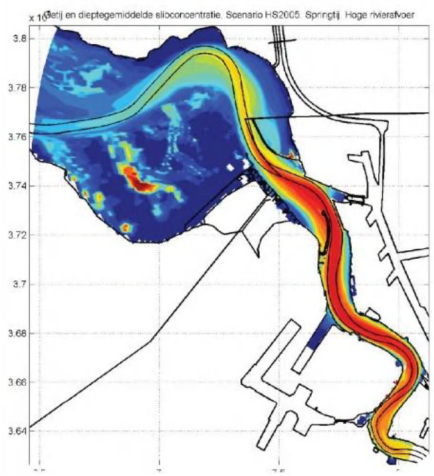
vlaams nederlandse Schelde commissie

departement Mobiliteit en Openbare Werken

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie



LTV – Veiligheid en Toegankelijkheid Zeeschelde- nota analyse bodemligging

Basisrapport kleinschalige ontwikkeling K-19

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	Zeeschelde- nota analyse bodemligging
Project	Instandhouding vaarpassen Schelde Milieuvergunningen terugstorten baggerspecie
Opdrachtgever	Afdeling Maritieme Toegang - Tavernierkaai 3 - 2000 Antwerpen
Bestek nummer	16EF/2010/14
Documentref	I/RA/11387/12.255/VBA
Documentnaam	K:\PROJECTS\11\11387 - Instandhouding Vaarpassen Schelde\10-Rap\Op te leveren rapporten\Oplevering 2013.10.01\werkdocumenten\K-19 - Zeeschelde- nota analyse bodemligging_v2.0.docx

Revisies / Goedkeuring

Versie	Datum	Omschrijving	Auteur	Nazicht	Goedgekeurd
1.0	31/01/13	Concept	B. Verheyen, G. van Holland	G. van Holland	M. Sas
2.0	01/10/13	Finaal concept	B. Verheyen, G. van Holland	G. van Holland	M. Sas

Verdeellijst

	Analoog	
x	Digitaal	Projectgroep LTV V&T

Abstract

Voor het beleid en het beheer van de Zeeschelde is, wanneer er beslissingen moeten worden genomen omtrent onderhoud, verdiepingen en zandwinning, kennis van sedimenthuishouding van fundamenteel belang. Een belangrijke eerste stap in het leggen van verbanden tussen ingreep en effect is het verwerven van een gemeenschappelijk inzicht in de historische ontwikkeling van de bodemligging van zowel de Beneden- als de Boven-Zeeschelde.

In dit memo wordt de historische bodemligging van de Zeeschelde geanalyseerd. Op basis van deze analyse kan een meer gedetailleerde sedimentbalans opgesteld worden en een verband gelegd worden met menselijke ingrepen.

Inhoudstafel

1. INLEIDING 1
2. BODEMLIGGINGGEGEVENS 3
2.1 BESCHIKBARE GEGEVENS 3
2.2 NAUWKEURIGHEID EN BEDENKINGEN 4
3. MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN 5
3.1 INLEIDING 5
3.2 BENEDEN-ZEESCHELDE 6
3.3 BOVEN-ZEESCHELDE 34
3.4 SAMENVATTING 58
3.5 ANALYSE TEN BEHOEVE VAN ONDERZOEK GETIJDERESPONS BOVEN-ZEESCHELDE 59
4. MENSELIJKE INGREPEN 61
4.1 BAGGEREN- EN STORTEN 61
4.2 ZANDEXTRACTIE 61
4.3 COMMERCIËLE ZANDWINNING 62
5. SEDIMENTVOLUMES 67
5.1 BODEMLIGGING 67
5.2 ZANDBALANS 71
5.2.1 Vergelijking met Haecon 2006 71
5.2.2 Conclusies 74
6. REFERENTIES 75

Bijlagen

BIJLAGE A VOLUMEVERANDERINGEN BENEDEN-ZEESCHELDE, BOVEN-ZEESCHELDE, DURME & RUPEL 77
A.1 VERANDERING IN KOMBERGINGSVOLUME ONDER 0MTAW 79
BIJLAGE B BODEMVERANDERINGEN BENEDEN-ZEESCHELDE, BOVEN-ZEESCHELDE, DURME & RUPEL 81
B.1 BENEDEN-ZEESCHELDE 83
B.2 BOVEN-ZEESCHELDE 90

Lijst van tabellen

TABEL 2-1: OVERZICHT VAN DE BESCHIKBARE BODEMGEGEVENS 3
TABEL 3-1: GEMIDDELDE DIEPTELIGGING PER SEGMENT IN MTAW. 59
TABEL 3-2: GEMIDDELDE WATERDIEPTE (WATERKOLOM) IN M PER SEGMENT TEN OPZICHTE VAN LW 59

TABEL 5-1: VOLUMEVERSCHILLEN IN BENEDEN- EN BOVEN-ZEESCHELDE OP BASIS VAN VERSCHILBODEMS. 71

Lijst van figuren

FIGUUR 3-1: OVERZICHT VAN DE ZEESCHELDE EN GETIJDESTATIONS, DE BOVEN-ZEESCHELDE IS GELEGEN TUSSEN MERELBEKE EN SCHELLE, DE BENEDEN-ZEESCHELDE IS GELEGEN TUSSEN SCHELLE EN DE BELGISCH-NEDERLANDSE GRENS TER HOOGTE VAN PROSPERPOLDER. 5

FIGUUR 3-2: VARIATIE IN GEMIDDELDE BODEMLIGGING IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE. 6

FIGUUR 3-3: HYPSOMETRISCHE CURVE VAN OPPERVLAK (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VAN DE BENEDEN-ZEESCHELDE. 7

FIGUUR 3-4: OVERZICHT VAN GEANALYSEERDE SEGMENTEN EN RAAIEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE. 8

FIGUUR 3-5: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 9

FIGUUR 3-6: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 10

FIGUUR 3-7: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1 EN RAAI 1. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 11

FIGUUR 3-8: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 12

FIGUUR 3-9: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 13

FIGUUR 3-10: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2 EN RAAI 2. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 14

FIGUUR 3-11: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 15

FIGUUR 3-12: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 16

FIGUUR 3-13: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3 EN RAAI 3. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 17

FIGUUR 3-14: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3 EN RAAI 4. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 18

FIGUUR 3-15: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 19

FIGUUR 3-16: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 20

FIGUUR 3-17: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4 EN RAAI 5. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 21

FIGUUR 3-18: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 5, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 22

FIGUUR 3-19: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 5, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 23

FIGUUR 3-20: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 5 EN RAAI 6. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 24

FIGUUR 3-21: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 25

FIGUUR 3-22: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 26

FIGUUR 3-23: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6 EN RAAI 7. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 27

FIGUUR 3-24: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 7, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 28

FIGUUR 3-25: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 7, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 29

FIGUUR 3-26: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 7 EN RAAI 8. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 30

FIGUUR 3-27: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 8, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 31

FIGUUR 3-28: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 8, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 32

FIGUUR 3-29: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 8 EN RAAI 9. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2010). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 33

FIGUUR 3-30: VARIATIE IN GEMIDDELDE BODEMLIGGING IN DE BOVEN-ZEESCHELDE 34

FIGUUR 3-31: HYPSOMETRISCHE CURVE VAN OPPERVLAK (BOVEN) EN VOLUME (ONDER) VAN DE BOVEN-ZEESCHELDE. 35

FIGUUR 3-32: OVERZICHT VAN DE BOVEN-ZEESCHELDE EN DE OPDELING IN SEGMENTEN (BOVEN) EN RAAIEN (ONDER). 36

FIGUUR 3-33: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 37

FIGUUR 3-34: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 38

FIGUUR 3-35: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1 EN RAAI 1. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 39

FIGUUR 3-36: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 1 EN RAAI 2. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 40

FIGUUR 3-37: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 41

FIGUUR 3-38: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 42

FIGUUR 3-39: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2 EN RAAI 3. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 43

FIGUUR 3-40: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 2 EN RAAI 4. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 44

FIGUUR 3-41: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 45

FIGUUR 3-42: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 46

FIGUUR 3-43: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3 EN RAAI 5. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 47

FIGUUR 3-44: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 3 EN RAAI 6. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 48

FIGUUR 3-45: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 49

FIGUUR 3-46: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 50

FIGUUR 3-47: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4 EN RAAI 7. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 51

FIGUUR 3-48: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 5, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 52

FIGUUR 3-49: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 5, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 53

FIGUUR 3-50: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 4 EN RAAI 8. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 54

FIGUUR 3-51: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6, VARIATIE IN GEMIDDELDE WATERDIEPTE. 55

FIGUUR 3-52: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6, HYPSOMETRISCHE CURVES VAN AREAAL (BOVEN) EN VOLUME (ONDER). 56

FIGUUR 3-53: MORFOLOGISCHE ONTWIKKELING IN SEGMENT 6 EN RAAI 9. BOVEN: BODEMLIGGING MET AANDUIDING RAAI (LINKS: 1950, RECHTS: 2009). ONDER: VARIATIE IN BODEMLIGGING OVER RAAI (VAN LINKER- NAAR RECHTEROEVER). 57

FIGUUR 3-54: ANALYSE VAN BODEMGEGEVENS PER SEGMENT. BOVEN: GEMIDDELD LW VOOR BEGRENZENDE STATIONS. MIDDEN: GEMIDDELDE HOOGTELIGGING IN MTAW PER SEGMENT. ONDER: GEMIDDELDE WATERDIEPTE (WATERKOLOM) IN M TEN OPZICHTE VAN LW PER SEGMENT. 60

FIGUUR 4-1: OVERZICHT VAN DE INGREPEN IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE (PLANCKE ET AL, 2012). 63

FIGUUR 4-2: GEBAGGERDE (BOVEN) EN GESTORTE (ONDER) HOEVEELHEDEN ZAND (CONSORTIUM DELTARES-IMDC-SVASEK-ARCADIS, 2013A) 64

FIGUUR 4-3: GEBAGGERDE (BOVEN) EN GESTORTE (ONDER) HOEVEELHEDEN SLIB (CONSORTIUM DELTARES-IMDC-SVASEK-ARCADIS, 2013A) 65

FIGUUR 4-4: TOTALE VOLUME ZAND DAT UIT HET SYSTEEM VAN DE BENEDEN-ZEESCHELDE GEHAALD WERD [M³ IN BEUN]. 66

FIGUUR 4-5: ZANDWINNING (VOLUME M³ IN BEUN) IN DE WESTERSCHELDE EN ZEESCHELDE. 66

FIGUUR 5-1: ONTWIKKELING WATER BERGEND VOLUME ONDER 0MTAW IN DE BENEDEN-ZEESCHELDE. BOVEN: VARIATIE VOLUME IN MM³ TOV 1930 (POS: TOENAME BERGEND VOLUME, I.E. AFNAME SEDIMENT TOV 1930). ONDER: JAARLIJKSE VARIATIE WATER BERGEND VOLUME IN MM³. 68

FIGUUR 5-2: ONTWIKKELING WATER BERGEND VOLUME ONDER 0MTAW IN DE BOVEN-ZEESCHELDE. BOVEN: VARIATIE VOLUME IN MM³ TOV 1930 (POS: TOENAME BERGEND VOLUME, I.E. AFNAME SEDIMENT TOV 1930). ONDER: JAARLIJKSE VARIATIE WATER BERGEND VOLUME IN MM³. 69

FIGUUR 5-3: ONTWIKKELING WATER BERGEND VOLUME ONDER 0MTAW IN DE RUPEL & DURME. BOVEN: VARIATIE VOLUME IN MM³ TOV 1930 (POS: TOENAME BERGEND VOLUME, I.E. AFNAME SEDIMENT TOV 1930). ONDER: JAARLIJKSE VARIATIE WATER BERGEND VOLUME IN MM³. 70

1. INLEIDING

De sedimenthuishouding van het Schelde-estuarium is een belangrijke graadmeter voor het beleid en het beheer rond het estuarium. Met betrekking tot de Westerschelde hebben het beleid en het beheer, die aan de sedimenthuishouding zijn gerelateerd, betrekking op de zandwinning, het kustbeleid en het baggeren en verspreiden van baggerspecie. Vaak wordt over de sedimenthuishouding gesproken in termen van import en export. Dit betreft de transporten van zand over de zeewaartse grens (de lijn Vlissingen-Breskens) van het Schelde-estuarium, op basis van een sedimentbalans.

De Westerschelde staat niet op zich. Aan de opwaartse kant van de Westerschelde bevindt zich de overgang met de (Beneden-) Zeeschelde. Er wordt aangenomen dat er vanuit de Westerschelde een belangrijke flux in de richting van de Zeeschelde aanwezig is van zowel zand als slib. Rond de grootte van deze flux kan op basis van de beschikbare gegevens en modellen nog geen eenduidige conclusie getrokken worden.

Ook voor het beleid en beheer van de Zeeschelde is kennis van sedimenthuishouding van fundamenteel belang wanneer er beslissingen moeten worden genomen omtrent onderhoud, verdiepingen en zandwinning. Analyse van de getijvoortplanting laat zien dat er in de vorige eeuw significante wijzigingen zijn opgetreden. Een relatie met de bodemveranderingen in het gebied ligt voor de hand. Een belangrijke eerste stap in het leggen van verbanden is een gemeenschappelijk inzicht in de historische ontwikkeling van de bodemligging van zowel de Beneden- als de Boven-Zeeschelde.

Waar het accent voor de Westerschelde vaak wordt gelegd op de zandige morfologie, wordt voor de Zeeschelde vaak de slibhuishouding, met als belangrijkste blikvanger het estuarien turbiditeitsmaximum (ETM) en het baggerbezwaar van slib(rijke) specie, genoemd. Echter de invloed van de andere fractie op de bodemontwikkeling mag voor beide delen van het estuarium niet verwaarloosd worden. In de Beneden-Zeeschelde wordt immers sinds jaar en dag zand gewonnen dat via de Schaar van Oudendoel uit onderhoudsbaggerwerken beschikbaar komt. In het Oostelijke deel van de Westerschelde bevat het sediment een slibaandeel wat een sturend effect heeft op de morfologie aldaar.

In dit memo wordt de historische bodemligging van de Zeeschelde geanalyseerd. Op basis van deze analyse kan een meer gedetailleerde sedimentbalans opgesteld worden en een relatie gelegd worden met menselijke ingrepen.

2. BODEMLIGGINGGEGEVENS

Voor de analyse van de morfodynamiek in de Zeeschelde en het bepalen van de sedimentbalansen wordt gebruik gemaakt van de gegevens van de bodemligging die beschikbaar zijn gesteld door aMT.

2.1 BESCHIKBARE GEGEVENS

De bodemgegevens zijn voor een specifiek aantal jaren beschikbaar en bevat verschillen in frequentie voor de Boven- en Benedenzeeschelde.

Voor het jaar 2000 is voor de Beneden-Zeeschelde ongeveer ieder decade een bathymetrie beschikbaar. Na 2000 stijgt de frequentie aan gegevens. Tabel 2-1 geeft een overzicht van de beschikbare bodemgegevens voor de Beneden-Zeeschelde en de Boven-Zeeschelde.

