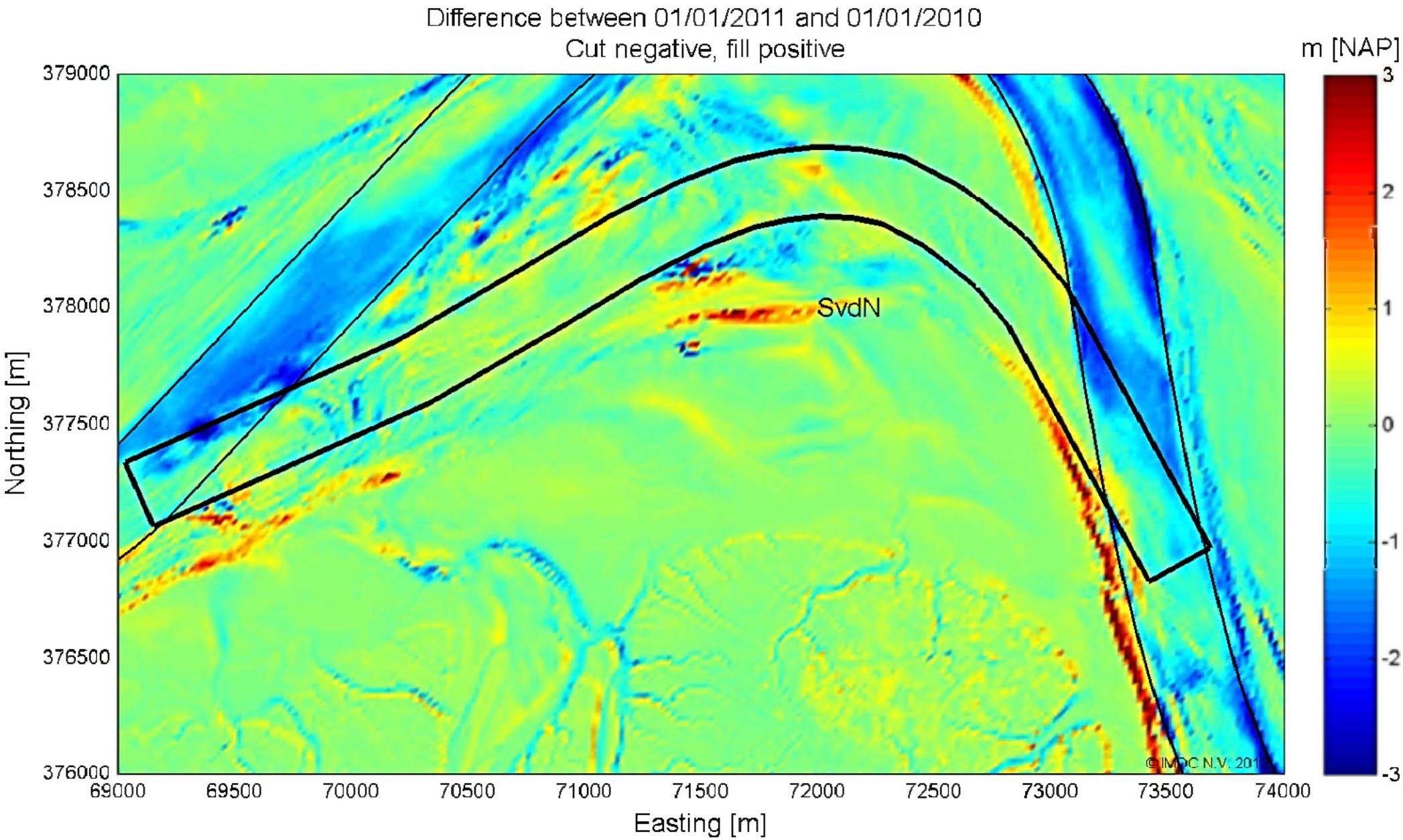
File Bocemdata-jaar-2008
File Bocemdata jaar-2007



File Bocemdata-jaar-2009
File Bocemdata-jaar-2008

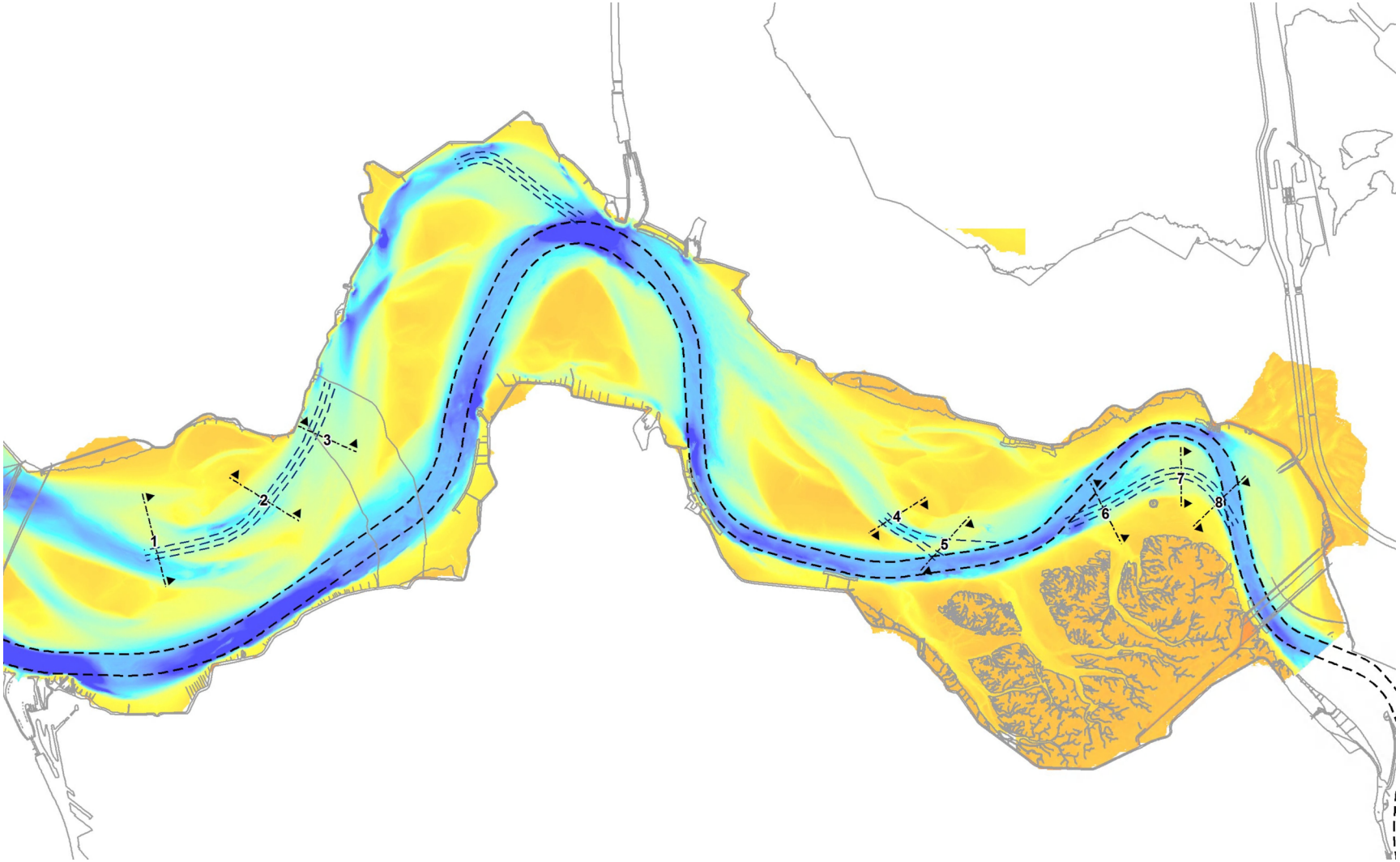


File Bocemdata-jaar-2010
File Bocemdata-jaar-2009

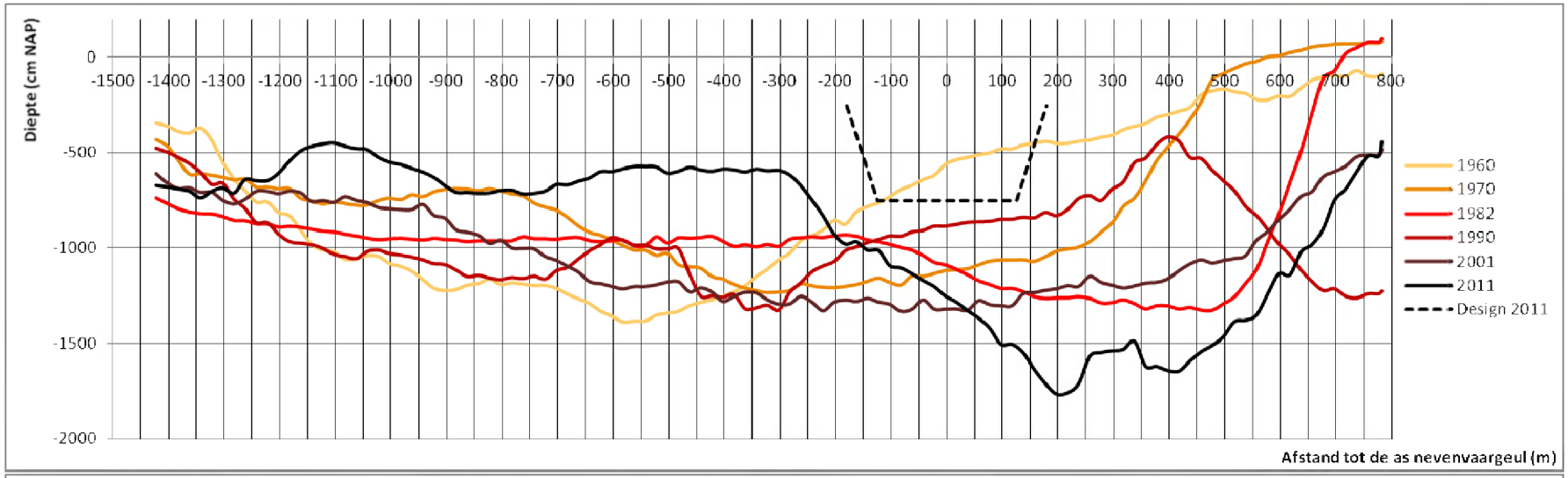


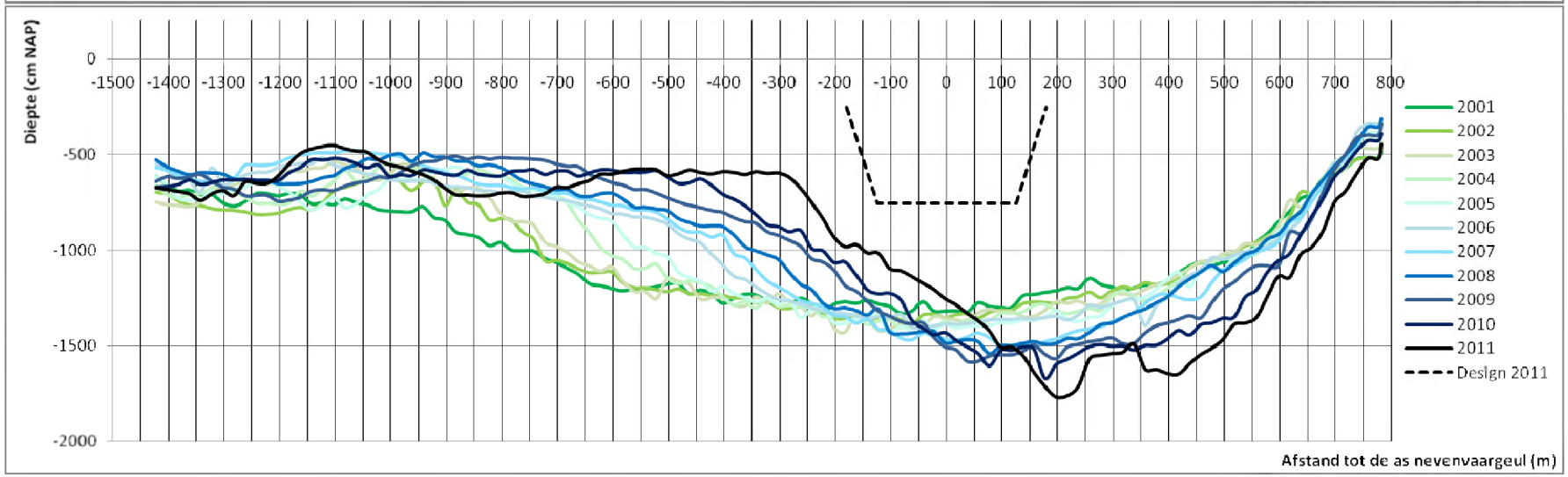
File Bocemdata-jaar-2011
File Bocemdata-jaar-2010

Bijlage G Dwarsprofielen

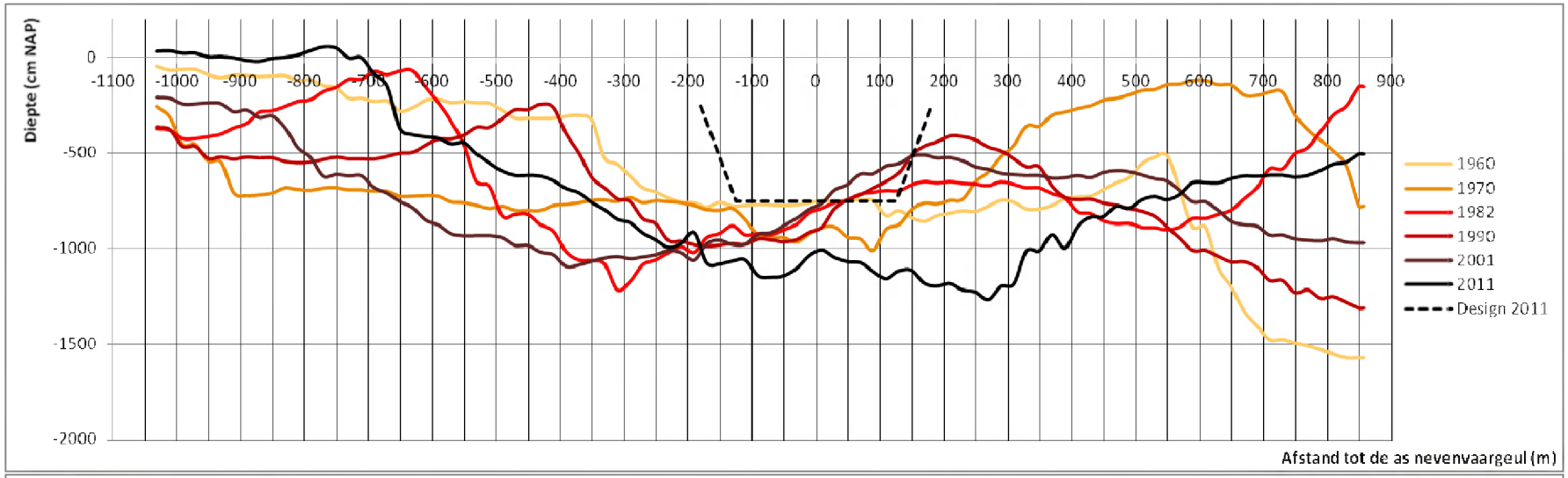


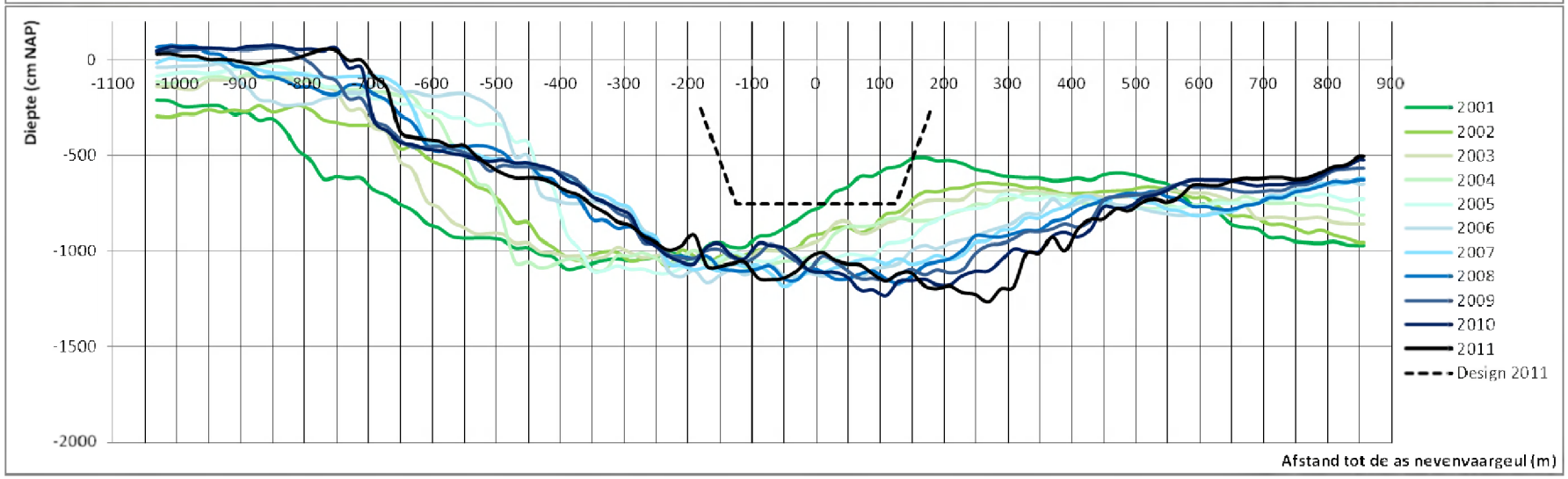
Overzicht profielen


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1500 -1400 -1300 -1200 -1100 -1000 -900 -800 -700 -600 -500 -400 -300 -200 -100 0 100 200 300 400 500 600 700 800
1960
1970
1982
1990
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

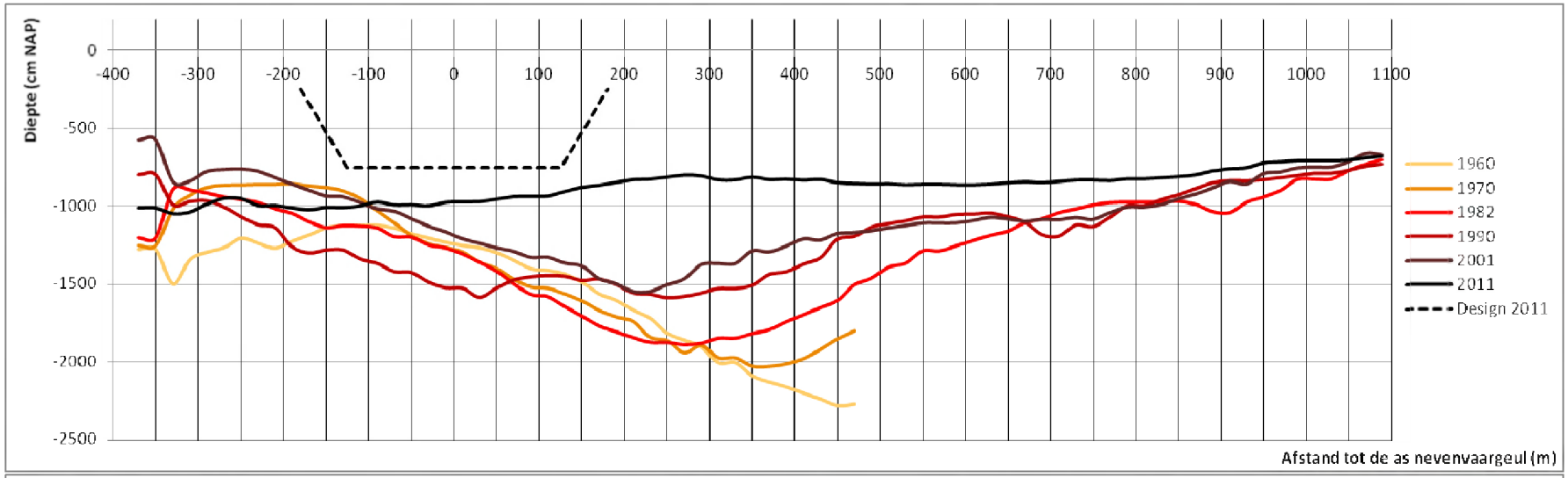

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1500 -1400 -1300 -1200 -1100 -1000 -900 -800 -700 -600 -500 -400 -300 -200 -100 0 100 200 300 400 500 600 700 800
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

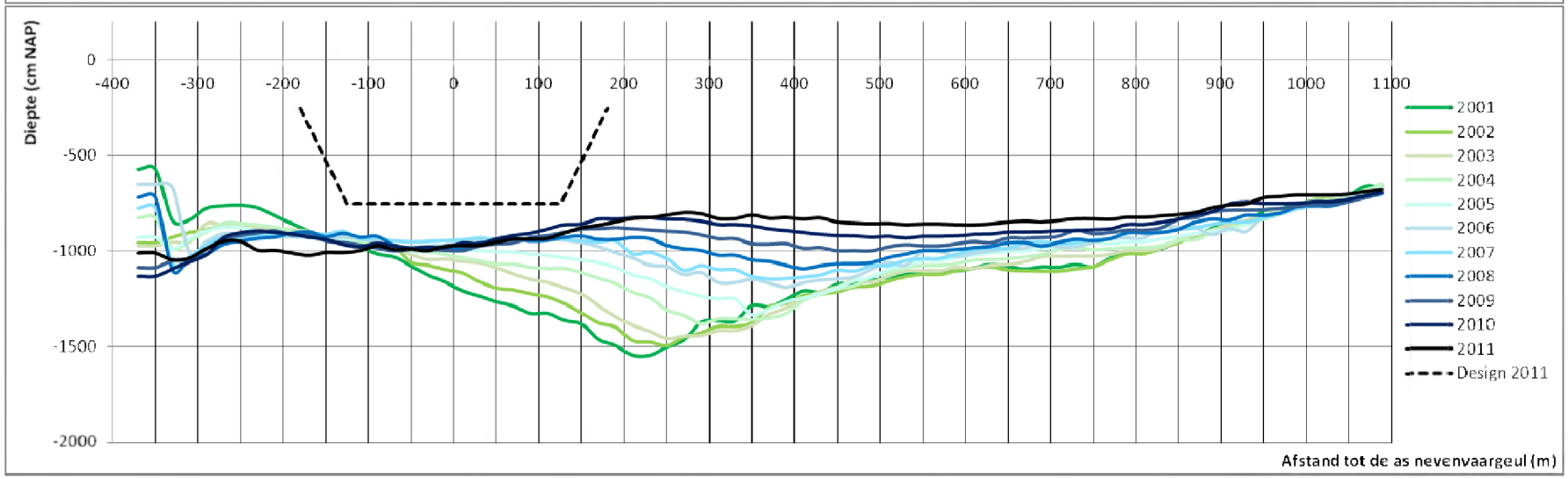
Profiel 1


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1960
1970
1982
1990
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

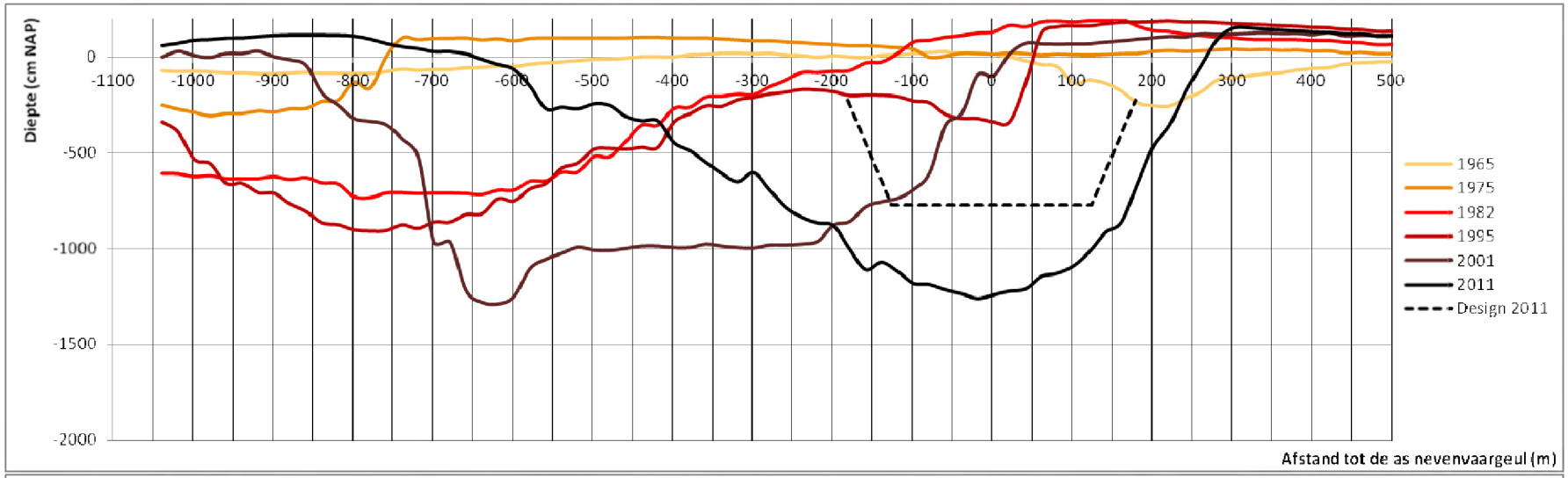

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

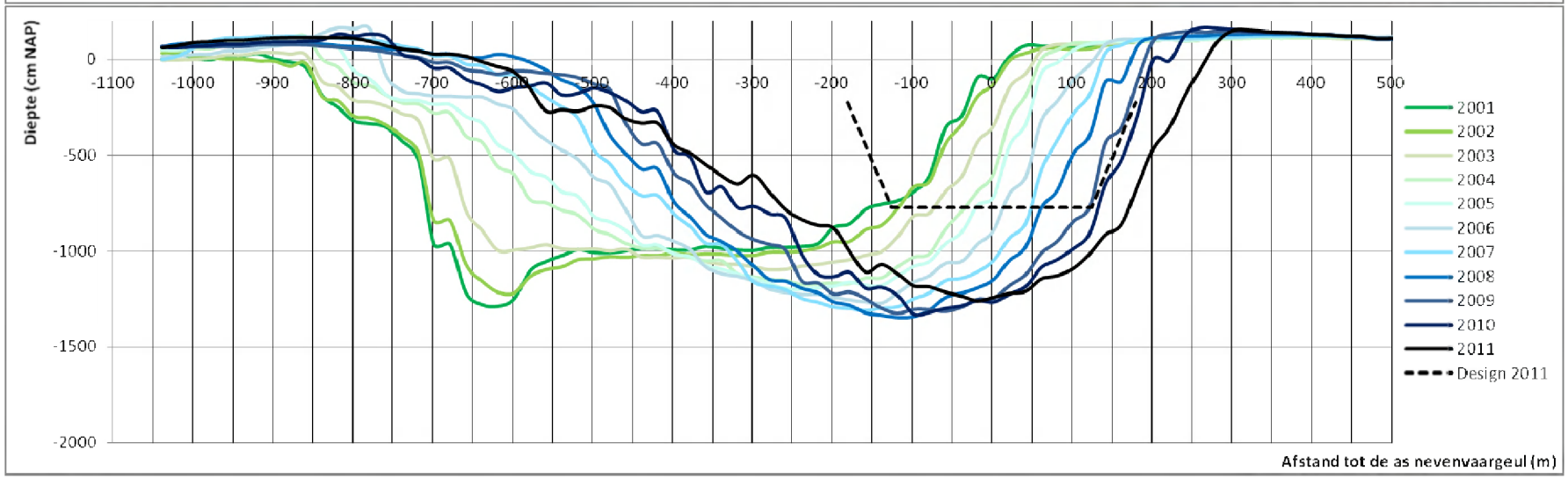
Profiel 2


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1960
1970
1982
1990
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

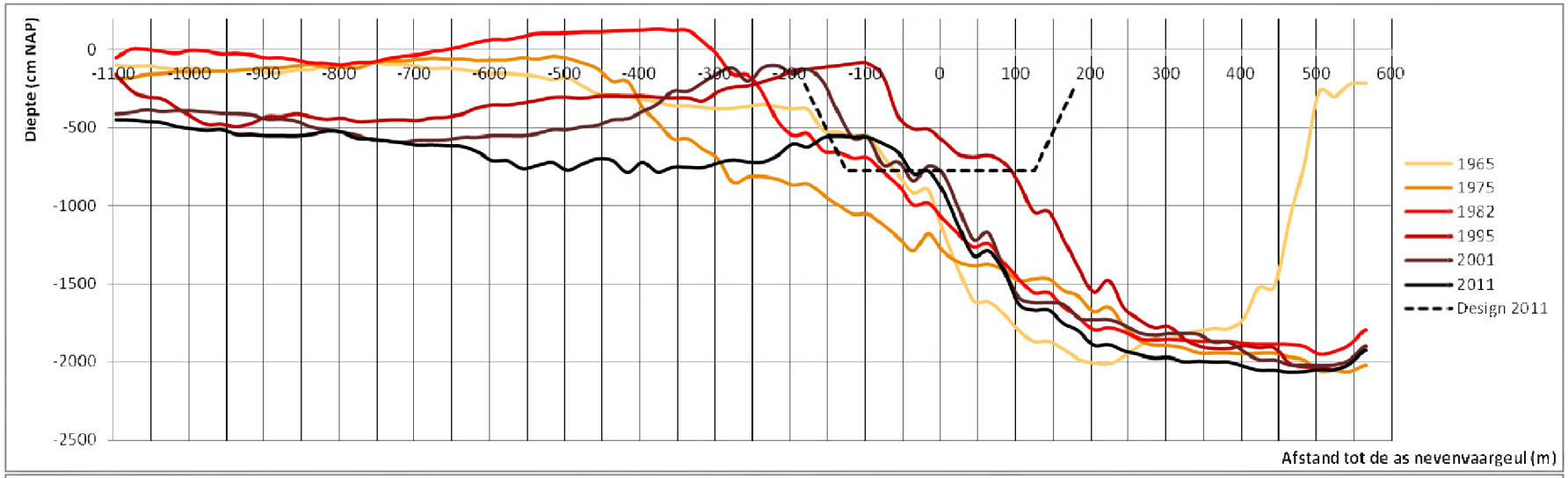

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

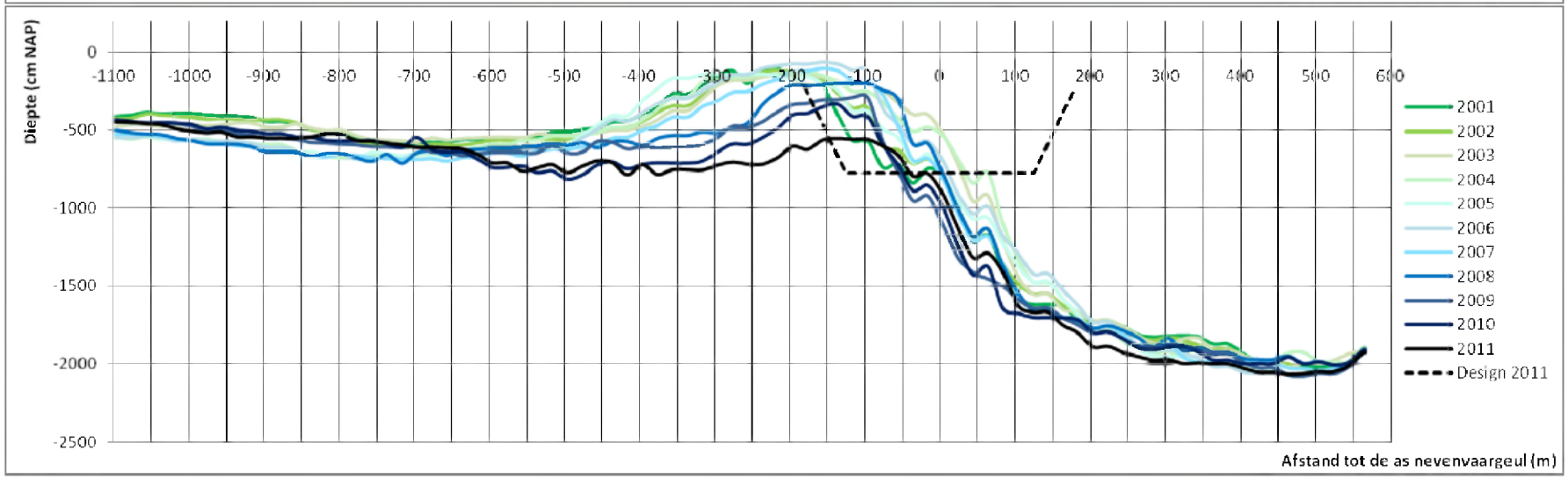
Profiel 3


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)
1965
1975
1982
1995
2001
2011
Design 2011

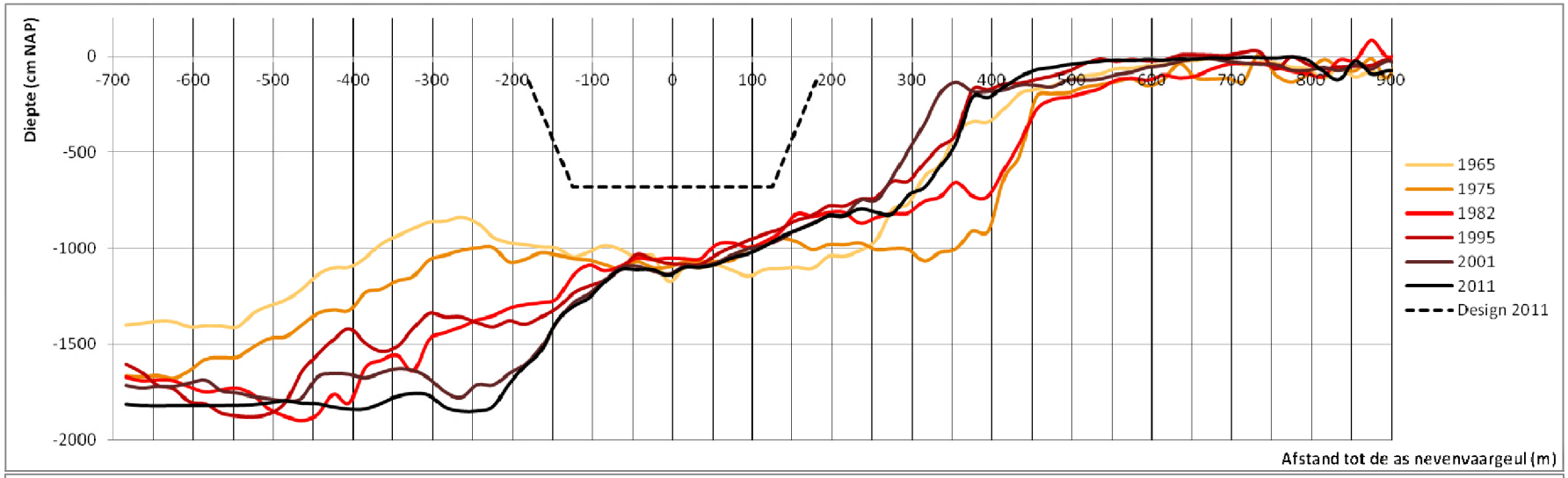

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011

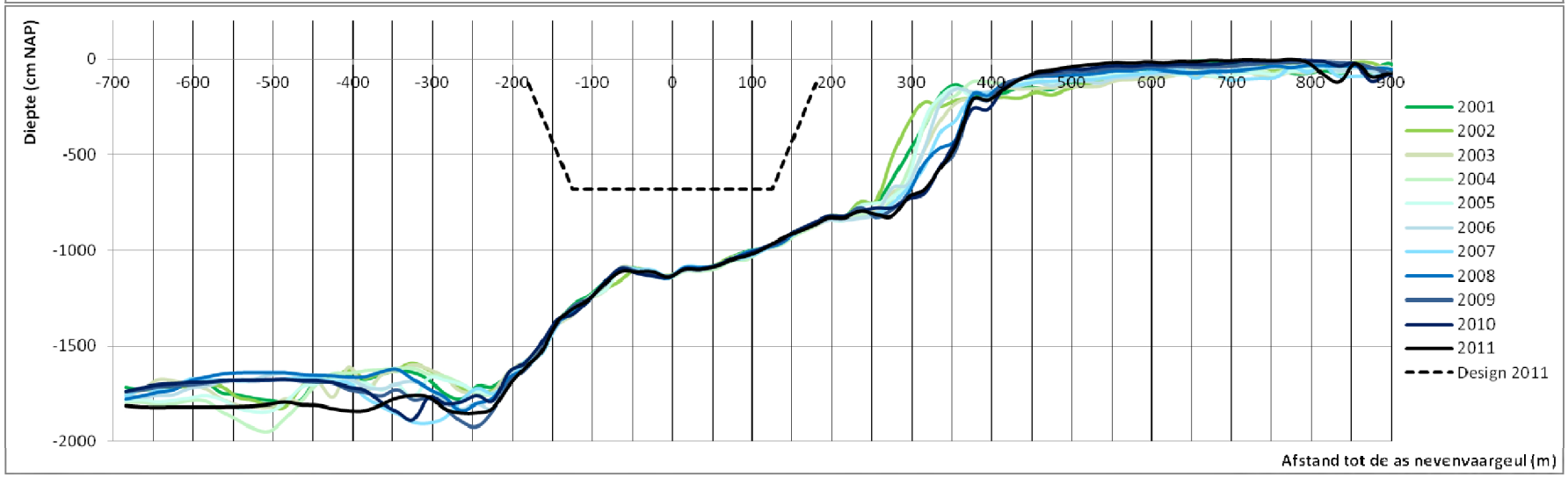
Profiel 4


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
1965
1975
1982
1995
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

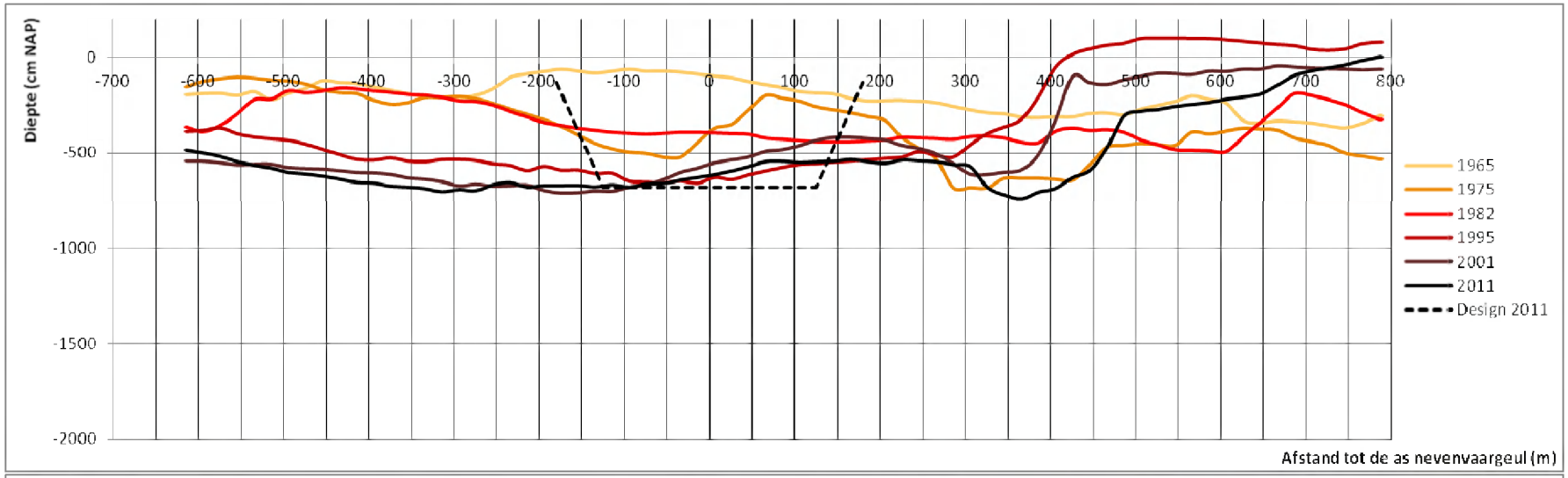

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-2500
-1100
-1000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

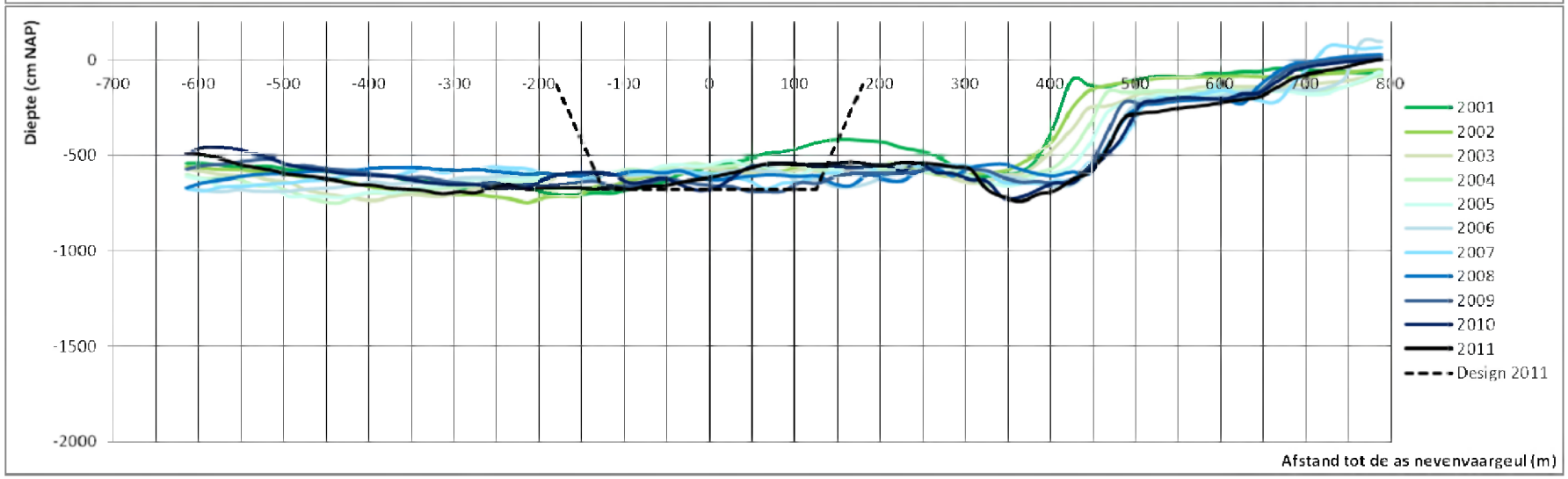
Profiel 5


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1965
1975
1982
1995
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

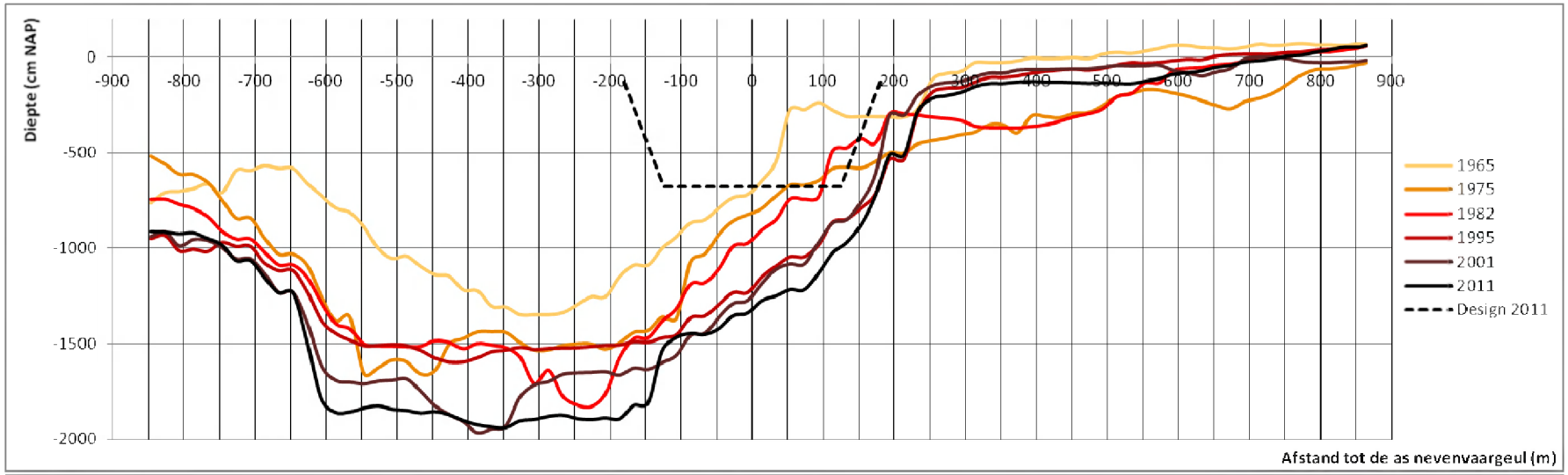

Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

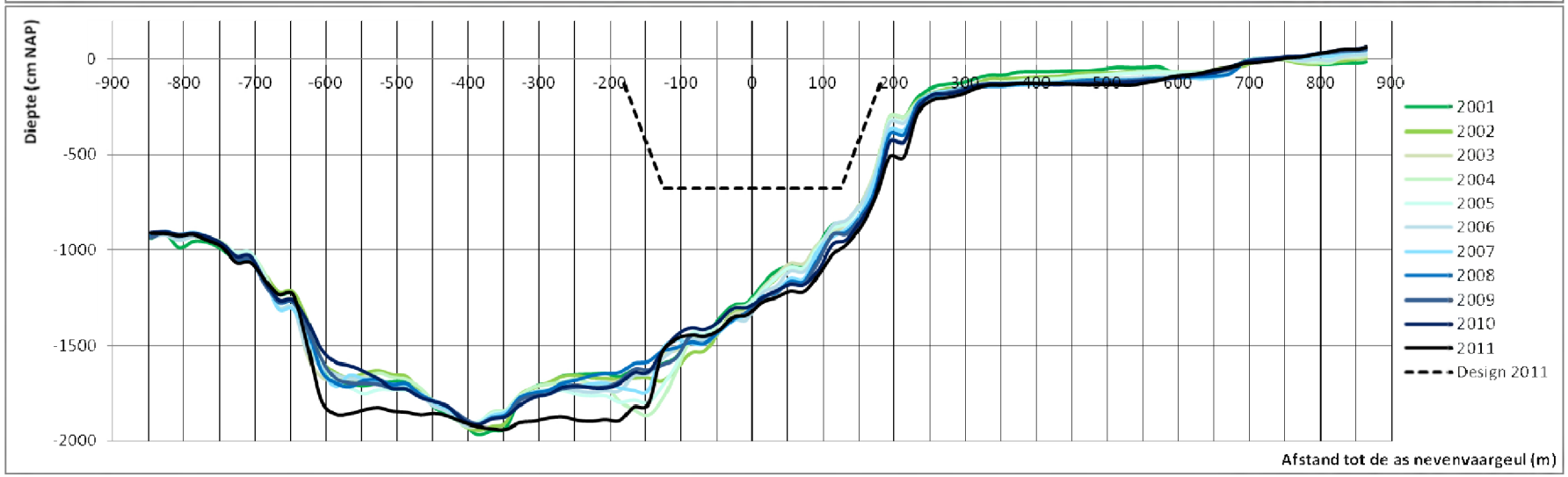
Profiel 6


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)
1965
1975
1982
1995
2001
2011
Design 2011


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011

Profiel 7


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1965
1975
1982
1995
2001
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)


Diepte (cm NAP)
0
-500
-1000
-1500
-2000
-900
-800
-700
-600
-500
-400
-300
-200
-100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
Design 2011
Afstand tot de as nevenvaargeul (m)

Profiel 8

Bijlage H Memo Delft3D simulaties onderhoudsbaggerwerk

ARCADIS NEDERLAND BV
Voorsterweg 28
Postbus 248
8300 AE Emmeloord
Tel +31 527 248 100
Fax +31 527 248 111
www.arcadis.nl

MEMO

Onderwerp:
Effect baggeren drempels nevengeulen

Marknesse,
13 november 2012

Projectnummer:
C04021.002666.0100

Van:
dr.ir. B.T. Grasmeijer

Opgesteld door:
dr.ir. B.T. Grasmeijer

DIVISIE WATER

Afdeling:
Divisie Water Marknesse

Ons kenmerk:
076734911:0.8

Aan:
Gijsbert van Holland (IMDC)
Joris Santermans (IMDC)

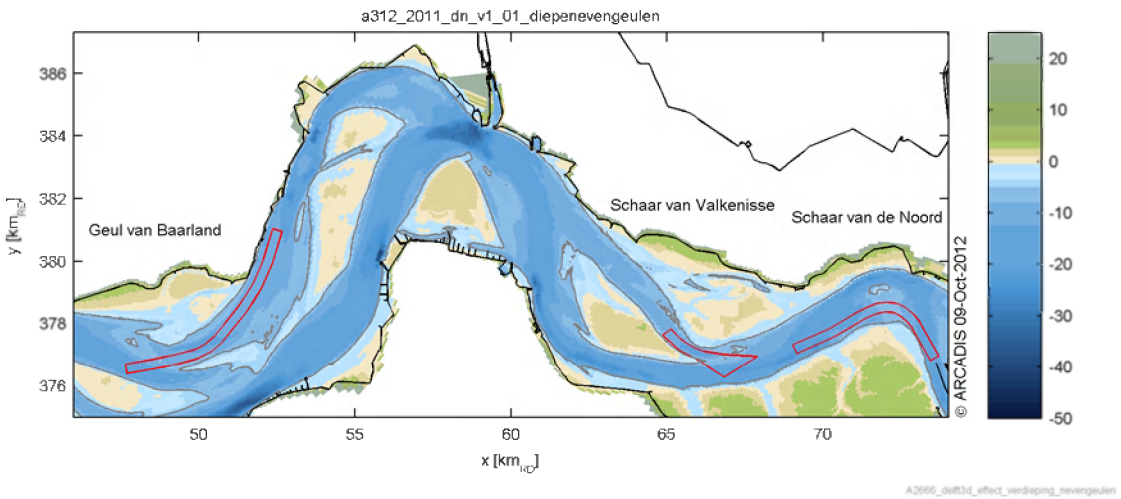
Kopieën aan:
Marcel Taal (Deltares)
Jelmer Cleveringa (ARCADIS)
Gerard Dam (Svasek)

Inleiding

Dit memo presenteert resultaten van een onderzoek naar het effect van het verdiepen van drempels in drie nevengeulen. Het gaat om drempels in de Geul van Baarland, de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord (Figuur 1).

Methode

Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van Delft3D simulaties. Voor alle simulaties is de bodem en het bagger en stortscenario uit 2011 toegepast.



Figuur 1 Locatie van onderzochte drempels in nevengeulen

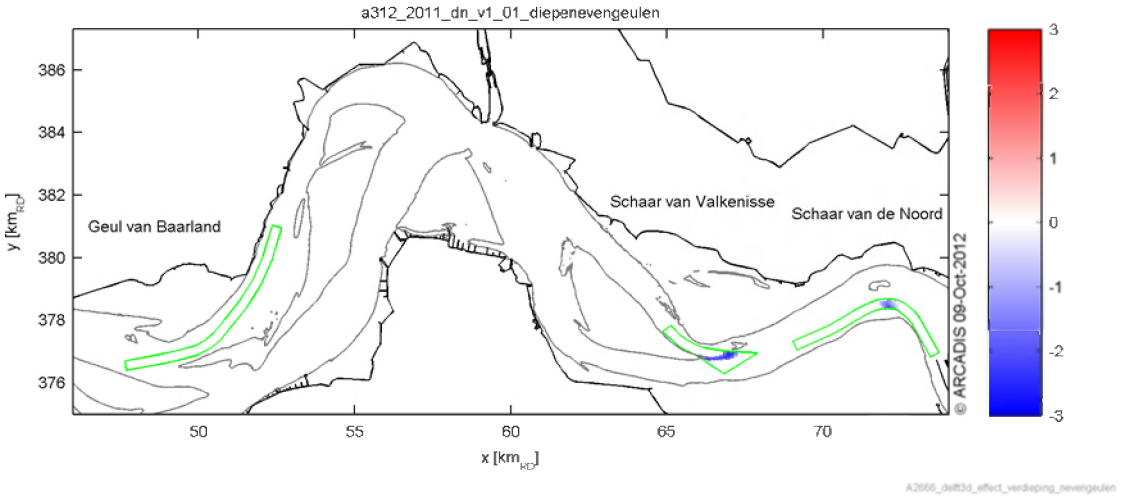
De drempels worden onderhouden op LAT -4,5 m[1]. Daarbij komt een extra overdiepte van 0,3 m. In het model worden de drempels daarom onderhouden op LAT -4,8 m. Tabel 1 toont per drempel onderhoudsdieptes ten opzicht van NAP en de verspreidingslocatie per drempel. Figuur 1 toont de polygonen die op diepte worden gehouden.

De breedte van de vaargeul is voorzien op 250 m. De breedte tussen de lijnen in de polygonen is 300 m. In de polygonen is aan linker en rechterzijde een afstand van 25 m inbegrepen waarin de overgang tussen streefdiepte en omringende bodem wordt voorzien.

Drempel in geul	Onderhouden diepte	Verspreidingslocatie
Geul van Baarland	NAP -7,54 m	SN31
Schaar van Valkenisse	NAP -7,73 m	SH51
Schaar van de Noord	NAP -7,80 m	SH61

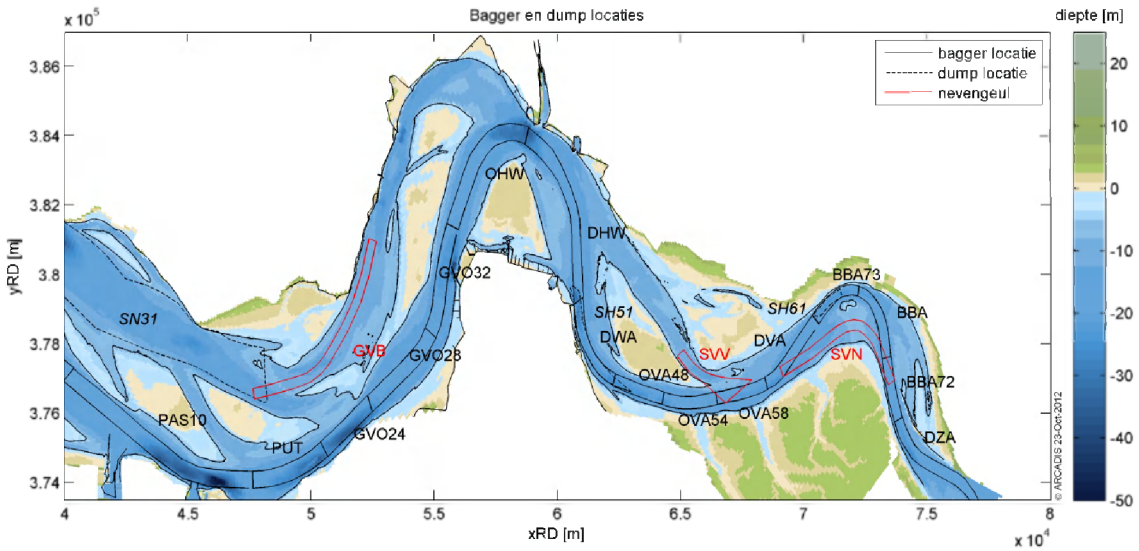
Tabel 1 Onderhoudsdieptes van de drempels (inclusief overdiepte) en verspreidingslocatie

Figuur 2 toont de initiële verdieping die in het model is aangebracht. In deze figuur is te zien dat de Geul van Baarland reeds voldoende diep is. In de Schaar van Valkenisse wordt initieel een volume weggebaggerd van ongeveer 326x10^3 m^3. In de Schaar van de Noord initieel een volume van ongeveer 124x10^3 m^3. De bagger en stort polygonen met de bijbehorende aanduidingen zijn te zien in Figuur 3



Figuur 2 Initiële verdieping in onderzochte drempels in nevengeulen

[1] LAT = Lowest Astronomical Tide



Figuur 3 Overzicht bagger en stort polygonen. De stort polygonen zijn aangeduid met een gestippelde lijn. Ook de namen van de locaties zijn weergegeven.

Het model wordt gedraaid in vijf geneste modellen, waarbij het complete Scheldedomein is opgesplitst in vijf stukken. De stroming wordt opgelegd op de open zeerand met behulp van stromingsranden. De stroming wordt afgeleid uit een kuststrook stromingsmodel, dat een werkelijk getij simuleert. Als sediment wordt alleen zand gebruikt, met een D_{50} van 200µm, een specifieke dichtheid van 2650 kg/m^3 en een droge dichtheid van 1600 kg/m^3. Als laagdikte gebruiken we de diktes uit 2011 als referentie. Verder nemen we aan dat het sediment dat in suspensie komt geen effect heeft op de waterdichtheid. Tijdens de simulatie wordt de stroming wel beïnvloed door de veranderende bodemconfiguratie.

Tot slot rekenen we over precies één springtij-doodtij cyclus 14 dagen en 18 uur. Doordat we een morfologische opschaling van 24.75 gebruiken, verkrijgen we aan het einde van de simulatie de morfologische bodemtoestand na één jaar. Resultaten voor meerdere jaren wordt verkregen door de morfologische en hydrodynamische toestand aan het einde van iedere simulatie te gebruiken als opstart voor de volgende simulatie. In dit memo presenteren we de resultaten van vijf simulaties; voor het jaar 2011-2012 tot 2015-2016

Resultaten

Bagger,- en storthoeveelheden

Tabel 2 toont de cumulatieve baggervolumes per simulatiejaar voor elke baggerpolygoon in de hoofdgeul in de buurt van de onverdiepte nevengeulen. Voor de locaties PAS10, PUT, GVO28, GVO32, DWA, OVA54, DVA en BBA73 geldt dat de cumulatieve volumes toenemen gedurende de simulaties, terwijl op de locaties GVO 24, OVA58 , BBA, BBA72 en DZA het baggerbezwaar juist afneemt. De overige locaties laten geen trend zien gedurende de simulaties. Over de gehele Westerschelde loopt het baggerbezwaar op van 5,9x10^6 m^3/jaar tot 6,9x10^6 m^3/jaar. In totaal is er in 5 jaar 33x10^6 m^3 sediment gebaggerd in de hele Westerschelde (Figuur 4).

Baggerlocatie Hoofdgeul	Volume ($x10^6$ m^3) *Onverdiepte* nevengeul				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
PAS10	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36
PUT	0,032	0,034	0,040	0,048	0,055
GVO24	0,048	0,023	0,012	0,0064	0,0054
GVO28	0,33	0,56	0,65	0,68	0,70
GVO32	0,039	0,053	0,077	0,098	0,12
OHW	0,26	0,24	0,24	0,23	0,25
DHW	0,84	1,1	0,98	1,2	1,0
DWA	0,030	0,046	0,088	0,13	0,18
OVA48	0,0	0,014	0,022	0,019	0,015
OVA54	0,077	0,19	0,25	0,28	0,28
OVA58	0,17	0,14	0,13	0,13	0,13
DVA	0,093	0,10	0,12	0,20	0,28
BBA73	0,14	0,24	0,30	0,34	0,37
BBA	0,31	0,31	0,30	0,29	0,28
BBA72	0,23	0,17	0,13	0,11	0,095
DZA	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14
Totaal Westerschelde	5,9	6,5	6,6	6,9	6,9

Tabel 2 Baggervolumes per simulatiejaar uitgesplitst per baggerpolygoon voor de situaties zonder verdiepte nevengeulen

Wanneer we de baggervolumes voor de onverdiepte nevengeulen vergelijken met de volumes voor de verdiepte nevengeul, valt op dat op de locaties DWA en BBA73 het baggervolume is toegenomen (Tabel 3, Figuur 7 en Figuur 8). Dit komt doordat deze locaties ook worden gebruikt als stortlocatie van sediment vanuit de verdiepte nevengeulen. Daarnaast laten de tabellen en Figuur 8 zien dat de baggerhoeveelheden op de locaties OVA54, OVA58 en DVA afneemt wanneer er met diepere nevengeulen wordt gerekend. Dit komt doordat deze baggerlocaties overlappen met de nevengeul polygonen. Verder valt op dat er in de verdiepte nevengeulsituatie in het jaar 2014-2015 minder is gebaggerd op de locatie DHW (Figuur 7 en Tabel 3). Aangezien het baggervolume op deze locatie ook tijdens de referentie simulatie varieert tussen de jaren, is het niet waarschijnlijk dat dit te maken heeft met de verdieping van de nevengeul. Tot slot neemt het baggervolume in de hele Westerschelde toe van $6{,}0x10^6$ m^3/jaar tot $7{,}4x10^6$ m^3/jaar. In totaal is er door het verdiepen van de nevengeul in de hele Westerschelde in 5 jaar 34 $x10^6$ m^3 sediment gebaggerd.

Baggerlocatie Hoofdgeul	Volume ($x10^6$ m^3) *Verdiepte* nevengeul				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
PAS10	0,33	0,34	0,36	0,36	0,36
PUT	0,032	0,034	0.040	0,048	0,055
GVO24	0,048	0,023	0,012	0,0064	0,0057
GVO28	0,33	0,55	0,64	0,66	0,69
GVO32	0,039	0,052	0,075	0,094	0,12
OHW	0,26	0,24	0,24	0,24	0,25
DHW	0,84	1,1	0,98	0,97	1,2
DWA	0,035	0,061	0,11	0,16	0,24
OVA48	0,0	0,014	0,022	0,018	0,013
OVA54	0,061	0,16	0,21	0,23	0,25
OVA58	0,14	0,12	0,11	0,11	0,12
DVA	0,079	0,085	0,10	0,15	0,21
BBA73	0,18	0,30	0,46	0,53	0,56
BBA	0,31	0,31	0,29	0,28	0,27
BBA72	0,23	0,17	0,13	0,11	0,093
DZA	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14
Totaal Westerschelde	6,0	6,6	6,8	7,0	7,4

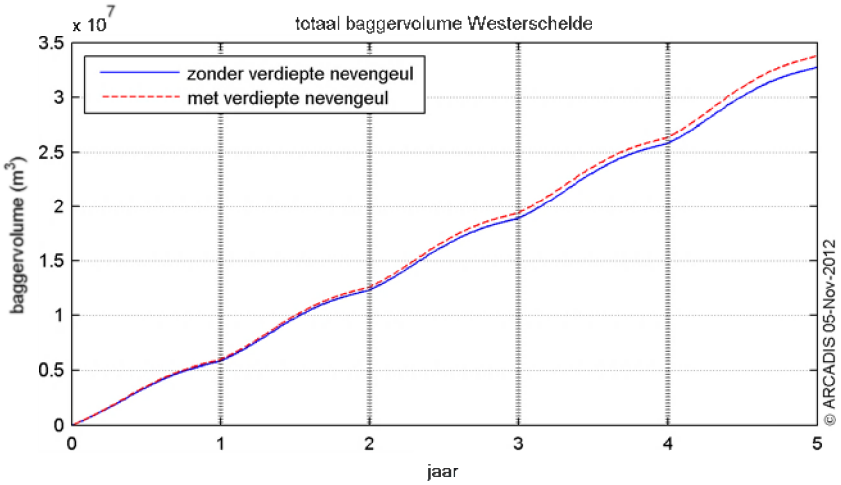
Tabel 3 Baggervolumes per simulatiejaar uitgesplitst per baggerpolygoon voor de situaties met verdiepte nevengeulen

Stortlocatie	Volume ($x10^6$ m^3) *Onverdiepte* nevengeul				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
SN31	0,079	0,066	0,066	0,073	0,083
SH51	0,19	0,27	0,30	0,35	0,35
SH61	0,30	0,32	0,32	0,32	0,33

Tabel 4 Stortvolumes per simulatiejaar uitgesplitst per stortpolygoon voor de situaties zonder

Stortlocatie	Volume ($x10^6$ m^3) *verdiepte* nevengeul				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
SN31	0,08	0,066	0,066	0,073	0,095
SH51	0,26	0,33	0,38	0,40	0,47
SH61	0,39	0,42	0,48	0,50	0,51

Tabel 5 Stortvolumes per simulatiejaar uitgesplitst per stortpolygoon voor de situaties met verdiepte nevengeulen

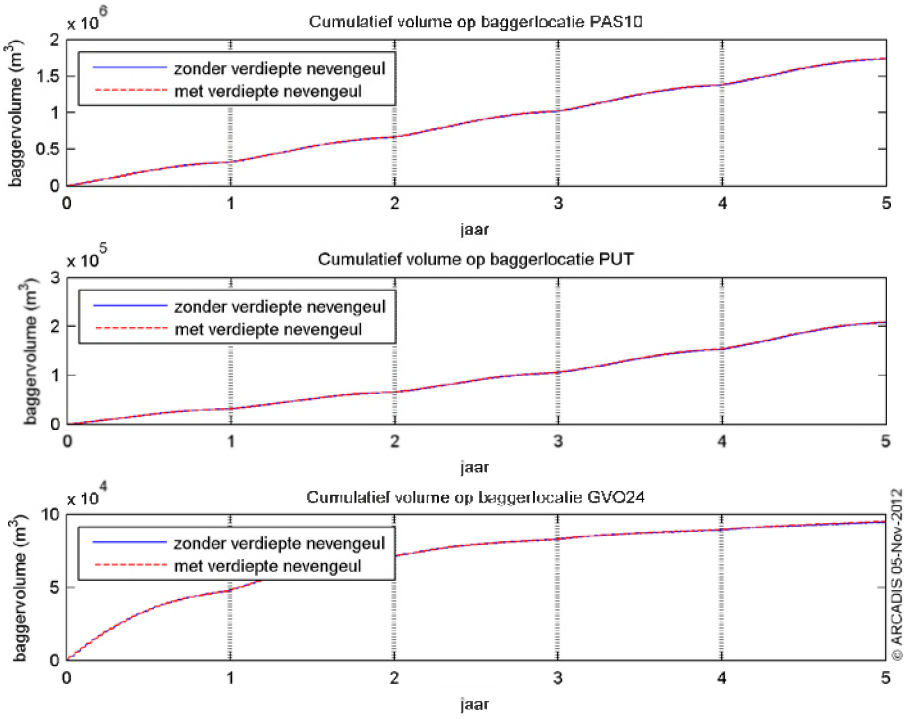


Figuur 4 Baggervolumes voor de hele Westerschelde voor de situatie met en zonder verdiepte nevengeul

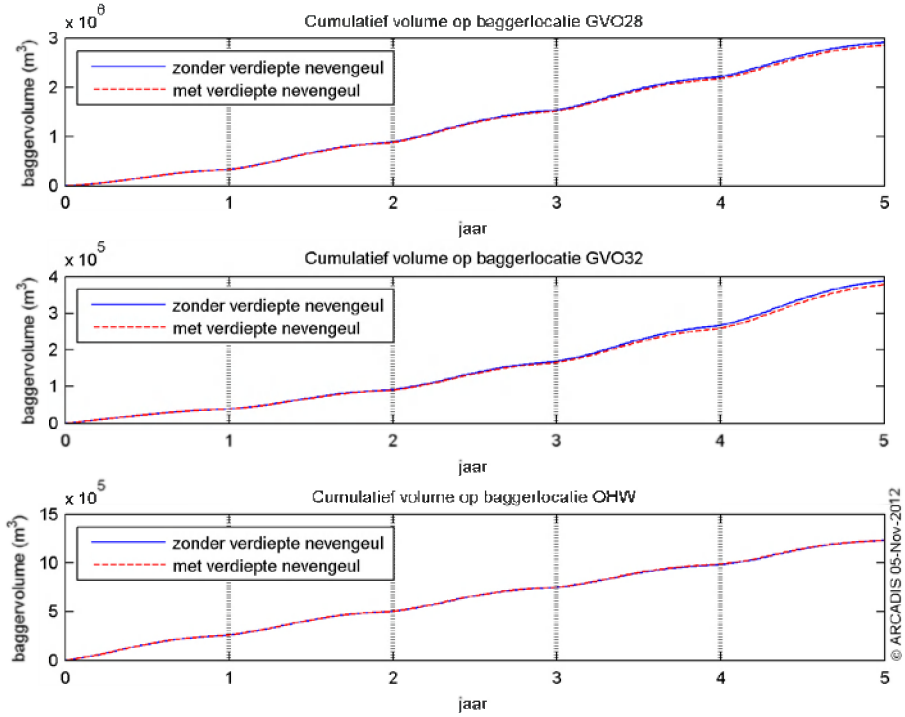
Tot slot beschouwen we het baggerbezwaar voor de verdiepte nevengeulen (Tabel 6 en Figuur 11). Ten eerste valt op dat in de Geul van Baarland (GVB) in de eerste 4 simulatiejaren zeer beperkt is gebaggerd. In het vijfde simulatie jaar is er een dusdanige sedimentatie opgetreden dat de baggerhoeveelheid significant is toegenomen, waardoor er een uitslag is te zien in Tabel 6 en Figuur 11. Het baggerbezwaar in de Schaar van Valkenisse (SVV) en de Schaar van de Noord (SVN) is duidelijke groter. In de SVV loopt het jaarlijkse baggervolume gedurende de vijf simulatie jaren af. Dit is opmerkelijk omdat uit meet gegevens blijkt dat de SVV zich in de afgelopen jaren naar het westen verplaatst. Om de nevengeul op diepte en op dezelfde locatie te houden, zou daarom het baggerbezwaar juist toe moeten nemen. In de sectie **Bodemligging** wordt hier verder op ingegaan. Tot slot, neemt het jaarlijks baggervolume in de SVN toe met ongeveer 0,01x10^6 m^3.

Nevengeul	Volume (x10^6 m^3) *verdiepte* nevengeul				
	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
GVB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,012
SVV	0,068	0,053	0,046	0,039	0,032
SVN	0,087	0,094	0,10	0,12	0,13

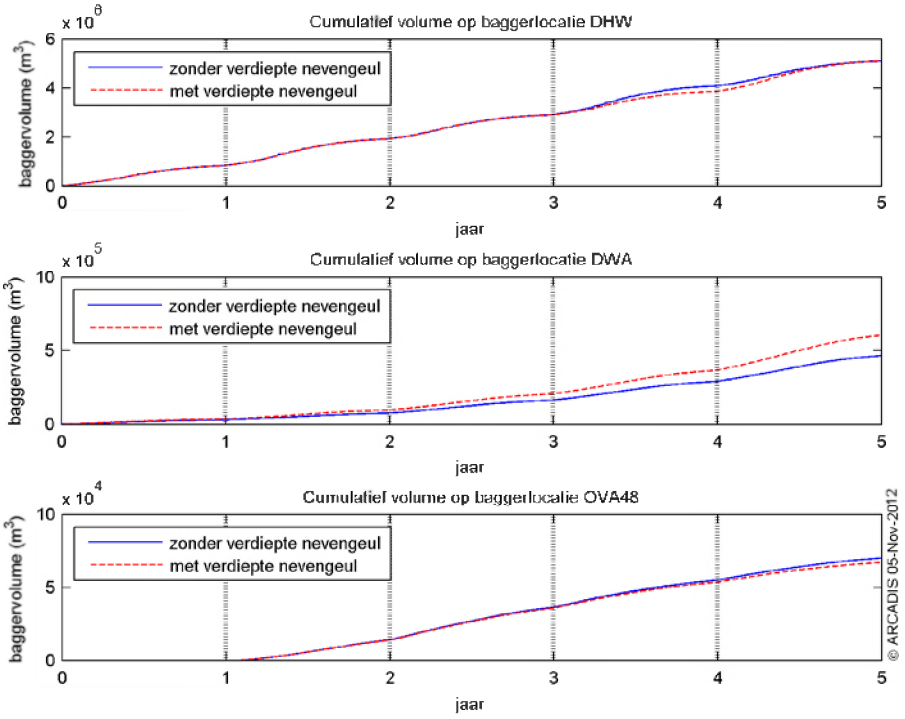
Tabel 6 Baggervolumes per simulatiejaar per nevengeul



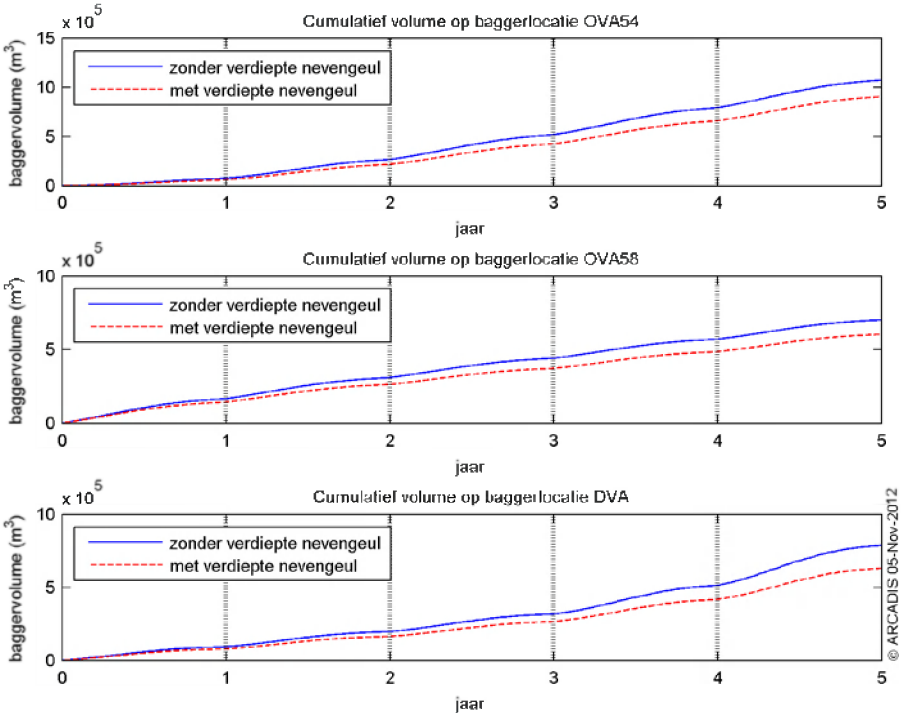
Figuur 5 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocaties PAS10, PUT, GVO24



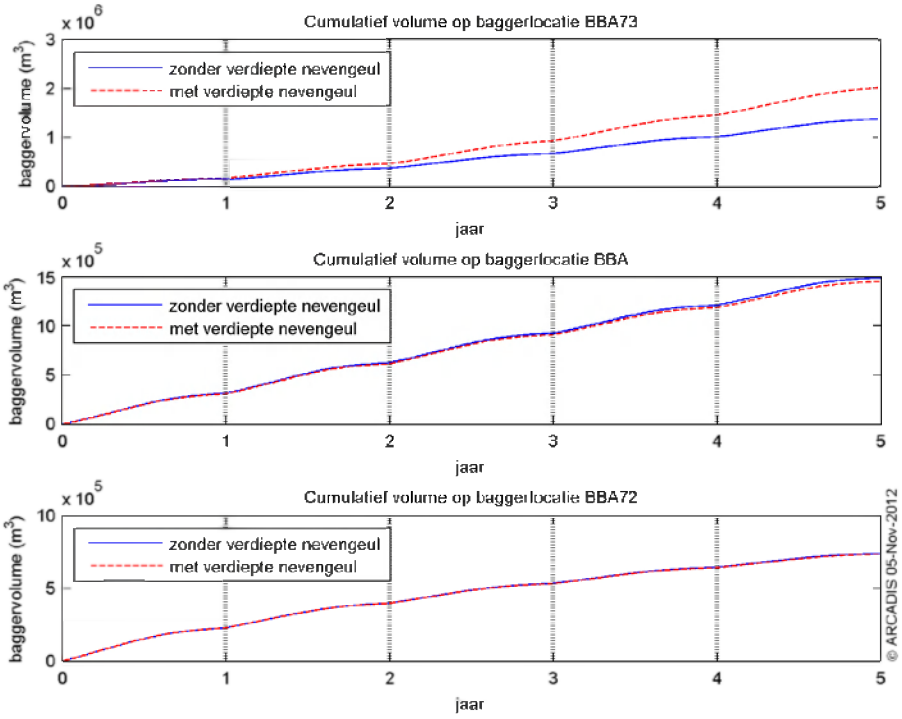
Figuur 6 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocaties GVO28, GVO32, OHW



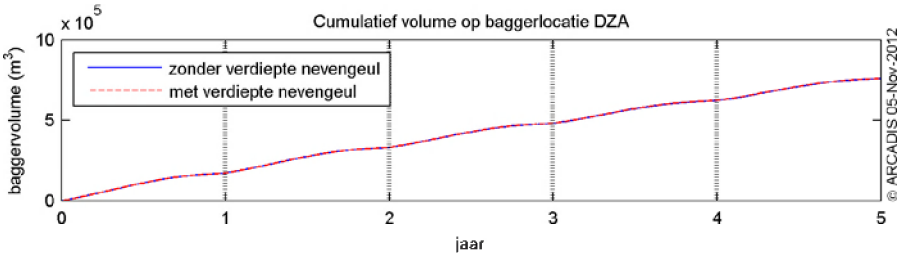
Figuur 7 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocaties DHW, DWA, OVA48



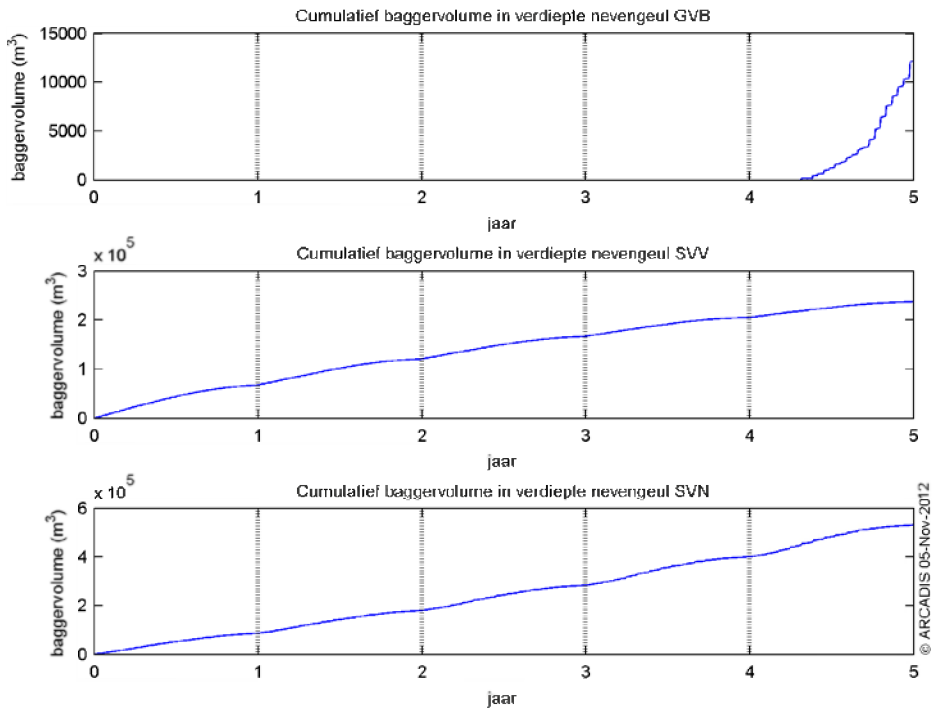
Figuur 8 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocaties OVA54, OVA58, DVA



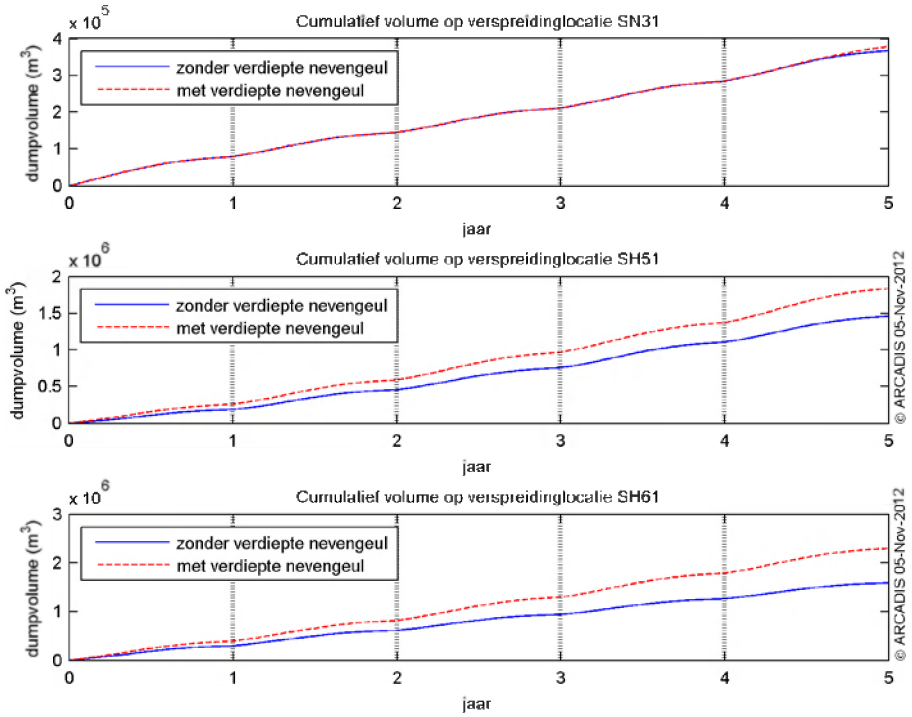
Figuur 9 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocaties BBA73, BBA, BBA72



Figuur 10 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren, voor baggerlocatie DZA