Tabel 2-1: Overzicht van de beschikbare bodemgegevens

Jaar	Beneden-Zeeschelde	Boven-Zeeschelde
1930	Bezboz_bth_taw_1930.asc	
1950	bez_bth_taw_mt_1950.asc	boz_bth_taw_mt_1950.asc
1960	bez_bth_taw_mt_1960.asc	boz_bth_taw_mt_1960.asc
1970	bez_bth_taw_mt_1970.asc	-
1980	bez_bth_taw_mt_19801981.asc	boz_bth_uitbergen_temse_ taw_mt_1980.asc
1990	bez_bth_taw_mt_19901991.asc	-
1995	bez_bth_taw_mt_1995.asc	-
2001	-	boz_bth_taw_mt_2001.asc
2003	bez_bth_taw_mt_20032004.asc	-
2004	bez_bth_taw_mt_20042005.asc	-
2007	bez_bth_taw_mt_2007.asc	-
2008	bez_bth_taw_mt_2008.asc	-
2009	bez_bth_taw_mt_2009.asc	boz_bth_taw_mt_2009.asc
2010	bez_bth_taw_mt_2010.asc	-

2.2 NAUWKEURIGHEID EN BEDENKINGEN

De beschikbare bodemgrids hebben een resolutie van 5m maar hebben niet allemaal dezelfde coördinaten. Een variatie op de ruimtelijke positie tot 5m is daarom mogelijk.

Bepaalde gebieden zijn niet in alle bodems vertegenwoordigd, bijvoorbeeld in 1960 ontbreekt een deel van de vaargeul te Liefkenshoek. Vroegere gegevens werden typisch ook tot LW niveau opgemeten waardoor gegevens over intergetijdengebieden ontbreken. Dit leidt er toe dat de analyses van het deel van de bodem hoger dan het LW niveau vaak niet vergeleken kunnen worden en bepaalde conclusies, met name over de ontwikkeling van het intergetijdengebied of de schorren, niet getrokken kunnen worden op basis van deze gegevens.

Bodemgegevens van de vroegere jaren (tot en met de bodem van 1980) werden gedigitaliseerd op basis van dieptecontouren waartussen werd geïnterpoleerd. Ondanks een grote resolutie bevatten deze bodems niet alle details. Zo kan de diepte van de thalweg niet nauwkeurig worden bepaald.

De bodemgegevens zijn voor verschillende frequenties beschikbaar. In eerste instantie voor ieder decade en later voor ieder jaar. Hierbij moet bedacht worden dat de peilingen een momentopname zijn welke afhankelijk van de periode van het jaar of door recent uitgevoerd onderhoud kunnen fluctueren. De uitgevoerde analyse biedt een interessant inzicht door de bodemontwikkelingen, die zich in de laatste eeuw voltrokken hebben, over een grotere tijdschaal te beschouwen. Echter, over de bodemontwikkelingen in het laatste decennium kan met meer zekerheid uitspraken worden gedaan. Terwijl de ontwikkelingen in de vorige eeuw minder goed in de tijd te positioneren zijn. Dit komt enerzijds door de beperkte temporele resolutie en anderzijds door de onzekerheden in de momentane bodemligging.

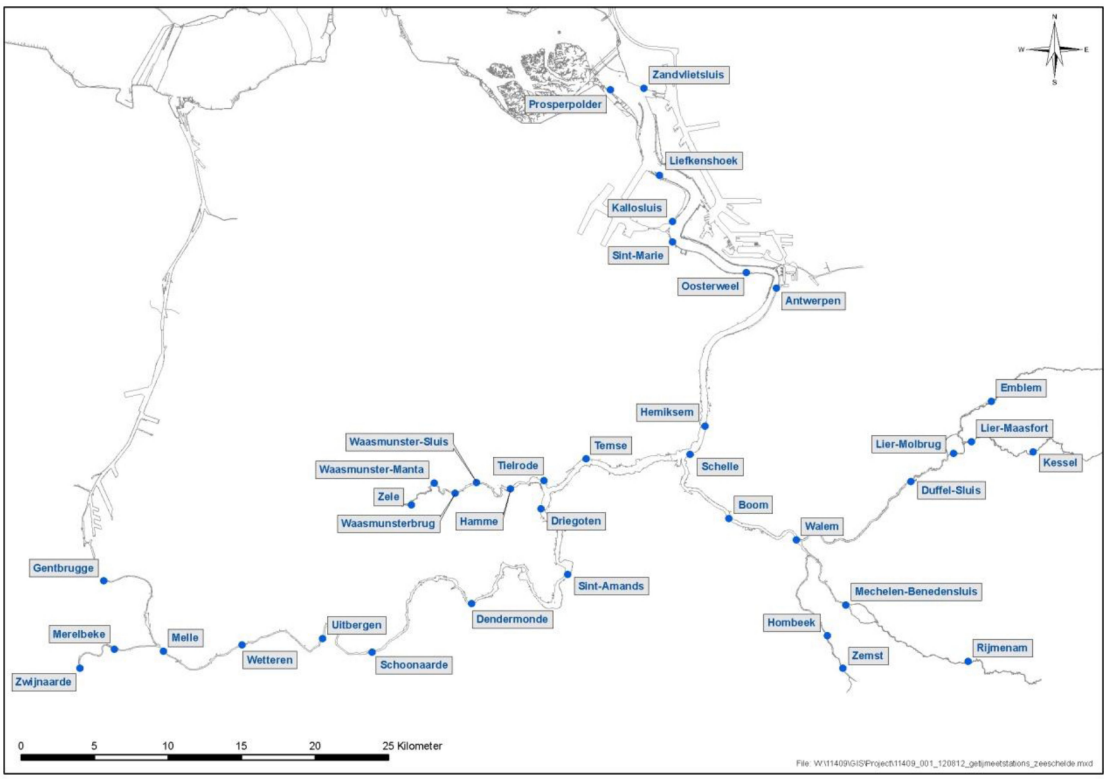
De bathymetrie van 1995 was niet bruikbaar voor analyse aangezien deze niet volledig gebiedsdekkend was.

3. MORFOLOGISCHE ONTWIKKELINGEN

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de grootschalige geobserveerde morfologische veranderingen in de Zeeschelde op basis van de beschikbare bodemgegevens. De analyse is opgesplitst naar Beneden- en Boven-Zeeschelde. Figuur 3-1 geeft de Zeeschelde weer. De Boven-Zeeschelde ligt tussen Merelbeke en Schelle en de Beneden-Zeeschelde bevindt zicht tussen Schelle en de Belgisch-Nederlandse grens ter hoogte van Prosperpolder.

In overeenstemming met de analyses die zijn uitgevoerd voor de Westerschelde hebben we ervoor gekozen de analyses uit te voeren voor de periode 1950 tot heden. De bodems van 1910, 1920 en 1930 worden wel gebruikt voor het bepalen van de sedimentvolumes in Hoofdstuk 4.



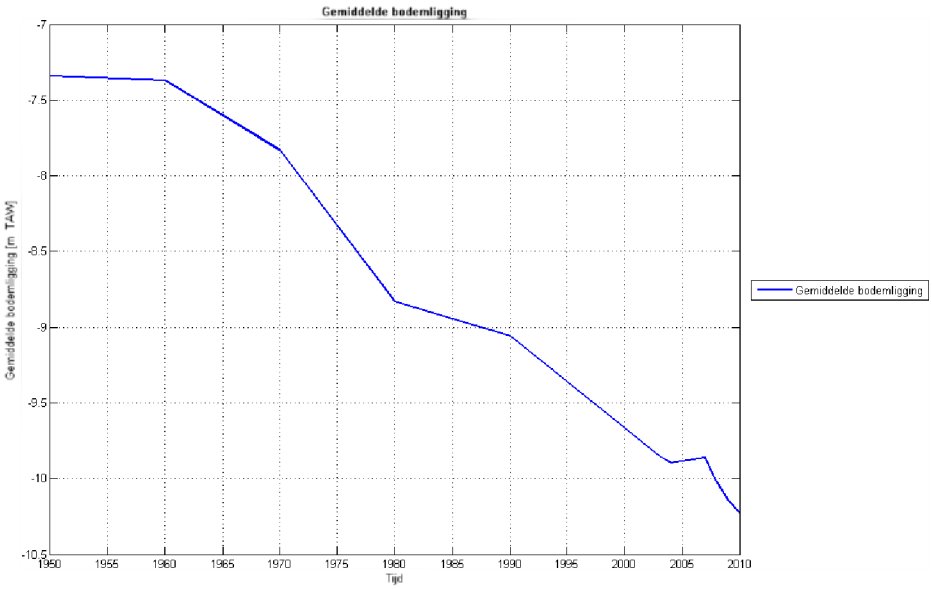
Figuur 3-1: Overzicht van de Zeeschelde en getijdestations, de Boven-Zeeschelde is gelegen tussen Merelbeke en Schelle, de Beneden-Zeeschelde is gelegen tussen Schelle en de Belgisch-Nederlandse grens ter hoogte van Prosperpolder.

De morfologische veranderingen in de Beneden-Zeeschelde en de Boven-Zeeschelde zijn geanalyseerd op basis van de variatie in gemiddelde bodemligging, hypsometrische curves van oppervlaktes en volumes, en variatie in bodemligging langsheen raaien. Voor een consistente vergelijking in de variatie van gemiddelde bodemligging zijn alleen die gebieden in de bodemgegevens meegenomen die beschikbaar zijn voor de beschouwde jaren. In het berekenen van de hypsometrische curves en de variatie in bodemligging langsheen raaien zijn alle beschikbare gegevens opgenomen.

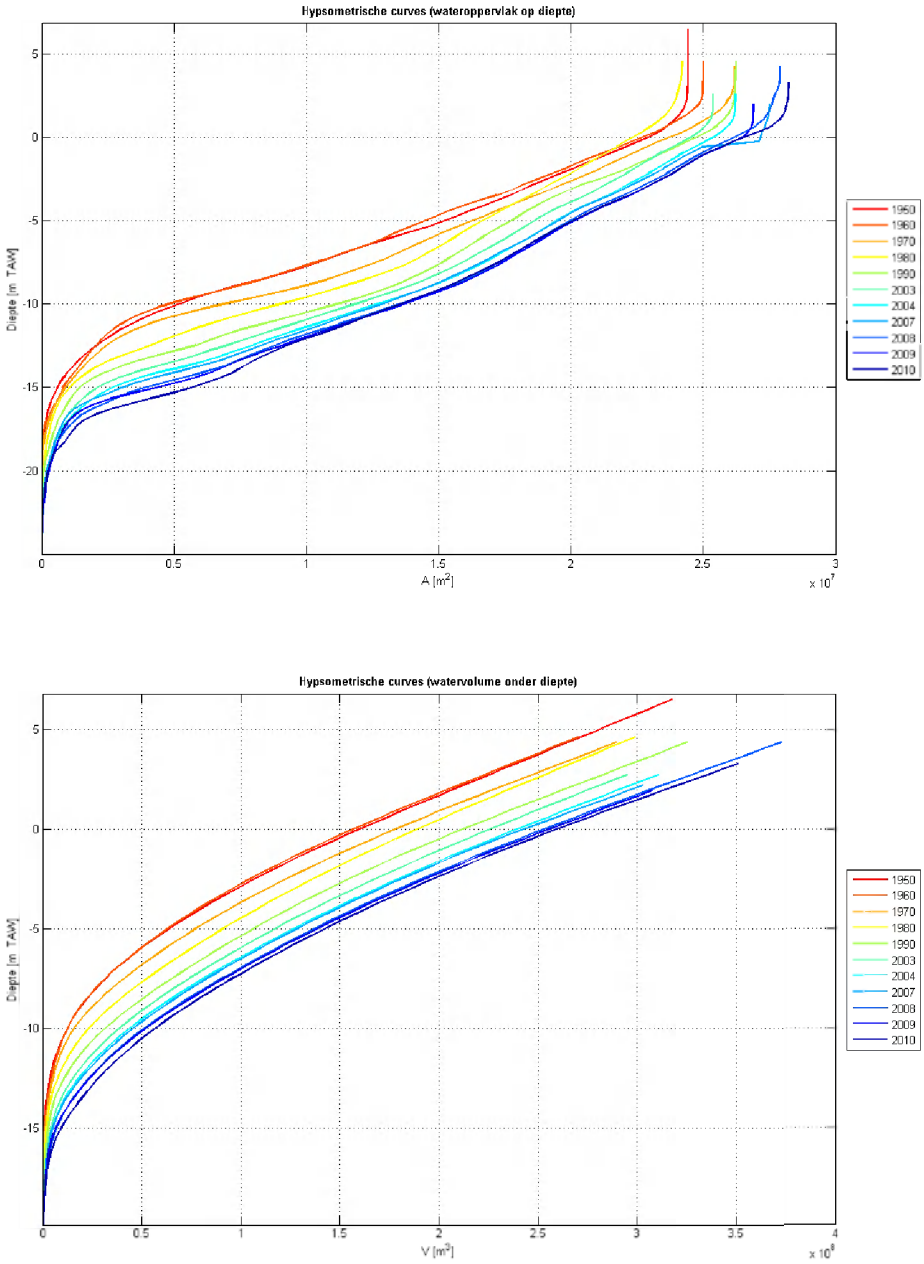
3.2 BENEDEN-ZEESCHELDE

De analyse van de bodemgegevens van de Beneden-Zeeschelde toont zowel ruimtelijk als in de tijd een dominante trend van verdieping (erosie) van de bodem. De gemiddelde bodemligging van de gehele Beneden-Zeeschelde daalt bijna 3 m van -7,25 mTAW in 1950 naar -10,.25 mTAW in 2010 (zie *Figuur 3-2*). Deze verdiepende trend is het sterkst aanwezig tussen 1960 en 2003. Tussen 1950 en 1960 lijkt de variatie in bodemligging beperkt, maar er zijn te weinig gegevens om hier met zekerheid iets over te kunnen zeggen. In het laatste decennium lijkt deze trend zich door te zetten.

Analyse van de hypsometrische curves (*Figuur 3-3*) laat zien dat er in de diepste delen een gemiddelde verdieping van circa 4 à 5m is opgetreden (verandering van diepte met gelijk volume en oppervlak). Het oppervlak beneden -10m TAW is meer toegenomen dan het oppervlak op 0m TAW wat tevens een versteiling van het profiel aangeeft. Hierdoor wordt over de hele doorsnede een gemiddeld kleinere verdieping berekend. Door de verbreding en verdieping is het volume onder 0m TAW toegenomen van 150 Mm^3 tot 250 Mm^3.