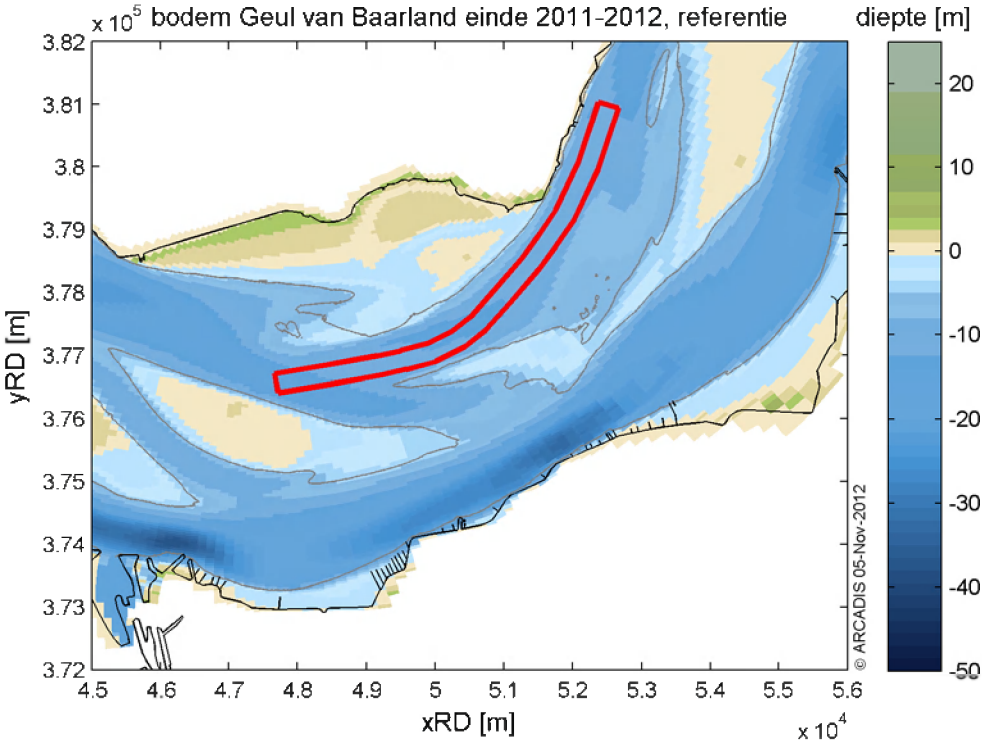
Figuur 11 Baggervolumes voor vijf morfologische jaren , voor de nevengeullocaties



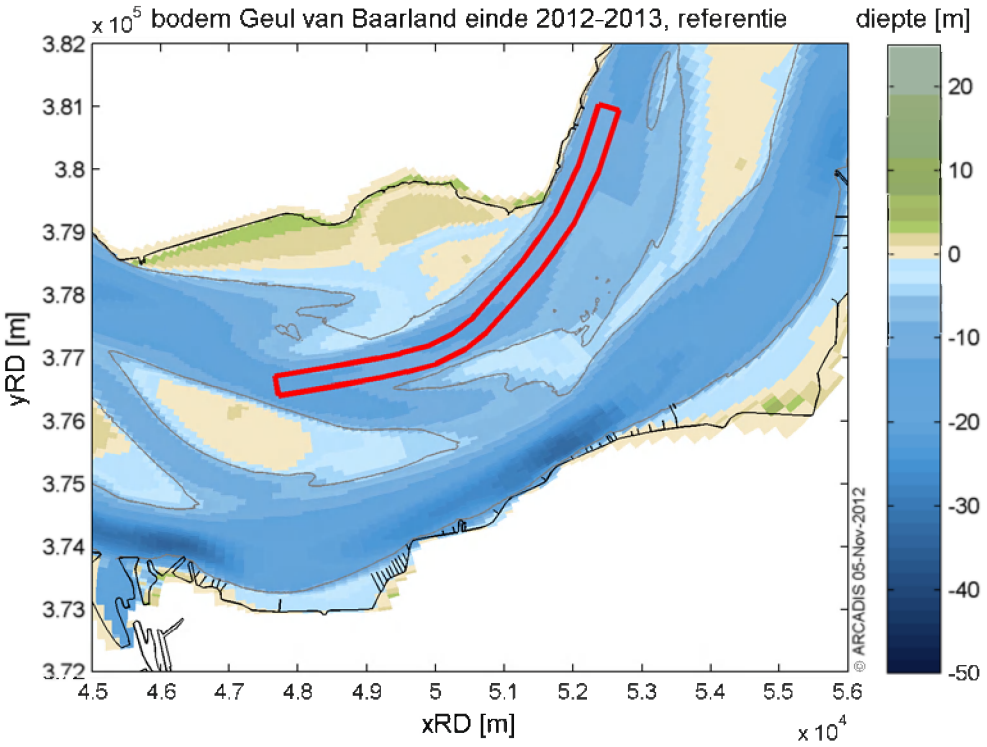
Figuur 12 Stortvolumes voor vijf morfologische jaren, voor stortlocaties SN31, SH51, SH61

Bodemligging

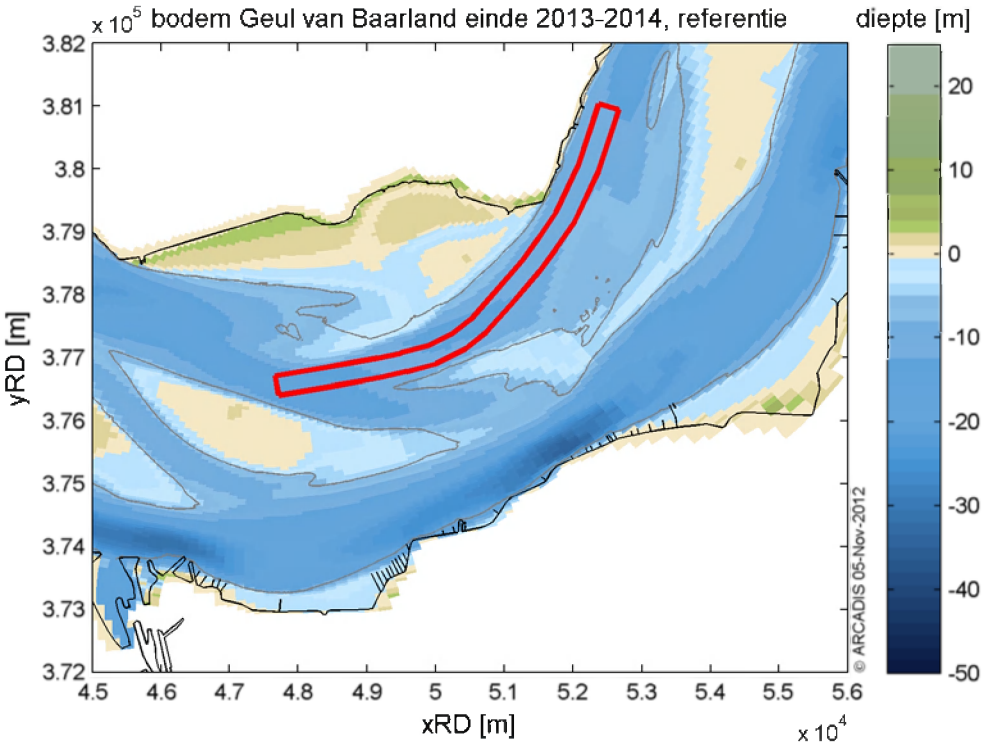
Figuur 13 tot Figuur 17 laat de bodemligging zien rondom de Geul van Baarland aan het einde van elk simulatie jaar, voor de situatie zonder verdiepte geul. Uit de figuren valt op te maken dat de Plaat van Baarland zich uitbreidt in de richting van de nevengeul. Daarnaast is te zien dat er ten zuidwesten van de Molenplaat een tong ontstaat in de richting van de nevengeul. Het is de verwachting dat zonder menselijke ingrepen deze ontwikkelingen de Geul van Baarland (zoals is vastgelegd door de huidige betonning) in toenemende mate ongeschikt maken voor scheepvaart. Om scheepvaart door de nevengeul in stand te houden zijn ingrepen in de toekomst vereist, hoewel uit de simulaties blijkt dat de onderhoudsvolumes in de eerste simulatiejaren beperkt zijn. Tot slot maken we uit de figuren op dat de verbinding tussen de nevengeul en de hoofdgeul opgevuld raakt.



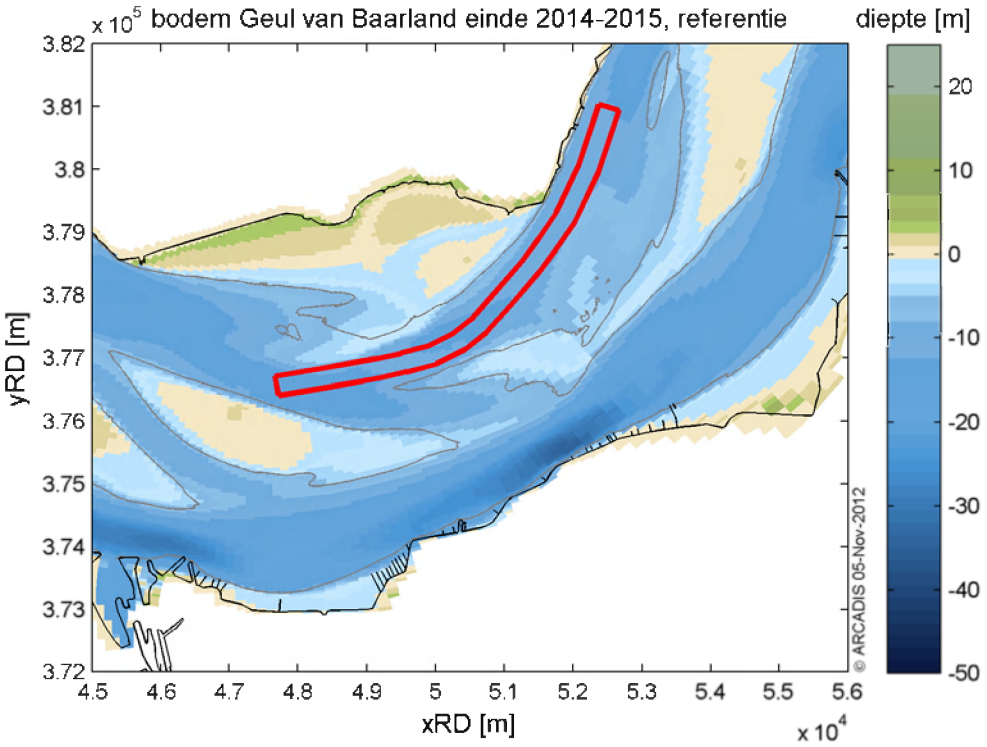
Figuur 13 Bodem Geul van Baarland einde eerste simulatiejaar



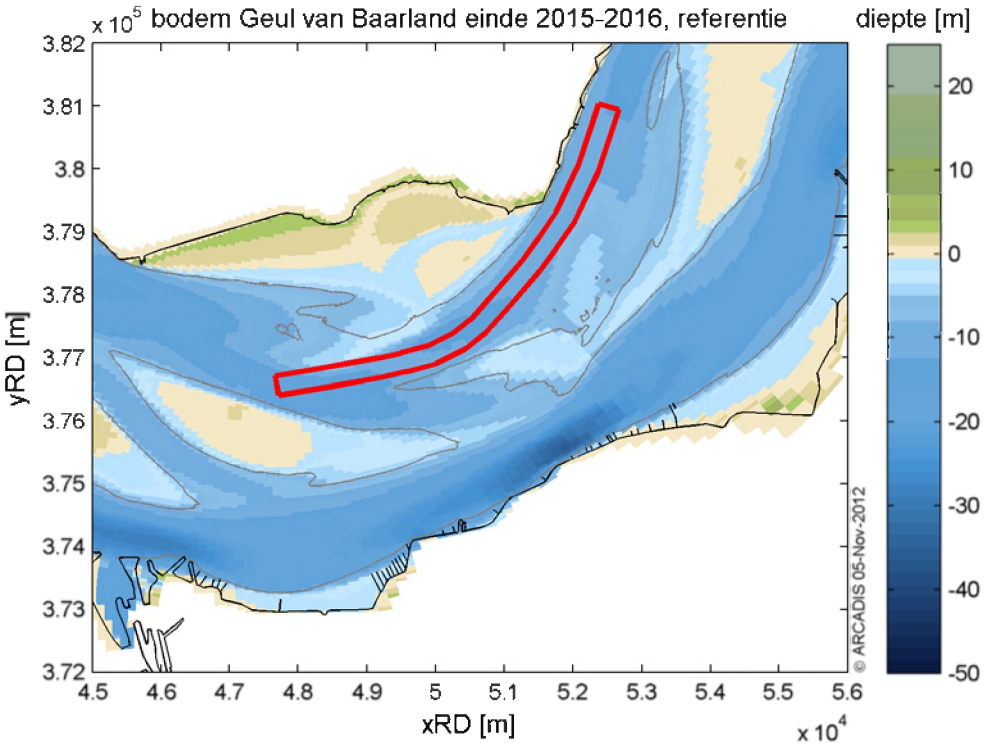
Figuur 14 Bodem Geul van Baarland einde tweede simulatiejaar



Figuur 15 Bodem Geul van Baarland einde derde simulatiejaar

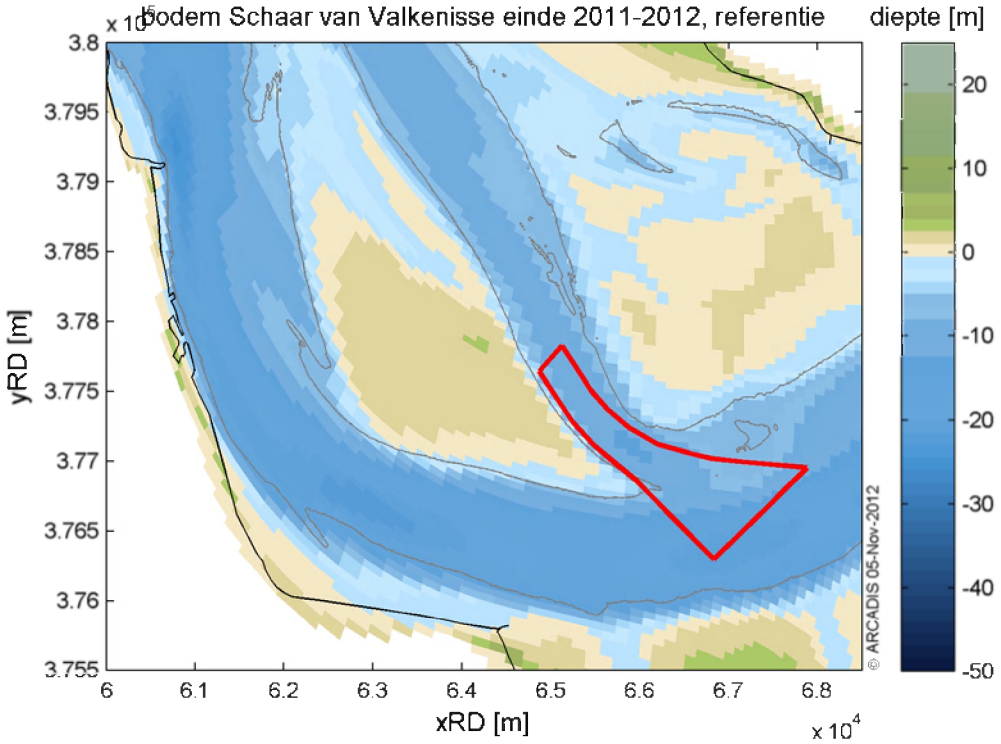


Figuur 16 Bodem Geul van Baarland einde vierde simulatiejaar

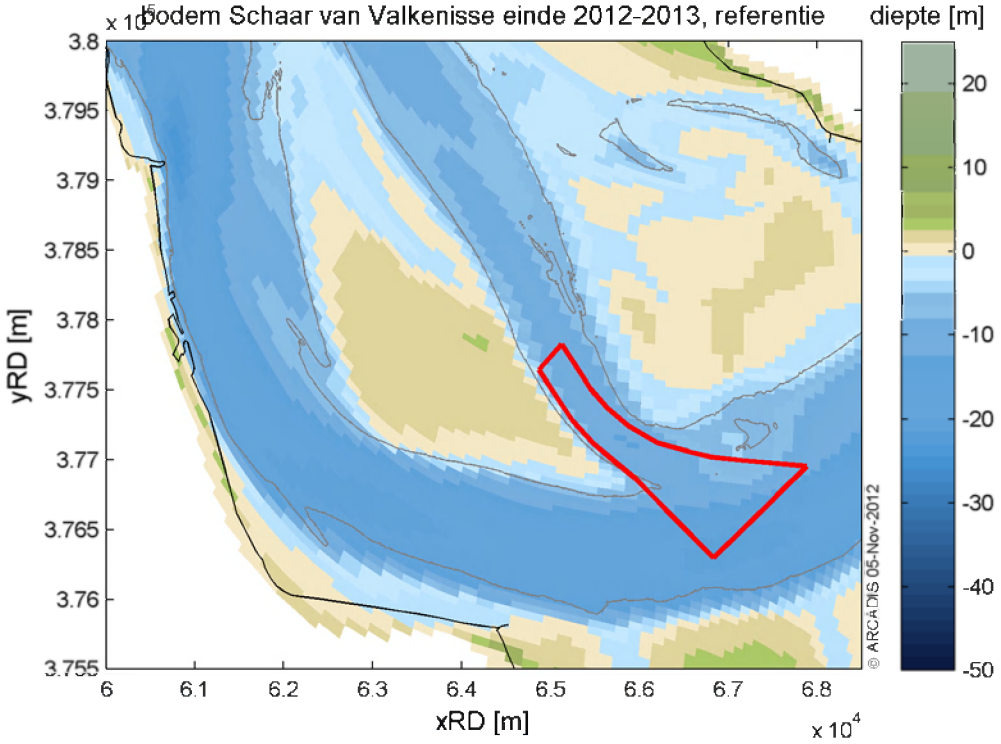


Figuur 17 Bodem Geul van Baarland einde vijfde simulatiejaar

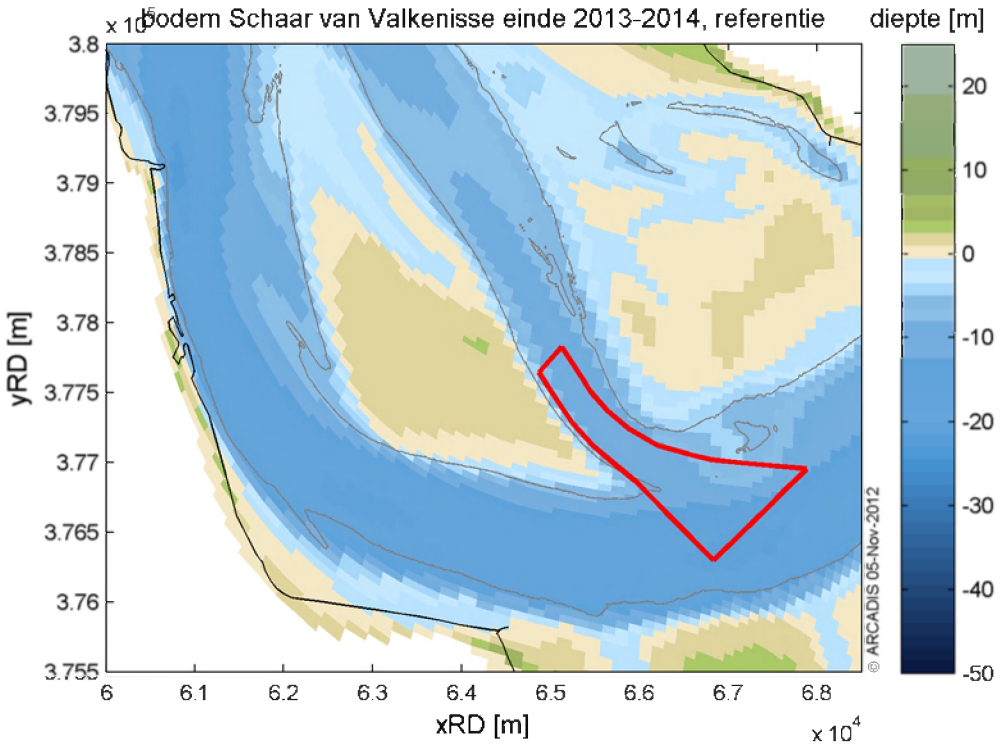
Figuur 18 tot Figuur 22 laat de bodemontwikkeling zien in het gebied rondom de Schaar van Valkenisse voor de situatie zonder verdiepte nevengeul. De figuren laten een verdieping en verbreding zien van de hoofdgeul in de richting van de Schaar van Waarde. In de nevengeul is er sprake van sedimentatie, waardoor de geul steeds verder opgevuld raakt. De locatie en breedte van de nevengeul verandert in de eerste vijf simulatie jaren nauwelijks. Zoals eerder aangegeven is dit niet conform observaties van de morfodynamica van de Schaar van Valkenisse, die tonen dat de geul zich naar het westen verplaatst. Het model is hier dus in mindere mate instaat om de morfodynamica van Schaar van Valkenisse correct te simuleren. Echter, de Plaat van Valkenisse (oostelijk van de nevengeul) breidt zich in onderstaande figuren wel zwak uit richting het zuiden/ zuidwesten. Dit heeft mogelijk tot gevolg dat in de toekomst de drempel tussen de nevengeul en hoofdgeul in toenemende mate verondiept en de Schaar van Valkenisse mogelijk afsluit. Mogelijk wordt dit verklaard doordat het aantal van vijf simulatiejaren te kort is om dit ook daadwerkelijk te simuleren. Het is daarom ook goed mogelijk dat de simulatie tijdspanne te kort is om de westwaartse migratie van de nevengeul correct te simuleren.



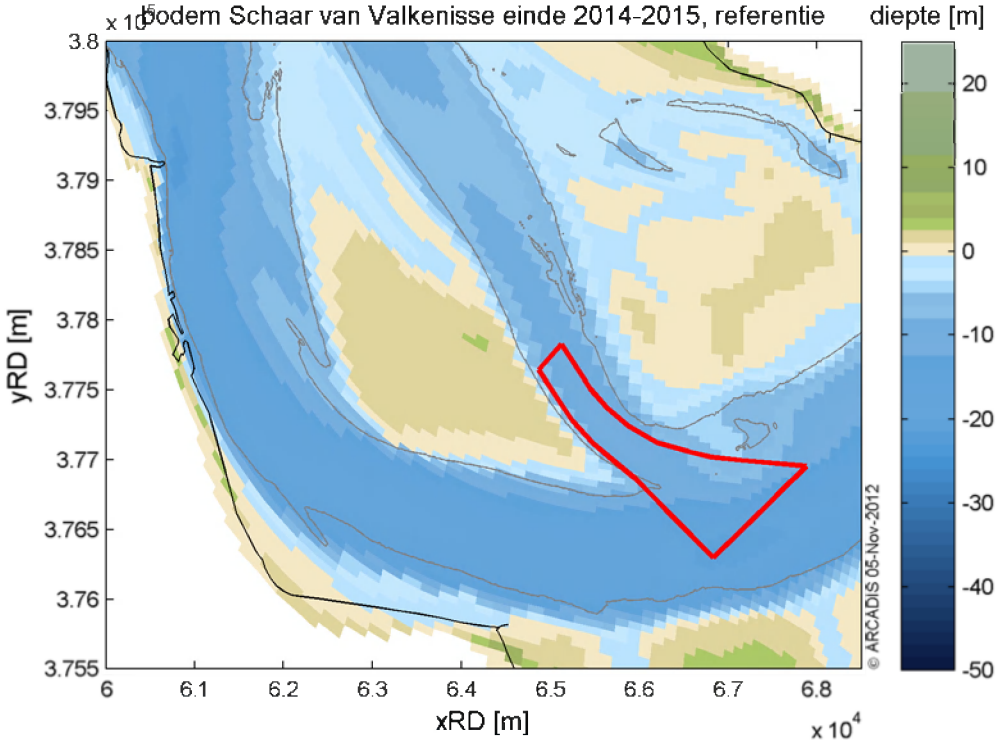
Figuur 18 Bodem Schaar van Valkenisse einde eerste simulatiejaar



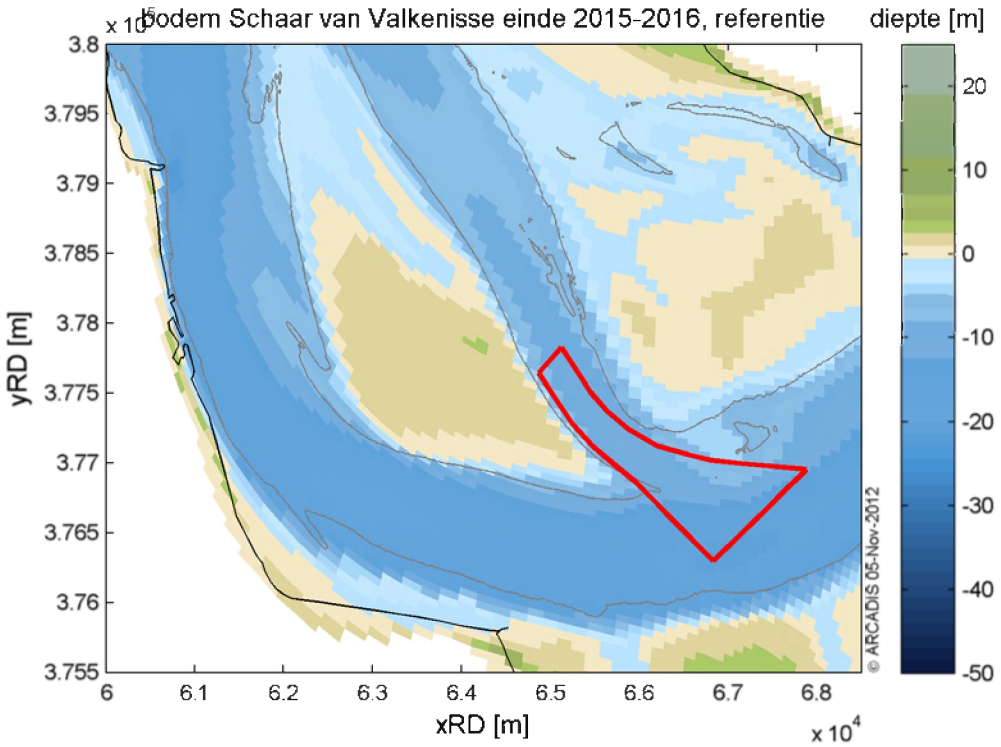
Figuur 19 Bodem Schaar van Valkenisse einde tweede simulatiejaar



Figuur 20 Bodem Schaar van Valkenisse einde derde simulatiejaar

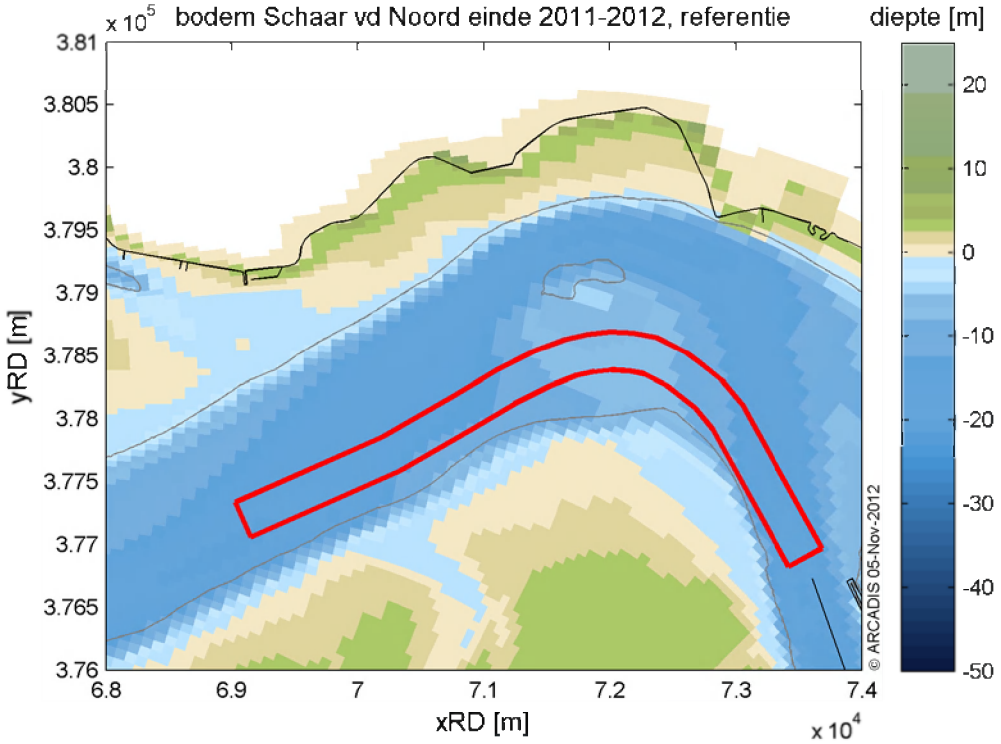


Figuur 21 Bodem Schaar van Valkenisse einde vierde simulatiejaar

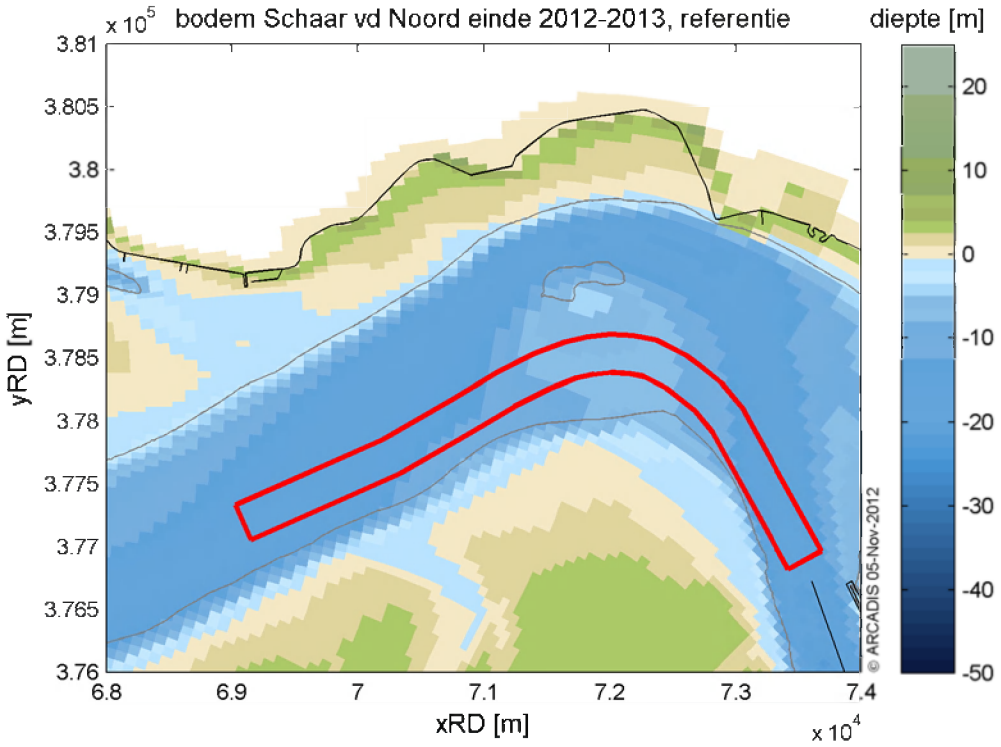


Figuur 22 Bodem Schaar van Valkenisse einde vijfde simulatiejaar

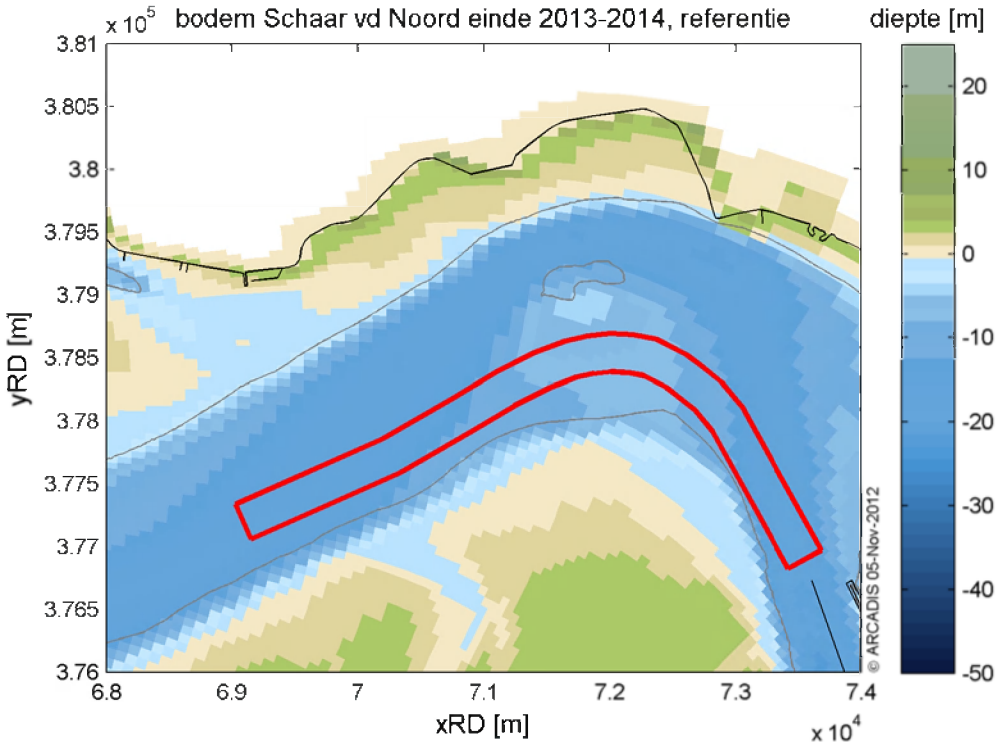
Tot slot laten Figuur 23 tot Figuur 27 de bodemontwikkeling rond de Schaar van de Noord zien. De figuren laten zien dat het ondiepe gedeelte in de Nevengeul zich uitbreidt in westelijk richting. Dit is het gedeelte dat tijdens de verdieping van de nevengeul is verdiept.



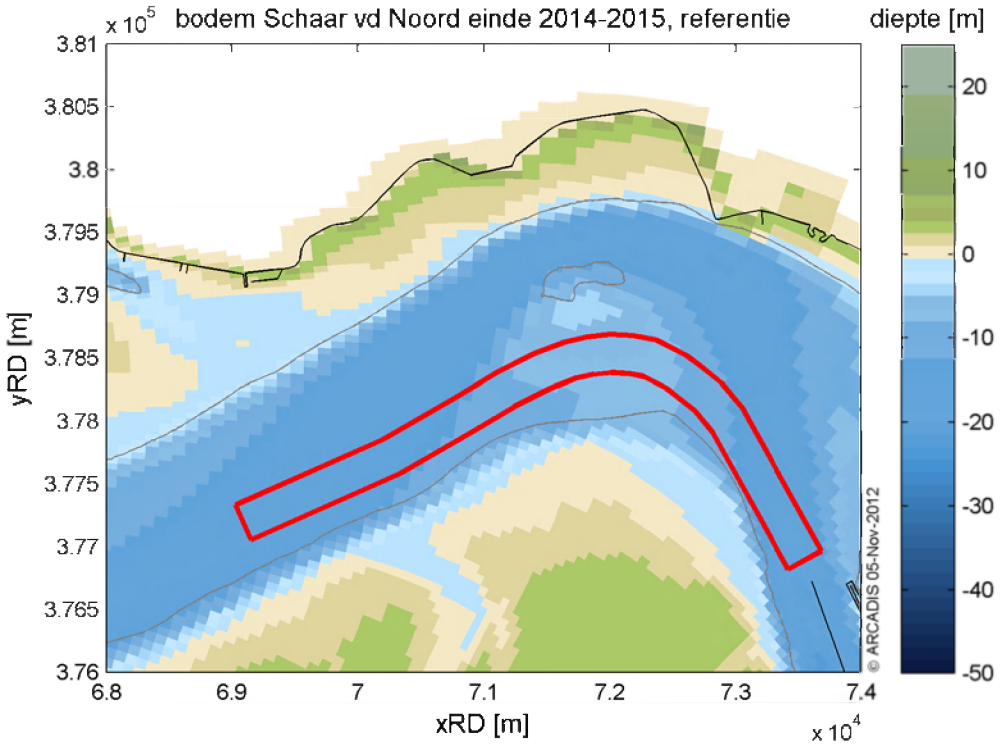
Figuur 23 Bodem Schaar van de Noord einde eerste simulatiejaar



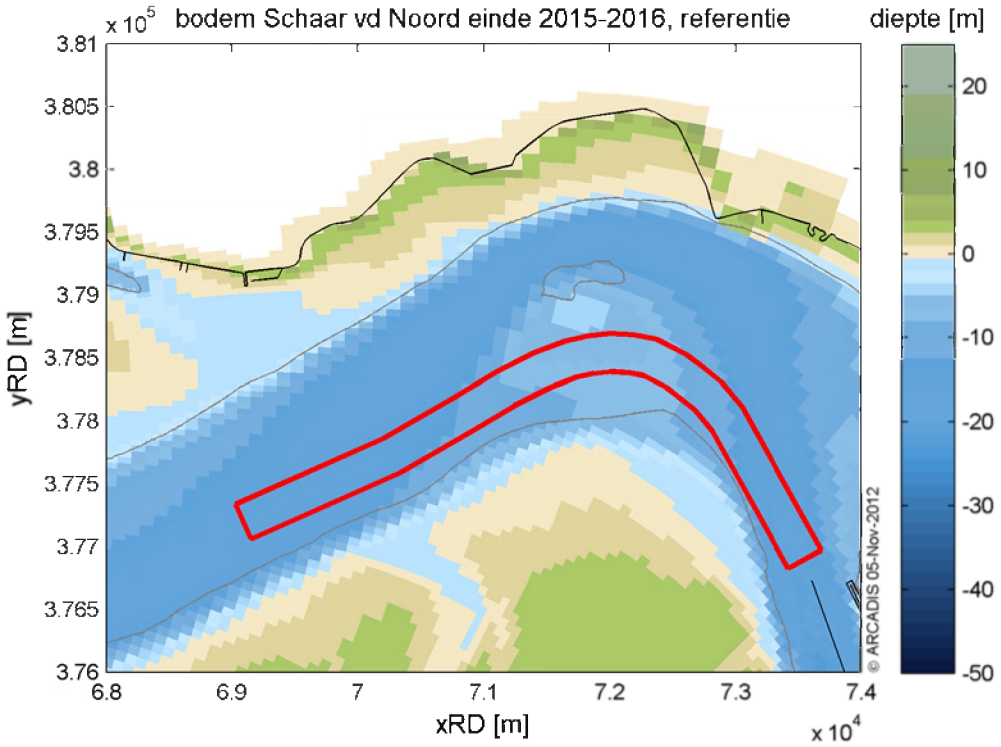
Figuur 24 Bodem Schaar van de Noord einde tweede simulatiejaar



Figuur 25 Bodem Schaar van de Noord einde derde simulatiejaar



Figuur 26 Bodem Schaar van de Noord einde vierde simulatiejaar

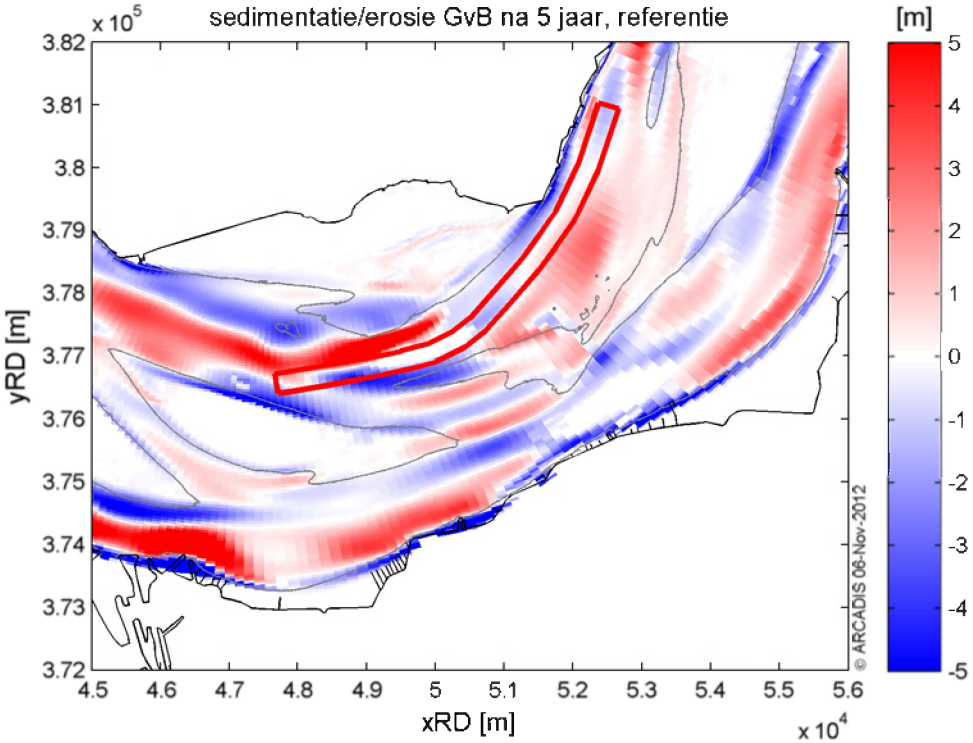


Figuur 27 Bodem Schaar van de Noord einde vijfde simulatiejaar

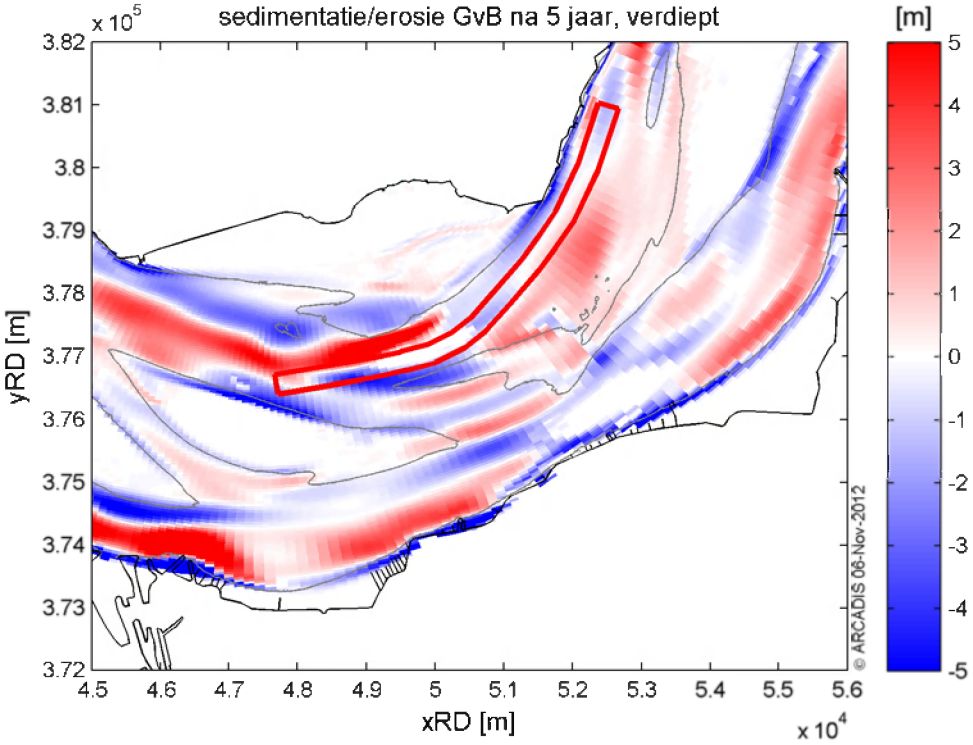
Sedimentatie/ erosie

Voor de sedimentatie en erosie bekijken we alleen de patronen voor de gebieden rondom de verdiepte nevengeulen. Hiervoor tonen we telkens eerst de sedimentatie en erosie patronen voor de situatie zonder verdiepte nevengeulen en daarna met verdiepte nevengeulen, waarbij we kijken naar het verschil over vijf simulatiejaren

Figuur 28 en Figuur 29 tonen de sedimentatie en erosie patronen voor de Geul van Baarland voor de situatie met en zonder verdiepte geul. Deze figuren laten duidelijk zien dat de Plaat van Baarland zich naar het zuiden toe uitbreidt, zoals eerder al aangegeven. Dit verklaart ook het toenemende baggeronderhoud in de geul richting het laatste simulatie jaar. In de Geul van Baarland treedt een duidelijke splitsing tussen sedimentatie en erosie. De westkant van de geul wordt gekenmerkt door een matige erosie, terwijl de oostkant matige sedimentatie laat zien. Er is geen verschil te zien tussen de figuren, wat er op duidt dat het op diepte houden van de geul een zeer beperkt effect heeft op de sedimentatie en erosie. Dit is niet verrassend, omdat de geul niet initieel op diepte is gebracht.