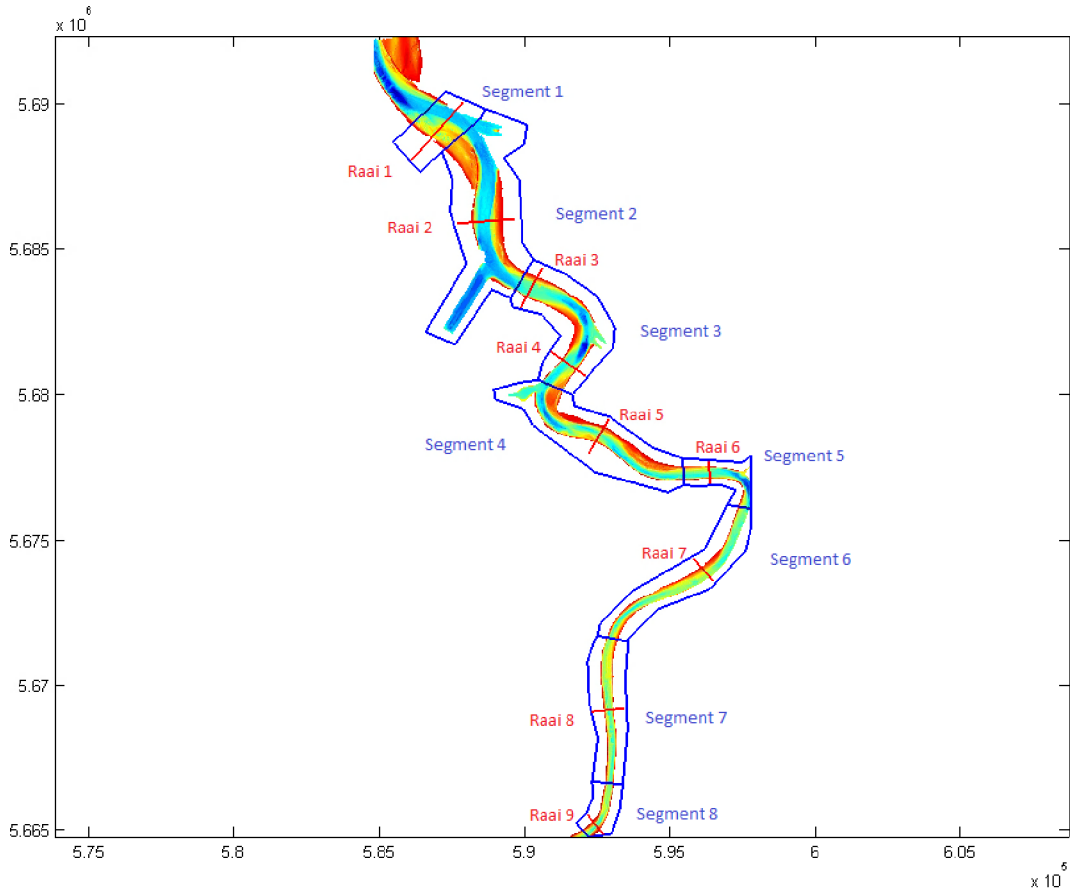


Figuur 3-2: Variatie in gemiddelde bodemligging in de Beneden-Zeeschelde.



Figuur 3-3: Hypsometrische curve van oppervlak (boven) en volume (onder) van de Beneden-Zeeschelde.

Voor een meer gedetailleerde analyse is de Beneden-Zeeschelde opgedeeld in 8 segmenten begrensd door 9 getijstations (Prosperpolder, Zandvliet, Liefkenshoek, Kallosluis, Oosterweel, Antwerpen, Hoboken, Hemiksem en Schelle). Daarnaast zijn 9 raaien gedefinieerd, in ieder segment één, behalve in segment 3 waar er 2 raaien zijn geanalyseerd. Figuur 3-4 geeft een overzicht van de segmenten en raaien.



Figuur 3-4: Overzicht van geanalyseerde segmenten en raaien in de Beneden-Zeeschelde.

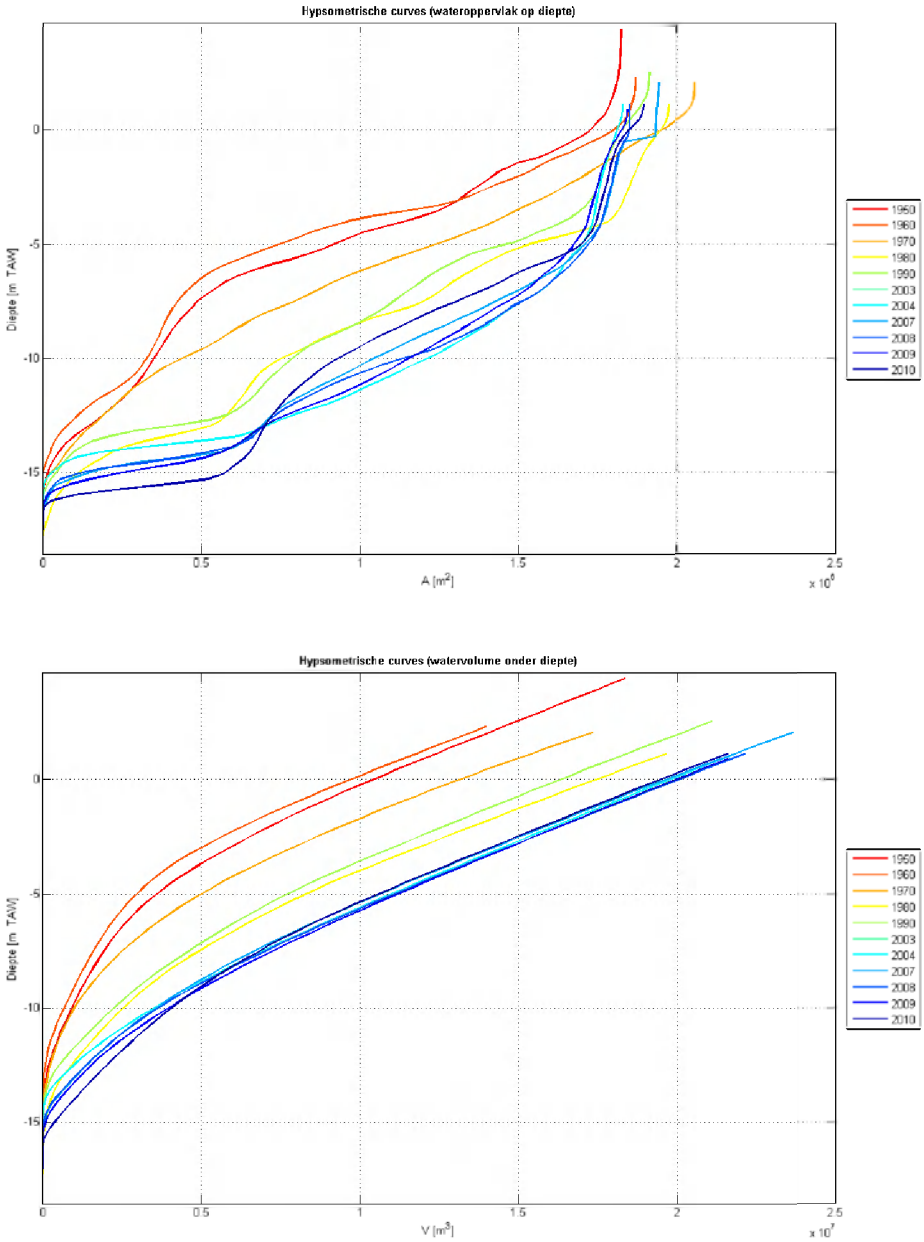
Segment 1 : Prosperpolder - Zandvliet

Het meest afwaartse segment, segment 1, wordt begrensd door de getijstations Prosperpolder en Zandvliet. De belangrijkste kenmerken in dit gebied zijn, de Schaar van Ouden Doel en de leidam, die hierlangs werden aangelegd. Tegenwoordig wordt er in deze zone baggerspecie gestort en zand gewonnen in ongeveer gelijke hoeveelheden.

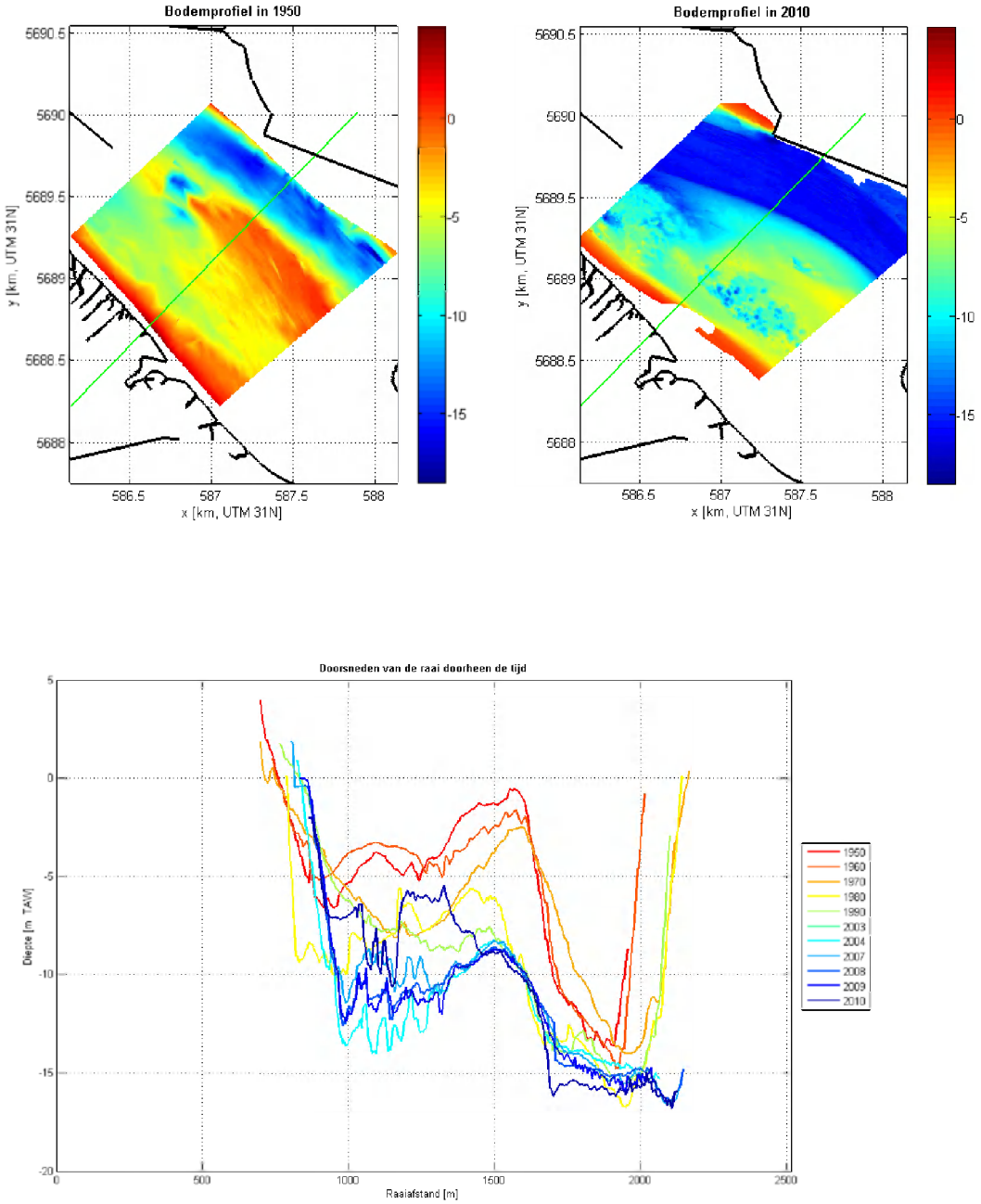
De gemiddelde bodemligging in dit segment is met circa 4,5m gedaald van gemiddeld -6m in 1950-1960 tot -10,5m TAW in 2003 (Figuur 3-5). De hypsometrische curves (Figuur 3-6) geven aan dat vooral de diepere delen tussen -5m TAW en -10m TAW verder verdiept zijn. Het volume onder 0m TAW is ongeveer verdubbeld terwijl het oppervlakte onder 0m TAW ongeveer is gelijk gebleven.

De dwarsdoorsnede (Figuur 3-7) loopt over Schaar van Ouden Doel en is gelegen tussen strek- en leidam. In de jaren 1960 – 1980 heeft er een forse verdieping plaats gevonden van zowel plaat als vaargeul, als een verbreding van de rivier door het uitschuren van de rechteroever. Lokaal is de bodemdiepte gedaald met circa 5m. Langs de rechteroever werd hier ook de Noorzeeterminal aangelegd. Na 1980 zijn er nog bodemvariaties rond de plaat en een lichte uitbreiding van het schorgebied aan de linkeroever. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan baggeractiviteiten. Bijvoorbeeld in de peiling van 2010 is de verhoging rond de plaatzone mogelijks door een baggerstorting veroorzaakt.

Figuur 3-5: Morfologische ontwikkeling in segment 1, variatie in gemiddelde waterdiepte.



Figuur 3-6: Morfologische ontwikkeling in segment 1, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).

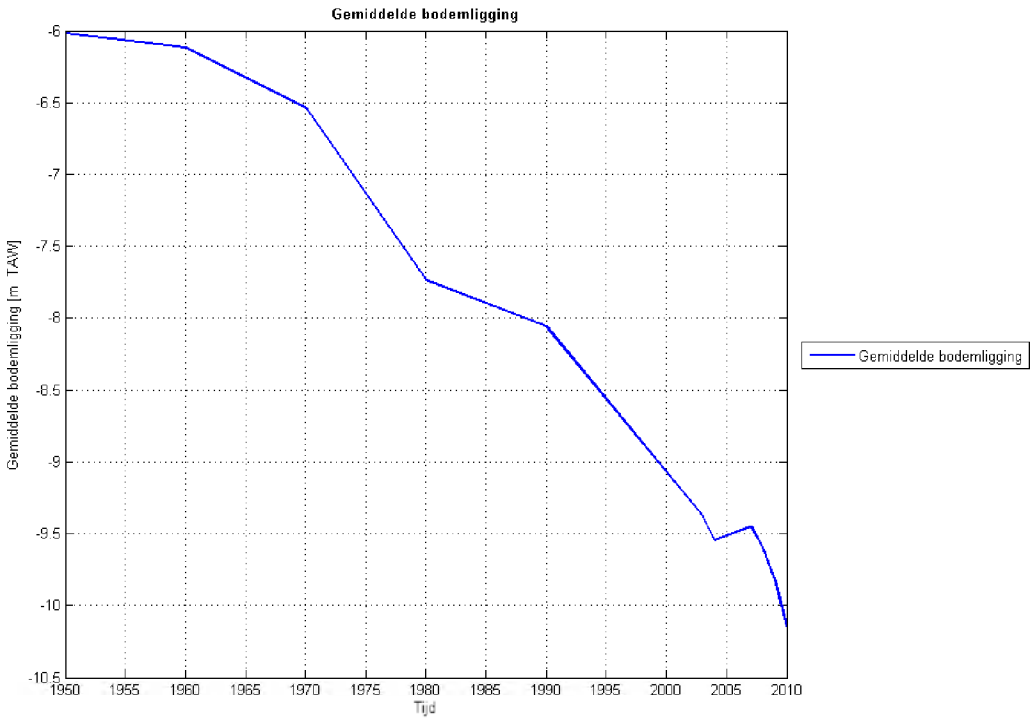


Figuur 3-7: Morfologische ontwikkeling in segment 1 en raai 1. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