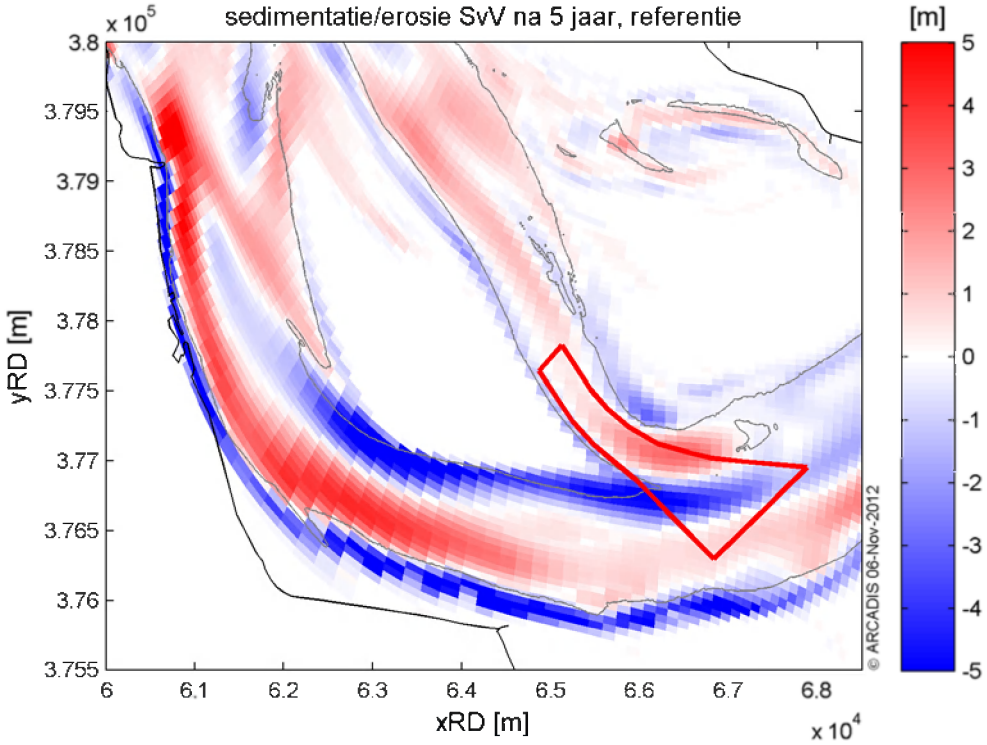


Figuur 28 Sedimentatie (rode kleur) en erosie (blauwe kleur) patronen rondom de Geul van Baarland na vijf jaar. Ook is het bagger polygoon getoond.

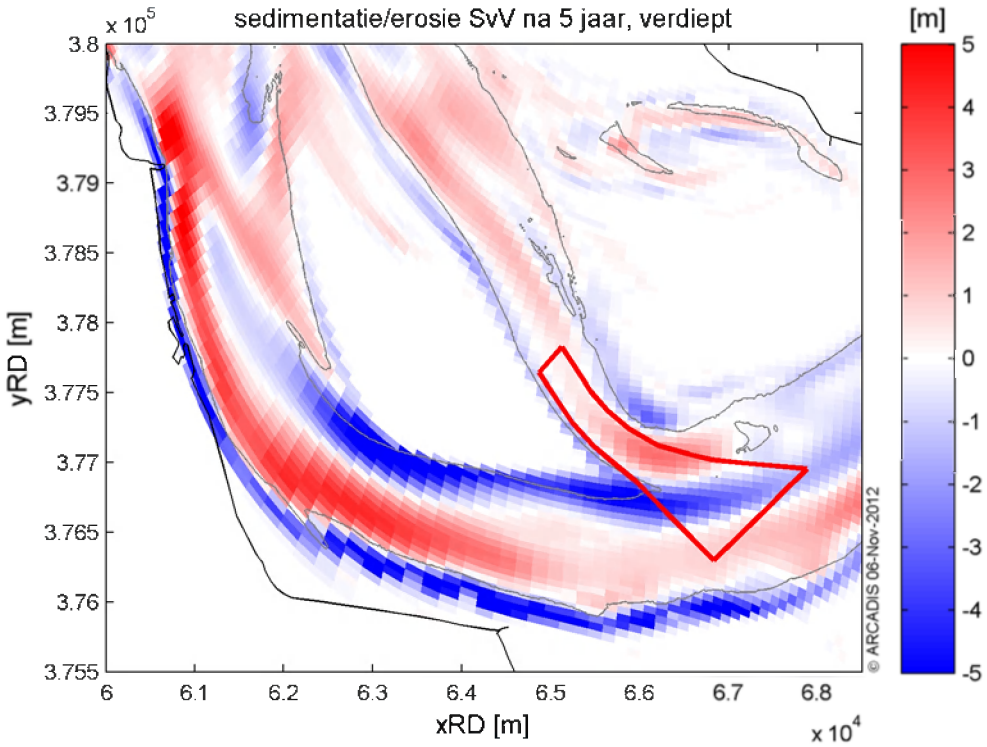


Figuur 29 Sedimentatie (rode kleur) en erosie (blauwe kleur) patronen rondom de Geul van Baarland na vijf jaar, voor een verdiepte nevengeul. Ook is het bagger polygoon getoond.

Figuur 30 en Figuur 31 laten de sedimentatie en erosie zien voor het gebied rondom de Schaar van Valkenisse voor de situatie met en zonder verdiepte nevengeul. Zoals eerder aangegeven is er sprake van erosie op de zuidrand van de Plaat van Walsoorden. Deze erosieband loopt door in oostelijke richting, wat voor de scherpe overgang in sedimentatie en erosie zorgt tussen de hoofdgeul en Schaar van Valkenisse. Verder valt op dat in het noordelijke gedeelte van de Schaar van Valkenisse inderdaad sprake is van sedimentatie. Als deze trend zich doorzet, dan is te verwachten dat ook dit gedeelte moet worden gebaggerd om de geul bevaarbaar te houden.
Wanneer we de sedimentatie en erosie patronen vergelijken voor de situatie met en zonder verdiepte nevengeul, valt op dat zowel de sedimentatie als de erosie afneemt binnen het baggerpolygoon. Dit komt mogelijk doordat de stroomsnelheid door de verdieping toeneemt over het ondiepe gedeelte en afneemt over het diepe gedeelte. Daarnaast neemt de sedimentatie in de hoofdgeul, ten zuiden van de baggerpolygoon, licht toe. Dit duidt er dus op dat als gevolg van een diepere nevengeul er meer sedimentatie op treedt in de hoofdgeul.

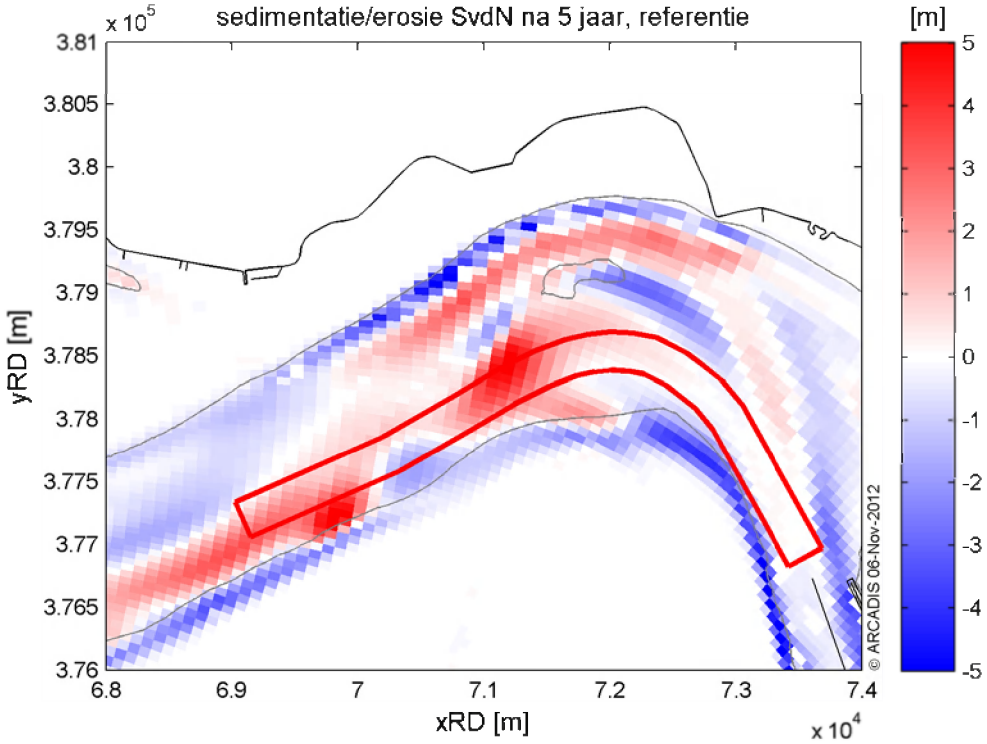


Figuur 30 Zelfde als Figuur 28, maar nu voor de Schaar van Valkenisse.

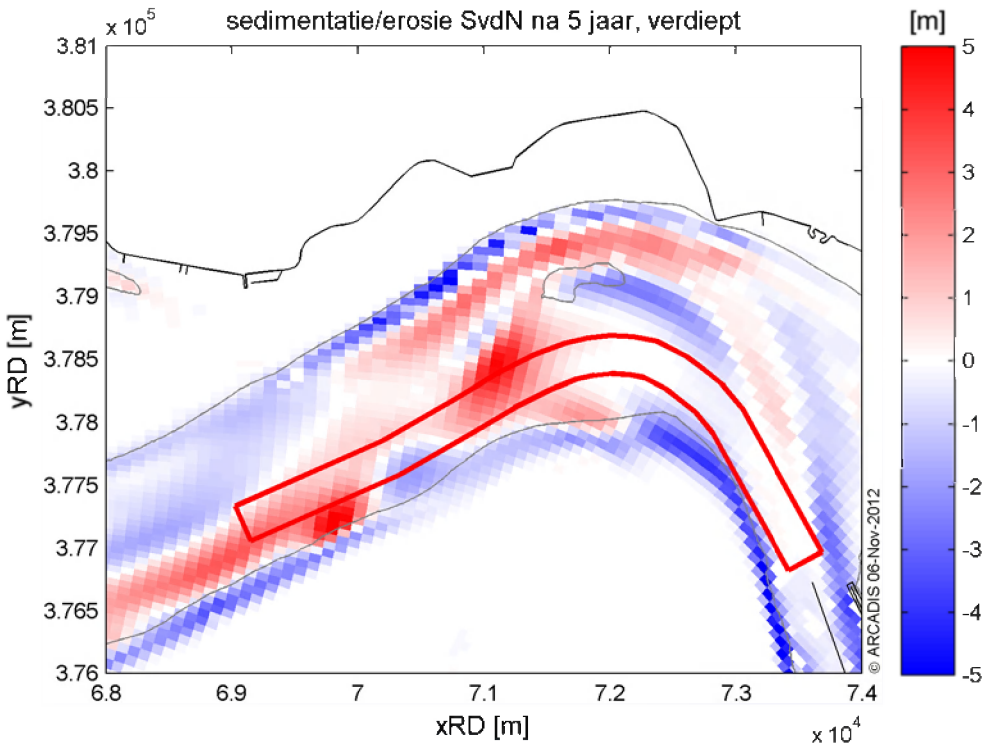


Figuur 31 Zelfde als Figuur 29, maar nu voor de Schaar van Valkenisse.

Tot slot tonen Figuur 32 en Figuur 33 de sedimentatie en erosie patronen voor de Schaar van de Noord, voor de situatie met en zonder verdiepte nevengeul. De hoofdgeul loopt aan de noordkant van de bocht, terwijl de nevengeul door de binnenbocht loopt. Duidelijk is te zien dat in de hoofdgeul in de bocht sedimentatie optreedt. Dit komt doordat deze locatie samenvalt met een stortlocatie (Figuur 3). Daarnaast is te zien dat er matige tot sterke sedimentatie optreedt in de nevengeul. Wanneer de situatie met een verdiepte nevengeul beschouwen, valt op dat in de hoofdgeul in de bocht meer sedimentatie optreedt. Dit hangt nauw samen met de verdieping en op diepte houden van de Schaar van de Noord, want het sediment dat uit de nevengeul wordt verwijdert, wordt gestort in de nabij gelegen hoofdgeul. Ten tweede tonen de figuren dat de mate van sedimentatie in de nevengeul als gevolg van de verdieping, minder sterk is in de bocht.



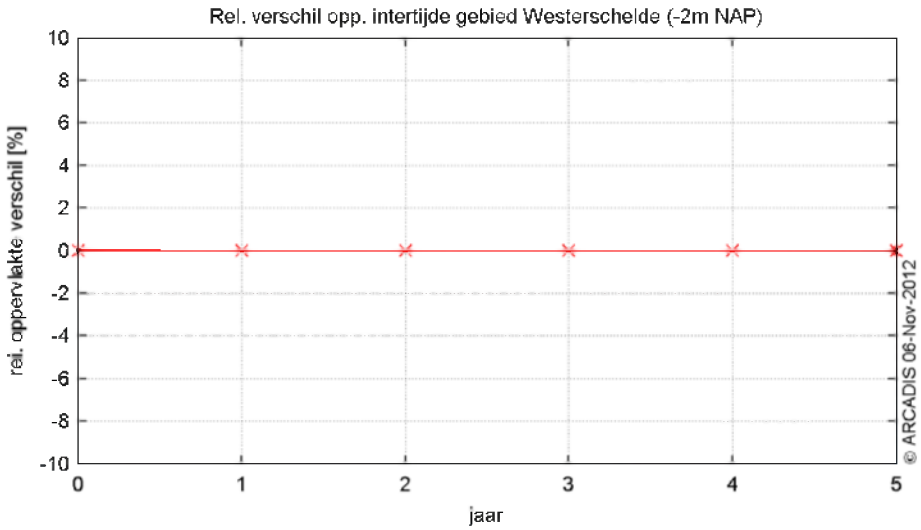
Figuur 32 Zelfde als Figuur 28, maar nu voor de Schaar van de Noord.



Figuur 33 Zelfde als Figuur 29, maar nu voor de Schaar van de Noord.

Arealen

Figuur 34 laat het relatieve verschil (in procenten) zien van het oppervlakte van het intertijde gebied tussen de situatie met en zonder verdiepte nevengeul. Als minimum diepte is twee meter beneden NAP aangehouden. De figuur laat duidelijke zien dat het verdiepen van de nevengeulen geen effect heeft op de omvang van het intertijde gebied.



Figuur 34 Relatieve verschil in het oppervlakte van het intertijde gebied tussen de situaties met en zonder verdiepte nevengeul.

Waterstanden

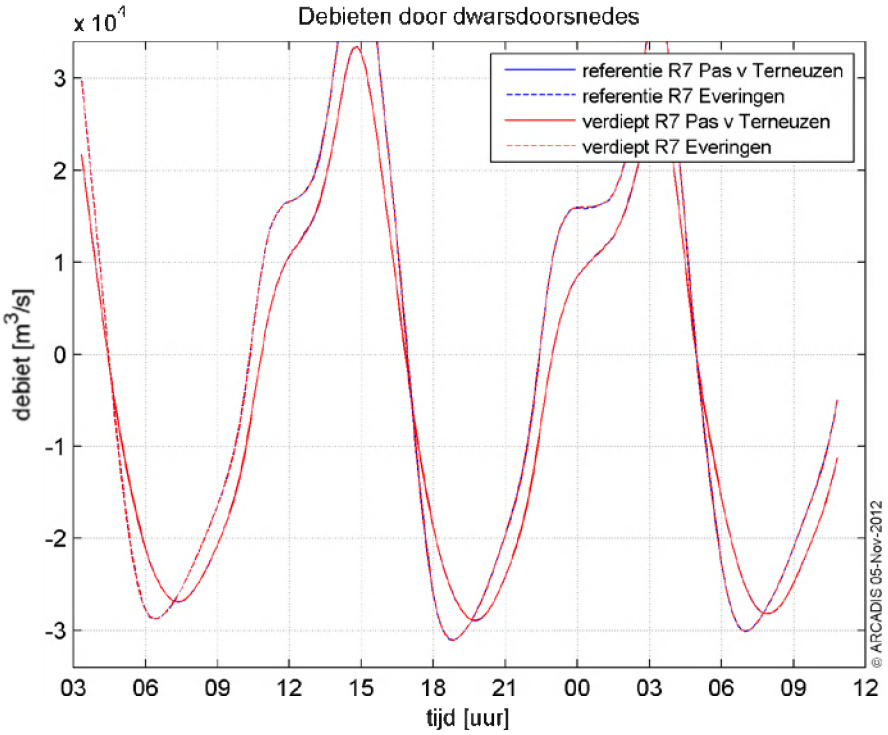
Tabel 7 toont de berekende amplitudes van drie getijdecomponenten (M2, M4 en M6) voor vijf waarnemingsstations voor het begin en eind van de simulaties, voor zowel de referentie als het verdiepte nevengeulen scenario. Ook zijn de foutenmarges weergegeven. Uit de tabel blijkt dat er nauwelijks verschil optreedt in de waterstanden gedurende de simulaties. Daarnaast ontstaat er ook geen verschil in de waterstanden door het verdiepen van de nevengeulen. Het verdiepen van de nevengeulen heeft dus geen effect op de waterstanden.

	Start Onverdiept		Start Verdiept		5 jaar Onverdiept		5 jaar Verdiept	
component	ampl	error	ampl	error	ampl	error	ampl	error
Station Vlissingen								
M2	1,60	0,02	1,60	0,02	1,59	0,02	1,59	0,02
M4	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
M6	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02
Station Terneuzen								
M2	1,74	0,02	1,74	0,02	1,74	0,02	1,74	0,02
M4	0,09	0,02	0,09	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
M6	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02
Station Hansweert								
M2	1,89	0,02	1,89	0,03	1,88	0,02	1,88	0,03
M4	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02	0,10	0,02
M6	0,06	0,03	0,06	0,02	0,06	0,02	0,06	0,02
Station Bath								
M2	2,05	0,03	2,05	0,03	2,03	0,03	2,03	0,03
M4	0,08	0,03	0,08	0,03	0,08	0,03	0,08	0,03
M6	0,07	0,03	0,07	0,03	0,07	0,03	0,07	0,03
Station Antwerpen Loodsgebouw								
M2	2,25	0,03	2,25	0,03	2,20	0,03	2,20	0,03
M4	0,06	0,03	0,06	0,03	0,08	0,03	0,08	0,03
M6	0,10	0,03	0,10	0,03	0,10	0,03	0,10	0,03

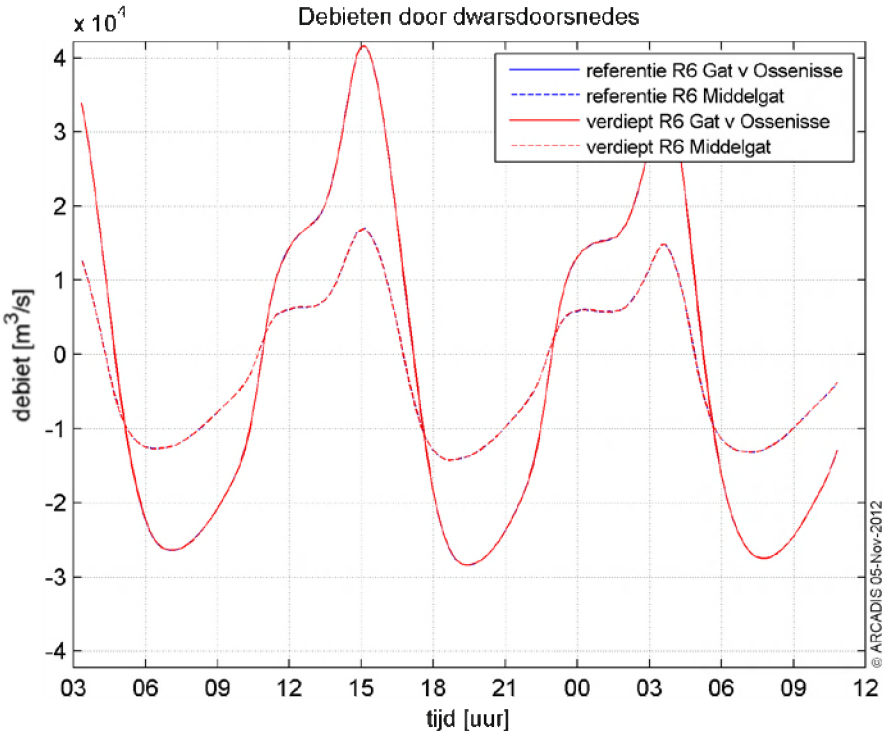
Tabel 7 Amplitudes van de drie belangrijkste getijde componenten voor vijf waarnemingsstations.

Debieten

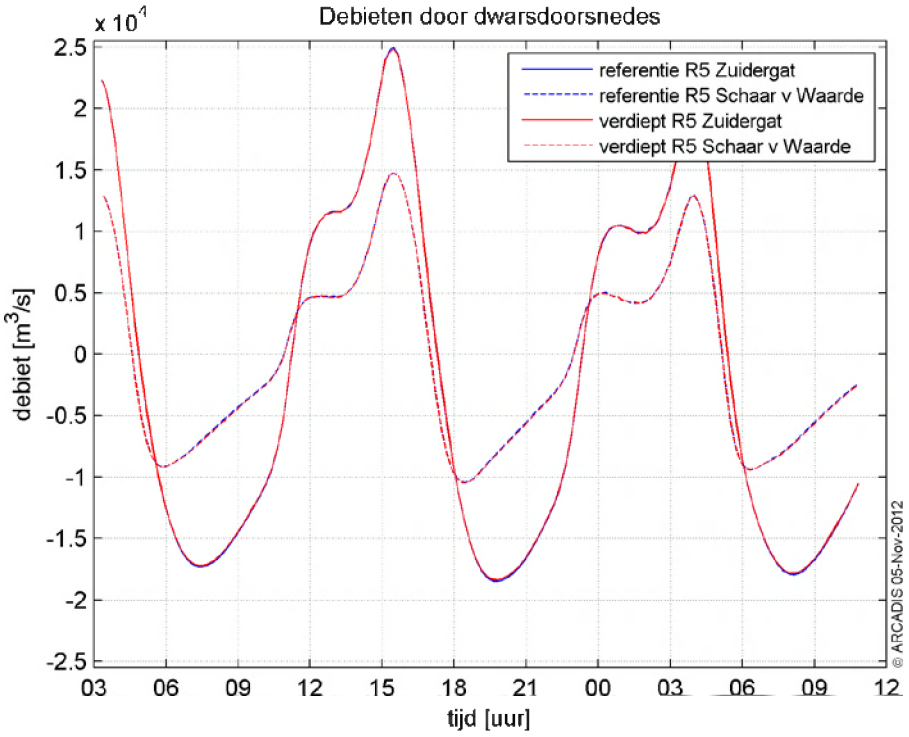
Figuur 35 tot Figuur 38 toont de afvoeren door dwarsdoorsnedes in de buurt van de verdiepte nevengeulen, tijdens springtij. De figuren laten geen effect zien van het verdiepen van de nevengeulen op de afvoeren. Dit komt omdat de gekozen dwarsdoorsnedes niet direct voor of na een verdiepte nevengeul liggen. Het is te verwachten dat de afvoeren in de directe nabijheid van de nevengeulen wel worden beïnvloed door het verdiepen, echter de figuren laten zien dat het verdiepen van de geulen geen invloed heeft op de debieten elders in de Westerschelde



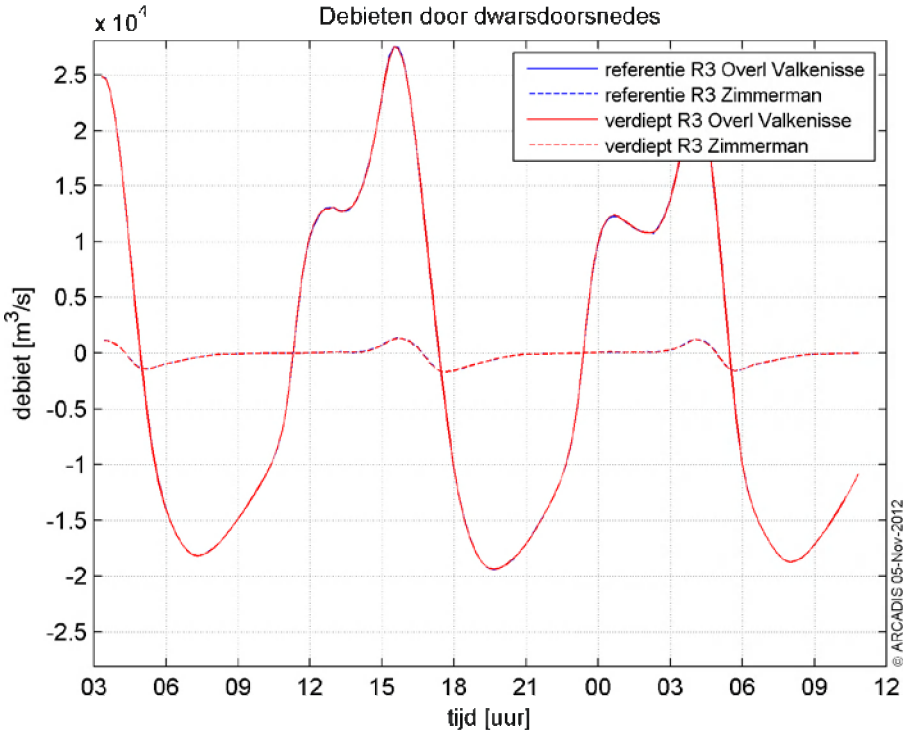
Figuur 35 Debieten door hoofdgeul Pas van Terneuzen en nevengeul Everingen



Figuur 36 Debieten door hoofdgeul Gat van Ossenisse en nevengeul Middelgat



Figuur 37 Debieten door hoofdgeul Zuidergat en nevengeul Schaar van Waarde



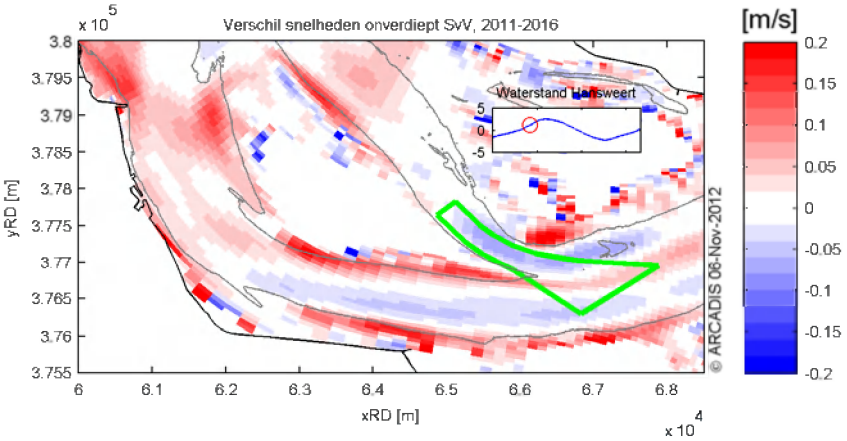
Figuur 38 Debieten door hoofdgeul Overloop van Valkenisse en nevengeul Zuidergat

Stroomsnelheden

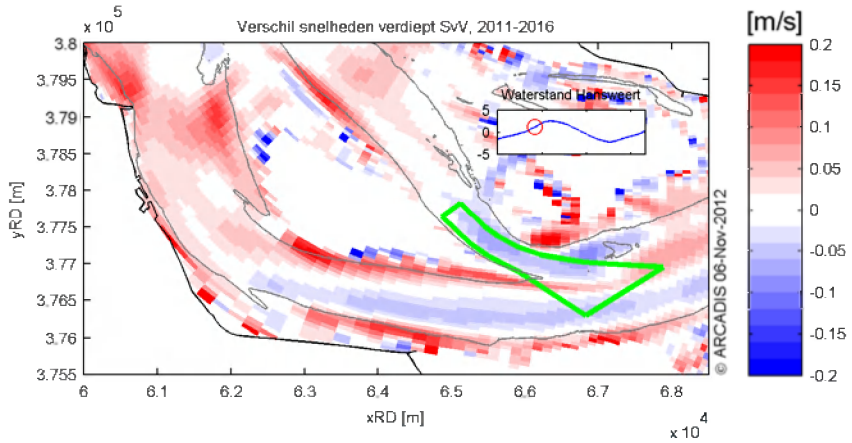
In deze sectie behandelen we het effect van het verdiepen van de nevengeulen op de stroomsnelheden in het gebied rond de nevengeulen. Dit doen we door het verschil in stroomsnelheid tussen het begin en eind van de simulaties te vergelijken voor de situatie met en zonder verdiepte nevengeul. Dit doen we voor de maximale eb en vloedstroom. Daarnaast laten we alleen de resultaten zien voor de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord, omdat we eerder al hebben laten zien dat alleen hier verschillen optreden in de bodemligging als gevolg van het verdiepen van de nevengeulen, waardoor het te verwachten is dat er ook verschillen in stroomsnelheid optreden.

Figuur 39 en Figuur 40 tonen de stroomsnelheidsverschillen voor de Schaar van Valkenisse tijdens maximale vloedstroom voor de situatie zonder en met verdiepte nevengeul. Uit de figuren blijkt dat de stroomsnelheid in het baggerpolygoon sterker afneemt zonder verdieping dan met verdieping. Dat de snelheid op deze plek afneemt is niet verwonderlijk, omdat we eerder al hebben laten zien dat er hier sedimentatie optreedt. Door de nevengeul te verdiepen, ontstaat er meer ruimte voor het water om door de geul te stromen, waardoor de stroomsnelheid minder afneemt over de simulatieperiode. In de hoofdgeul nabij de nevengeul neemt de stroomsnelheid voor de verdiepte situatie sterker af dan voor het onverdiepte scenario. Eerder hebben we gezien dat hier een versterkte sedimentatie optreedt als gevolg van het verdiepen van de geul. Figuur 41 en Figuur 42 laten hetzelfde patroon zien tijdens de maximale ebstroom; een minder sterke afname van de stroomsnelheid binnen het baggerpolygoon en een sterkere afname van de stroomsnelheid in de hoofdgeul

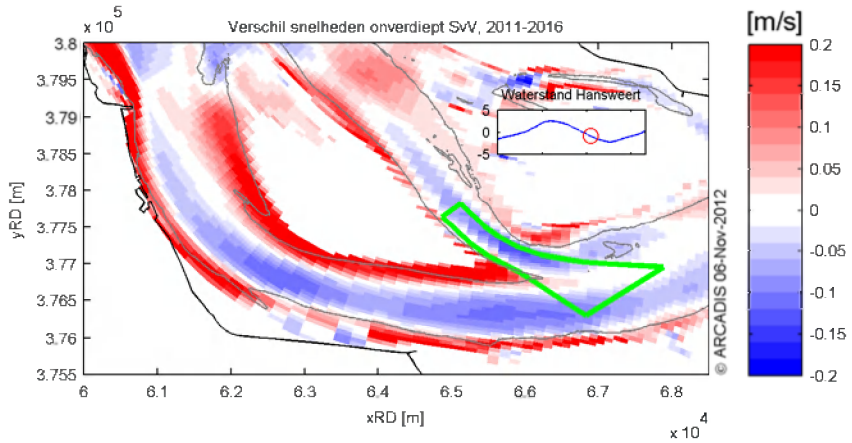
Figuur 43 en Figuur 44 tonen de stroomsnelheidsverschillen na vijf jaar tussen de verdiepte en onverdiepte situatie, tijdens maximale vloed,- en ebstroom, respectievelijk. De figuren laten zien dat ter hoogte van de Schaar van Valkenisse er nauwelijks sprake is van verschillen in stroomsnelheid tijdens maximale vloedstroom. Tijdens maximale ebstroom, echter, nemen de stroomsnelheden in de nevengeul duidelijk toe, terwijl de stroomsnelheden in de hoofdgeul afnemen. De verwijdering van de drempel zorgt er dus voor dat de nevengeul beter in staat is om water af te voeren tijdens eb, waardoor er minder water door de hoofdgeul stroomt. Merk op dat deze effecten gering zijn.



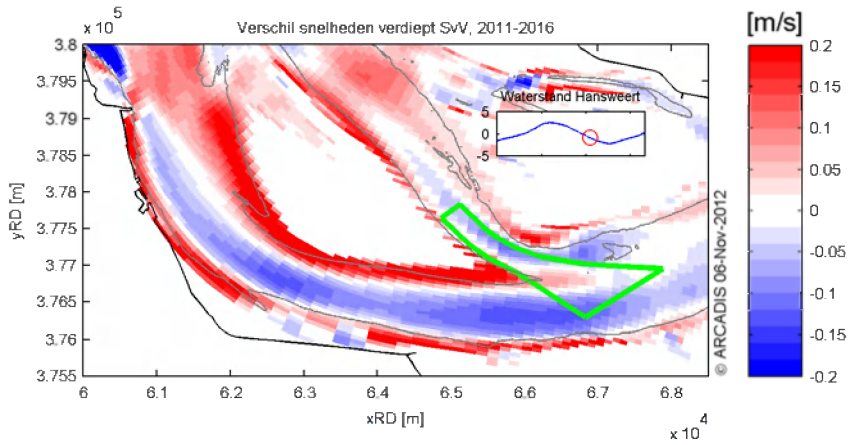
Figuur 39 Stroomsnelheidsverschillen tussen begin en eind van de simulaties voor de Schaar van Valkenisse, zonder verdiepte nevengeul, tijdens maximale vloedstroom



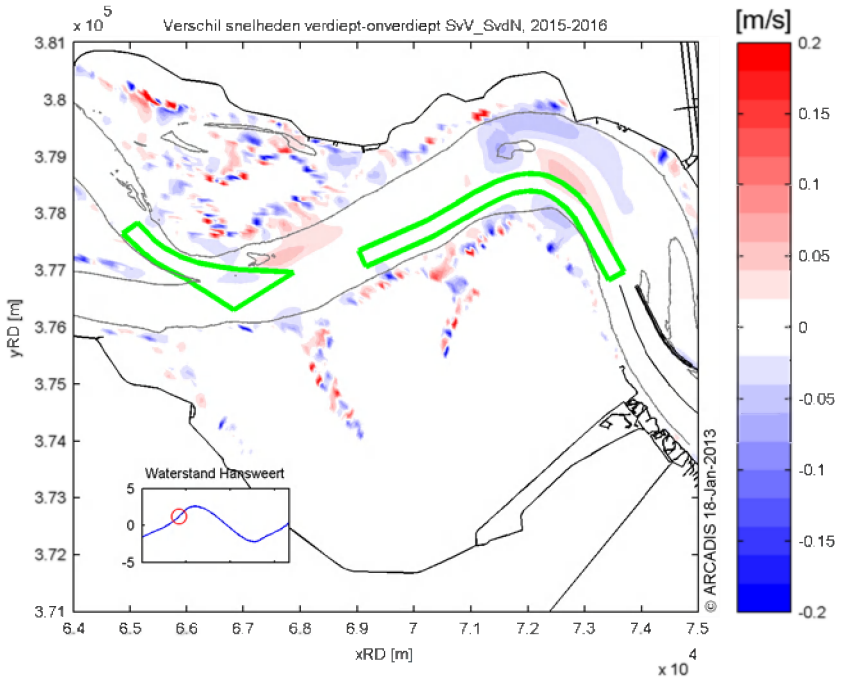
Figuur 40 Stroomsnelheidsverschillen tussen begin en eind van de simulaties voor de Schaar van Valkenisse, met verdiepte nevengeul, tijdens maximale vloedstroom



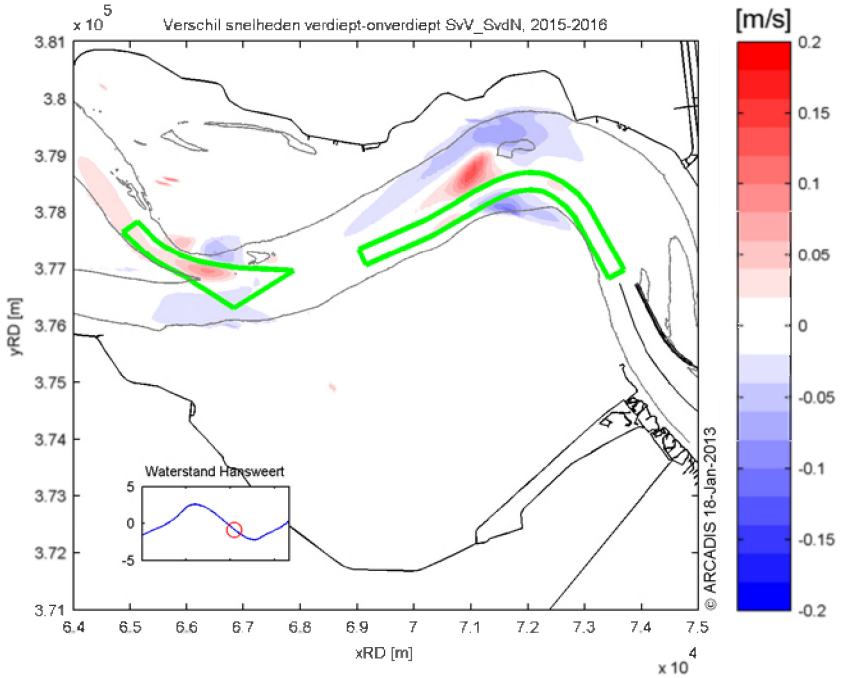
Figuur 41 Stroomsnelheidsverschillen tussen begin en eind van de simulaties voor de Schaar van Valkenisse, zonder verdiepte nevengeul, tijdens maximale ebstroom



Figuur 42 Stroomsnelheidsverschillen tussen begin en eind van de simulaties voor de Schaar van Valkenisse, met verdiepte nevengeul, tijdens maximale ebstroom



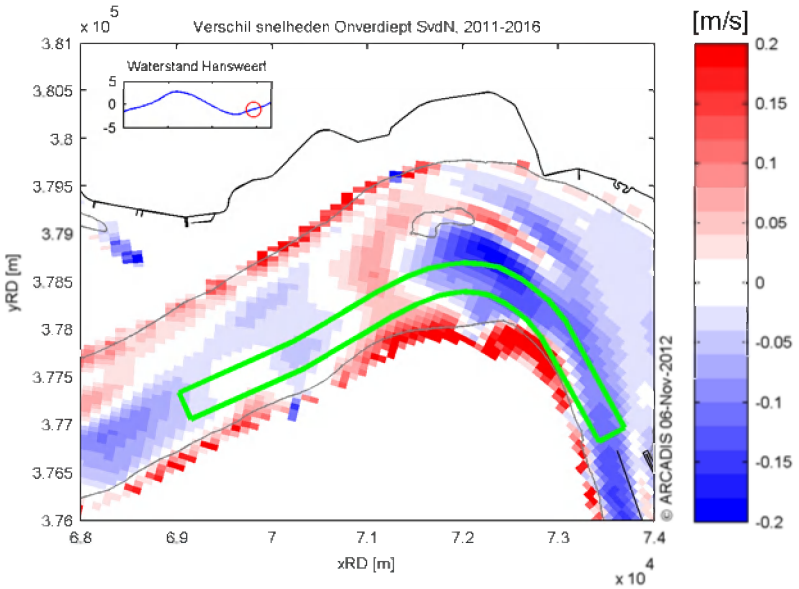
Figuur 43 Stroomsnelheidsverschillen na vijf jaar tussen de verdiepte en onverdiepte situatie., tijdens maximale vloedstroom. Rood: snelheid neemt toe door verdieping; blauw: snelheid neemt af door verdieping



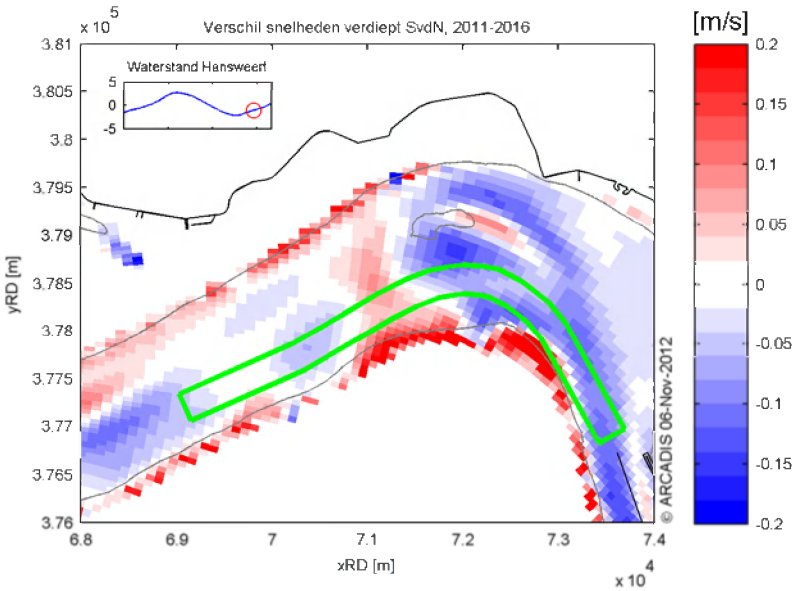
Figuur 44 Stroomsnelheidsverschillen na vijf jaar tussen de verdiepte en onverdiepte situatie., tijdens maximale ebstroom. Rood: snelheid neemt toe door verdieping; blauw: snelheid neemt af door verdieping

Figuur 45 en Figuur 46 tonen de stroomsnelheidsverschillen voor de Schaar van de Noord tijdens maximale vloedstroom voor de situatie zonder en met verdiepte nevengeul. Voor het onverdiepte scenario is een sterke afname van de stroomsnelheid te zien in het meest noordelijke gedeelte van de nevengeul. In dit gebied hebben we eerder een sterke sedimentatie gezien. Hierdoor ontstaat er minder ruimte voor het water, waardoor de stroomsnelheid afneemt. Door het verdiepen en op diepte houden van de nevengeul, wordt dit effect duidelijk afgezwakt. In het meest noordelijke gedeelte van de hoofdgeul is de situatie juist andersom. Dit komt doordat in dit gebied sediment wordt gestort dat uit de nevengeul is verwijderd. Hierdoor neemt de stroomsnelheid in de hoofdgeul sterker af voor het verdiepte scenario. Figuur 47 en Figuur 48 laten hetzelfde patroon zien tijdens maximale ebstroom.

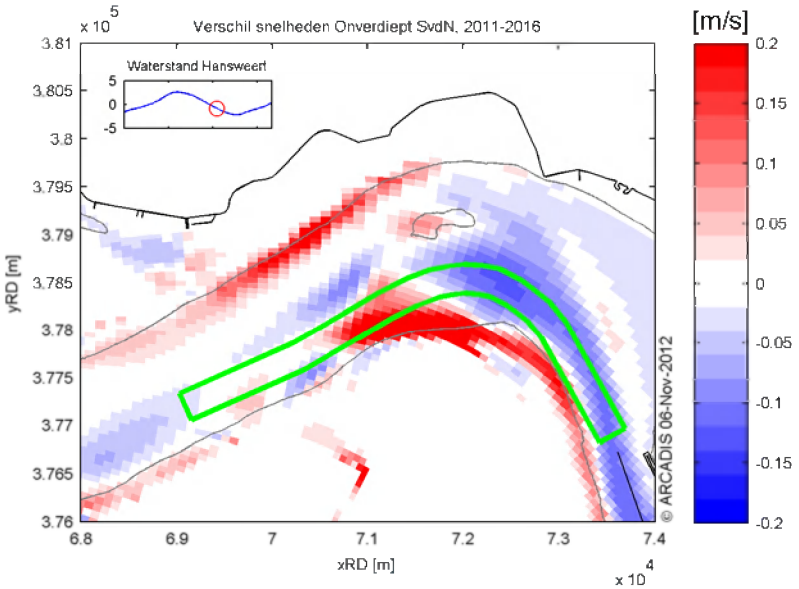
Het verschil in stroomsnelheid nabij de Schaar van de Noord na vijf jaar is ook nu getoond in Figuur 43 en Figuur 44. Zowel tijdens maximale vloed,- als ebstroom, neemt de stroomsnelheid door de hoofdgeul af, zoals ook al was aangetoond door de verschilkaartjes tussen het begin en het eind van de simulaties. Daarnaast is er een toename van de stroomsnelheid te zien net ten noordenwesten (tijdens vloed) en ten noordoosten (tijdens eb) van de nevengeul.



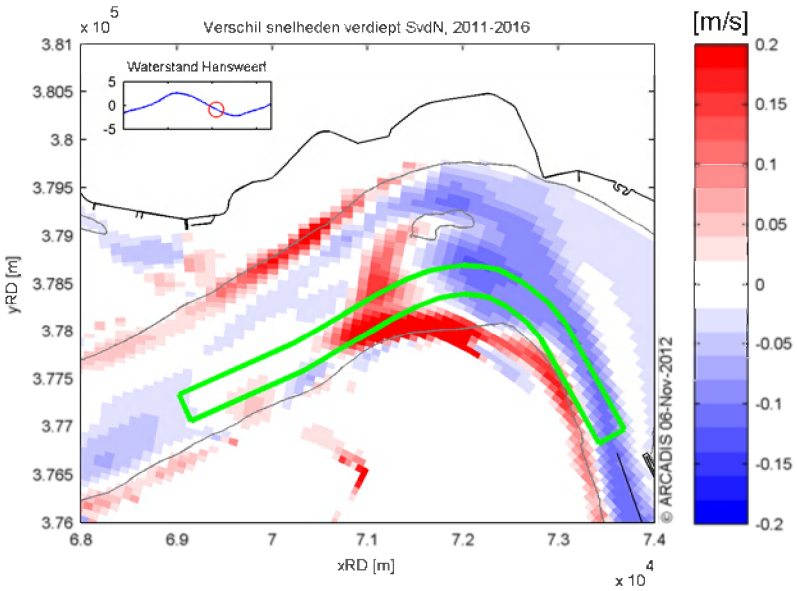
Figuur 45 Zelfde als Figuur 39, maar nu voor de Schaar van de Noord



Figuur 46 Zelfde als Figuur 40, maar nu voor de Schaar van de Noord



Figuur 47 Zelfde als Figuur 41, maar nu voor de Schaar van de Noord



Figuur 48 Zelfde als Figuur 42, maar nu voor de Schaar van de Noord

Conclusie

Op basis van de uitgevoerde simulaties trekken we de volgende conclusies:

- Door het verdiepen van de nevengeulen neemt het totale baggerbezwaar over vijf jaar toe met $1{,}0 \times 10^6$ m^3.
- Doordat het sediment dat is verwijderd uit de nevengeulen wordt gestort op locaties in de hoofdgeul, neemt het baggerbezwaar in de hoofdgeul lokaal toe.
- In de Geul van Baarland is pas een significante baggerinspanning nodig vanaf het vijfde simulatiejaar als gevolg van het sedimentatie van Plaat van Baarland. Het is te verwachten dat hierdoor op de langer termijn een intensiever onderhoud van de geul nodig is.
- In de hoofdgeul nabij de Schaar van Valkenisse treedt sedimentatie op als gevolg van de verdieping van de nevengeul.
- In de hoofdgeul bij de Schaar van de Noord neemt het baggeronderhoud toe als gevolg van een toename van de storting door het verdiepen van de nevengeul.
- Het verdiepen van de geulen heeft beperkte invloed op de algehele hydrodynamische condities in de Westerschelde.
- We adviseren om te werken met flexibele stortingen, waardoor lokaal de hoofdgeul niet te veel wordt belast met de toename van het stortvolume als gevolg van het verdiepen van de nevengeulen.

Bijlage I Memo Finel2D simulaties onderhoudsbaggerwerk

MEMO: MORFOLOGISCH EFFECT NEVENGEULEN

Aan	: LTV Projectgroep
Van	: Gerard Dam, Sanne Poortman
Datum	: 18 januari 2013
Referentie	: 1630/U12328/E/GD
Status	: Concept

1 INTRODUCTIE

Binnen het LTV V&T project wordt onderzocht of het mogelijk is om de binnenvaart via de nevengeulen te laten varen in plaats van de hoofdvaargeul in verband met nautische veiligheid. Om dit mogelijk te maken moeten een aantal drempels gebaggerd worden en op diepte gehouden worden. Dit zijn drempels in de Geul van Baarland, Schaar van Valkenisse en Schaar van de Noord. In deze memo wordt het nevengeulen scenario morfologisch onderzocht met behulp van het FINEL2d model voor een periode van 10 jaar. De resultaten worden vergeleken ten opzichte van een T0 scenario waarin de drempels niet verdiept en onderhouden worden.

2 FINEL2D MODEL

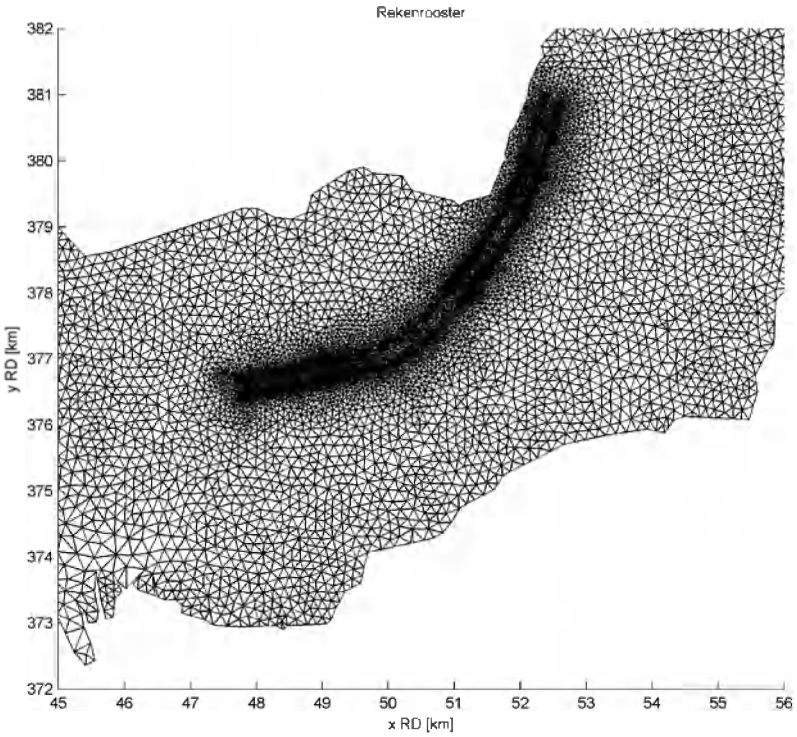
2.1 Introductie

Gebruik gemaakt wordt van het FINEL2d model van de Westerschelde. Dit model is geactualiseerd voor het LTV V&T project (LTV V&T, 2012a).

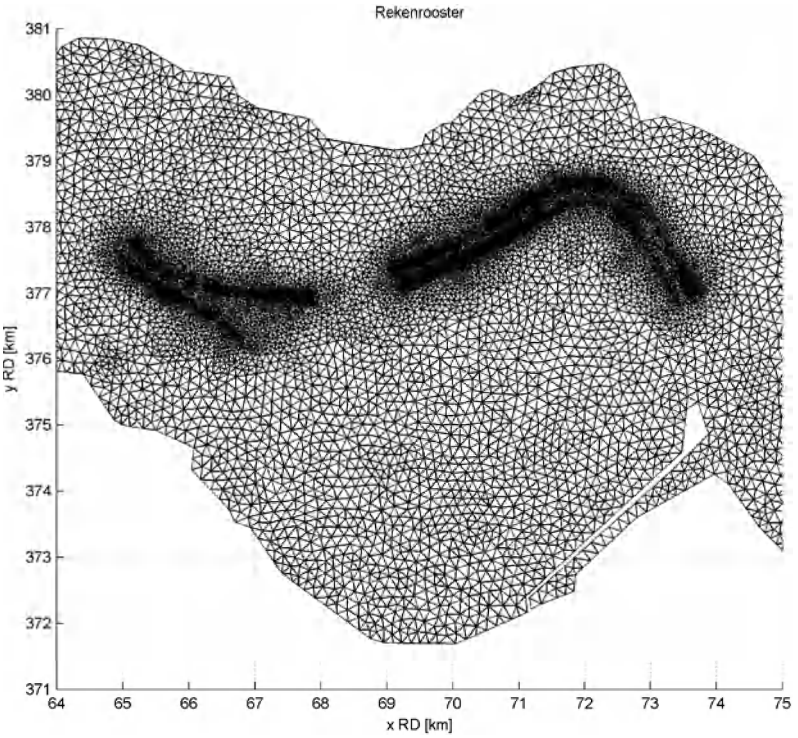
2.2 Rooster

Het rekenrooster is verfijnd op de locaties waar de nevengeulen in scenario T1(zie volgende paragraaf) verdiept en onderhouden moeten worden. Het rooster rond de Geul van Baarland is te zien in Figuur 1. Het rooster rond de Schaar van Valkenisse en Schaar van de Noord is te zien in Figuur 2. De roostermaat rond de verfijnde locaties is ongeveer 10 meter.

In scenario T2 varieert de locatie waar de nevengeulen onderhouden moeten worden door de berekening heen. Dit scenario is op een later moment aan de opdracht toegevoegd. Uit tijdsoogpunt is besloten het rooster niet aan te passen.



Figuur 1: Detail rekenrooster rond Geul van Baarland



Figuur 2: Detail rekenrooster rond Schaar van Valkenisse en Schaar van de Noord

2.3 Baggeren en storten

In het model wordt de vaargeul onderhouden door middel van een bagger- en stortroutine. Per baggergebied wordt gekeken of een roostercel onder de minimaal benodigde diepte komt. Het baggervolume per baggergebied wordt vervolgens volgens een verdeelsleutel gestort in de stortgebieden. De verdeelsleutel is de 2011 situatie (na verdieping), zie LTV V&T (2012b) voor deze verdeling.

Er worden 3 scenario's uitgevoerd, dat zijn:

- T0: huidige situatie
- T1: nevengeul situatie
- T2: nevengeul situatie waarbij de polygonen jaarlijks aan de huidige morfologie worden aangepast

Beide scenario's worden 11 jaar doorgerekend, waarvan het eerste jaar inspelen is. De exacte input is gegeven in Tabel 1. Voorafgaand aan de start van de berekening is de vaargeul reeds op diepte gebracht. Hiermee wordt ongeveer 3 Mm^3 uit het Nederlandse deel van het systeem verwijderd.

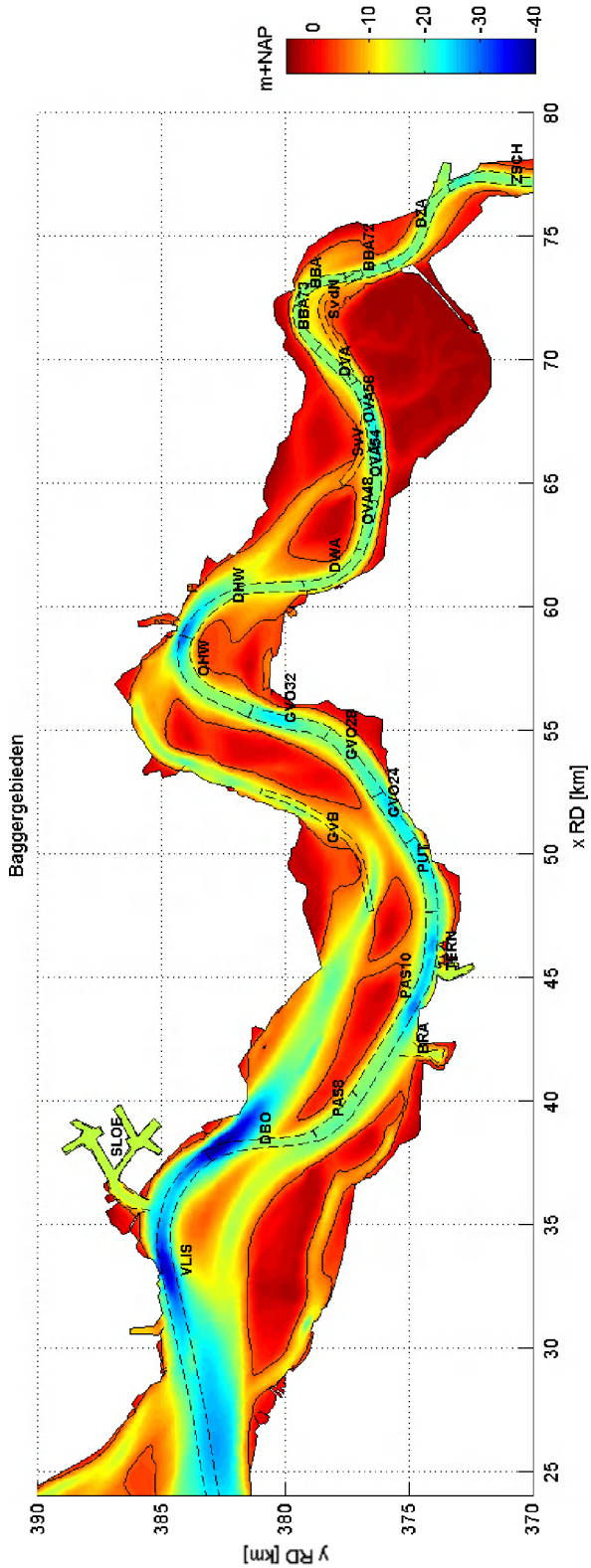
Tabel 1: Input van Scenario T0 en T1.

	T0: huidige situatie	T1: nevengeul situatie	T2: variabele nevengeul situatie
Start bodem	2011 bodem	2011 bodem + nevengeul drempels verdiept tot gewenst niveau	2011 bodem + nevengeul drempels verdiept tot gewenst niveau
Baggeren	14.5m LAT in vaargeul	14.5m LAT in vaargeul + 4.5m LAT nevengeul drempels (+ 30cm overdiepte)	14.5m LAT in vaargeul + 4.5m LAT nevengeul drempels (+ 30cm overdiepte), nevengeul polygonen variabel
Storten	Stortverdeling volgens 2011 scenario	Stortverdeling vaargeul volgens 2011 scenario; GvB gestort in SN31; SvV gestort in SH51; SvdN gestort in SH61	Stortverdeling vaargeul volgens 2011 scenario; GvB gestort in SN31; SvV gestort in SH51; SvdN gestort in SH61

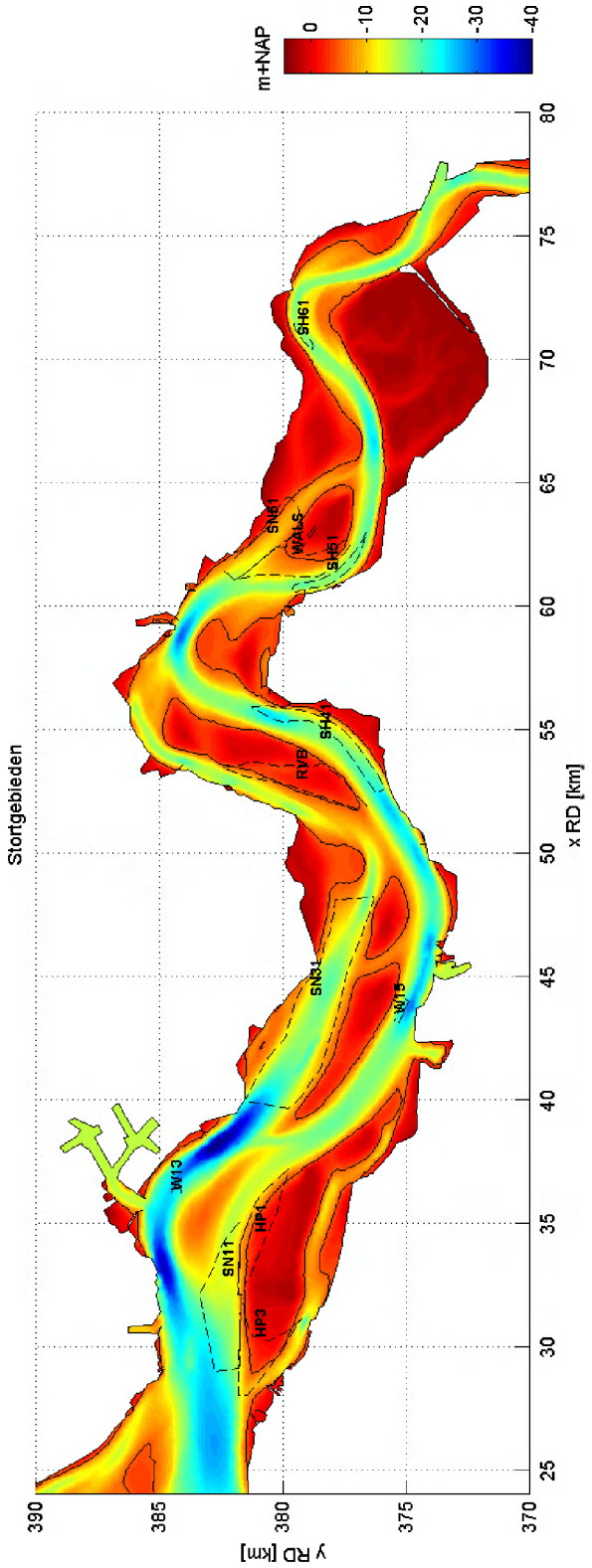
De drempels in de nevengeulen worden onderhouden op -4.5m LAT met 30 cm overdiepte. Omgerekend naar NAP worden de drempels op de volgende diepte onderhouden in het model:

- Geul van Baarland: NAP -7.54 m
- Schaar van Valkenisse: NAP -7.73 m
- Schaar van de Noord: NAP -7.80 m

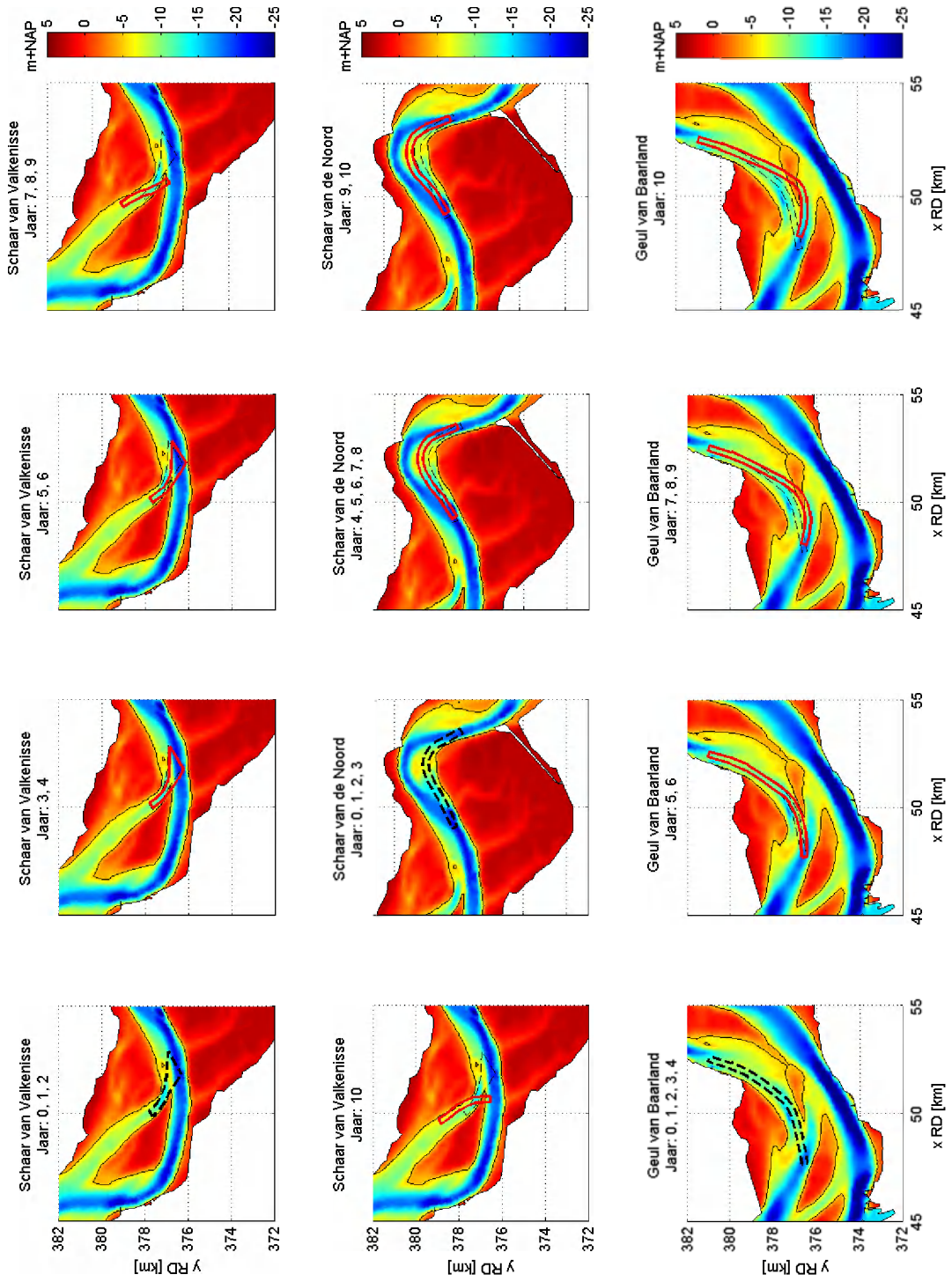
De locatie van alle baggerlocaties in het model is gegeven in Figuur 3. In Scenario T1 zijn de baggergebieden bij de nevengeulen zoals gegeven in Figuur 3 vastgehouden gedurende de simulatie van 11 jaar. Scenario 2 start met dezelfde polygonen, maar de polygonen verschuiven mee met de berekende geulontwikkeling van de T0 situatie om de baggerhoeveelheid te minimaliseren. De bepaling van de nevengeul baggerlocaties over de tijd is gebeurd aan de hand van de T0 berekening. De locaties van de meeschuivende baggerpolygonen in scenario T2 zijn gegeven in Figuur 2.5; let op dat niet elk jaar de polygoon aangepast hoeft te worden. De locatie van alle stortgebieden in het model is gegeven in Figuur 2.4.



Figuur 3: Overzicht en benaming baggergebieden (Nevengeullocaties: GvB: Geul van Baarland; SvV: Schaar van Valkenisse; SvdN: Schaar van de Noord)



Figuur 4: Overzicht en benaming stortgebieden.



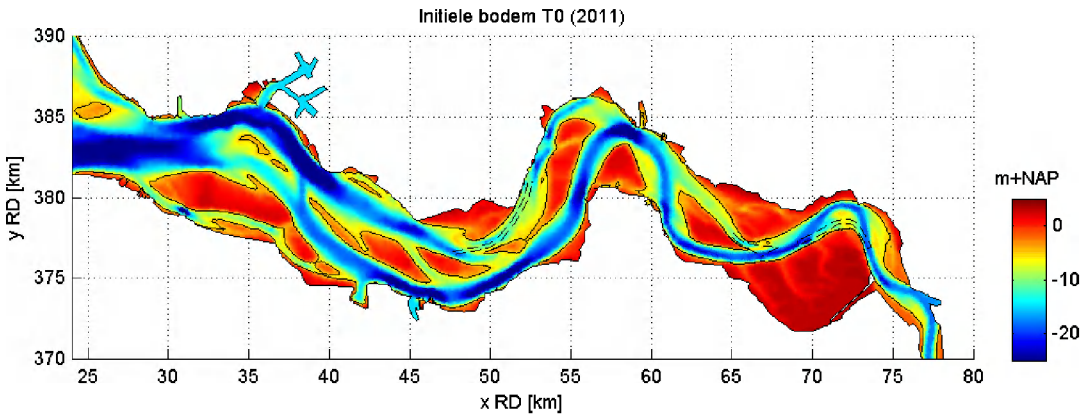
Figuur 5: Nevengeullocaties voor scenario T2 voor verschillende jaren van de simulatie.

3 UITKOMSTEN VAN DE SCENARIO'S

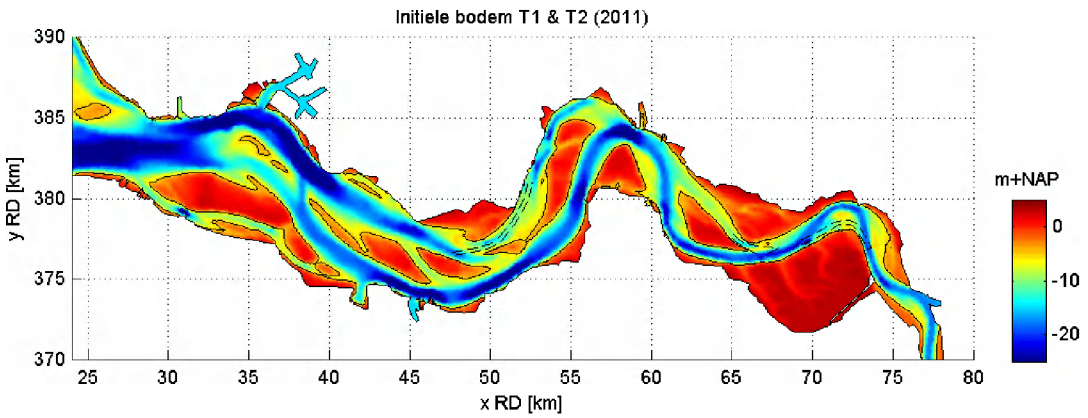
3.1 Bodemligging

De initiële bodem van het T0 scenario is te zien in Figuur 6, van het T1 scenario en T2 scenario in Figuur 7. Het verschil tussen beide initiële bodems is gegeven in Figuur 8. Initieel is er in de Schaar van de Noord 0,19 Mm^3 materiaal verwijderd, en in de Schaar van Valkenisse 0,33 Mm^3. In de Geul van Baarland in het niet nodig initieel de drempel te verlagen.

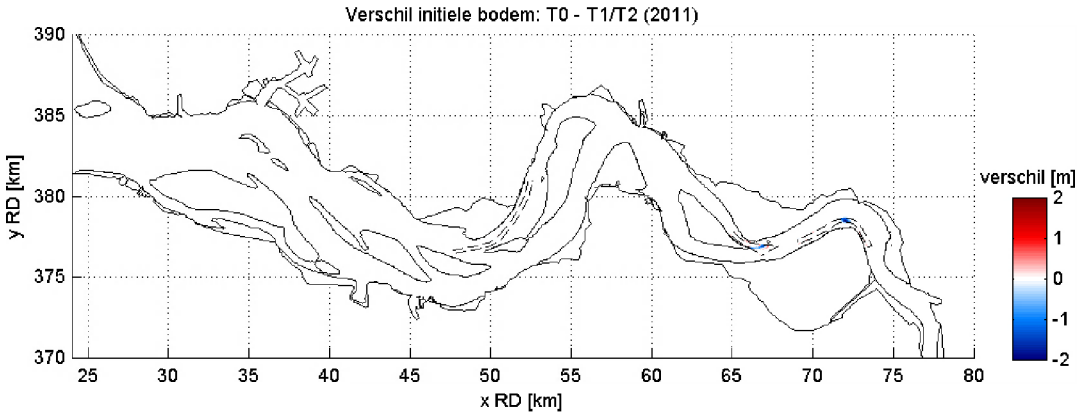
De eindbodem na 10 jaar van het T0, het T1 scenario en het T2 scenario is te zien in Figuur 9, Figuur 11 en Figuur 14 respectievelijk. De bodemontwikkeling van het T0, het T1 scenario en het T2 scenario is weergegeven in Figuur 10, Figuur 12 en Figuur 15 respectievelijk. Het verschil in bodemontwikkeling tussen scenario T0 en T1 is te zien in Figuur 13. Het verschil tussen scenario T0 en scenario T2 in Figuur 16.



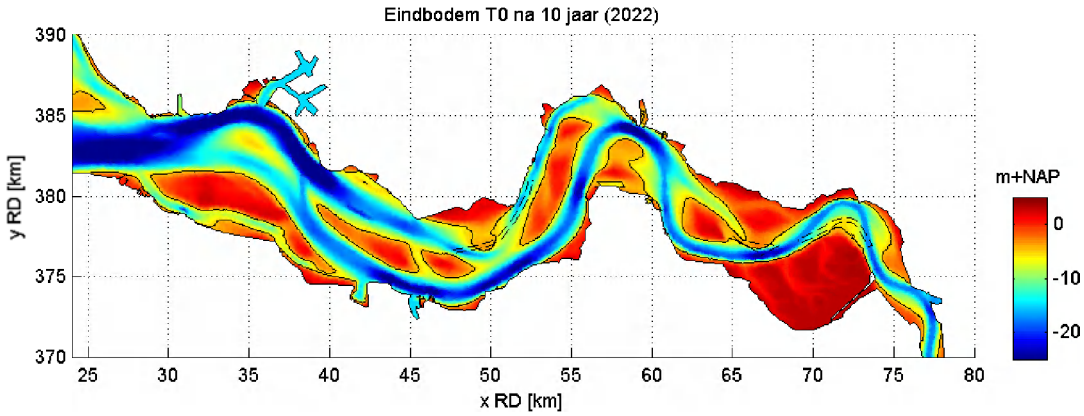
Figuur 6: Beginbodem T0 (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn: -5m NAP)



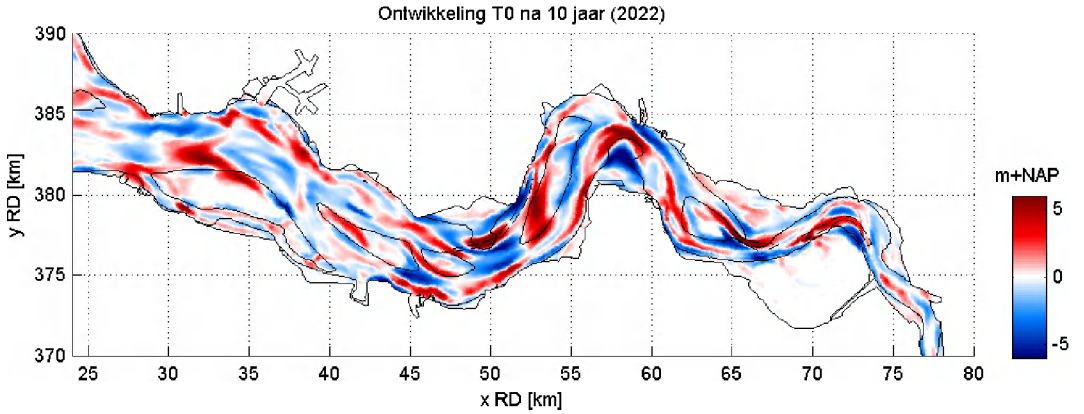
Figuur 7: Beginbodem T1 & T2 (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn: -5m NAP)



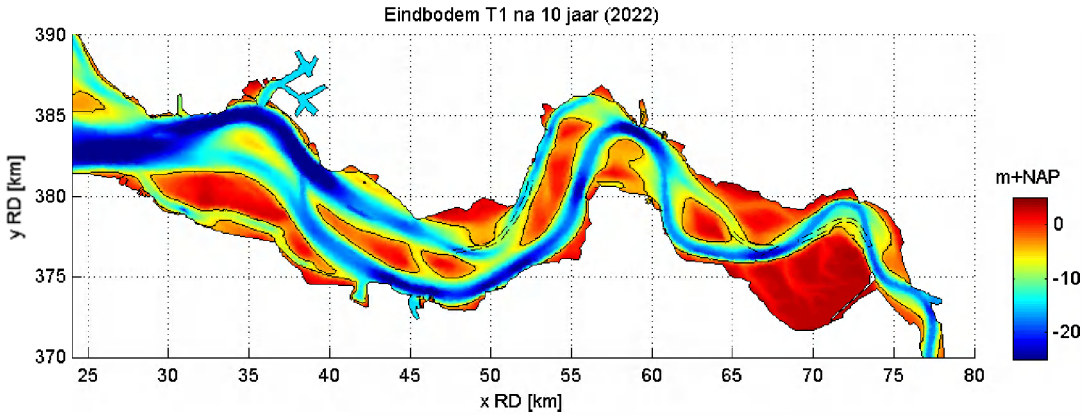
Figuur 8: Verschil beginbodem T0 met beginbodem T1 & T2 (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn: -5m NAP). Blauw betekent dat de beginbodem T1 & T2 dieper is, rood dat de bodem ondieper is.