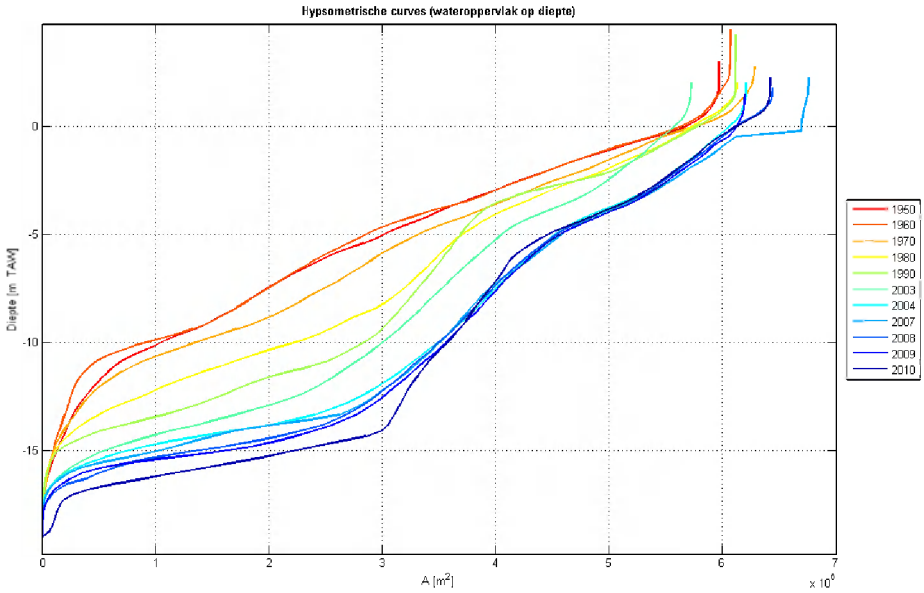
Segment 2 : Zandvliet - Liefkenshoek

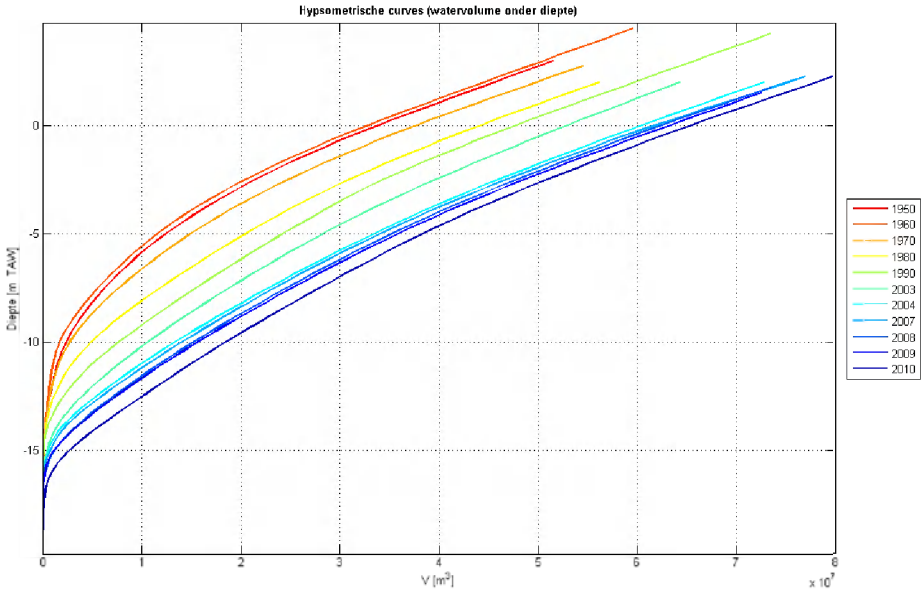
Segment 2, tussen Zandvliet en Liefkenshoek, kent eveneens een algemene verdieping met ongeveer 4m van circa -6m TAW tot -10m TAW in 2010 zoals zichtbaar in de afname van de gemiddelde bodemligging. Dit blijkt ook uit onderlinge vergelijking van de bodemligging in 1950 en die van 2010 in Figuur 3-10. Uit de hypsometrische curve blijkt een duidelijke toename van het areaal van de diepere delen (-15mTAW) ten koste van de zone tussen -5m en -10m TAW. Dit blijkt ook uit de enorme toename van het volume onder de -10m TAW. De toename aan areaal in de ondiep gebieden is in vergelijking beperkt. Hierdoor versteilt het profiel.

De dwarsdoorsnede in segment 2 is gelegen ter hoogte van de drempel van Frederik. Uit de raai blijkt een algemene en stelselmatige verdieping en verbreding van de vaargeul tussen 1960 en 2003. Lokaal is de bodemligging met meer dan 8m gedaald. Na 2003 zijn er nog beperkte variaties in de diepte van de vaargeul. Langs de linkeroever heeft zich sediment afgezet. Uit het overzichtsfiguur blijkt dit de zone juist ten zuiden van de Strekdam van Ouden Doel, ter hoogte van de huidige inlaat van het koelwatercircuit van de centrale van Doel te zijn.

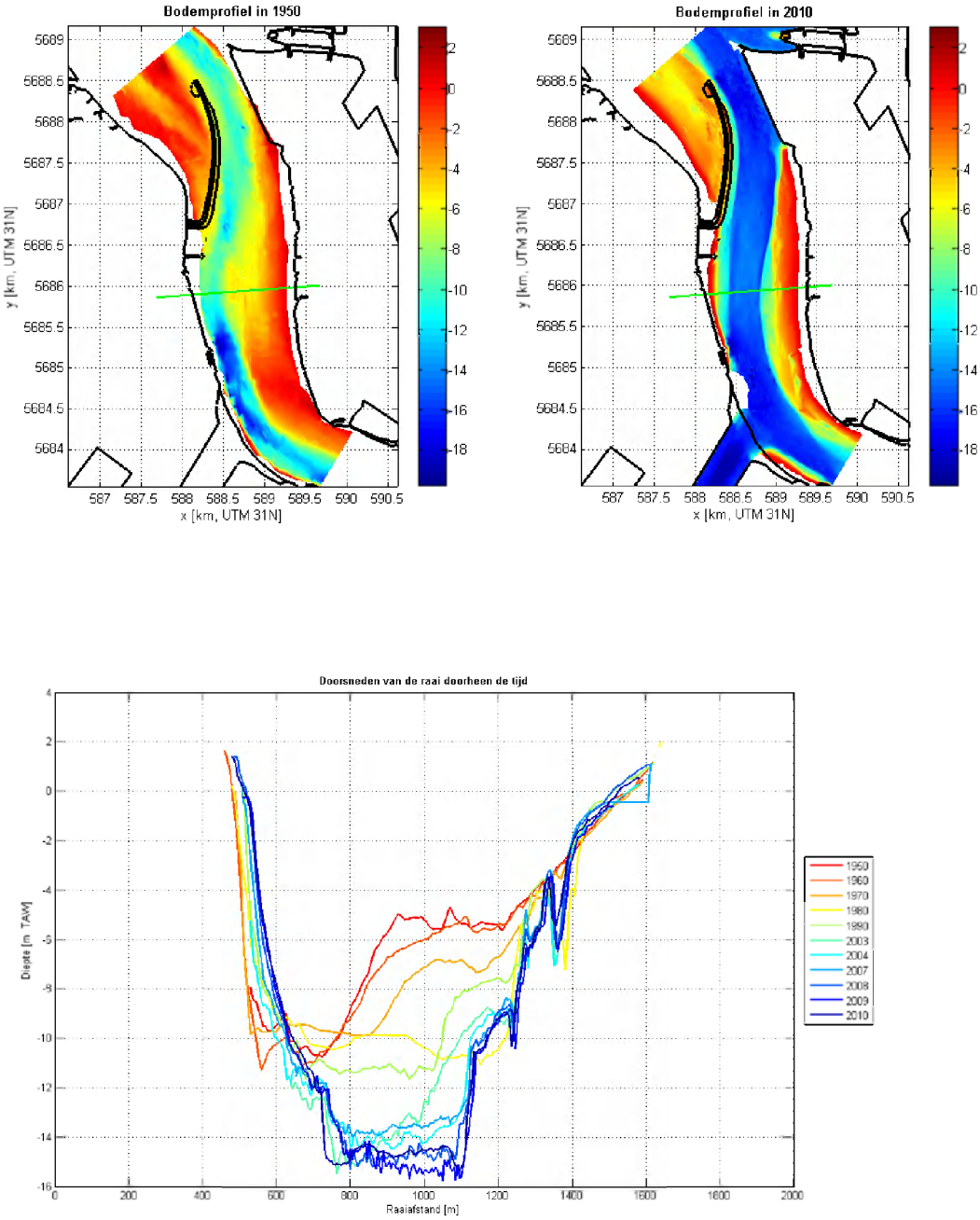


Figuur 3-8: Morfologische ontwikkeling in segment 2, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-9: Morfologische ontwikkeling in segment 2, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



Figuur 3-10: Morfologische ontwikkeling in segment 2 en raai 2. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

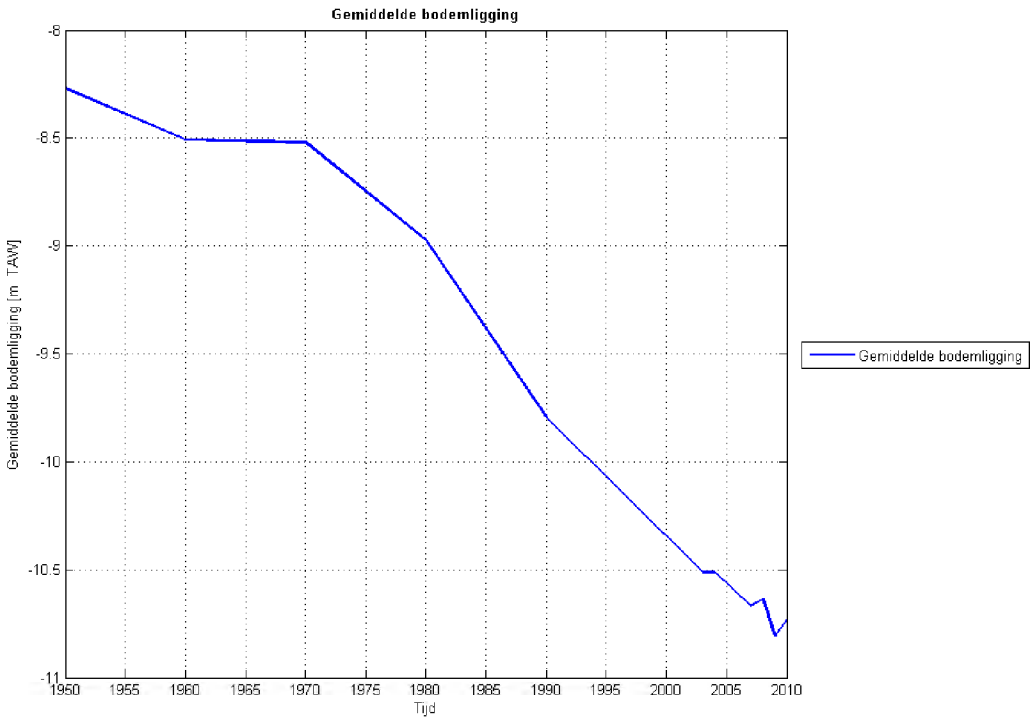
Segment 3 : Liefkenshoek - Kallosluis

In segment 3, tussen Liefkenshoek en Kallosluis, vertoont de variatie van de gemiddelde bodemligging een ander gedrag dan de afwaarts gelegen gebieden. Tot 1970 blijft de bodemligging relatief stabiel en uit de hypsometrische curves blijkt vooral een beperkte toename van de ondiepere gebieden (hoger gelegen dan 0m TAW). Waarschijnlijk is dit het gevolg van het uitbreiden van het schor van de Ketenisse en de Ketelplaat. Echter uit de bodemligging figuren blijkt ook dat de bodem van 2010 een groter gebied beslaat dan de bodem uit 1950 en dus meer ondiep areaal bevat. Hierdoor kunnen geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

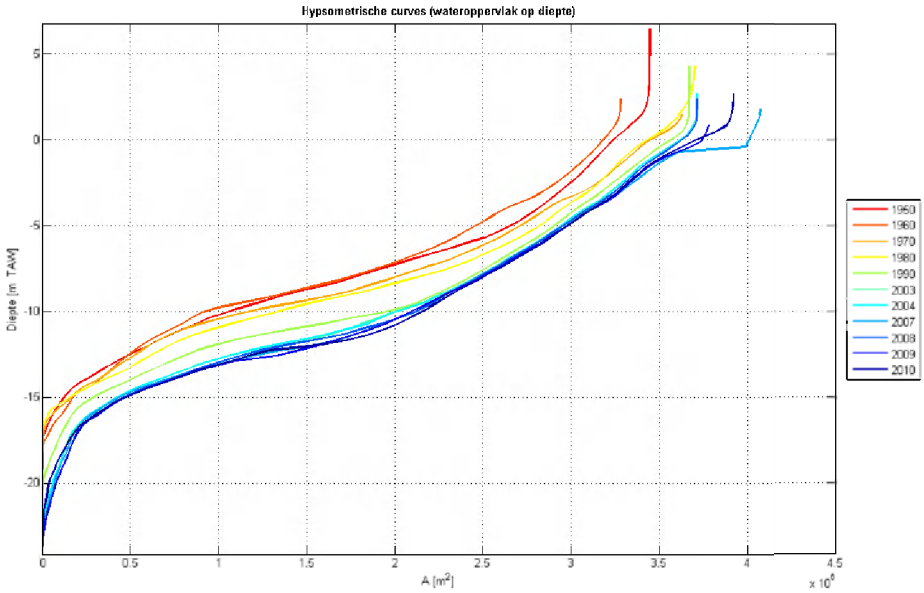
Tussen 1980 en 2003 is de variatie in bodemligging meer uitgesproken en treedt een verdieping van circa 2m,vooral in de diepere delen, op. Uit de figuren van de bodemligging blijkt dat de drempels tussen de bochtsecties zijn verdwenen, maar ook dat de putten in de bocht ter hoogte van de huidige Boudewijn en Van Cauwelaertsluis verder zijn verdiept. Na 2003 zet de trend van de gemiddelde verdieping zich door.

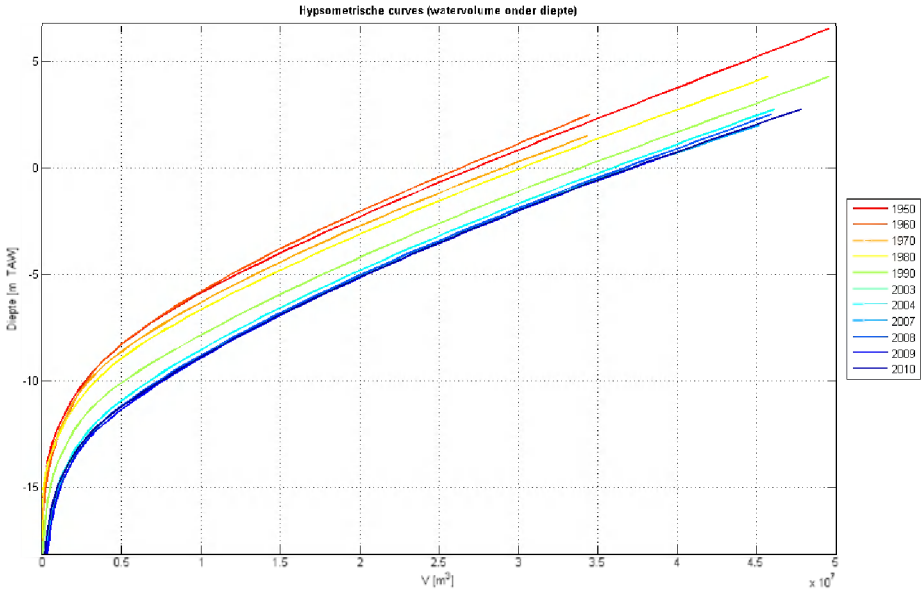
In raai 3 blijkt dat voor 1980 het profiel schommelt rond een evenwichtsprofiel Tussen 1980 en 1990 is er een duidelijke verdieping naar een diepere en bredere vaargeul. Begin 2000 is er nog een kleine verdieping van de vaargeul (drempel) waarna de bodemligging rond deze positie fluctueert. Lokaal is de bodem met meer dan 6m verdiept.

Raai 4 vertoont een gelijkaardig patroon. Tot 1980 is de variatie in bodemligging beperkt, waarna de vaargeul in de daarop volgende twee decennia stevig verdiept (met circa 4m) en opnieuw schommelt rond deze positie.