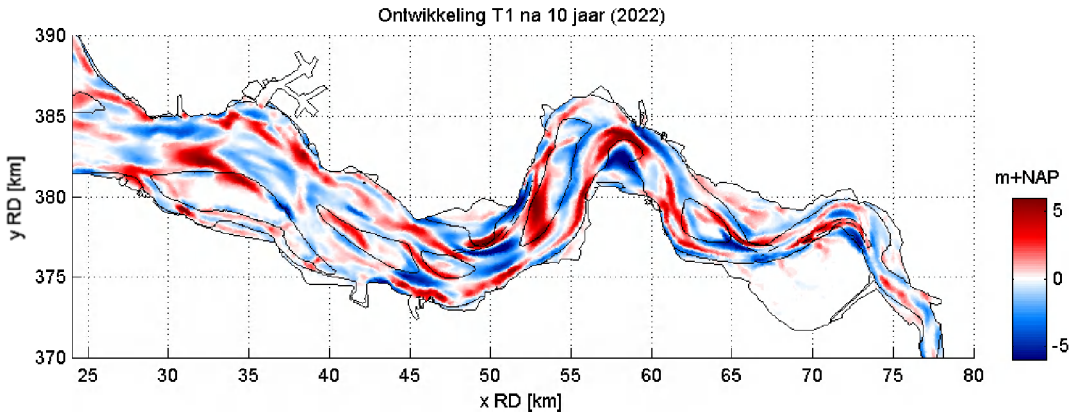
Figuur 9: Eindbodem T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



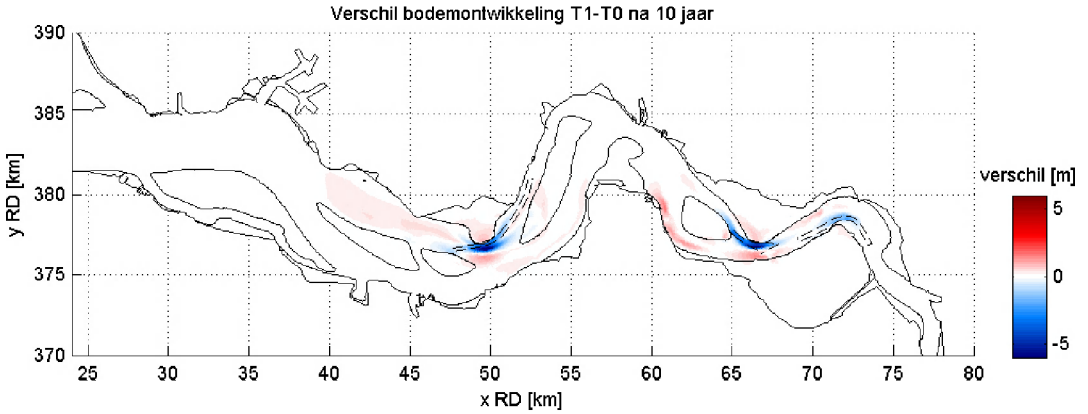
Figuur 10: Bodemontwikkeling T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



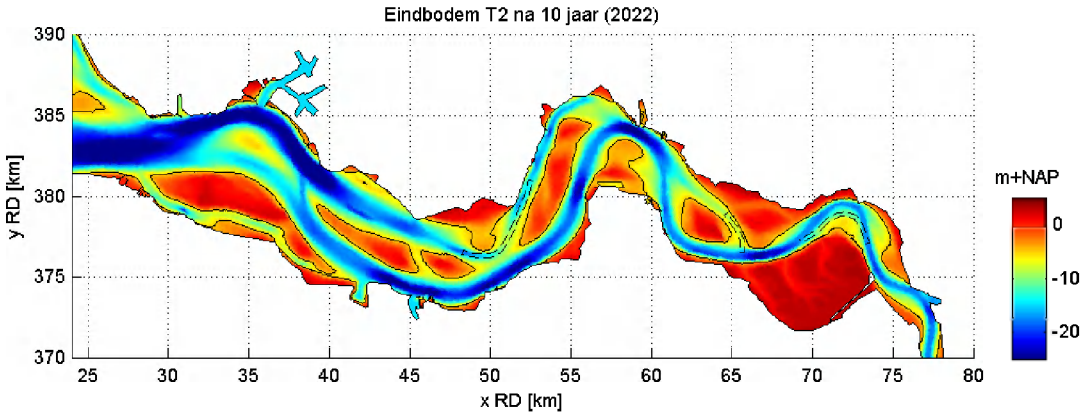
Figuur 11: Eindbodem T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



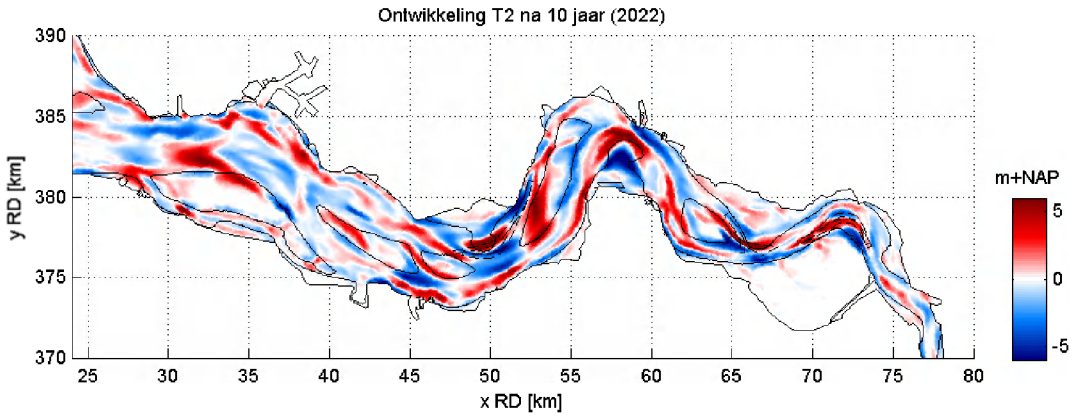
Figuur 12: Bodemontwikkeling T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



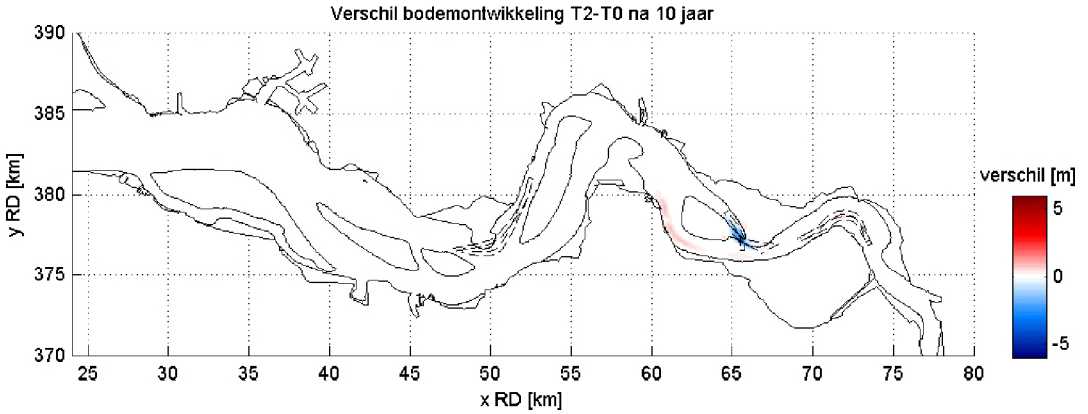
Figuur 13: Verschil bodemontwikkeling T1-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor meer erosie of minder sedimentatie; rood voor minder erosie of meer sedimentatie.



Figuur 14: Eindbodem T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



Figuur 15: Bodemontwikkeling T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



Figuur 16: Verschil bodemontwikkeling T2-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor meer erosie of minder sedimentatie; rood voor minder erosie of meer sedimentatie.

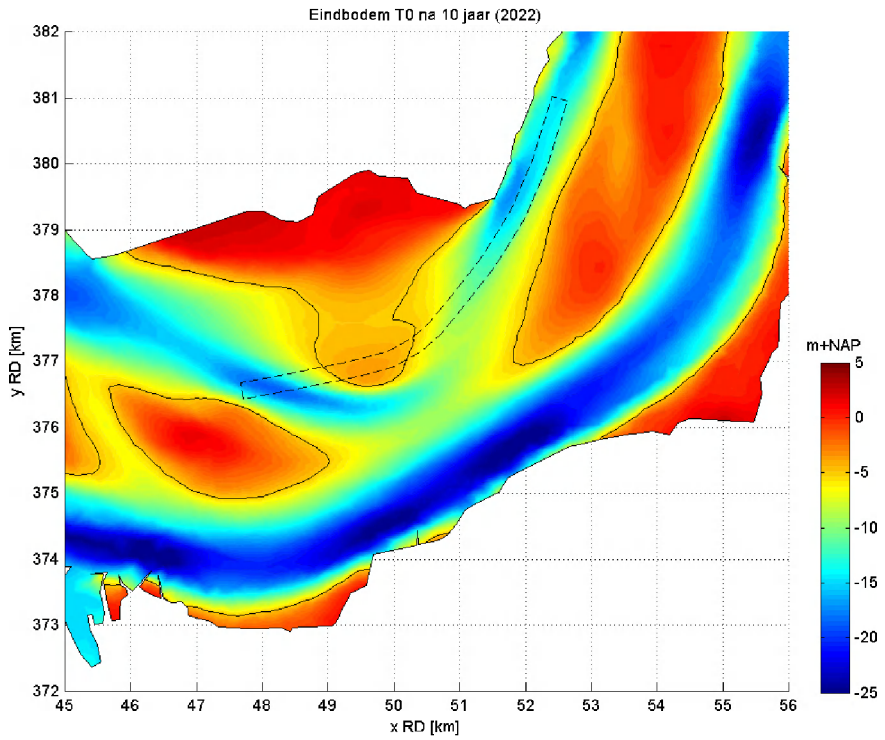
3.1.1 Baarland

In de onderstaande figuren zijn de eindbodems opnieuw getoond voor de locatie “Geul van Baarland” (Figuur 17, Figuur 19 en Figuur 21). De ontwikkeling wordt gegeven in Figuur 18, Figuur 20 en Figuur 23. De relatieve ontwikkeling ten opzichte van scenario T0 wordt gegeven in Figuur 21 en Figuur 24.

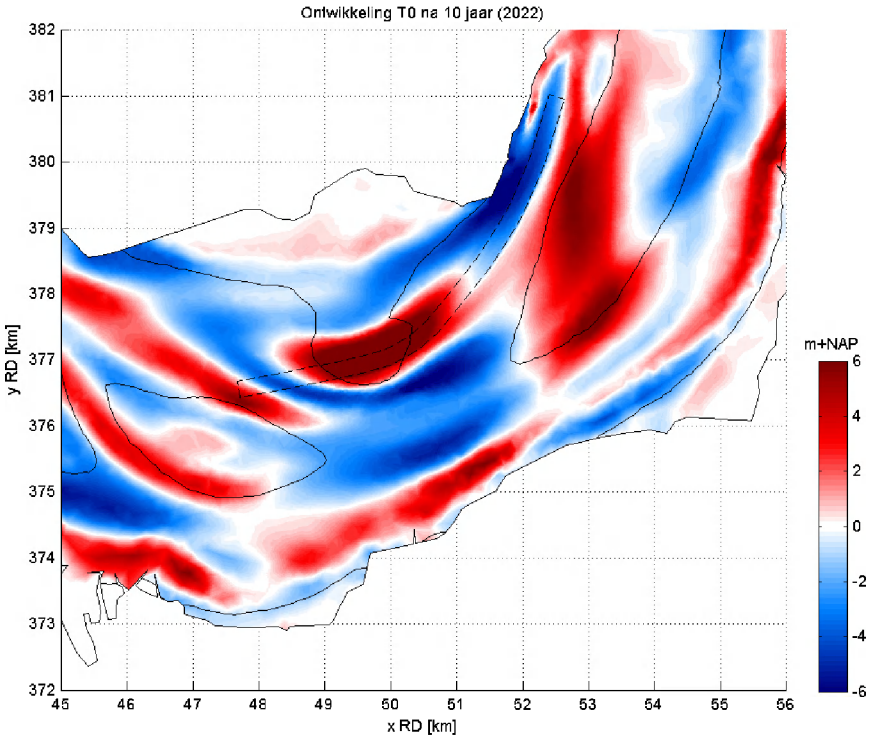
Uit Figuur 21 blijkt dat er relatieve erosie optreedt als gevolg van het onderhouden van de drempel bij Baarland. Dit is feitelijk een sedimentatie in de T0 situatie (zie Figuur 18). De Plaat van Baarland breidt uit in zuidelijke richting in de T0 situatie. Door het op diepte houden van de drempel in het T1 scenario wordt de omgeving ook (relatief) verdiept (blauw in Figuur 21) doordat er meer water door de verdiepte geul gaat (zie ook de debietuitkomsten). Dit effect is lokaal rond de drempel en bedraagt enkele meters na 10 jaar, waarmee de invloed van het in stand houden van de nevengeulen op de morfologie beperkt is (zie ook Figuur 13). Het geërodeerde zand komt in de directe omgeving terecht (lichtrood in Figuur 21).

In Figuur 19 valt op de Plaat van Baarland in de nevengeul steekt. Het model baggert maximaal 4 m per jaar, en kan daarmee de uitbreiding van de Plaat van Baarland als het ware niet aan. Concreet heeft dit tot gevolg dat de werkelijke baggervolumes hoger uitvallen dan in paragraaf 3.2 in de figuren en tabellen wordt weergegeven.

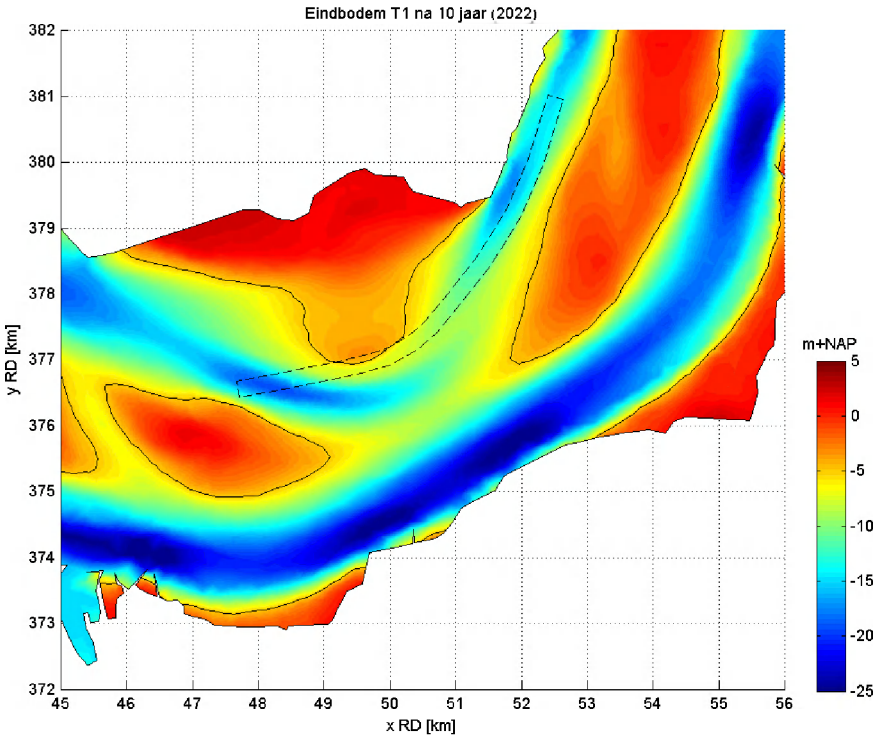
Figuur 24 laat zien dat er geen verschil in ontwikkeling optreedt tussen scenario T0 en T2. Uit paragraaf 3.2 zal ook blijken dat er door het handig kiezen van de boeilijn van de nevengeul aan de Geul van Baarland vrijwel geen onderhoud gepleegd hoeft te worden. De morfologie wordt daardoor nauwelijks beïnvloed door menselijk ingrijpen, zie ook Figuur 16.



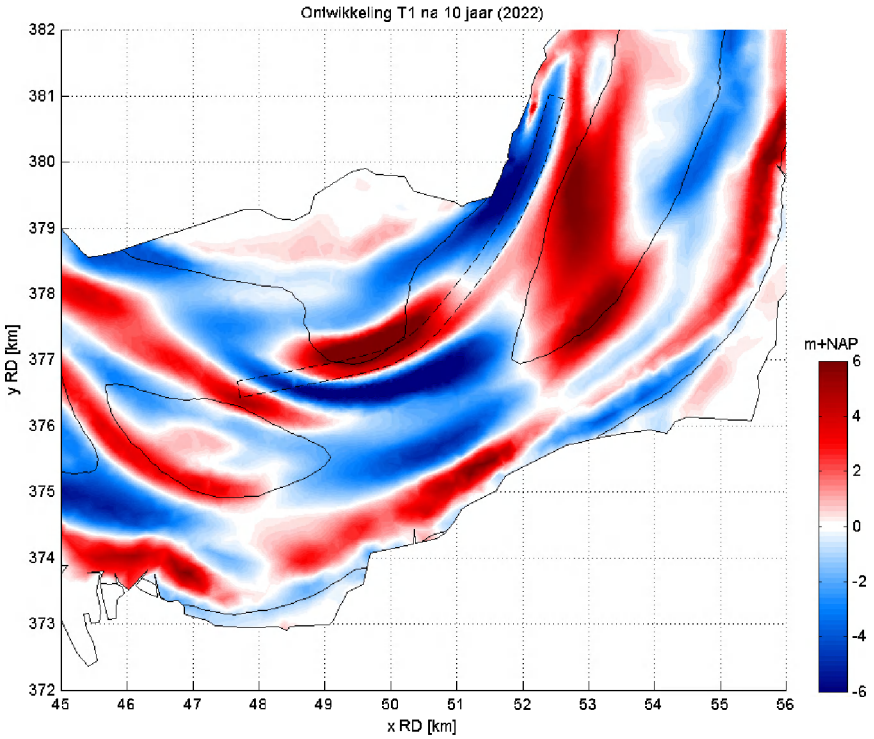
Figuur 17: Detail Geul van Baarland: Eindbodem T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



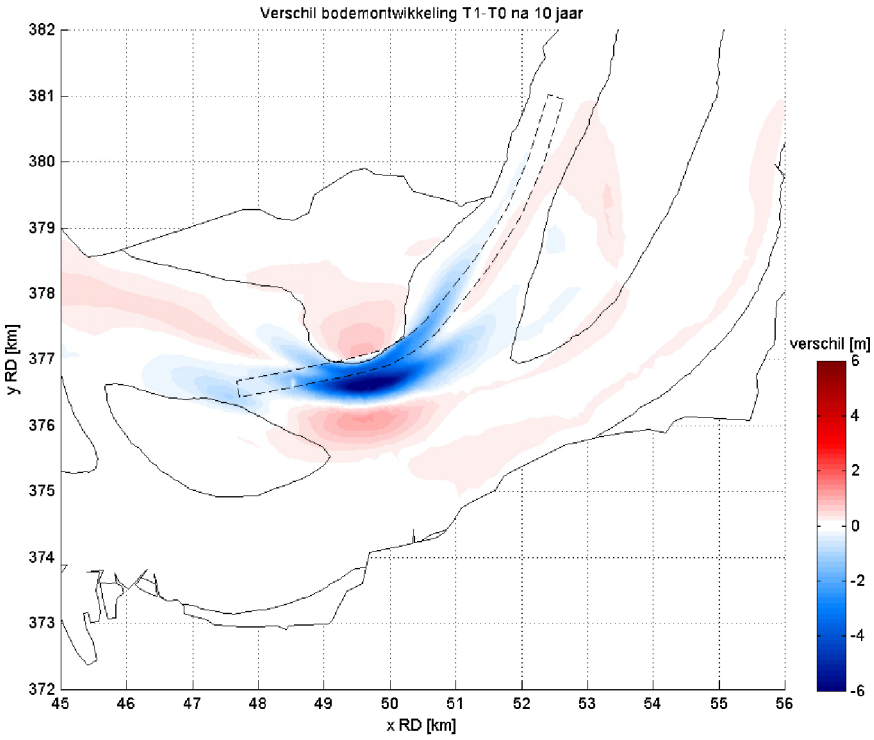
Figuur 18: Detail Geul van Baarland: Bodemontwikkeling T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



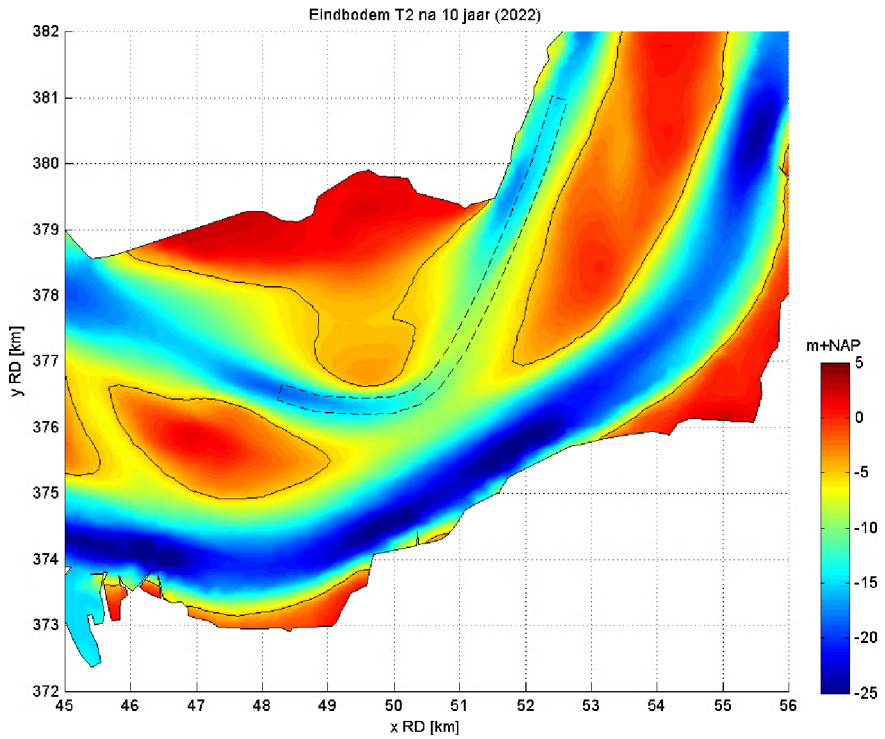
Figuur 19: Detail Geul van Baarland: Eindbodem T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



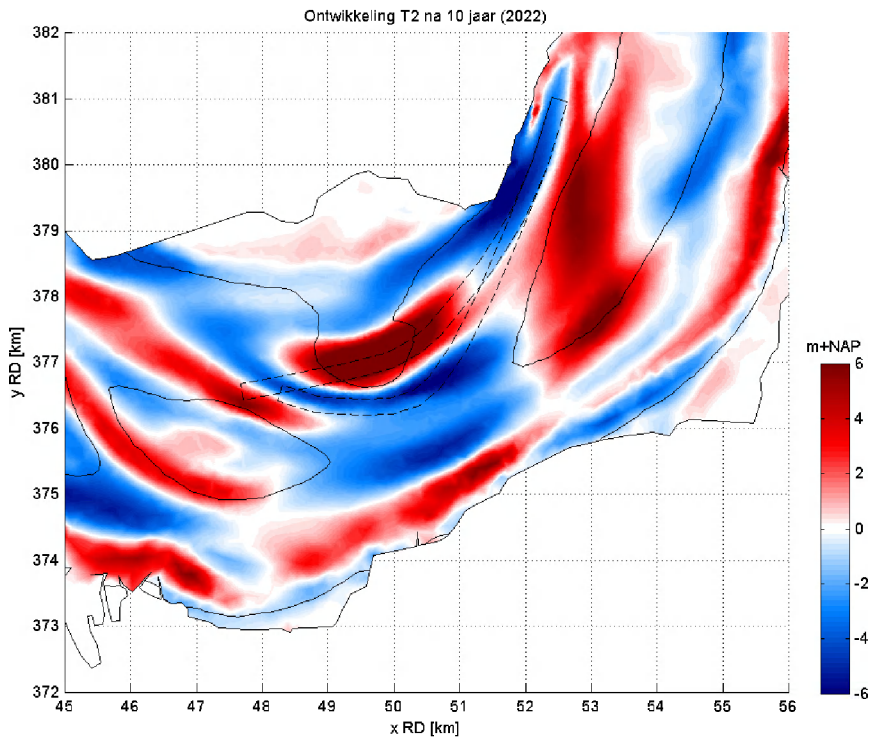
Figuur 20: Detail Geul van Baarland: Bodemontwikkeling T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



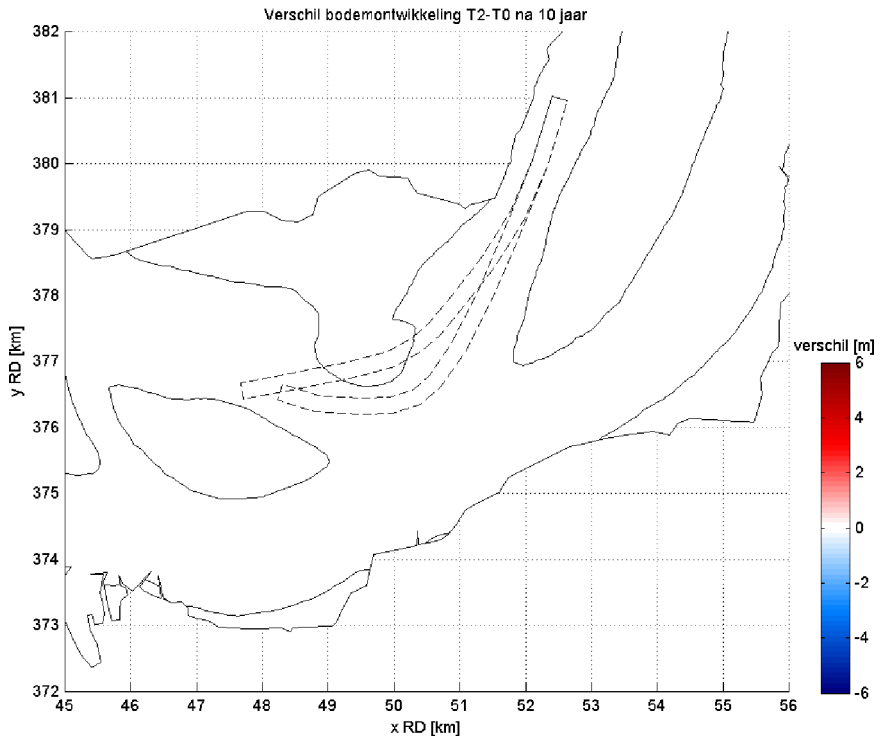
Figuur 21: Detail Geul van Baarland: Verschil bodemontwikkeling T1-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor minder sedimentatie of meer erosie; rood voor meer sedimentatie of minder erosie.



Figuur 22: Detail Geul van Baarland: Eindbodem T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



Figuur 23: Detail Geul van Baarland: Bodemontwikkeling T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



Figuur 24: Detail Geul van Baarland: Verschil bodemontwikkeling T2-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor minder sedimentatie of meer erosie; rood voor meer sedimentatie of minder erosie.

3.1.2 Schaar van Valkenisse/ Schaar van de Noord

In de onderstaande figuren zijn de eindbodems opnieuw getoond voor de locatie "Schaar van Valkenisse" en "Schaar van de Noord" (Figuur 25, Figuur 27 en Figuur 29). De ontwikkeling wordt gegeven in Figuur 26, Figuur 28 en Figuur 31. De relatieve ontwikkeling ten opzichte van scenario T0 wordt gegeven in Figuur 29 en Figuur 32.

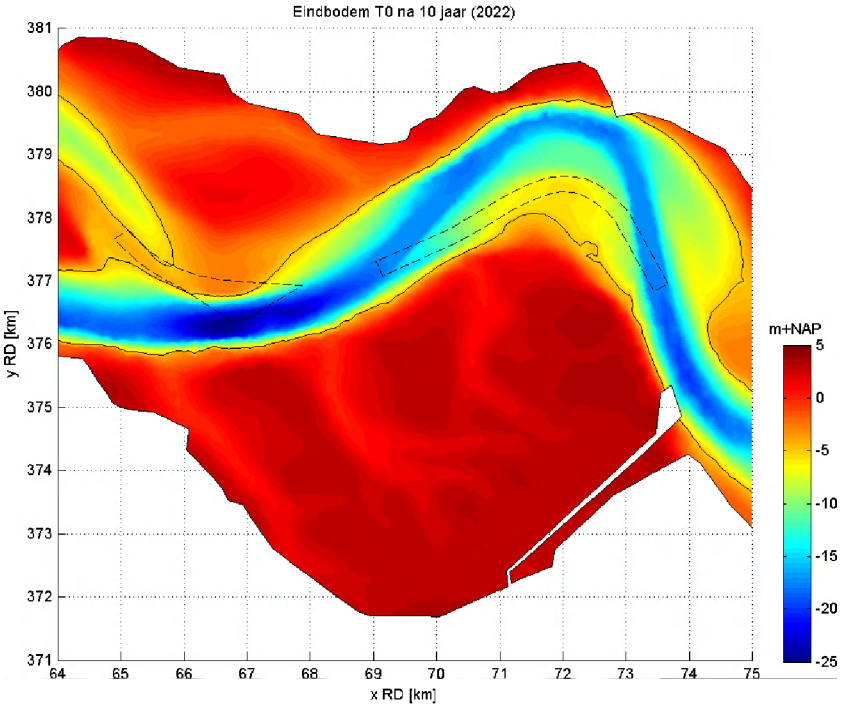
Uit de figuren blijkt dat er ook hier een relatieve erosie optreedt rond de baggergebieden in de nevengeulen in scenario T1. Uit Figuur 26 blijkt dat er in de T0 situatie sedimentatie op de te onderhouden Schaar van Valkenisse plaatsvindt. Hierdoor lijkt het in Figuur 29 alsof er erosie plaatsvindt, maar feitelijk is het een verminderde sedimentatie in de T1 situatie ten opzicht van de T0 situatie (vergelijk Figuur 6 met Figuur 9) ten gevolge van het nevengeulonderhoud in scenario T1. Ook hier geldt dat door het op diepte houden van de nevengeul er in de directe nabijheid relatieve erosie optreedt doordat er meer water door de nevengeul gaat. Het geërodeerde zand komt in de directe nabijheid neer. Ook bij de Schaar van de Noord treedt een dergelijke situatie op. Over het algemeen kan worden gesteld dat de invloed van het in stand houden van de nevengeulen op de morfologie beperkt is, zie ook Figuur 13.

De relatieve ontwikkeling bij de Schaar van Valkenisse in scenario T2 ten opzicht van scenario T0 is veel minder sterk dan de relatieve ontwikkeling bij scenario T1, zie Figuur 32 en Figuur 29. Ook hier geldt dat de relatieve erosie feitelijk staat voor een verminderde sedimentatie in scenario T2 ten opzichte van scenario T0, veroorzaakt door het onderhouden van de nevengeul. Wederom gaat er meer water door de nevengeul. Het hierdoor geërodeerde zand komt in de directe nabijheid neer.

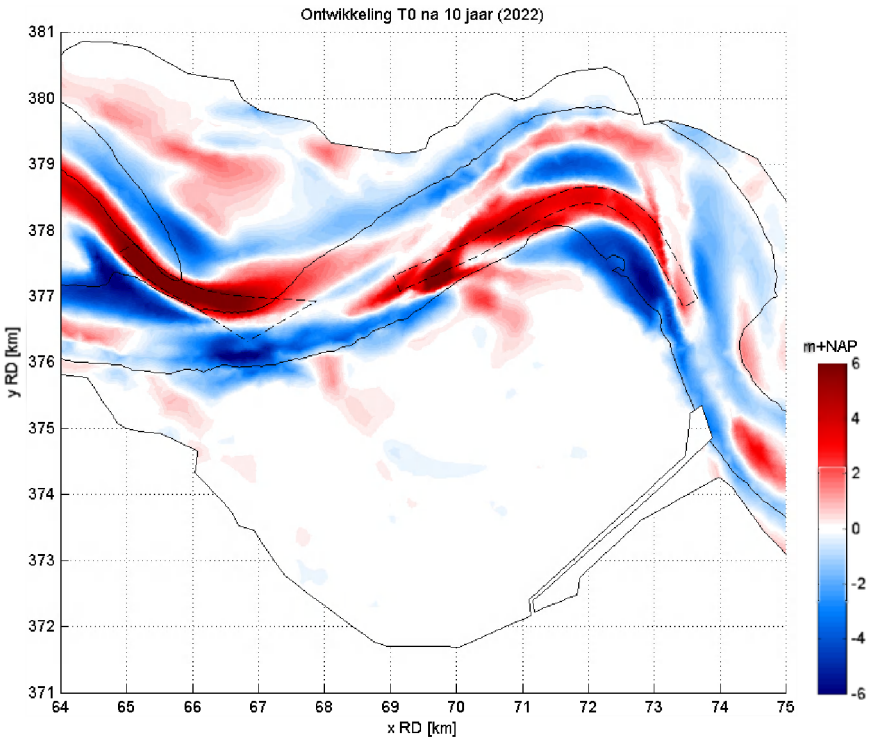
Door de nevengeullocatie aan te passen aan de op dat moment meest gunstige ligging heeft bij de Schaar van Valkenisse een verlaging van het onderhoudsvolume teweeggebracht, en heeft het effect op de morfologie van de Westerschelde beperkt (Figuur 13 en Figuur 16). Echter, de

nevengeul ligt nu haaks op de hoofdgeul, waardoor dwarsstroming in de hoofdgeul kan ontstaan, dat een gevaar kan vormen voor de scheepvaart. In de praktijk kan het daardoor voor een andere configuratie gekozen worden, met een hoger baggerbezwaar, maar een hogere veiligheid voor de scheepvaart tot gevolg. Aanbevolen wordt om dit verder te onderzoeken en te optimaliseren.

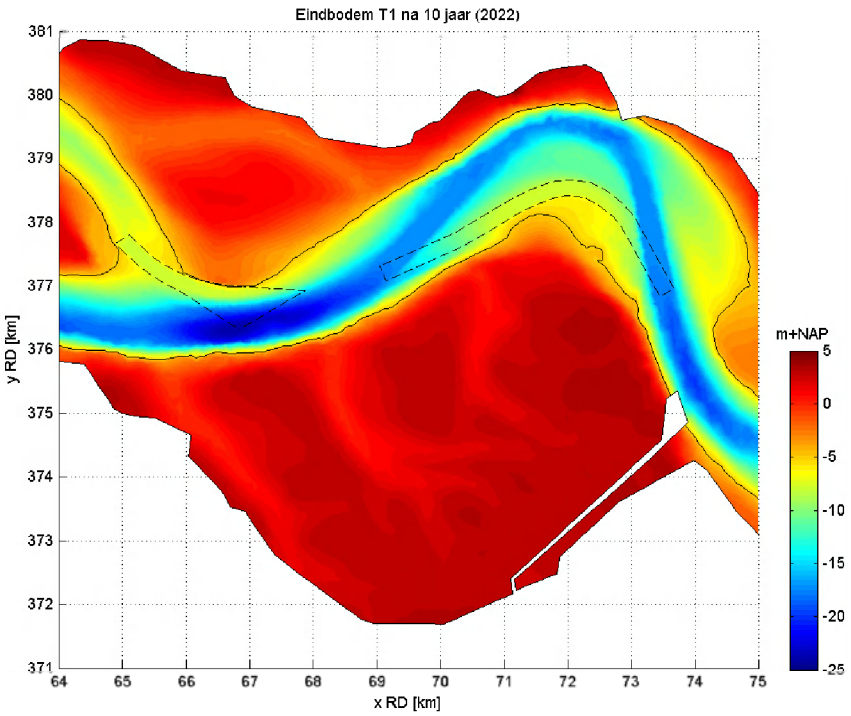
Bij de Schaar van de Noord is er vrijwel geen verschil in ontwikkeling. Net als bij de Geul van Baarland blijkt uit paragraaf 3.2 dat er door het handig kiezen van de boeilijn van de nevengeul vrijwel geen onderhoud gepleegd hoeft te worden. De morfologie wordt daardoor nauwelijks beïnvloed door menselijk ingrijpen.



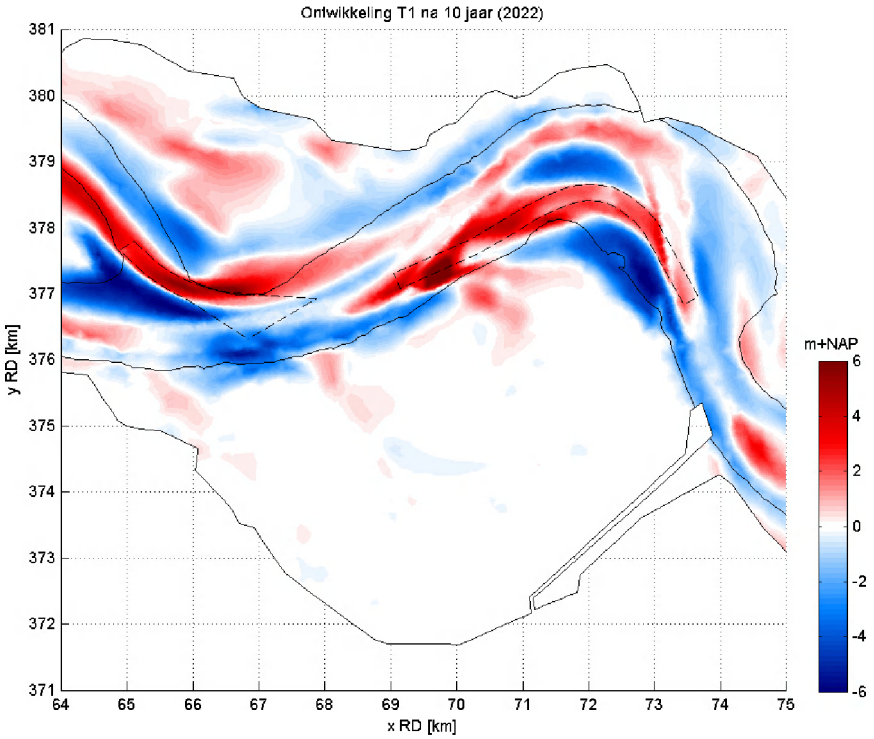
Figuur 25: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Eindbodem T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



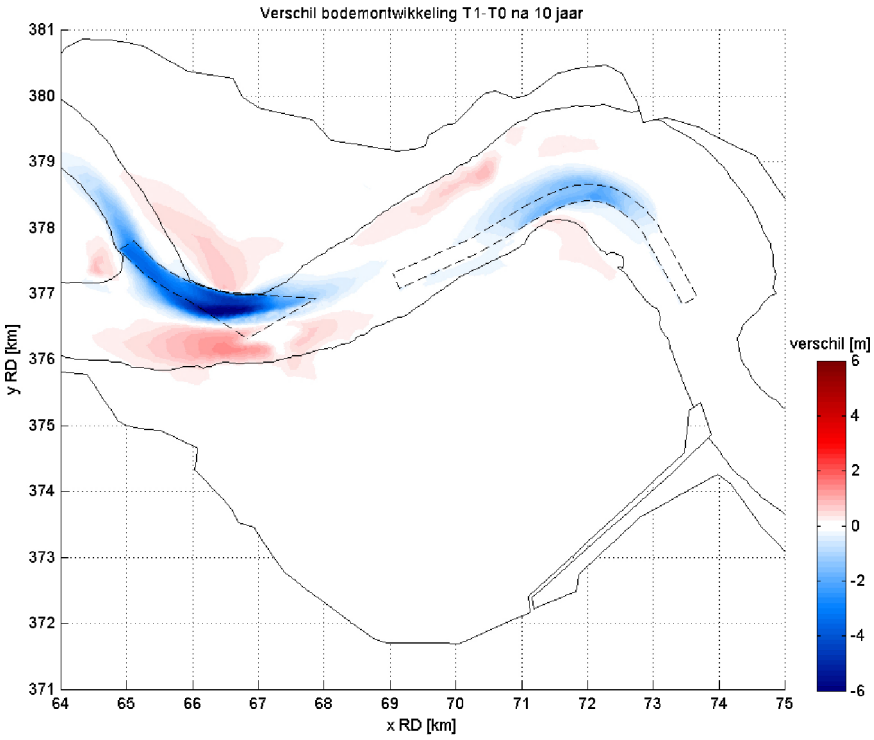
Figuur 26: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Bodemontwikkeling T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



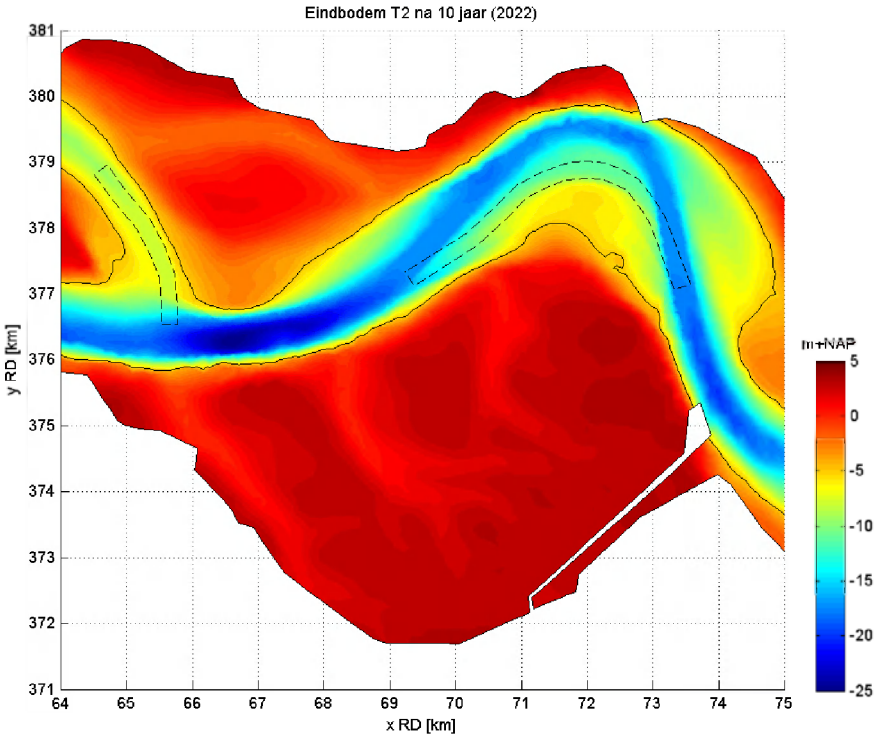
Figuur 27: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Eindbodem T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



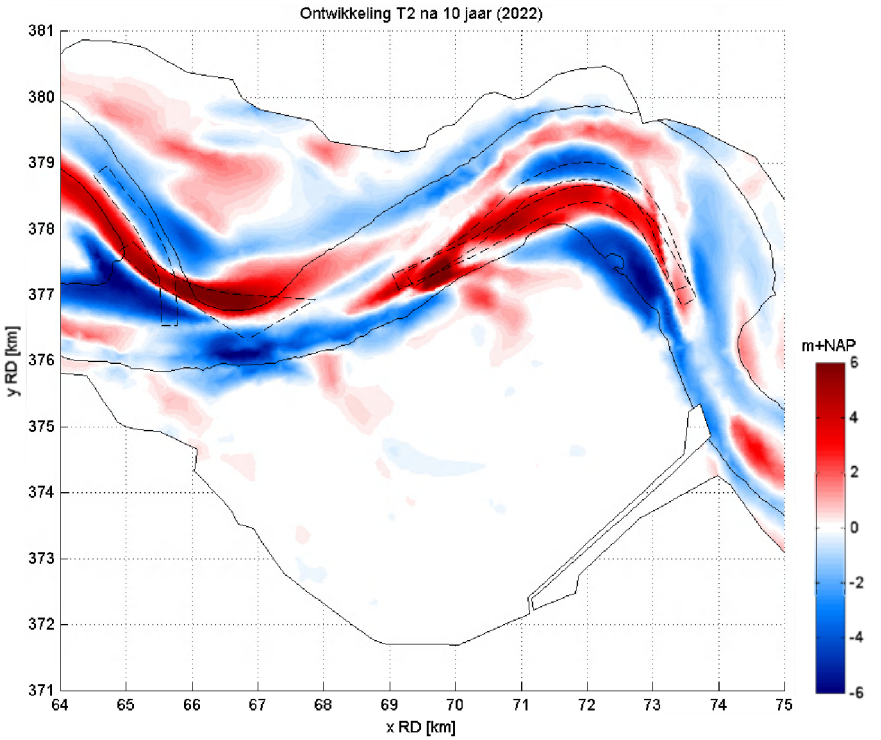
Figuur 28: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Bodemontwikkeling T1 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



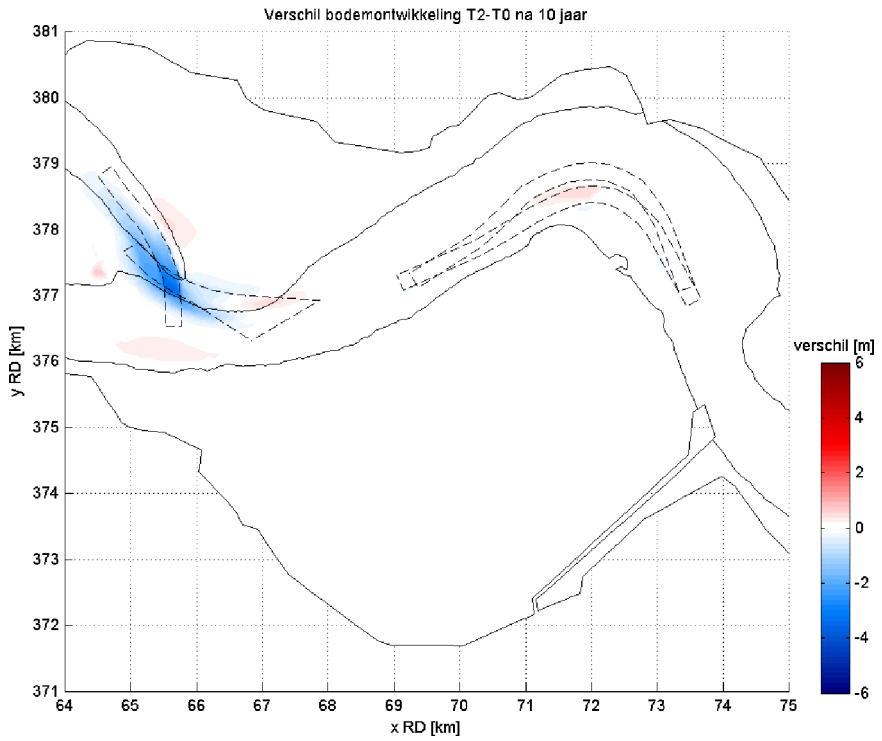
Figuur 29: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Verschil bodemontwikkeling T1-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor minder sedimentatie of meer erosie; rood voor meer sedimentatie of minder erosie.



Figuur 30: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Eindbodem T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP)



Figuur 31: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Bodemontwikkeling T2 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor erosie; rood voor sedimentatie.



Figuur 32: Detail Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord: Verschil bodemontwikkeling T2-T0 na 10 jaar (stippellijn: baggervak nevengeul; doorgetrokken lijn -5m NAP). Blauw staat voor minder sedimentatie of meer erosie; rood voor meer sedimentatie of minder erosie.

3.2 Baggerhoeveelheden

Het FINEL2d model houdt bij hoeveel volume er per jaar gebaggerd moet worden door het model om de vaargeul op diepte te houden. De volumes van de gehele Westerschelde zijn te zien in Figuur 33, en worden eveneens gepresenteerd in Tabel 2. Hierbij is het volume getoond over de jaren voor de T0, de T1, de T2 en het verschil tussen de T1 en T0 en de T2 en T0. Te zien is dat de baggerhoeveelheden over de tijd fluctueren. Dit is te wijten aan het gebruik van één springtij doodtijcyclus per jaar morfologie en het feit dat er onderlinge verschillen tussen de springtij doodtijcycli aanwezig zijn.

De eerste jaren heeft het model nodig om op te starten. Na een aantal jaren stabiliseert het baggervolume op 6 à 7 miljoen m^3 per jaar. Dit wordt mede veroorzaakt doordat in de beginbodem van 2011 de vaargeul op diepte is gebracht. Er zijn namelijk een aantal plekken in de beginbodem waar de te onderhouden diepte niet gehaald wordt in de 2011 bodem (o.a. door interpolatie van de GIS bodem naar de modelbodem). Als dit niet gebeurd was waren de volumes in de beginjaren hoger geweest omdat het model tijdens de simulatie dit had moeten weghalen. Het weggehaalde volume is niet teruggestort. De baggervolumes na een aantal jaren zijn gelijk aan de waarden die met behulp van simulaties met Delft3D (Arcadis, 2012) worden gevonden, en komen overeen met het werkelijke baggerbezwaar in de Westerschelde. Geconcludeerd kan worden dat het model goed afgeregeld is op de baggervolumes. De conclusies en absolute waarden dienen wel met enig voorbehoud geïnterpreteerd te worden.

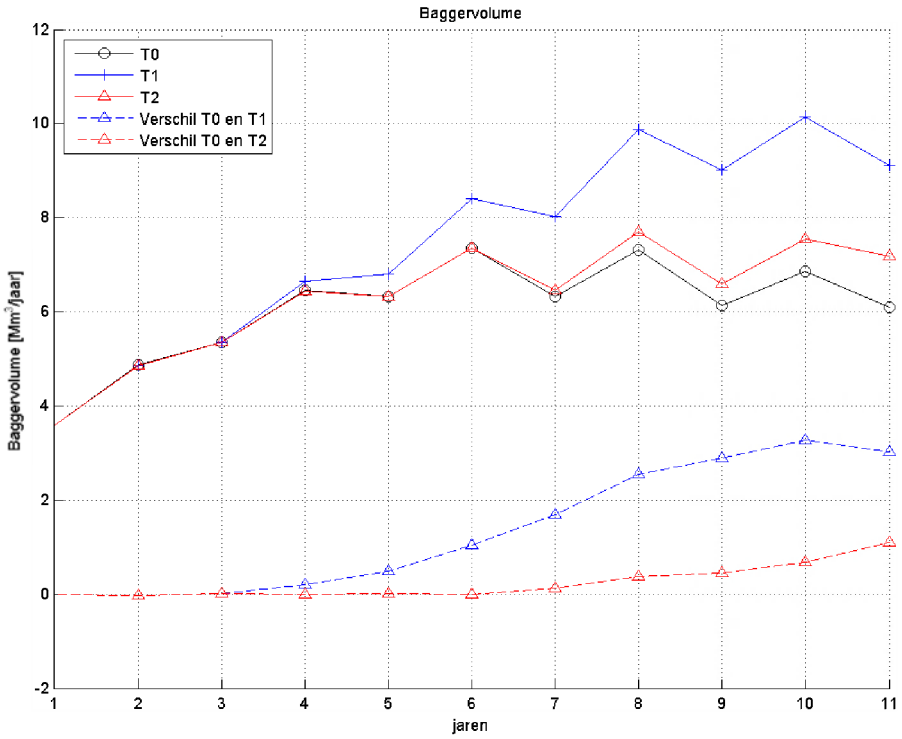
Na ongeveer dezelfde periode als de inspeelperiode ontstaat er een duidelijk verschil tussen de T0 en de T1 berekening. Het verschil in totaalvolume na 11 jaar (10 jaar met aftrek van inspelen) bedraagt 3 miljoen m^3 per jaar. Scenario T0 en T2 lopen minder uit elkaar. Het verschil na 11 jaar bedraagt daar ongeveer 1 miljoen per jaar.

De baggerhoeveelheden zijn uitgesplitst per drempelgebied in Figuur 34 tot en met Figuur 37. Hierbij zijn de laatste 3 sub figuren de nevengeullocaties. In Tabel 3, Tabel 5 en Tabel 7 zijn de baggerhoeveelheden per drempelgebied per jaar per scenario gepresenteerd. De nevengeullocaties overlappen deels met andere baggerpolygonen. Waar sprake is van overlap wordt het onderhoudsvolume toegewezen aan de baggerpolygoon in de hoofdvaargeul. In de figuren en tabellen is te zien dat het jaarlijks aanpassen van de nevengeullocatie (T2) het onderhoudsvolume flink reduceert ten opzichte van het niet variëren van de nevengeullocatie (T1). Bij de Geul van Baarland en de Schaar van de Noord hoeft in scenario T2 vrijwel geen onderhoud uitgevoerd te worden. Bij de Schaar van Valkenisse is het onderhoudsvolume ongeveer een derde van het volume in de T1 situatie.

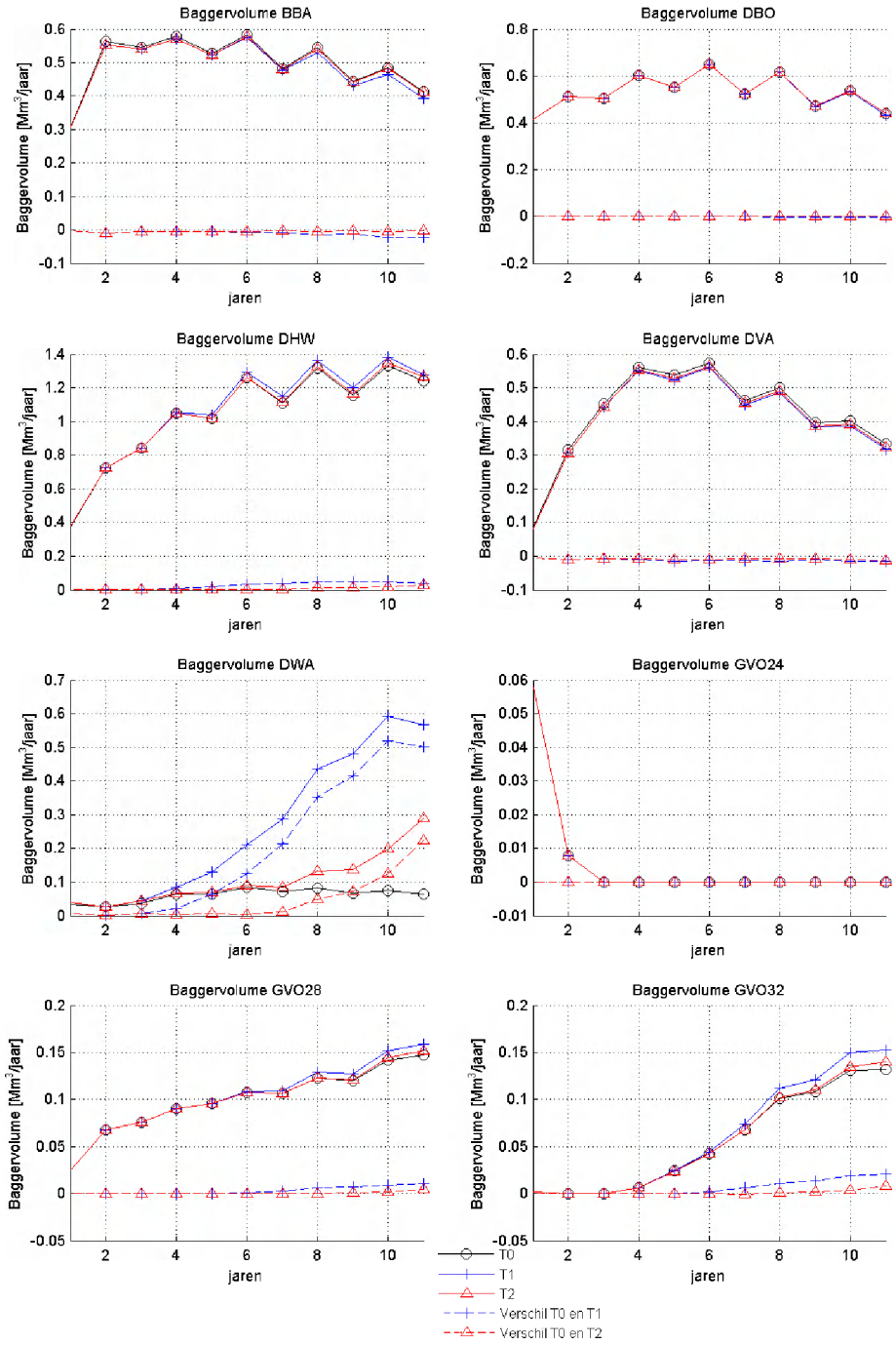
In Figuur 34 tot en met Figuur 37 is eveneens zichtbaar dat in een aantal baggergebieden in het oostelijk deel van de Westerschelde het baggervolume toeneemt als gevolg van het onderhouden van de nevengeulen. Dit is voornamelijk het geval bij de Drempel van Walsoorden en de Drempel van Bath. Dit is te verklaren omdat er in de stortgebieden meer zand gestort wordt, zie ook Tabel 4, Tabel 6 en Tabel 8. Dit zand komt uiteindelijk weer terecht in de vaargeul, waar het uiteindelijk weggebaggerd moet worden. In de T2 situatie is dit voor de Drempel van Walsoorden in mindere mate van toepassing. Bij de Drempel van Bath is geen verschil met de T0 situatie.

De sterke toename van het baggerbezwaar in de nevengeulen in scenario T1 is te verklaren omdat volgens het model de Plaat van Baarland zich sterk naar het zuiden wil uitbreiden. Omdat er in het model strak aan de polygoon gehouden wordt (er wordt niet ingespeeld op de meest voordelige ligging van de geulen) moet dit zand verwijderd worden. Dit geldt ook voor de Schaar van Valkenisse. Hier wordt in de T0 situatie een sterke verondieping door het model berekend, terwijl in de T1 dit juist onderhouden moet worden.

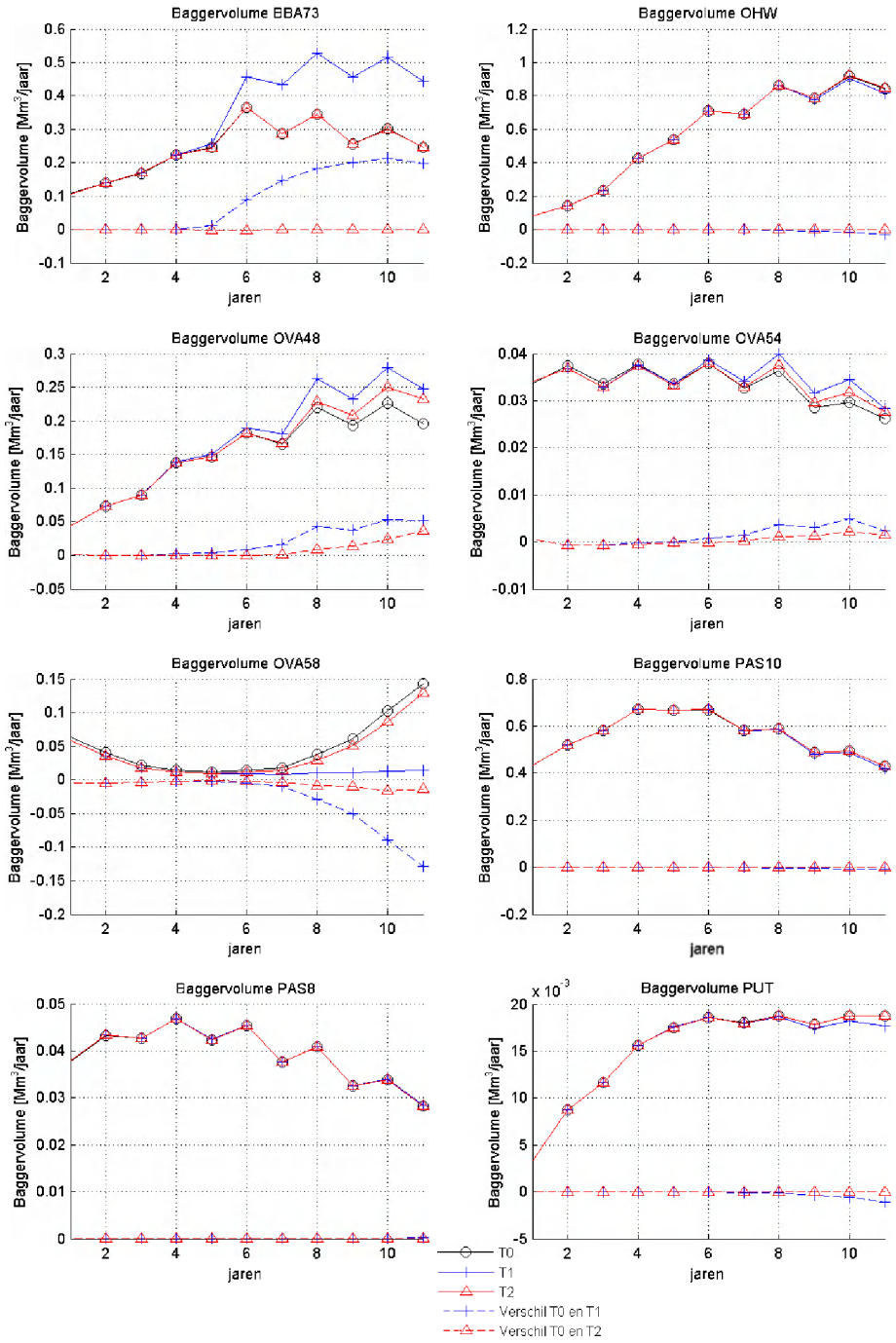
Door in scenario T2 in te spelen op de ligging van de geulen en de polygoon hier jaarlijks aan aan te passen, kan het baggerbezwaar in de nevengeulen sterk gereduceerd worden ten opzichte van de T1 situatie. In de Schaar van de Noord en de Geul van Baarland hoeft zelfs vrijwel geen onderhoud meer gepleegd te worden. In de Schaar van Valkenisse wordt een reductie van het onderhoud bewerkstelligd. Echter, de nevengeul ligt nu haaks op de hoofdgeul, waardoor dwarsstroming in de hoofdgeul kan ontstaan, die een gevaar kunnen vormen voor de scheepvaart. In de praktijk kan het daardoor voor een andere configuratie gekozen worden, met een hoger baggerbezwaar als gevolg.



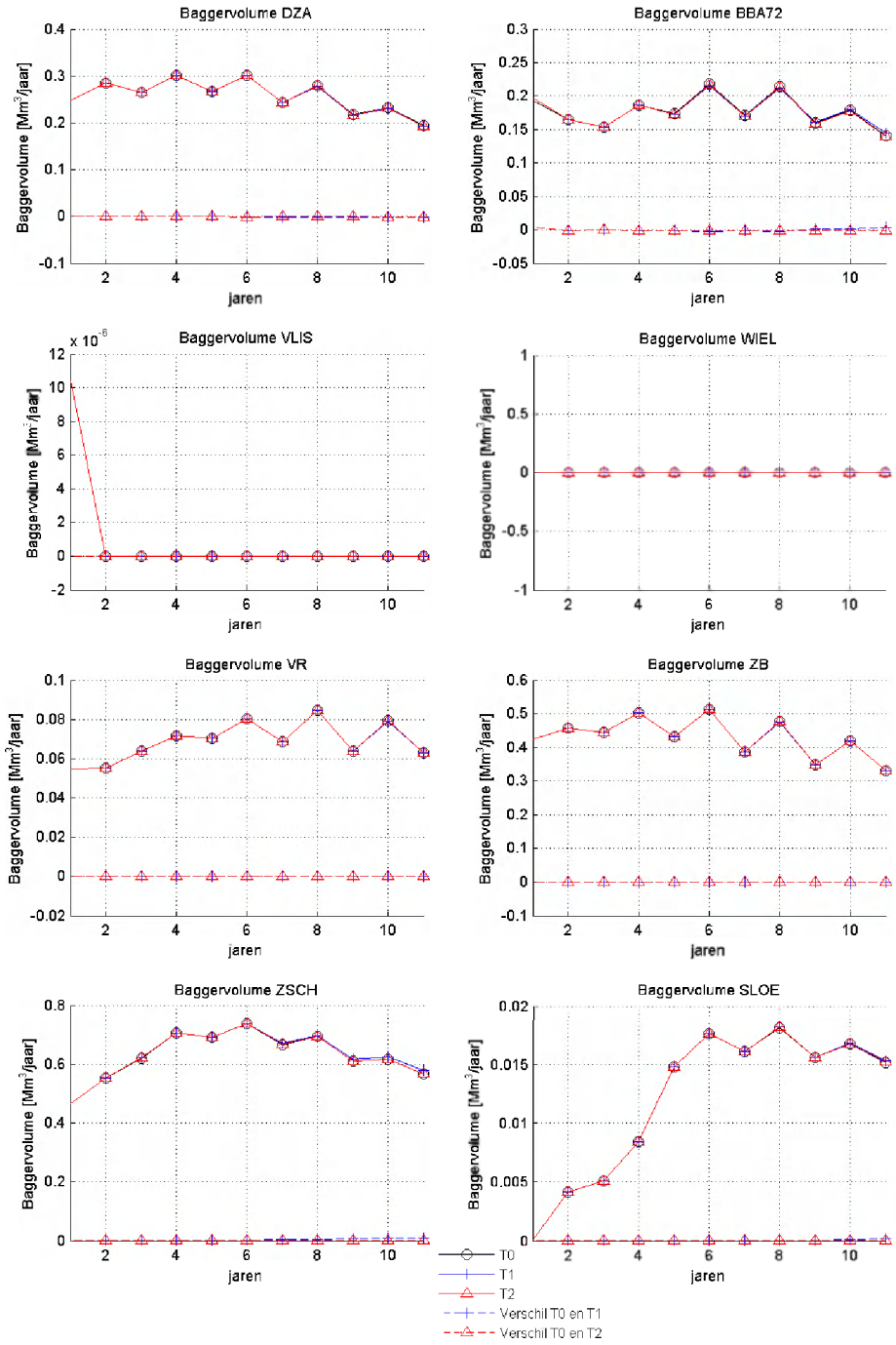
Figuur 33: Baggervolume gehele Westerschelde



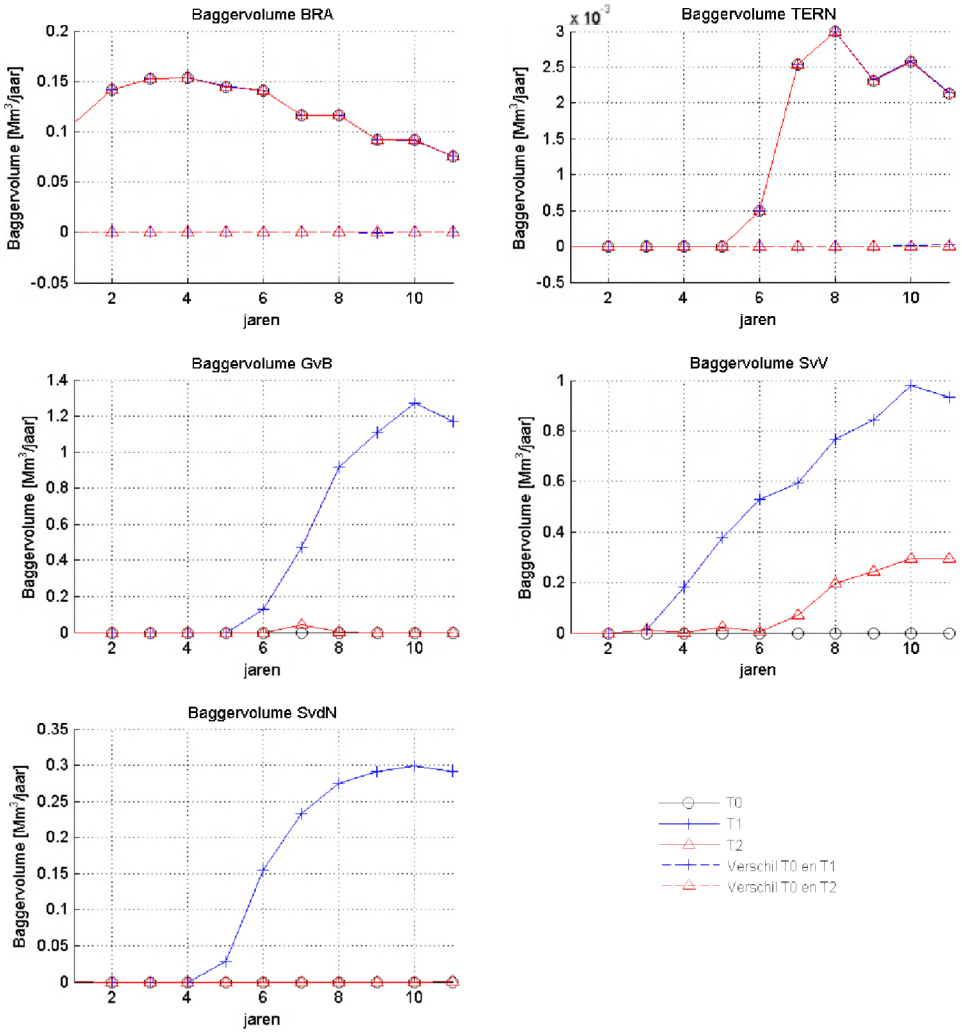
Figuur 34: Baggervolume uitgesplitst per drempel (1/4).



Figuur 35: Baggervolume uitgesplitst per drempel (2/4).



Figuur 36: Baggervolume uitgesplitst per drempel (3/4).



Figuur 37: Baggervolume uitgesplitst per drempel (4/4); GvB, SvV en SvdN zijn de nevengeullocaties

Tabel 2: Baggervolume in de gehele Westerschelde per jaar. Volumes zijn in Mm^3.

	Jaar										
Scenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T0	3.59	4.88	5.35	6.45	6.32	7.36	6.33	7.32	6.13	6.87	6.09
T1	3.59	4.86	5.35	6.65	6.8	8.4	8.03	9.87	9.02	10.14	9.12
T2	3.59	4.86	5.35	6.44	6.33	7.36	6.46	7.69	6.59	7.55	7.19

Tabel 3: Baggervolume uitgesplitst per drempel voor scenario T0; GvB, SvV en SvdN zijn de nevengeullocaties. Volumes zijn in Mm^3.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BBA	0.31	0.56	0.54	0.58	0.53	0.58	0.48	0.54	0.44	0.49	0.41
DBO	0.41	0.51	0.5	0.6	0.55	0.65	0.52	0.62	0.47	0.54	0.44
DHW	0.37	0.72	0.84	1.05	1.02	1.26	1.11	1.31	1.15	1.33	1.24
DVA	0.08	0.32	0.45	0.56	0.54	0.57	0.46	0.5	0.4	0.4	0.33
DWA	0.04	0.03	0.04	0.06	0.06	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07
GVO24	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GVO28	0.03	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.11	0.12	0.12	0.14	0.15
GVO32	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.1	0.11	0.13	0.13
BBA73	0.11	0.14	0.17	0.22	0.25	0.37	0.29	0.35	0.26	0.3	0.25
OHW	0.08	0.14	0.24	0.43	0.54	0.71	0.69	0.86	0.79	0.92	0.84
OVA48	0.04	0.07	0.09	0.14	0.15	0.18	0.17	0.22	0.19	0.23	0.2
OVA54	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
OVA58	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.06	0.1	0.14
PAS10	0.43	0.52	0.58	0.67	0.67	0.67	0.58	0.59	0.49	0.5	0.43
PAS8	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
PUT	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DZA	0.25	0.29	0.26	0.3	0.27	0.3	0.24	0.28	0.22	0.23	0.19
BBA72	0.19	0.17	0.15	0.19	0.17	0.22	0.17	0.21	0.16	0.18	0.14
VLIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WIEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VR	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.06
ZB	0.42	0.46	0.44	0.5	0.43	0.51	0.39	0.48	0.35	0.42	0.33
ZSCH	0.46	0.55	0.62	0.71	0.69	0.74	0.67	0.69	0.61	0.62	0.57
SLOE	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
BRA	0.11	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08
TERN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GvB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SvV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SvdN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4: Stortvolume uitgesplitst voor enkele stortvakken voor scenario T0. Materiaal uit nevengeullocatie GvB wordt gestort in SN31, uit SvV in SH51 en uit SvdN in SH61.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SH51	0.11	0.18	0.2	0.25	0.25	0.31	0.27	0.31	0.26	0.3	0.27
SH61	0.31	0.46	0.45	0.5	0.47	0.55	0.45	0.52	0.41	0.45	0.38
SN31	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05

Tabel 5: Baggervolume uitgesplitst per drempel voor scenario T1; GvB, SvV en SvdN zijn de nevengeullocaties. Volumes zijn in Mm^3.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BBA	0.3	0.55	0.54	0.57	0.52	0.58	0.48	0.53	0.43	0.46	0.39
DBO	0.41	0.51	0.51	0.6	0.55	0.65	0.52	0.62	0.47	0.53	0.43
DHW	0.38	0.73	0.84	1.05	1.04	1.29	1.15	1.36	1.2	1.38	1.28
DVA	0.08	0.31	0.44	0.55	0.52	0.56	0.45	0.49	0.38	0.39	0.32
DWA	0.04	0.03	0.04	0.08	0.13	0.21	0.29	0.44	0.48	0.59	0.57
GVO24	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GVO28	0.03	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.11	0.13	0.13	0.15	0.16
GVO32	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.11	0.12	0.15	0.15
BBA73	0.11	0.14	0.17	0.22	0.26	0.46	0.43	0.53	0.46	0.51	0.44
OHW	0.08	0.14	0.24	0.43	0.54	0.71	0.69	0.86	0.78	0.9	0.82
OVA48	0.04	0.07	0.09	0.14	0.15	0.19	0.18	0.26	0.23	0.28	0.25
OVA54	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
OVA58	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
PAS10	0.43	0.52	0.58	0.67	0.67	0.67	0.58	0.59	0.48	0.49	0.42
PAS8	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
PUT	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DZA	0.25	0.29	0.26	0.3	0.27	0.3	0.24	0.28	0.22	0.23	0.19
BBA72	0.2	0.16	0.15	0.19	0.17	0.22	0.17	0.21	0.16	0.18	0.14
VLIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WIEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VR	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.06
ZB	0.43	0.46	0.45	0.5	0.43	0.51	0.39	0.48	0.35	0.42	0.33
ZSCH	0.46	0.55	0.62	0.71	0.69	0.74	0.67	0.7	0.62	0.63	0.58
SLOE	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
BRA	0.11	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08
TERN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GvB	0	0	0	0	0	0.13	0.47	0.92	1.11	1.27	1.17
SvV	0	0	0.01	0.18	0.38	0.53	0.6	0.77	0.84	0.98	0.93
SvdN	0	0	0	0	0.03	0.16	0.23	0.27	0.29	0.3	0.29

Tabel 6: Stortvolume uitgesplitst voor enkele stortvakken voor scenario T1. Materiaal uit nevengeullocatie GvB wordt gestort in SN31, uit SvV in SH51 en uit SvdN in SH61.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SH51	0.24	0.18	0.21	0.44	0.65	0.91	0.97	1.24	1.29	1.5	1.41
SH61	0.31	0.46	0.45	0.5	0.5	0.73	0.72	0.84	0.75	0.8	0.72
SN31	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.17	0.52	0.97	1.16	1.32	1.22

Tabel 7: Baggervolume uitgesplitst per drempel voor scenario T2; GvB, SvV en SvdN zijn de nevengeullocaties. Volumes zijn in Mm^3.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BBA	0.3	0.55	0.54	0.57	0.52	0.58	0.48	0.54	0.44	0.48	0.41
DBO	0.41	0.51	0.51	0.6	0.55	0.65	0.52	0.62	0.47	0.54	0.44
DHW	0.38	0.73	0.84	1.05	1.02	1.26	1.11	1.33	1.17	1.35	1.27
DVA	0.08	0.31	0.44	0.55	0.53	0.56	0.45	0.49	0.39	0.39	0.32
DWA	0.04	0.03	0.04	0.07	0.07	0.09	0.08	0.13	0.14	0.2	0.29
GVO24	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GVO28	0.03	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.11	0.12	0.12	0.14	0.15
GVO32	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.07	0.1	0.11	0.13	0.14
BBA73	0.11	0.14	0.17	0.22	0.24	0.36	0.29	0.34	0.26	0.3	0.25
OHW	0.08	0.14	0.24	0.43	0.54	0.71	0.69	0.86	0.79	0.92	0.85
OVA48	0.04	0.07	0.09	0.14	0.15	0.18	0.17	0.23	0.21	0.25	0.23
OVA54	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
OVA58	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.09	0.13
PAS10	0.43	0.52	0.58	0.67	0.67	0.67	0.58	0.59	0.49	0.5	0.43
PAS8	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
PUT	0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
DZA	0.25	0.29	0.26	0.3	0.27	0.3	0.24	0.28	0.22	0.23	0.19
BBA72	0.2	0.16	0.15	0.19	0.17	0.22	0.17	0.21	0.16	0.18	0.14
VLIS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WIEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VR	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.08	0.06
ZB	0.43	0.46	0.45	0.5	0.43	0.51	0.39	0.48	0.35	0.42	0.33
ZSCH	0.46	0.55	0.62	0.71	0.69	0.74	0.67	0.69	0.61	0.62	0.57
SLOE	0	0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
BRA	0.11	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08
TERN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GvB	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0	0	0
SvV	0	0	0.01	0	0.02	0.01	0.07	0.2	0.24	0.29	0.29
SvdN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 8: Stortvolume uitgesplitst voor enkele stortvakken voor scenario T2. Materiaal uit nevengeullocatie GvB wordt gestort in SN31, uit SvV in SH51 en uit SvdN in SH61.

	Jaar										
Vak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SH51	0.24	0.18	0.21	0.25	0.27	0.33	0.35	0.65	0.66	0.88	1.17
SH61	0.31	0.46	0.45	0.5	0.47	0.55	0.45	0.51	0.41	0.45	0.38
SN31	0.06	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.09	0.05	0.05	0.05	0.05

3.3 Waterstanden

Het effect op de waterstanden is getoond in Tabel 9. Voor de initiele situatie op t=0 jaar en de eindsituatie op t=10 jaar is het effect berekend op de amplitude van de M2, M4 en M6 component. Hiervoor is t_tide gebruikt. Bij het bepalen van de componenten wordt ook een foutenmarge berekend door t_tide, deze is ook getoond in de tabel. Te zien is dat er nauwelijks verschil tussen T0, T1 en T2 optreedt in de de componenten. Opvallend is wel dat de amplitude na 10 jaar is toegenomen voor zowel T0 , T1 als T2. Dit kan een fysische oorzaak hebben, bijvoorbeeld het uitruimen van de hoofdgeul, maar dit kan niet met zekerheid gezegd worden omdat de resultaten binnen de foutenmarge van het programma liggen.

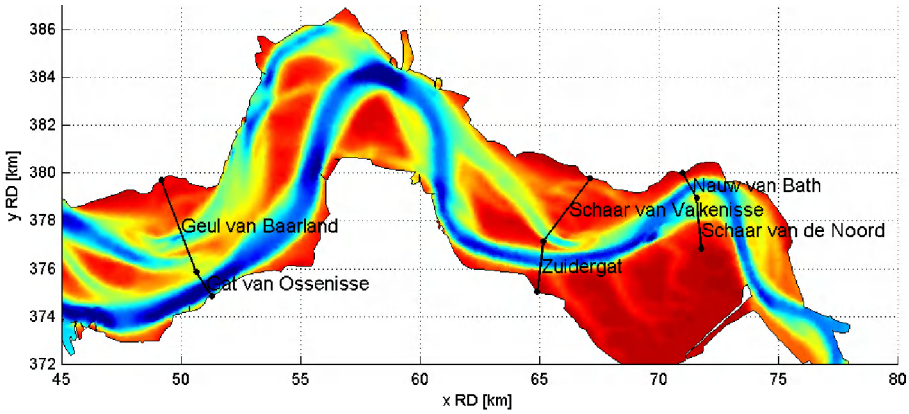
Tabel 9: Getijcomponenten van hoofdstations in Westerschelde na 0 en 10 jaar, T0, T1 en T2 scenario.

	t=0 jaar						t=10 jaar					
	T0		T1		T2		T0		T1		T2	
Component	ampl	error	ampl	error	ampl	error	ampl	error	ampl	error	ampl	error
	Station: Antw Loodsgebouw											
M2	2.34	0.09	2.34	0.08	2.34	0.08	2.38	0.05	2.38	0.05	2.38	0.06
M4	0.12	0.02	0.12	0.02	0.12	0.02	0.16	0.02	0.15	0.02	0.16	0.02
M6	0.14	0.03	0.14	0.03	0.14	0.04	0.15	0.04	0.15	0.04	0.15	0.04
	Station: Bath											
M2	2.23	0.07	2.23	0.08	2.23	0.07	2.28	0.05	2.29	0.04	2.28	0.05
M4	0.11	0.02	0.11	0.02	0.11	0.02	0.13	0.01	0.13	0.02	0.13	0.02
M6	0.13	0.03	0.13	0.03	0.13	0.03	0.14	0.04	0.14	0.03	0.14	0.04
	Station: Hansweert											
M2	2.07	0.06	2.07	0.07	2.07	0.06	2.12	0.05	2.12	0.04	2.12	0.04
M4	0.12	0.02	0.12	0.02	0.12	0.02	0.13	0.01	0.13	0.01	0.13	0.02
M6	0.09	0.02	0.09	0.02	0.09	0.02	0.10	0.02	0.10	0.03	0.10	0.02
	Station: Terneuzen											
M2	1.91	0.06	1.91	0.05	1.91	0.05	1.96	0.04	1.96	0.04	1.96	0.04
M4	0.12	0.02	0.12	0.02	0.12	0.02	0.13	0.02	0.13	0.01	0.13	0.01
M6	0.08	0.02	0.08	0.02	0.08	0.01	0.09	0.02	0.08	0.02	0.09	0.02
	Station: Vlissingen											
M2	1.74	0.05	1.74	0.05	1.74	0.05	1.78	0.03	1.78	0.03	1.78	0.03
M4	0.13	0.02	0.13	0.02	0.13	0.02	0.13	0.01	0.13	0.01	0.13	0.02
M6	0.07	0.01	0.07	0.01	0.07	0.01	0.08	0.02	0.08	0.02	0.08	0.02

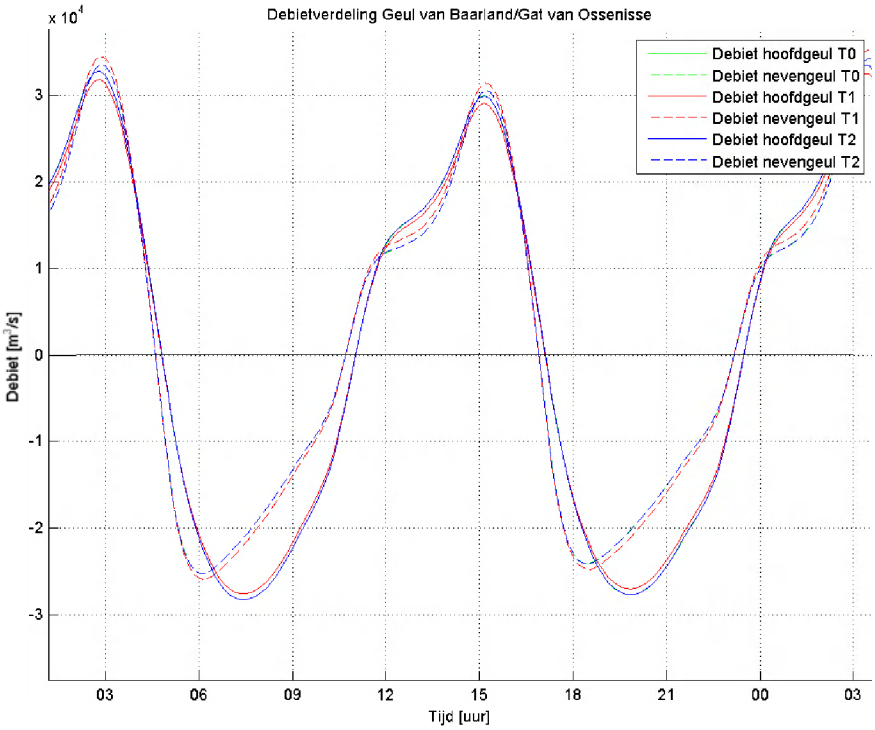
3.4 Debieten

Om verder inzicht te krijgen in de effecten zijn debietverdelingen over de hoofd- en nevengeulen bepaald. Onderstaande figuren tonen van een dag de debieten aan het eind van de simulatie (na 10 jaar) tijdens een springtij situatie. De locaties van de debietraaien zijn weergegeven in Figuur 38. Uit alle figuren blijkt dat door het op diepte houden van de nevengeul, dat wil zeggen: het plegen van onderhoud en daarmee ingrijpen in de morfologie, er meer debiet door de nevengeul gaat. In de T1 situatie wordt op alle drie de locaties onderhoud gepleegd, en is ook op alle drie de locaties een wijziging in de debietverdeling zichtbaar. In scenario T2 wordt alleen bij de Schaar van Valkenisse onderhoud gepleegd; op de andere twee locaties wordt vrijwel geen onderhoud gepleegd. Alleen hier is een verandering in de debietverdeling ten opzichte van de T0 situatie zichtbaar.