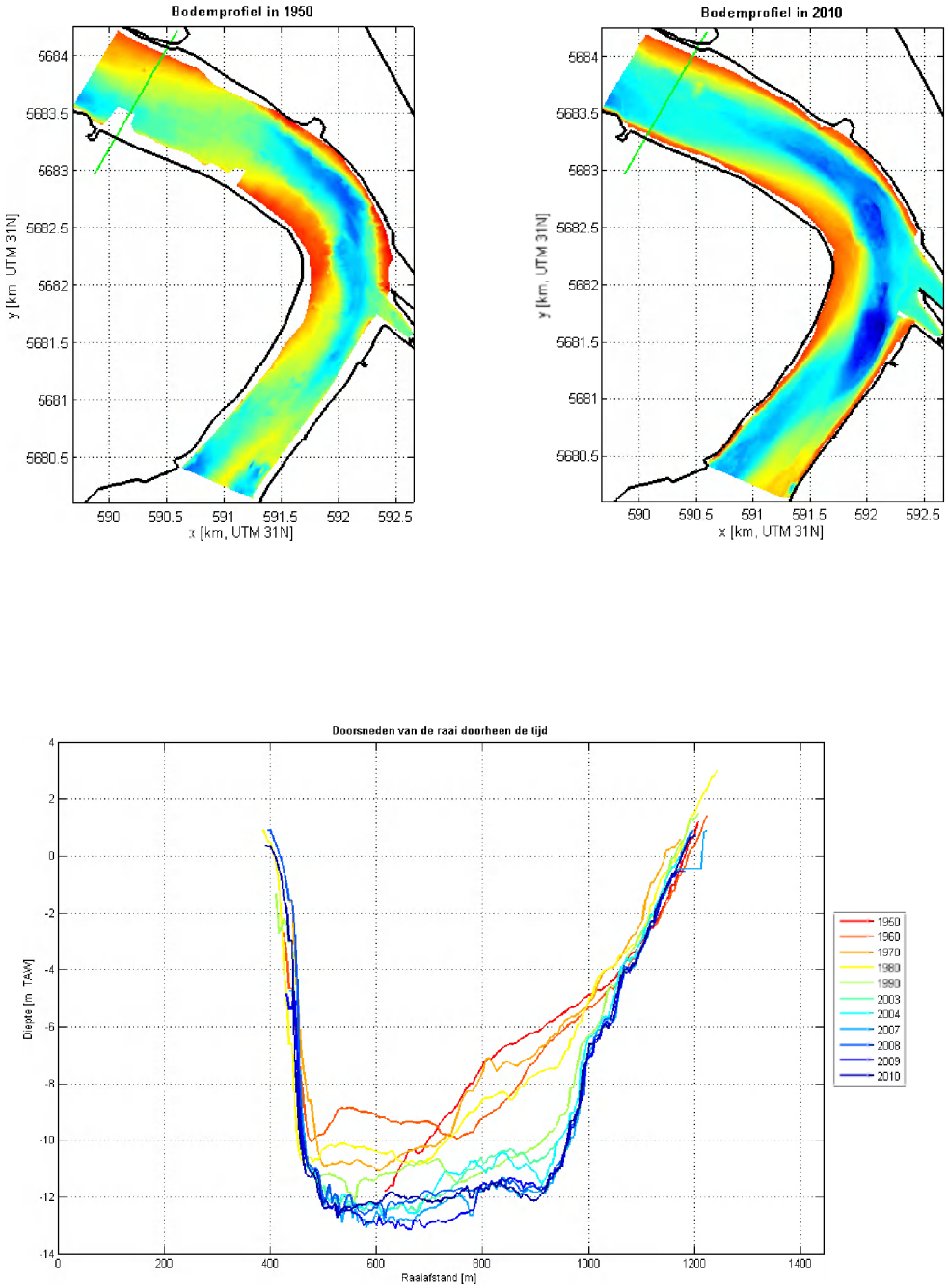


Figuur 3-11: Morfologische ontwikkeling in segment 3, variatie in gemiddelde waterdiepte.

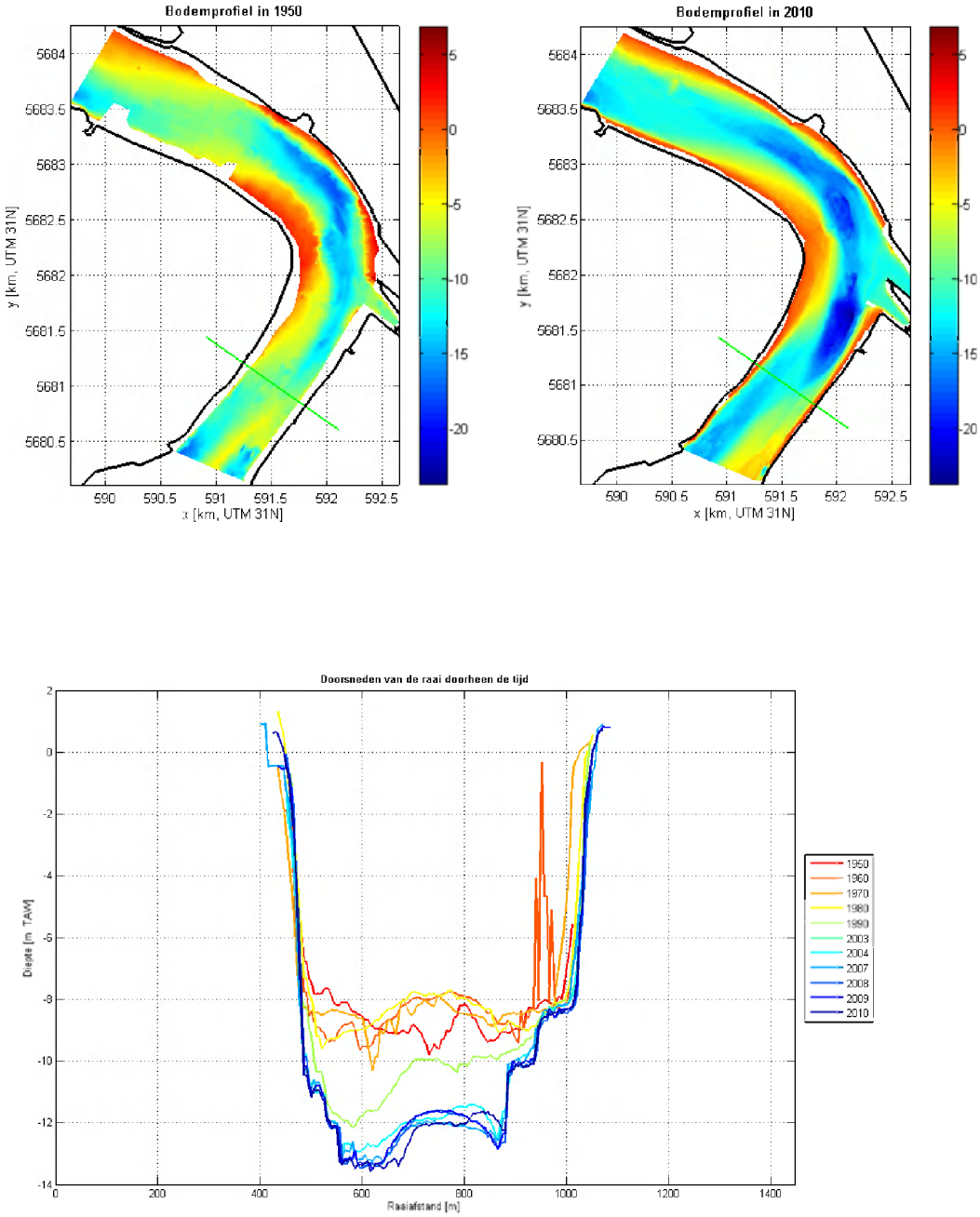




Figuur 3-12: Morfologische ontwikkeling in segment 3, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



Figuur 3-13: Morfologische ontwikkeling in segment 3 en raai 3. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).



Figuur 3-14: Morfologische ontwikkeling in segment 3 en raai 4. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

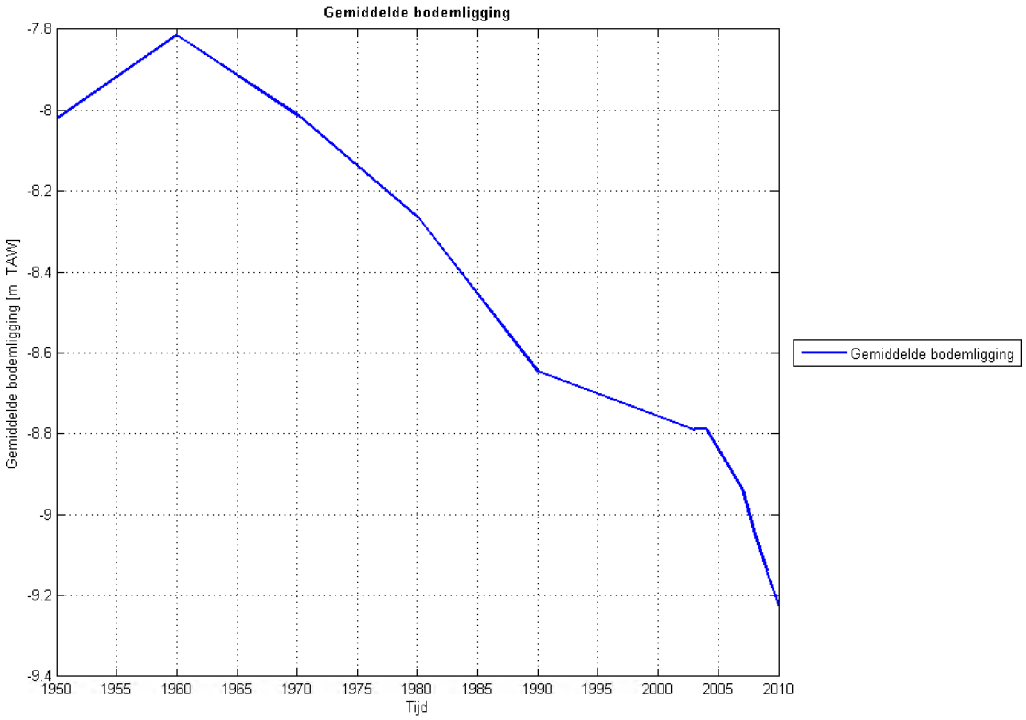
Segment 4 : Kallosluis - Oosterweel

Segment 4, tussen de Kallosluis en Oosterweel, vertoont een minder uitgesproken trend. Tussen 1960 en 2000 treedt opnieuw een gemiddelde verdieping op, maar deze blijft beperkt tot circa 1,5m. Uit de hypsometrische curve blijkt dat het dieper areaal sterk is toegenomen doorheen de jaren (tussen -10m TAW en -15m TAW). Uit de figuren van de bodemligging kan worden geconcludeerd dat dit gekoppeld is aan een verdere uitschuring van de diepe delen in de buitenbochten, bijvoorbeeld ter hoogte van de Kallosluis, waar verschillende diepe delen in 2010 aaneengesloten zijn. Het oppervlak onder circa -5mTAW blijft gelijk doorheen de tijd. Hierdoor treedt beneden dit niveau een versteiling van het profiel op.

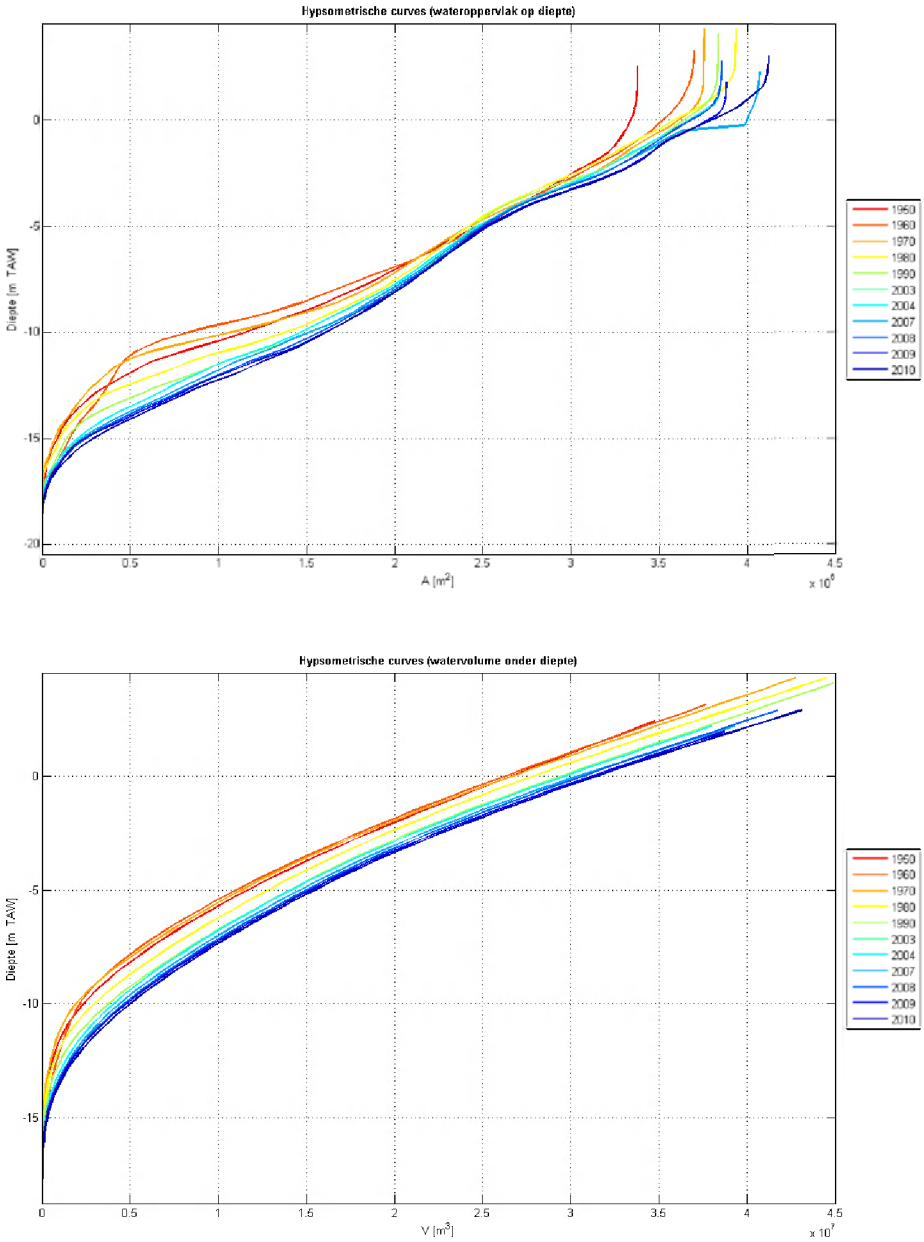
Daarnaast heeft een uitbreiding van de ondiepere gebieden plaatgevonnden (tussen 2 mTAW en -5 mTAW). Dit kan duiden op een verlies van schorareaal ten gunste van de ervoor gelegen slikken. Echter uit de bodemligging figuren blijkt ook dat de bodem van 2010 een groter gebied beslaat dan de bodem uit 1950 en dus meer ondiep areaal bevat. Hierdoor kunnen geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

Raai 5 is gelegen ter hoogte van de Punt van Melsele en toont een stelselmatige verruiming en verplaatsing van de vaargeul richting linkeroever. De ondiepe delen ter hoogte van de linkeroever zijn verdwenen waardoor het profiel daar is versteild. Lokaal is de bodem met meer dan 5m gedaald. Ter hoogte van de rechteroever is een kleine verondieping opgetreden.

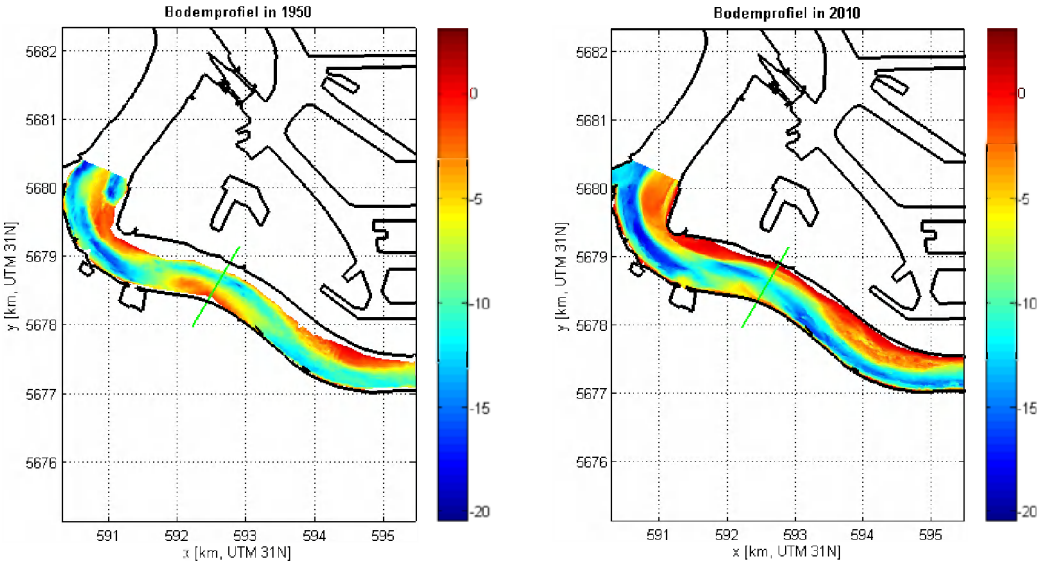
De Plaat van Boomke, Oosterweel en de Punt van Melsele zijn de vergunde stortzones voor slibrijke baggerspecie. Uit de hier uitgevoerde analyses kunnen geen conclusies met betrekking tot de langetermijnontwikkeling van deze stortzones worden getrokken. Hiervoor is het nodig de betreffende gebieden meer in detail te analyseren. Dit gebeurt in deelproject F.

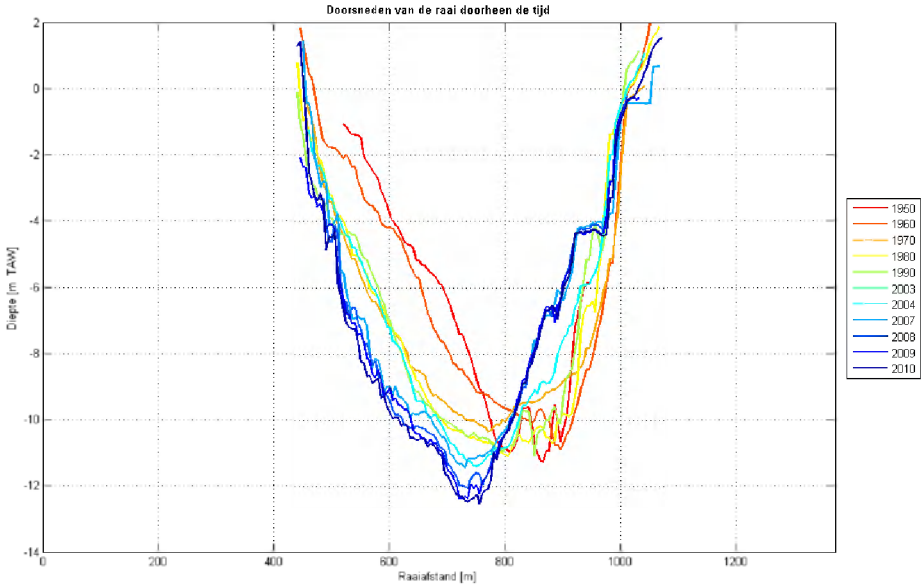


Figuur 3-15: Morfologische ontwikkeling in segment 4, variatie in gemiddelde waterdiepte.



Figuur 3-16: Morfologische ontwikkeling in segment 4, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).





Figuur 3-17: Morfologische ontwikkeling in segment 4 en raai 5. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

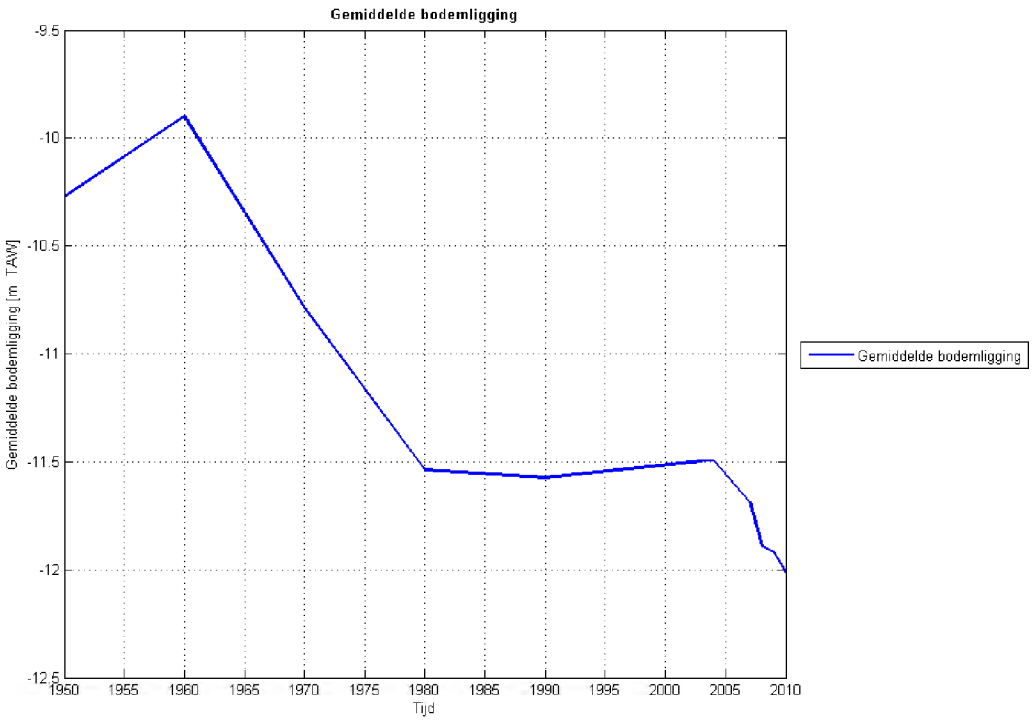
Segment 5 : Oosterweel - Antwerpen

Tussen Oosterweel en Antwerpen ligt segment 5. In dit segment is de gemiddelde bodemligging van 1960 tot 1980 afgenomen met ongeveer 1,5m van circa -10m TAW tot -11,5m TAW en in de daaropvolgende decennia gestabiliseerd.

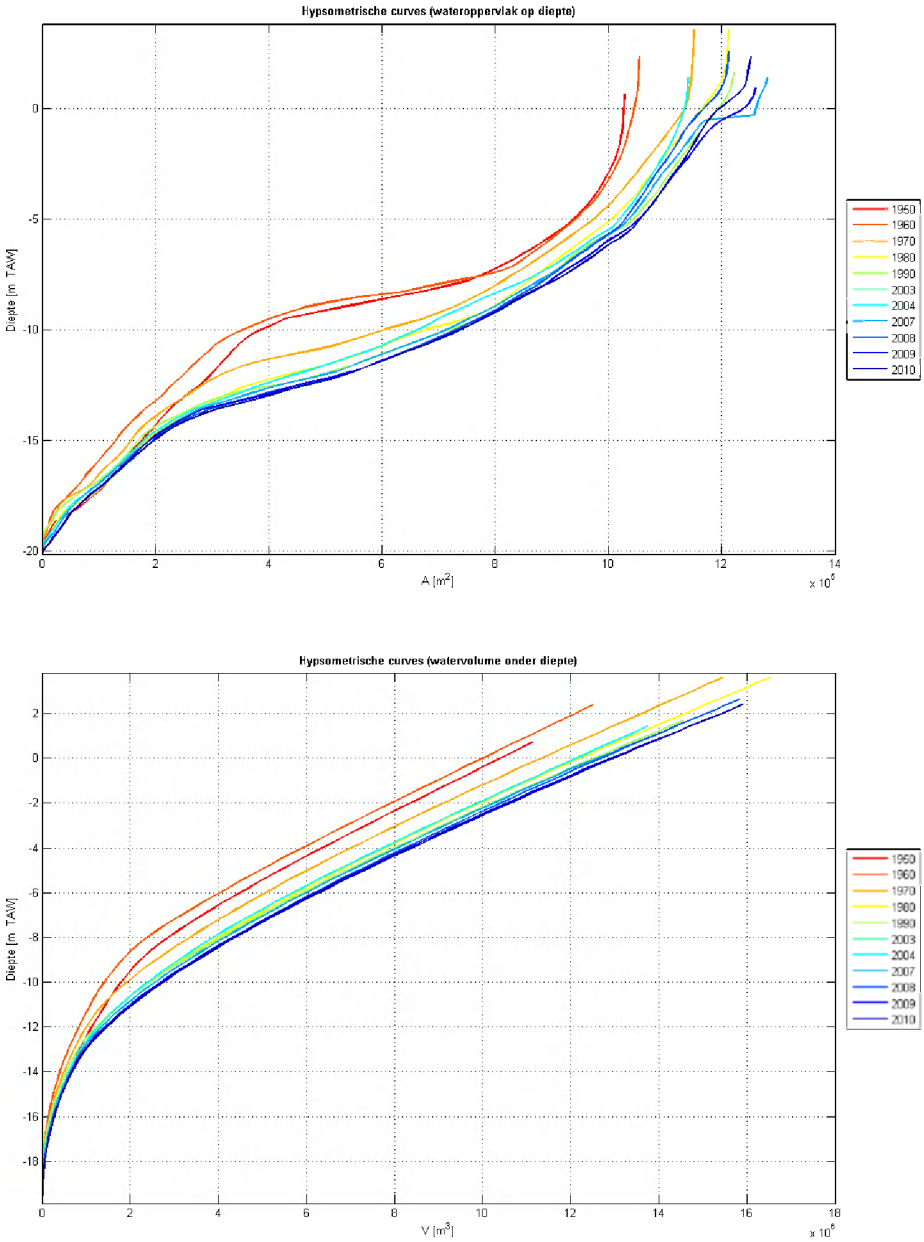
Uit de hypsometrische curve blijkt dat dat de bodem vooral is verdiept tussen circa -8m en -12m TAW. Uit de figuur van de bodemligging blijkt dat dit is gerelateerd aan het eroderen van de drempel afwaarts van de Royerssluis. Zowel uit de vergelijking tussen de beide bodems als uit analyse van de hypsometrische curves blijkt dat de diepe putten (dieper dan -20m TAW) ter hoogte van de Royerssluis nauwelijks zijn ontwikkeld. Na 2004 kan opnieuw een beperkte toename van de gemiddelde diepte waargenomen worden. Dit duidt op een verdere verdieping van de vaargeul.

Daarnaast heeft er een beperkte verruiming van de vaargeul tussen 0m TAW en -5m TAW plaatsgevonden. Dit kan duiden op een verlies van schorareaal. Echter uit de bodemligging figuren blijkt ook dat de bodem van 2010 een groter gebied beslaat dan de bodem uit 1950 en dus meer ondiep areaal bevat. Hierdoor kunnen geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

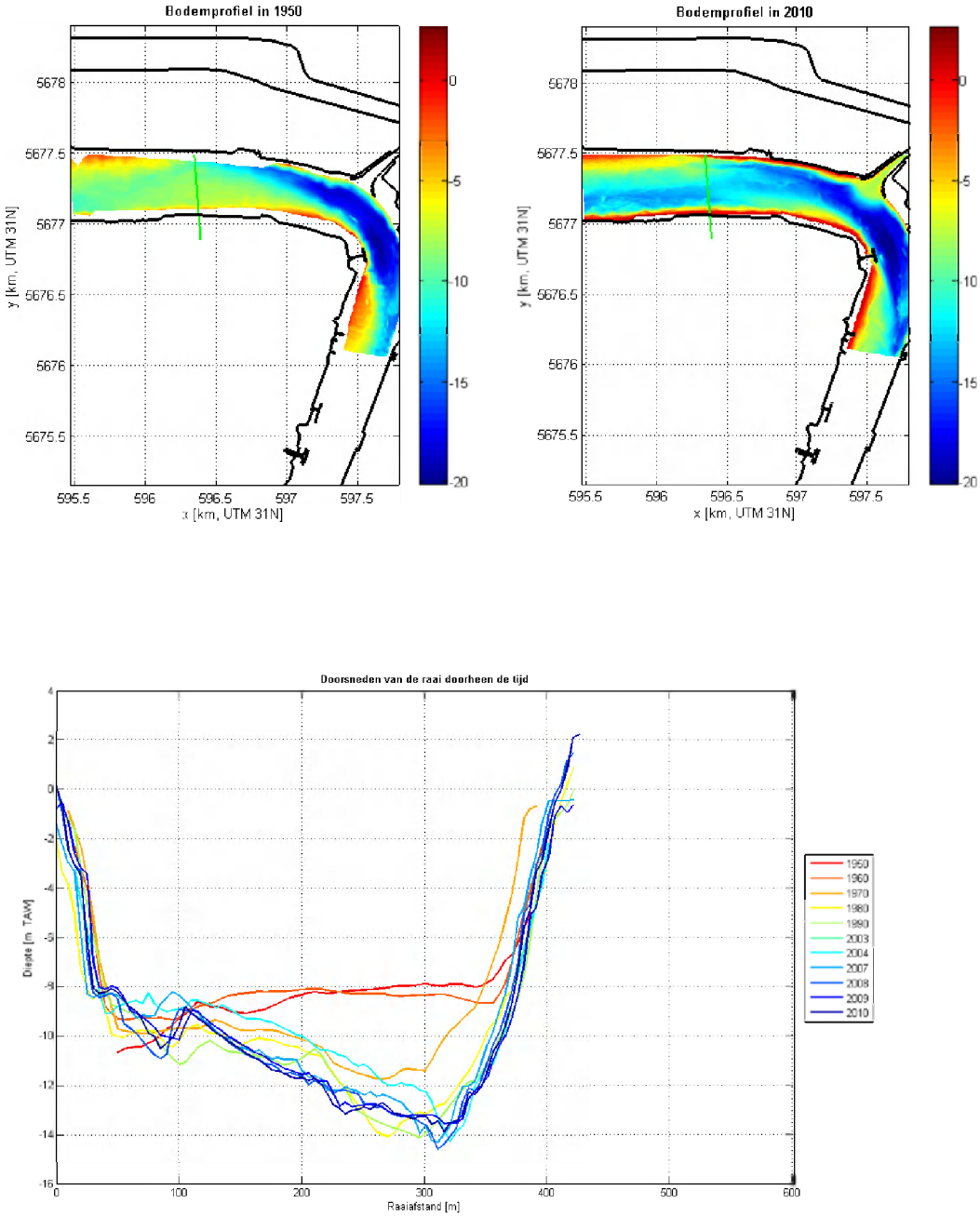
Hetzelfde beeld komt naar voren bij de analyse van raai 6 welke ter hoogte van de drempel gelegen is. Het profiel toont na 1960 een sterke verdieping ter hoogte van de linkeroever. Deze verdieping zet door tot 1980 waarna het profiel vrij gelijkvormig blijft. Het jaar 2004 vormt in dit profiel een uitschieter waarin de bodemligging stijgt en daarna opnieuw afneemt. Ten opzichte van de ligging in 1960 is de bodem lokaal met meer dan 5m gedaald.