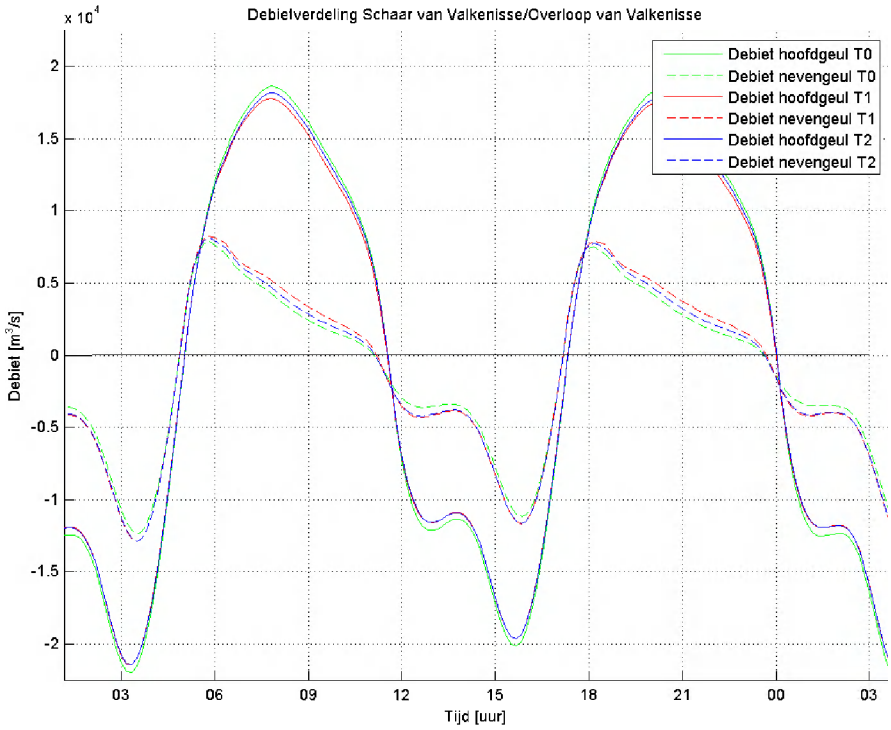
NB. Deze verandering van de debietverdeling is niet initieel, en is pas na enkele jaren doorrekenen zichtbaar in de resultaten.



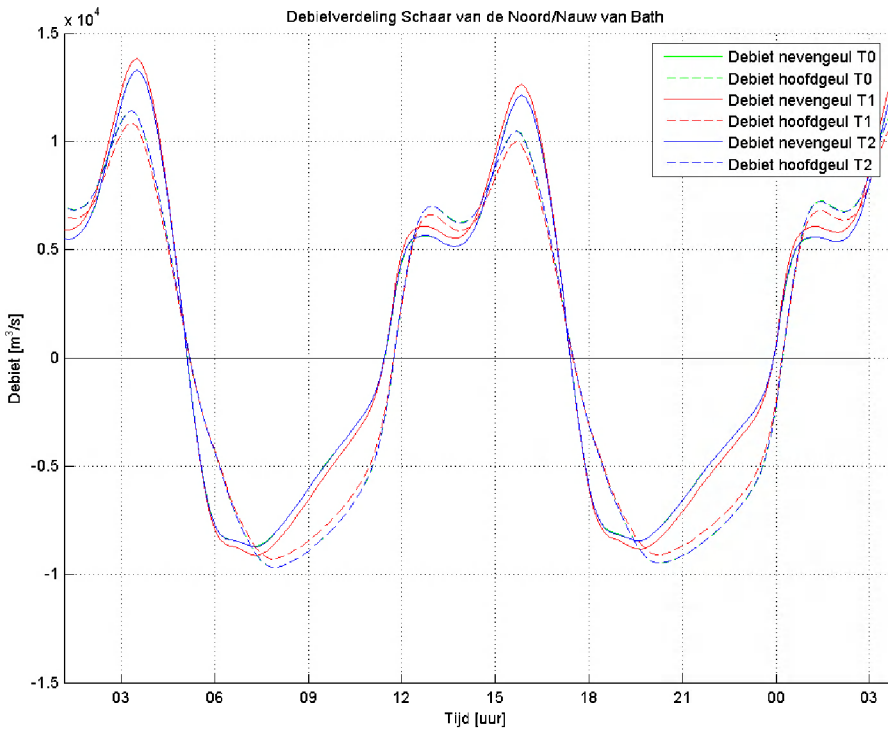
Figuur 38: Locaties debietraaien in de Westerschelde.



Figuur 39: Debietverdeling Geul van Baarland/Gat van Ossenisse



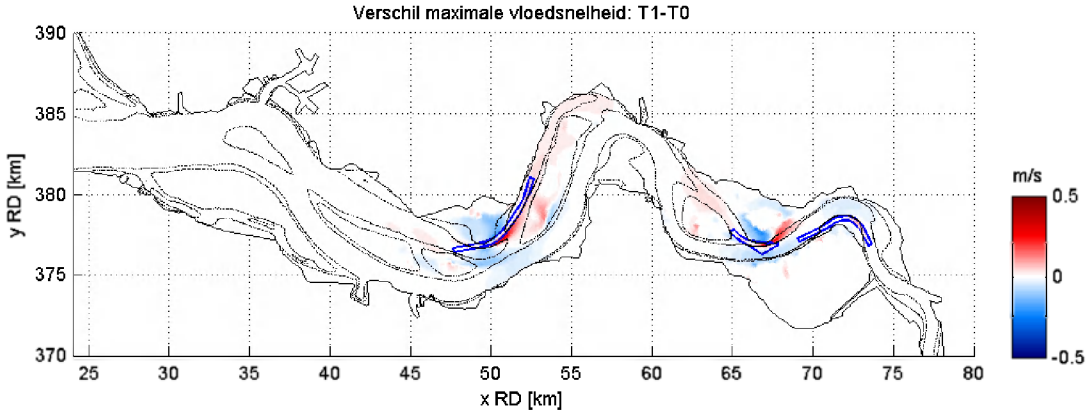
Figuur 40: Debietverdeling Schaar van Valkenisse/Overloop van Valkenisse



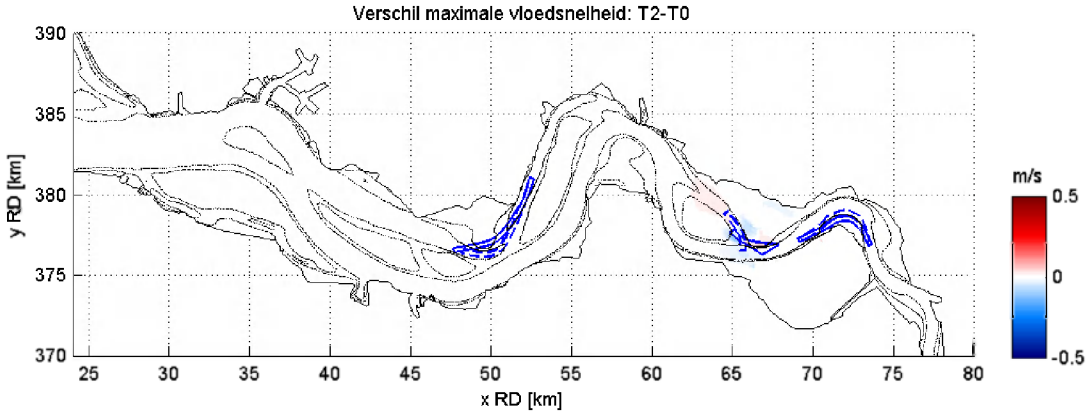
Figuur 41: Debietverdeling Schaar van de Noord/Nauw van Bath

3.5 Stroomsnelheden

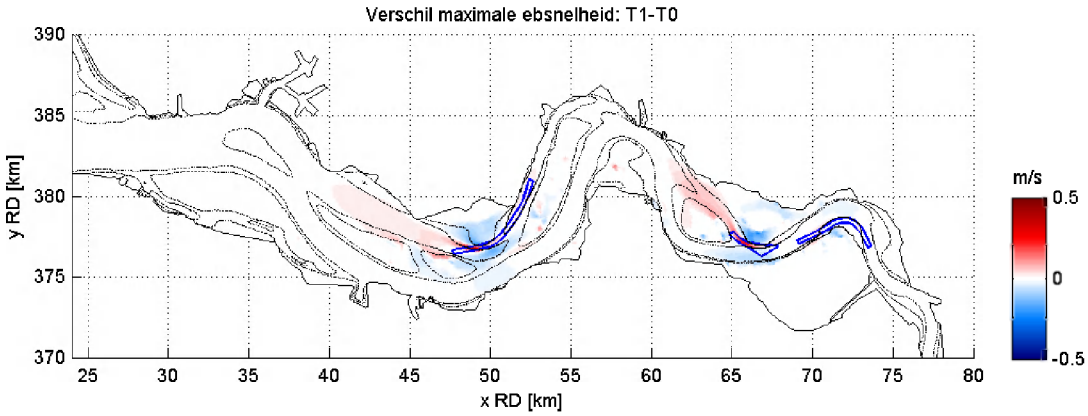
Het onderhouden van de nevengeul heeft invloed op de debietverdeling door de hoofd- en nevengeulen van de Westerschelde, zie paragraaf 3.4. Daarnaast hebben de ingrepen invloed op de stroomsnelheid. De invloed op de stroomsnelheid van scenario T1 is voor de maximale vloedsnelheid weergegeven in Figuur 42 en voor de maximale ebsnelheid in Figuur 44. Voor scenario T2 is het effect op de stroomsnelheid ten opzichte van scenario T0 in Figuur 43 weergegeven voor de maximale vloedsnelheid en in Figuur 45 voor de maximale ebsnelheid. Over het algemeen kan gesteld worden dat de stroomsnelheid in de nevengeulen toeneemt, en in het omringende gebied afneemt. Dit is in overeenstemming met de toename van het debiet in de nevengeulen en de afname van het debiet in de hoofdgeulen. Daarnaast is het effect op de stroomsnelheid in scenario T2 veel kleiner dan in scenario T1 (Scenario T2 is realistischer dan scenario T1



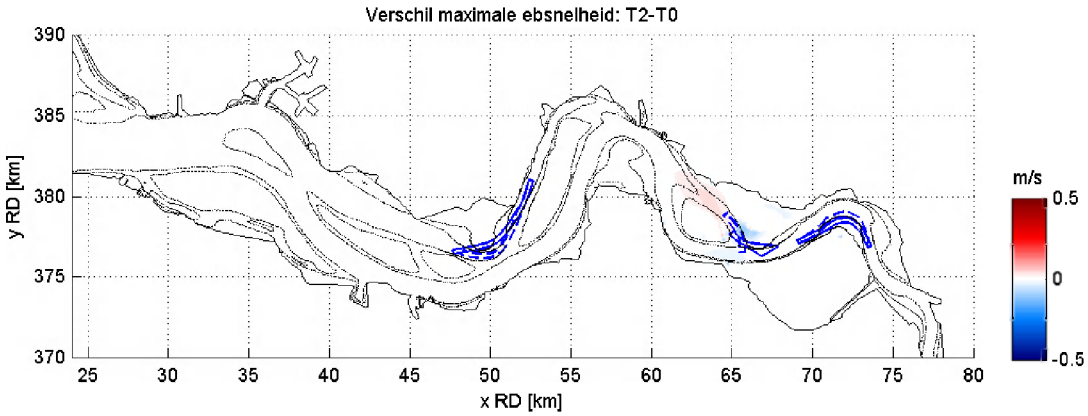
Figuur 42: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 43: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 44: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 45: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.

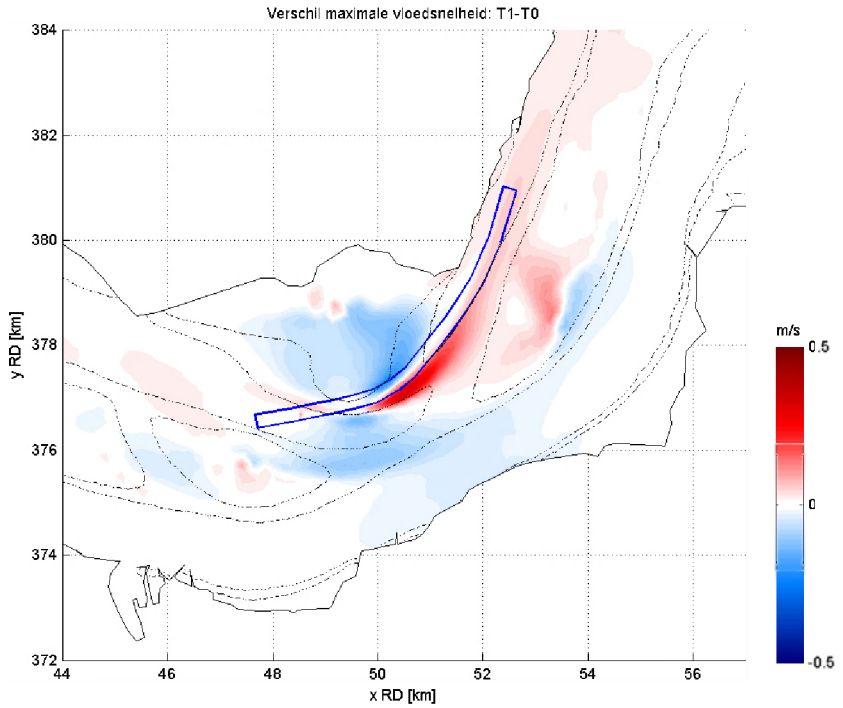
3.5.1 Baarland

Voor de Geul van Baarland is de invloed van scenario T1 op de maximale vloedsnelheid getoond in Figuur 46 en de invloed op de maximale ebsnelheid in Figuur 48. Voor scenario T2 is de invloed op de vloedsnelheid en ebsnelheid weergegeven in Figuur 47 en Figuur 49 respectievelijk.

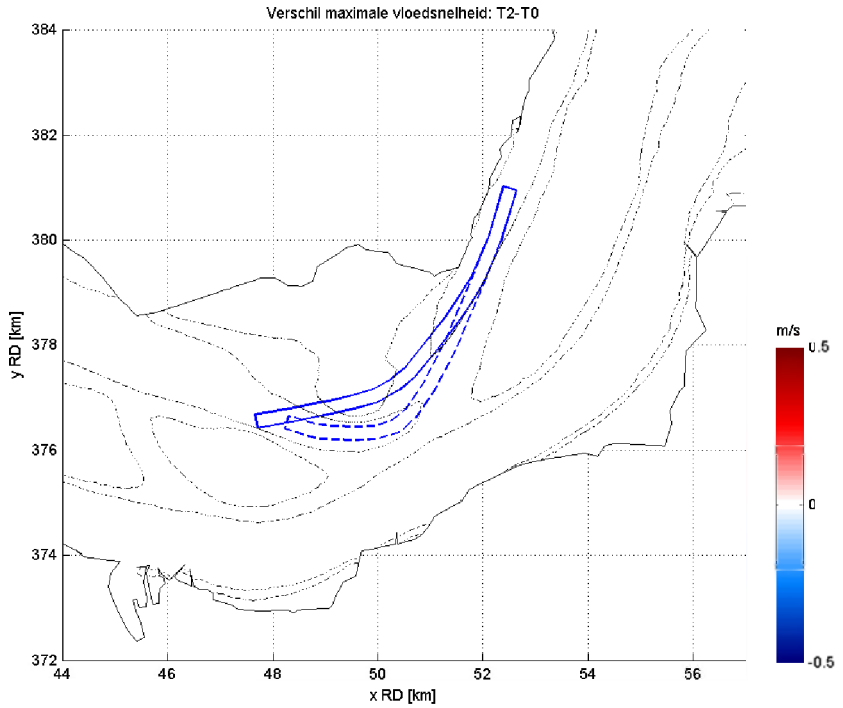
In Figuur 46 en Figuur 48 is te zien dat zowel bij de eb- als de vloedstroming de stroomsnelheid in de nevengeul, en benedenstrooms van de nevengeul toeneemt. Dit komt onder andere doordat de nevengeul meer debiet trekt dan in de T0 situatie, wat ten koste gaat van het debiet in de hoofdgeul. In de hoofdgeul is dan ook een afname van de stroomsnelheid zichtbaar. Ook in de directe omgeving is een afname van de stroomsnelheid zichtbaar. Doordat meer water door de nevengeul gaat wordt de omgeving van de nevengeul ook relatief verdiept (paragraaf 3.1.1). Het geërodeerde zand komt in de directe omgeving terecht, en veroorzaakt de afname van de stroomsnelheid.

Figuur 47 en Figuur 49 geven de invloed van scenario T2 op de stroomsnelheid weer. Door de boeilijn van de nevengeul flexibel te kiezen afhankelijk van de voorkomende morfologie, zijn vrijwel geen onderhoudsbaggerwerkzaamheden benodigd om de nevengeul op diepte te houden.

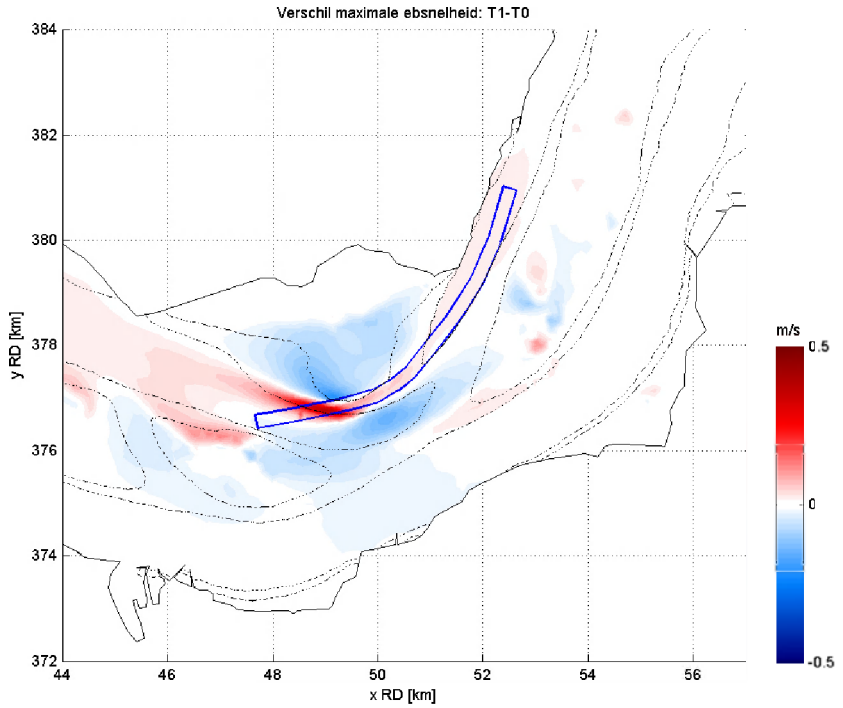
Er wordt dus vrijwel niet in het systeem ingegrepen, waardoor de stroomsnelheden vrijwel ongewijzigd blijven.



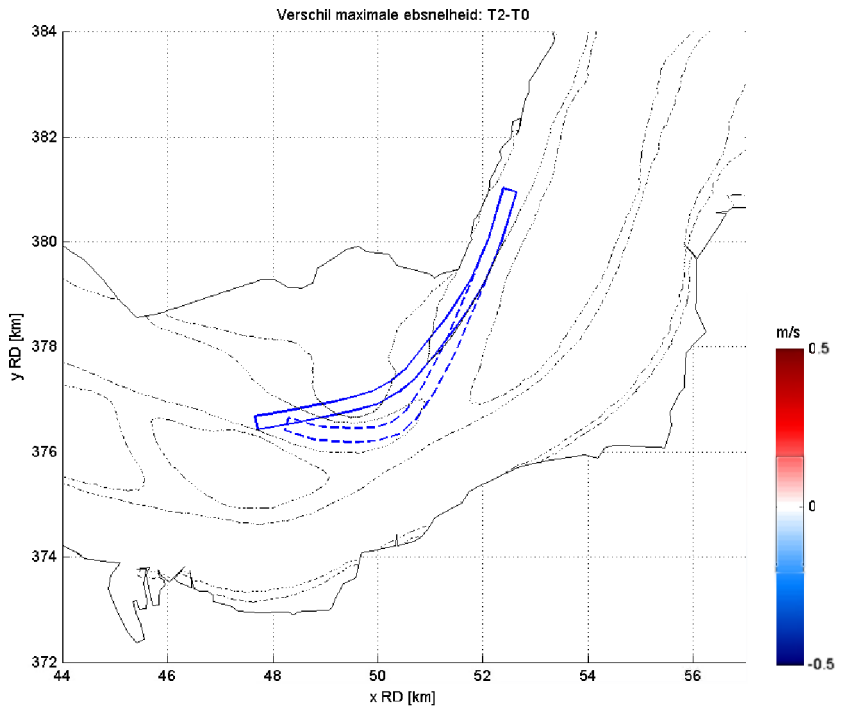
Figuur 46: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0, ingezoomd op Baarland. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 47: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0, ingezoomd op Baarland. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 48: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0, ingezoomd op Baarland. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 49: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0, ingezoomd op Baarland. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.

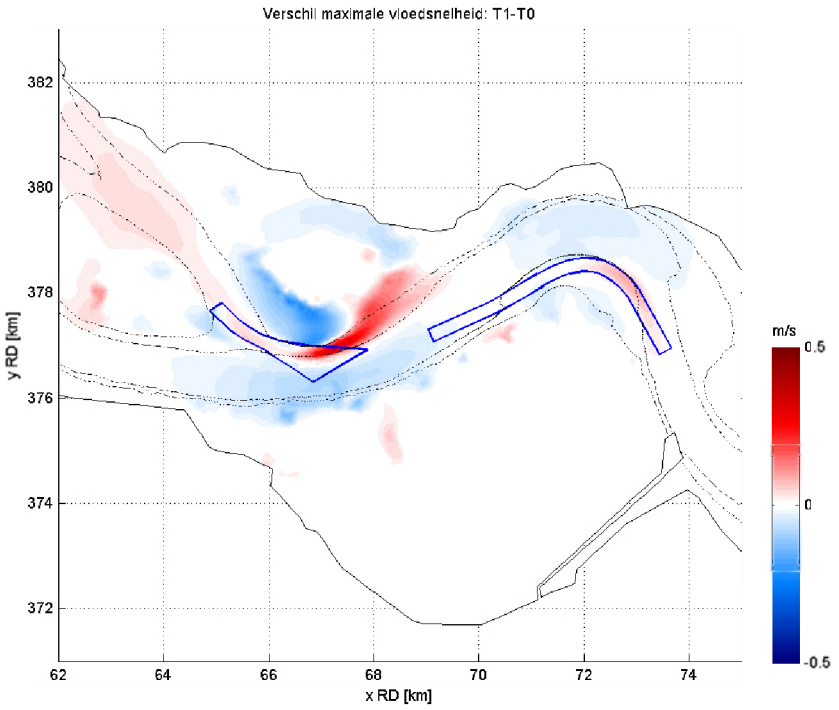
3.5.2 Schaar van Valkenisse/Schaar van de Noord

Voor de Schaar van de Noord en de Schaar van Valkenisse is de invloed van scenario T1 op de maximale vloedsnelheid getoond in Figuur 50 en de invloed op de maximale ebsnelheid in Figuur 52. Voor scenario T2 is de invloed op de vloedsnelheid en ebsnelheid weergegeven in Figuur 51 en Figuur 53 respectievelijk.

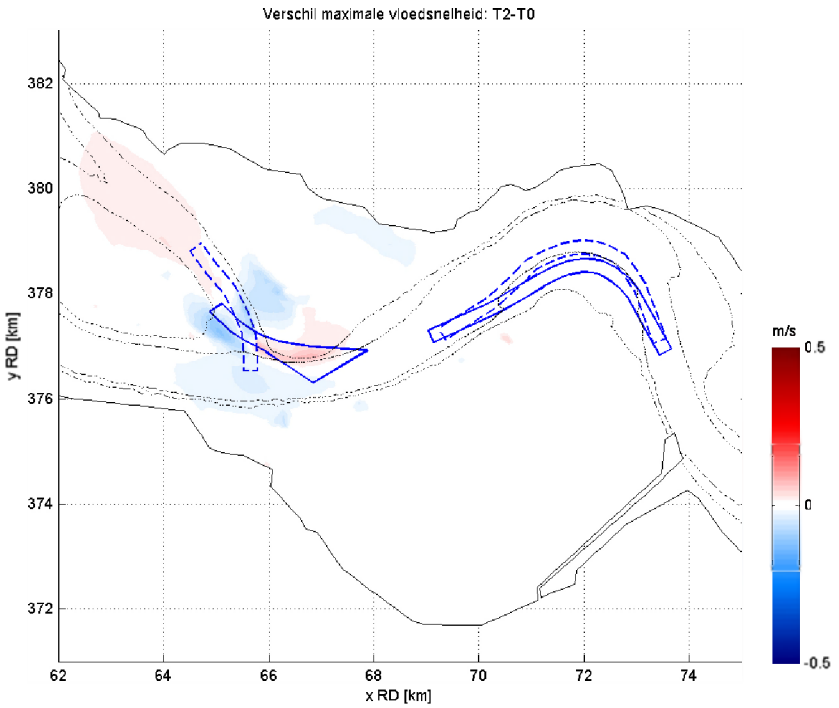
In Figuur 50 en Figuur 52 is te zien dat ook in de Schaar van de Noord en de Schaar van Valkenisse zowel bij de eb- als de vloedstroming de stroomsnelheid in de nevengeul, en benedenstrooms van de nevengeul toeneemt. Wederom trekt de nevengeul meer debiet dan in de T0 situatie, en gaat dit ten koste van het debiet in de hoofdgeul. Daarnaast is in het Nauw van Bath en de Overloop van Valkenisse, de bijbehorende hoofdgeulen, en in de directe omgeving van de nevengeul een afname van de stroomsnelheid zichtbaar. Opvallend is dat ook in Geul Zimmerman de stroomsnelheid, en vermoedelijk ook het debiet, afneemt.

Figuur 51 en Figuur 53 geven de invloed van scenario T2 op de stroomsnelheid weer. Door de boeilijn van de nevengeul flexibel te kiezen afhankelijk van de voorkomende morfologie, zijn vrijwel geen onderhoudsbaggerwerkzaamheden benodigd om de Schaar van de Noord op diepte te houden. Er wordt dus vrijwel niet in het systeem ingegrepen, waardoor de stroomsnelheden nabij de Schaar van de Noord vrijwel ongewijzigd blijven.

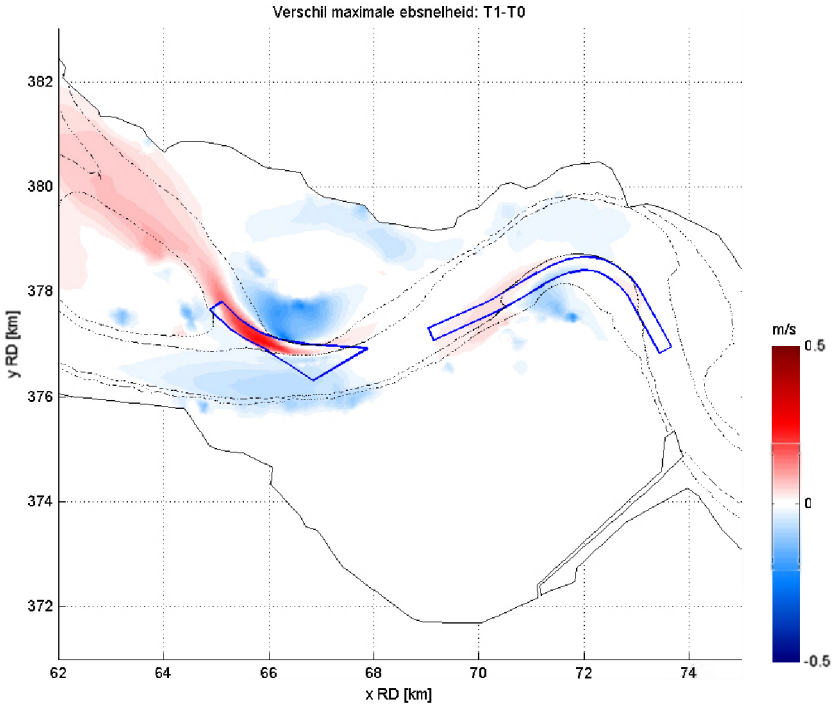
In de Schaar van Valkenisse dient ondanks het gunstig kiezen van de boeilijn van de nevengeul wel enig onderhoud gepleegd te worden. Desondanks is het onderhoud dat in scenario T2 wordt uitgevoerd beduidend minder dan het onderhoud in scenario T1. Dit is ook terug te zien in het effect op de stroomsnelheid. Zowel voor de eb- als de vloedstroomsnelheid is het effect kleiner in scenario T2 dan in scenario T1. Wederom neemt de stroomsnelheid, evenals het debiet, toe in de nevengeul en af in de hoofdgeul en de directe omgeving. De afname van de stroomsnelheid in Geul Zimmerman is in scenario T2 eveneens aanwezig, doch in mindere mate dan in scenario T1.



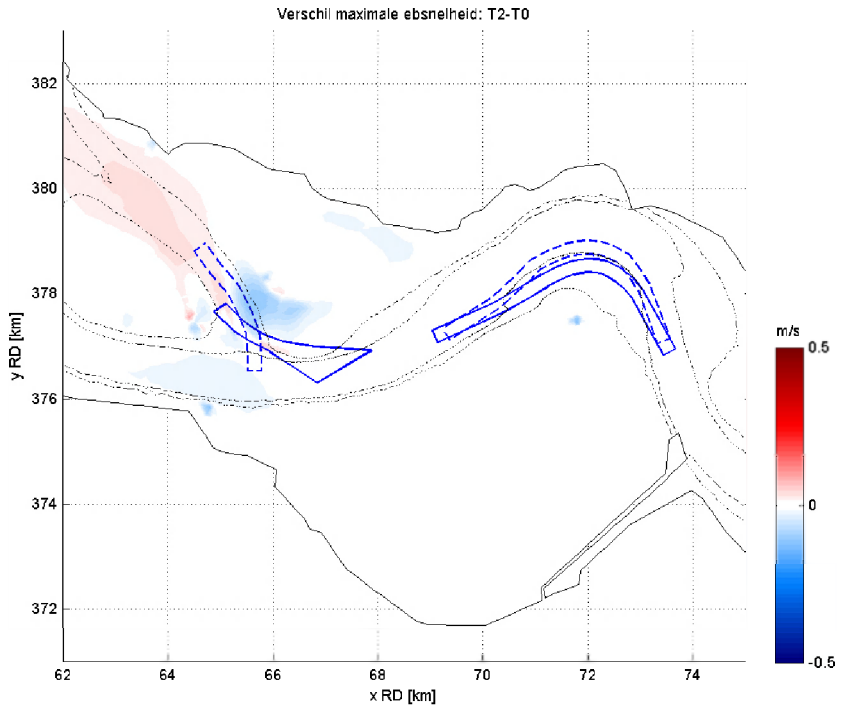
Figuur 50: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0, ingezoomd op de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 51: Verschil in maximale vloedsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0, ingezoomd op de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.



Figuur 52: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T1 en scenario T0, ingezoomd op de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T1 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.

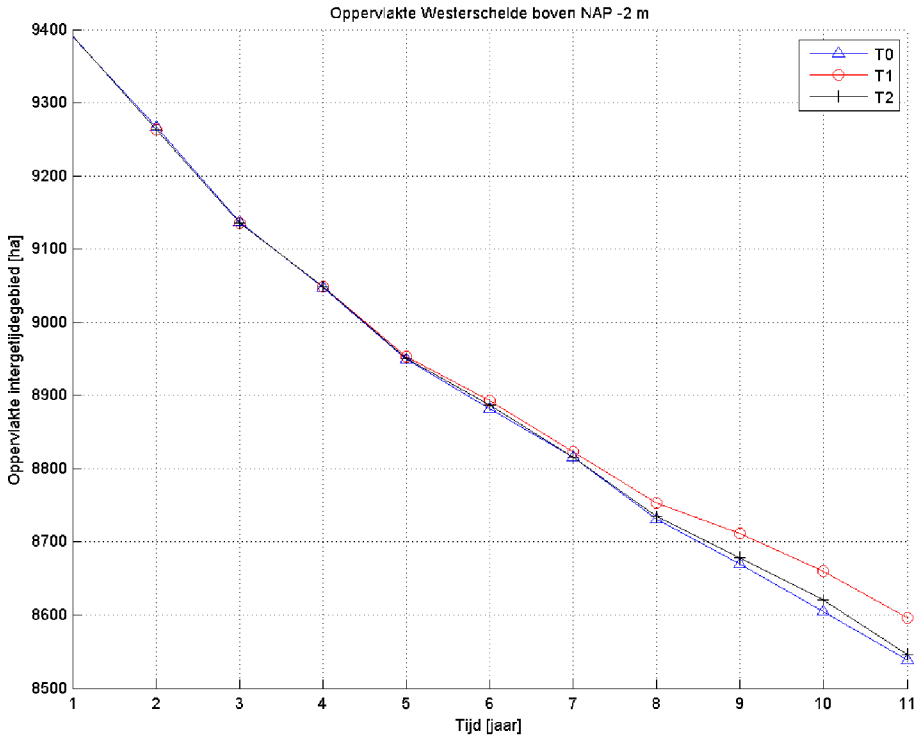


Figuur 53: Verschil in maximale ebsnelheid tussen scenario T2 en scenario T0, ingezoomd op de Schaar van Valkenisse en de Schaar van de Noord. Rood staat voor een hogere stroomsnelheid in scenario T2 dan scenario T0, blauw voor een lagere. De blauwe lijn geeft de nevengeullocaties weer, de zwarte stippellijnen de NAP -5 m en de NAP -10 m contour.

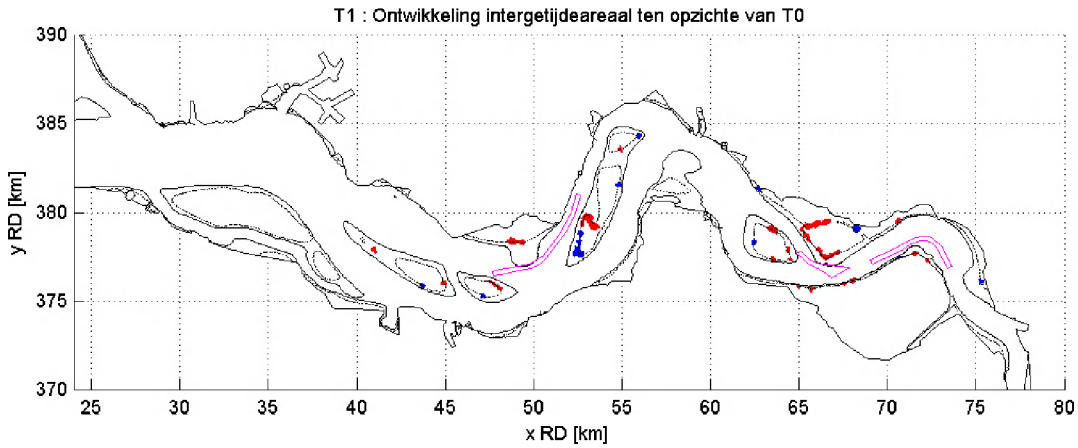
3.6 Arealen

Het areaal intergetijdengebied over de jaren is te zien in Figuur 54. Het relatieve verschil tussen T0 en T1 laat zien dat de T1 situatie iets meer intergetijdengebied verkrijgt. Dit komt waarschijnlijk doordat er meer gebaggerd wordt in het T1 scenario en dit komt voor een deel terecht op plaatrandstortingen. Bij scenario T2 is een minder sterke toename zichtbaar. Het verschil in intergetijdegebied ten opzichte van de T0 situatie aan het eind van de simulatie is weergegen in Figuur 43 voor de T1 en in Figuur 44 voor de T2 situatie.

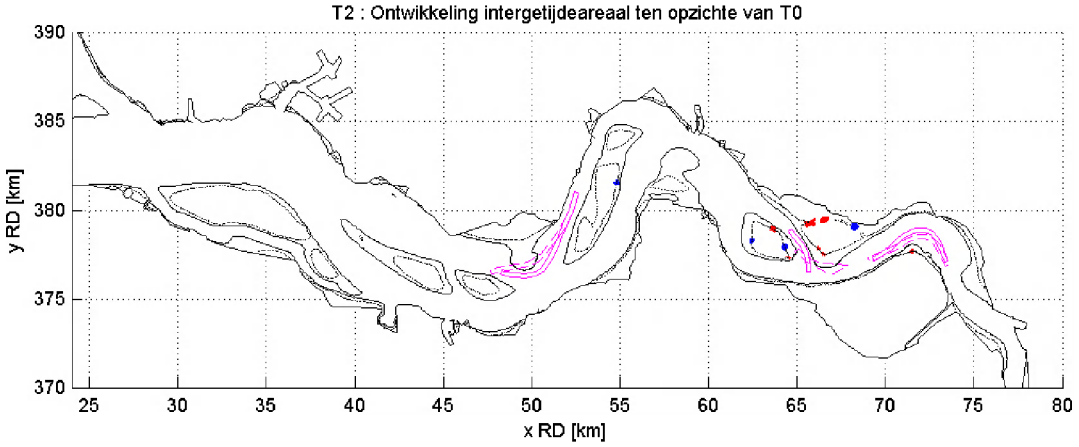
De sterke afname van het oppervlak van alle scenario's is niet realistisch en is een modelartefact.



Figuur 54: Areaalontwikkeling intergetijdengebied



Figuur 55: Ontwikkeling van het intergetijdegebied voor scenario T1 ten opzicht van T0. De locaties waar in scenario T1 wel intergetijdegebied is en in scenario T0 niet zijn rood weergegeven. De locaties waar in scenario T1 geen intergetijdegebied is, en in scenario T0 wel zijn blauw weergegeven.



Figuur 56: Ontwikkeling van het intergetijdegebied voor scenario T2 ten opzicht van T0. De locaties waar in scenario T2 wel intergetijdegebied is en in scenario T0 niet zijn rood weergegeven. De locaties waar in scenario T2 geen intergetijdegebied is, en in scenario T0 wel zijn blauw weergegeven.

4 CONCLUSIES

Door het op diepte houden van de nevengeulen in het T1 scenario gaat er meer debiet door de nevengeulen ten koste van de hoofdgeul. Daarbij neemt de stroomsnelheid door de nevengeul, en in de hoofdgeul en de directe omgeving van de nevengeul af. Wanneer niet of nauwelijks onderhoud gepleegd hoeft te worden, is er in principe ook geen effect op het debiet en stroomsnelheid. Het baggervolume van de drempels in de nevengeulen neemt sterk toe na 10 jaar voor het T1 scenario, voornamelijk door het strak vasthouden aan de polygonen. Op de nevengeul drempels van Baarland en Valkenisse wordt in de T0 situatie een sterke sedimentatie door het model berekend, die in de T1 situatie weggebaggerd wordt. Het cumulatieve verschil in baggervolume ten opzichte van de T0 situatie bedraagt na 10 jaar 3 miljoen m^3 per jaar. Het in stand houden van de nevengeulen heeft een beperkte invloed op de morfologie van de Westerschelde.

Door in de T2 situatie de baggerpolygoon in de nevengeulen jaarlijks aan te passen op de meest gunstige ligging, wordt het onderhoud sterk gereduceerd en hoeft op twee van de drie nevengeullocaties vrijwel geen onderhoud uitgevoerd te worden. Op de twee locaties waar nauwelijks onderhoud gepleegd hoeft te worden, is ook nauwelijks effect op de debietverdeling en de stroomsnelheid. Op de derde locatie, waar het onderhoud sterk gereduceerd is, is de invloed op het debiet en de stroomsnelheid sterk verminderd ten opzichte van de T1 situatie. Het cumulatieve verschil in baggervolume ten opzichte van de T0 situatie bedraagt na 10 jaar 1 miljoen m^3 per jaar. Het in stand houden van nevengeulen aan de hand van flexibele baggerpolygonen heeft vrijwel geen invloed op de morfologie van de Westerschelde en stroming in de Westerschelde.

Opgemerkt dient te worden dat het model in dient te spelen op baggerhoeveelheden. Na een aantal jaren stabiliseert het baggervolume op 6 à 7 miljoen m^3 per jaar. Deze waarden komen overeen met het werkelijke baggerbezwaar in de Westerschelde. De conclusies en absolute waarden dienen met enig voorbehoud geïnterpreteerd te worden.

Aanbevolen wordt om niet strak de baggerpolygonen aan te houden, maar flexibel te houden en deze te optimaliseren volgens de dan geldende morfologie. Wel dient bij deze optimalisatie rekening gehouden te worden met de veiligheid voor de scheepvaart, en dient bijvoorbeeld dwarsstroming in de vaargeul vermeden te worden.

REFERENTIES

LTV V&T (2012a). Actualisatie van het FINEL2d model van de Westerschelde. Rapport, 29 februari, referentie: 1630/U11274/GD/D.

LTV V&T (2012b). Morfologische lange termijn simulaties voor zandwinning. Rapport, 28 augustus, referentie: 1630/U12211/GD/C.

Arcadis (2012). Effect baggeren drempels nevengeulen. Memo, 13 november, referentie: A2666M2r0.