Figuur 3-18: Morfologische ontwikkeling in segment 5, variatie in gemiddelde waterdiepte.



Figuur 3-19: Morfologische ontwikkeling in segment 5, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



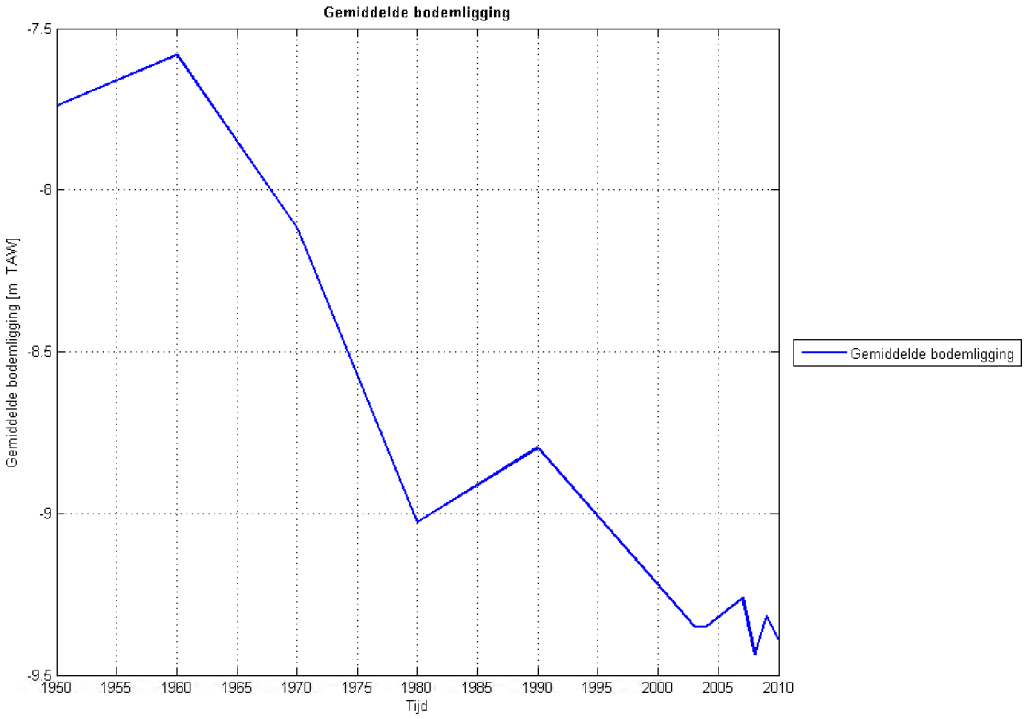
Figuur 3-20: Morfologische ontwikkeling in segment 5 en raai 6. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

Segment 6 : Antwerpen - Hoboken

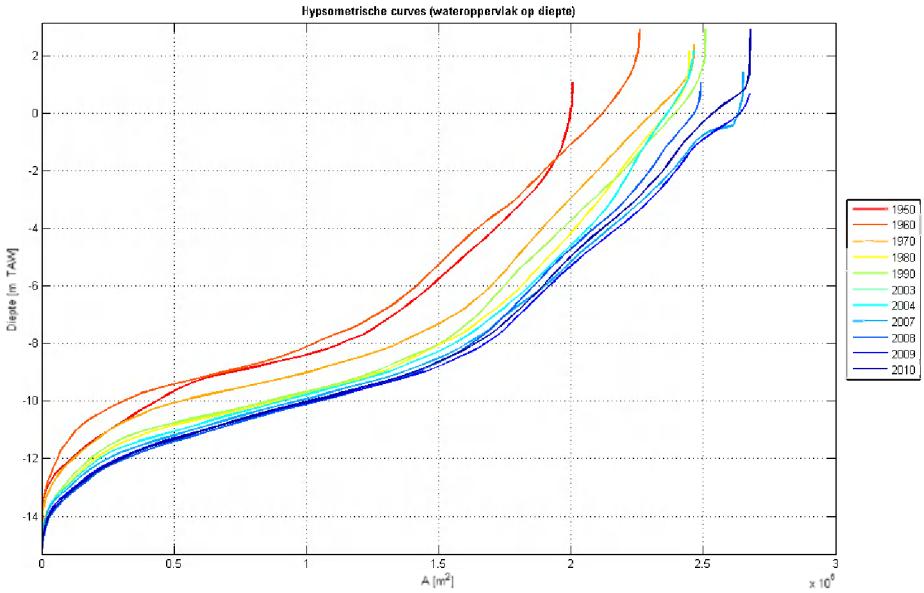
De afname van de gemiddelde bodemligging in segment 6 tussen Antwerpen en Hoboken is van dezelfde grootteorde als het afwaartse segment 5. Tussen 1960 en 1980 neemt de gemiddelde bodemligging af met circa 1,5m tot -9m TAW. Vervolgens lijkt het zich te stabiliseren in de jaren 1980-1990.Dit kan echter ook door een ongelukkige peiling in 1980 of 1990 komen, aangezien de bodemligging in 2003 en daarna is afgenomen met een zelfde snelheid.

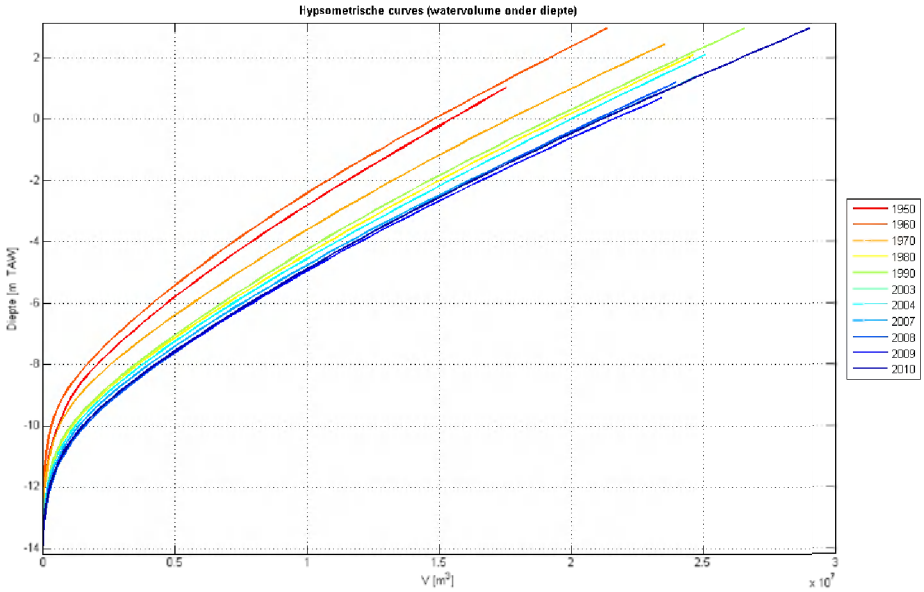
De hypsometrische curves tonen aan dat er over de hele diepte van de rivier een verruiming heeft plaatsgevonden. Aan de rechteroever is de rivier begrenst door de Scheldekaaien. Anders dan bij de overige segmenten treden er duidelijke veranderingen in de oppervlakte onder de 0m TAW contour op. De verruiming duidt hier mogelijk op een verlies van intergetijde gebied of schorrand. Ook hier geldt dat de recentere bodems een groter gebied beslaan dan de bodem uit 1950 en dus meer ondiep areaal bevatten. Hierdoor kunnen geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

Dit blijkt tevens uit een onderlinge vergelijking van de bodems van 1950 en 2010. Uit raai 7 blijkt bovengenoemde verruiming uit het terugschreiden van de linkeroever die tussen 1960 en 1980 over de hele diepte optreedt. Doordat de raai is gelegen in een drempelzone tussen twee bochten wordt in deze raai slechts een zeer beperkte verdieping geconstateerd. Na 1990 blijft de bodemligging in deze raai min of meer stabiel.

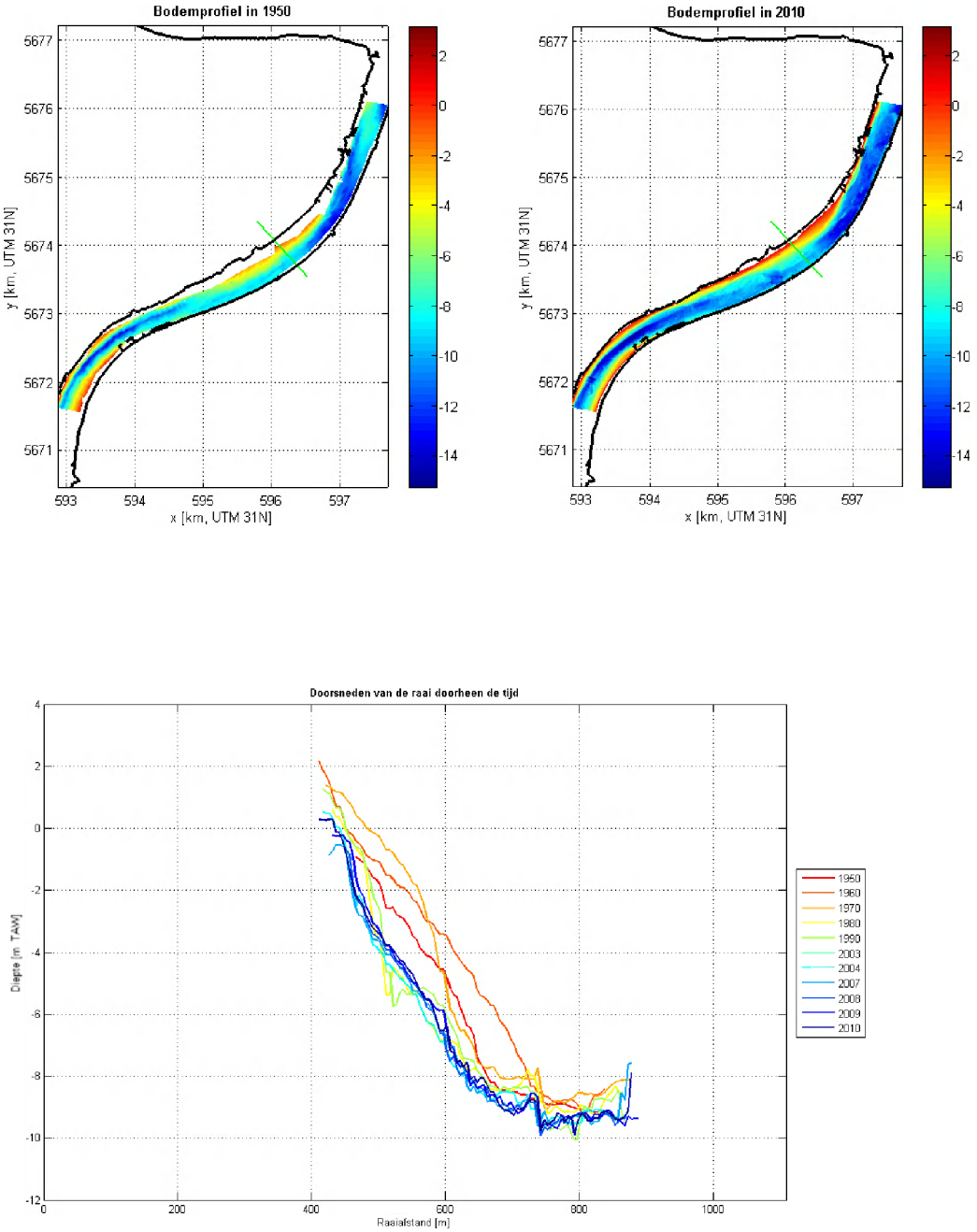


Figuur 3-21: Morfologische ontwikkeling in segment 6, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-22: Morfologische ontwikkeling in segment 6, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



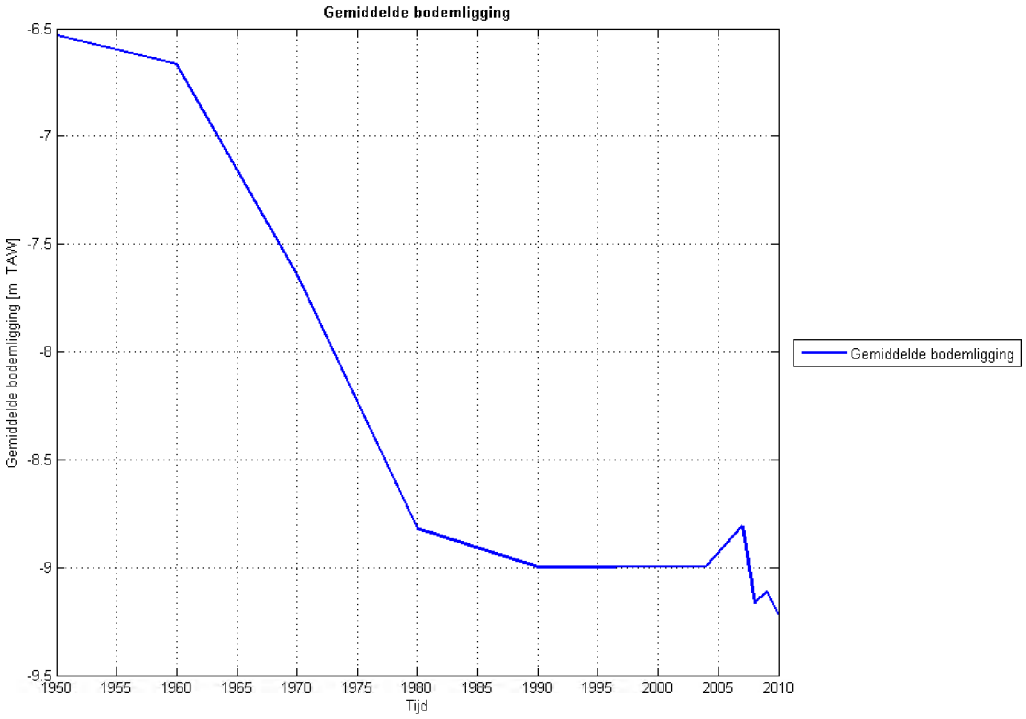
Figuur 3-23: Morfologische ontwikkeling in segment 6 en raai 7. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

Segment 7 : Hoboken - Hemiksem

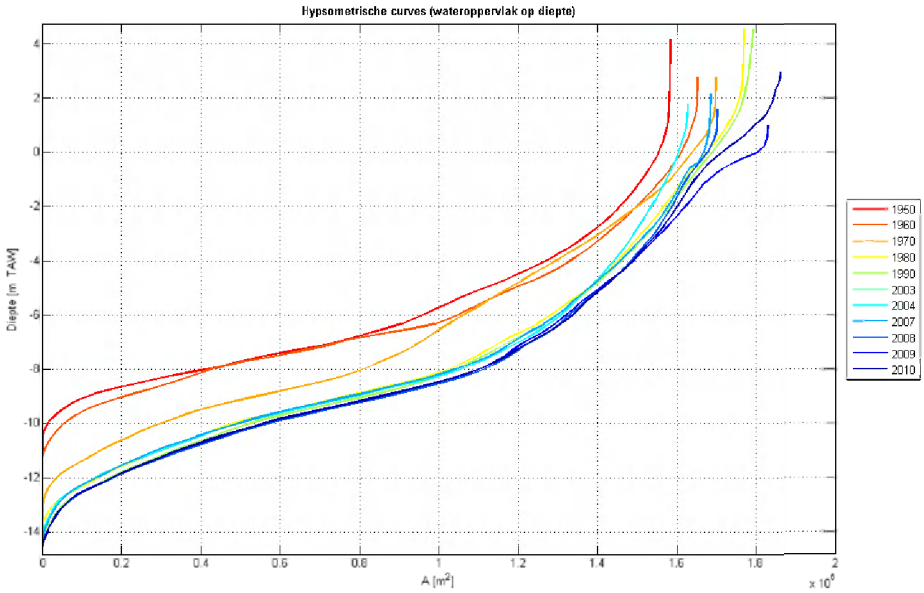
In segment 7, tussen Hoboken en Hemiksem, is er een duidelijke trend waar te nemen. Vanaf de jaren 1950-1960 tot 1980 is een daling van circa 2,5m van de gemiddelde bodemligging opgetreden. De verdieping is duidelijk te herkennen aan de parallelle lijnen in de hypsometrische curve van volume die aangeven dat de veranderingen zich hoofdzakelijk in de diepe delen (dieper dan -10m TAW) hebben voorgedaan. Vanaf 1980 tot 2010 is de bodem min of meer stabiel.

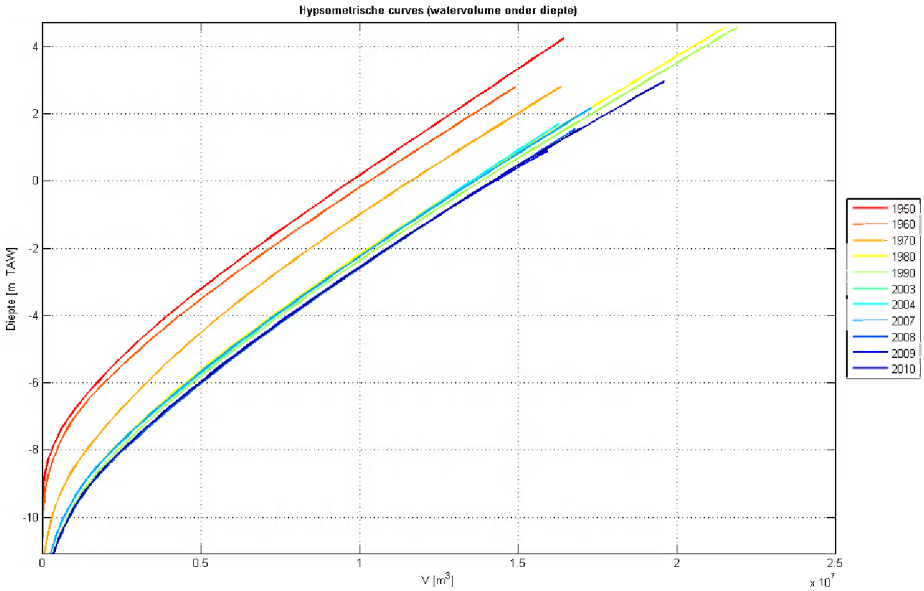
In het intergetijde areaal (hoger dan 0m TAW) doen zich schommelingen voor die zouden kunnen duiden op een achteruitgang van de schorrand. Omdat de bodemligging in 2010 een groter gebied beslaat dan in 1950 kunnen geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

Ook wanneer de figuren met de bodemligging van 1950 en 2010 onderling vergeleken worden, is de verdieping goed zichtbaar. Raai 8 bevestigt de algemene verdieping. De raai is getrokken ter hoogte van een drempelgebied en vertoont in 1950 nog een vrij vlak profiel. Tussen 1950 en 1970 verdiept de bodem stelselmatig. Daarna ontstaat in 1980 een specifieke geul die de vorm van het huidige profiel bepaalt. Ten opzichte van 1950 is de bodem in deze doorsnede lokaal met meer dan 5m verdiept.

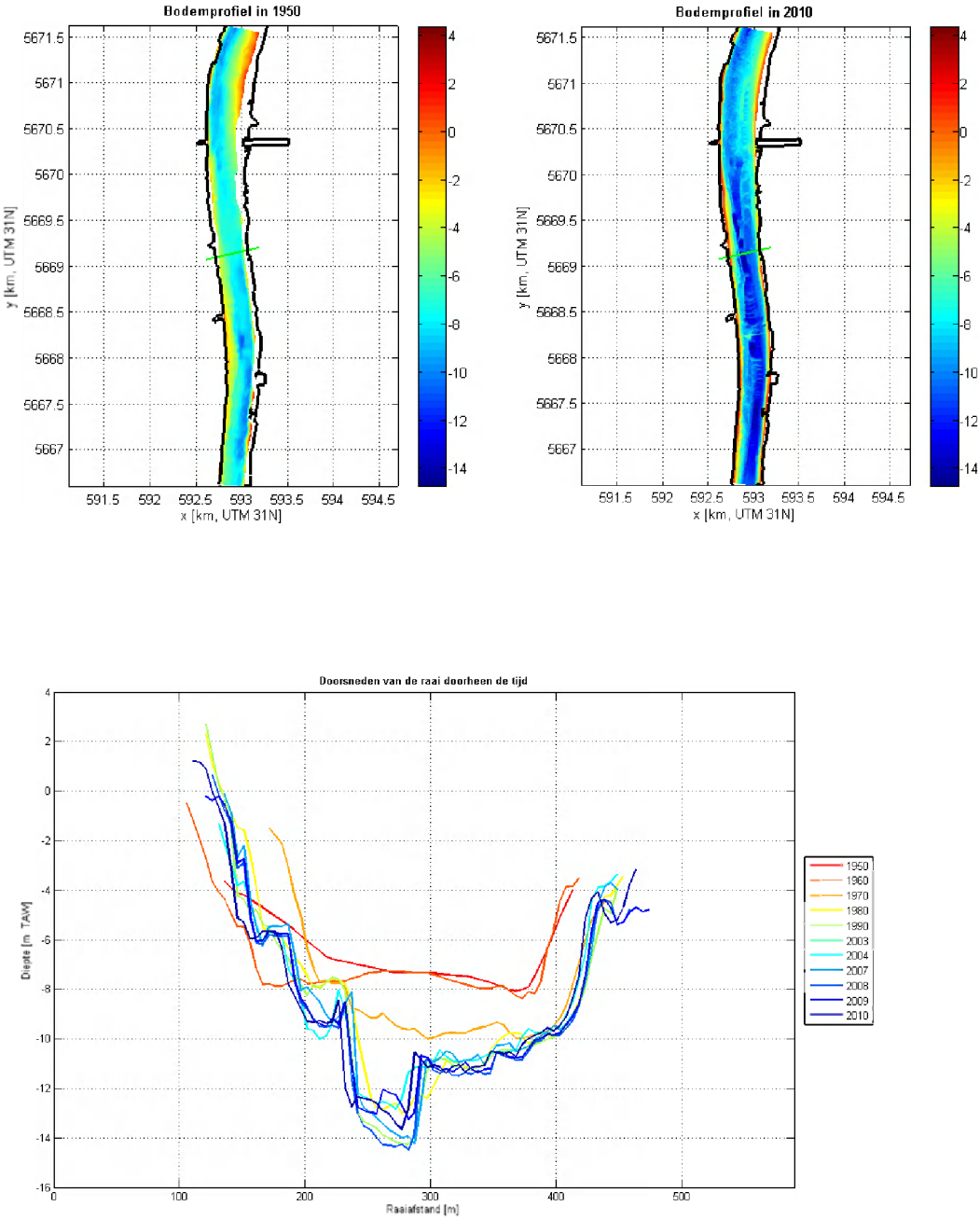


Figuur 3-24: Morfologische ontwikkeling in segment 7, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-25: Morfologische ontwikkeling in segment 7, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



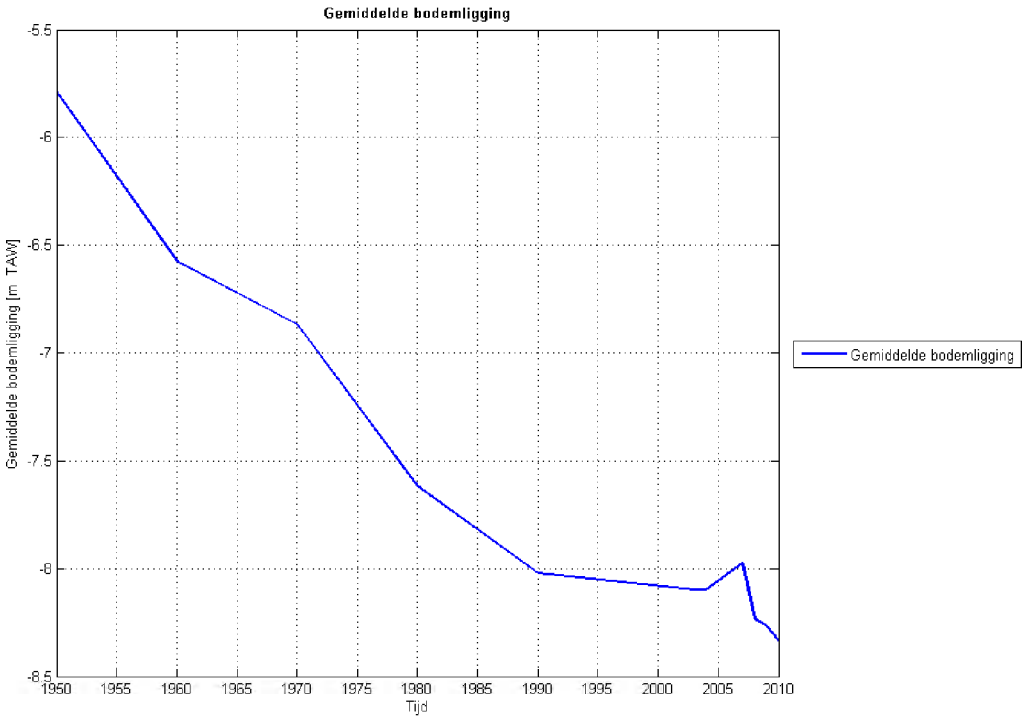
Figuur 3-26: Morfologische ontwikkeling in segment 7 en raai 8. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

Segment 8 : Hemiksem - Schelle

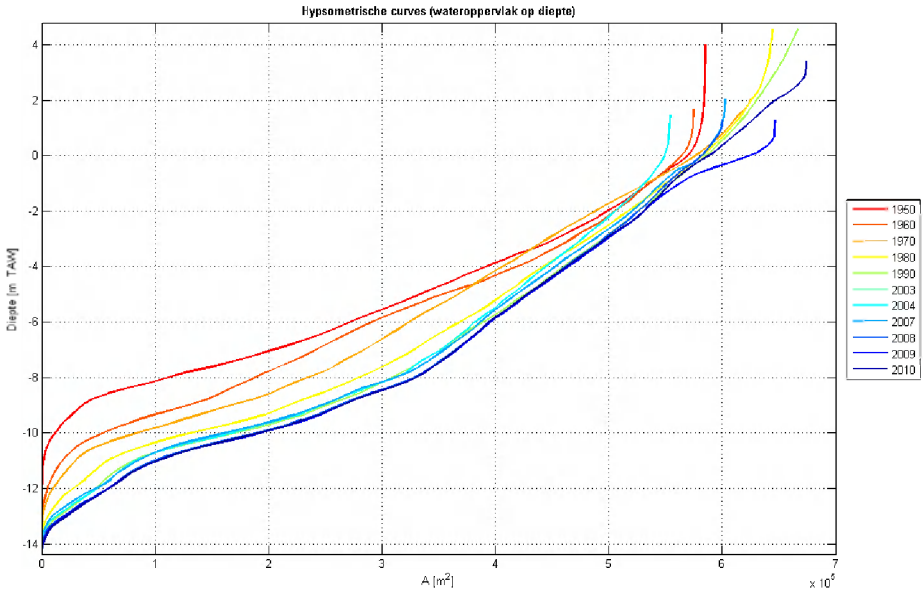
Het laatste segment, segment 8, bevindt zich tussen Hemiksem en Schelle waar de Rupel in de Schelde uitmondt. Vanaf 1950 tot 1990 is een duidelijke verdieping van de gemiddelde bodemligging zichtbaar van circa 2m, waarna de gemiddelde diepte zich momentaan stabiliseert om van 2008 tot 2010 verder licht te dalen. Uit de hypsometrische curves blijkt dat het oppervlakareaal aan de diepere delen is toegenomen, zonder dat het areaal onder 0m TAW is gewijzigd. Dit betekent dat het profiel tussen 0m en -10m TAW is versteild.

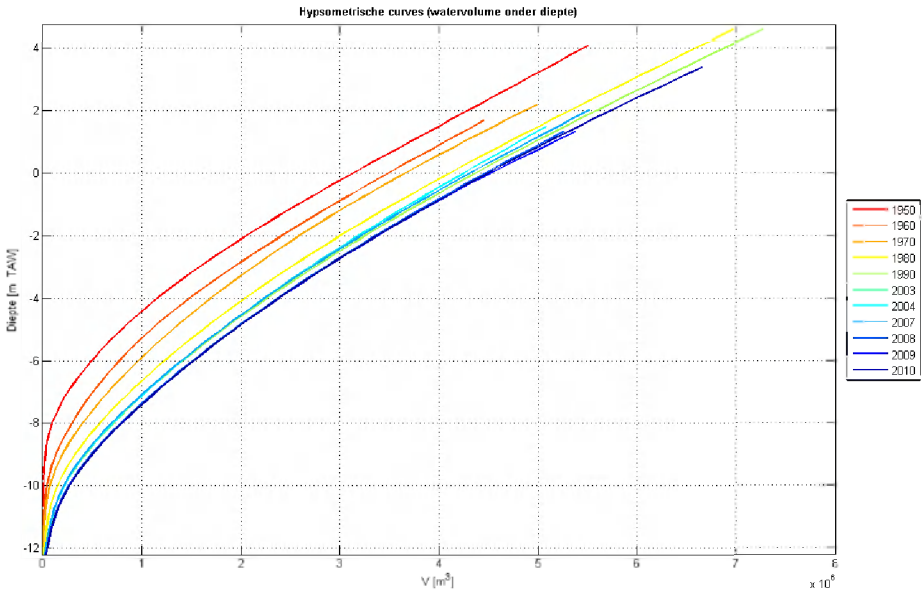
De schommelingen in het intergetijde areaal (hoger dan 0m TAW) zouden kunnen duiden op een achteruitgang van de schorrand, maar ook hier geldt dat de omvang van ingemeten bodem verschilt. Conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal worden niet getrokken.

Ook uit een onderlinge vergelijking van de figuren met de bodemligging uit 1950 en 2010 blijkt een duidelijk toename van de diepte . Raai 9 vertoont voor de verschillende jaren een vrij gelijkvormig profiel. De vaargeul in het midden van het profiel is stelselmatig verdiept van 1950 tot 1990 vooral ten koste van de ondiepere zones ter hoogte van de linkeroever. Ten opzichte van 1950 is de bodem in deze doorsnede lokaal met meer dan 3m verdiept.

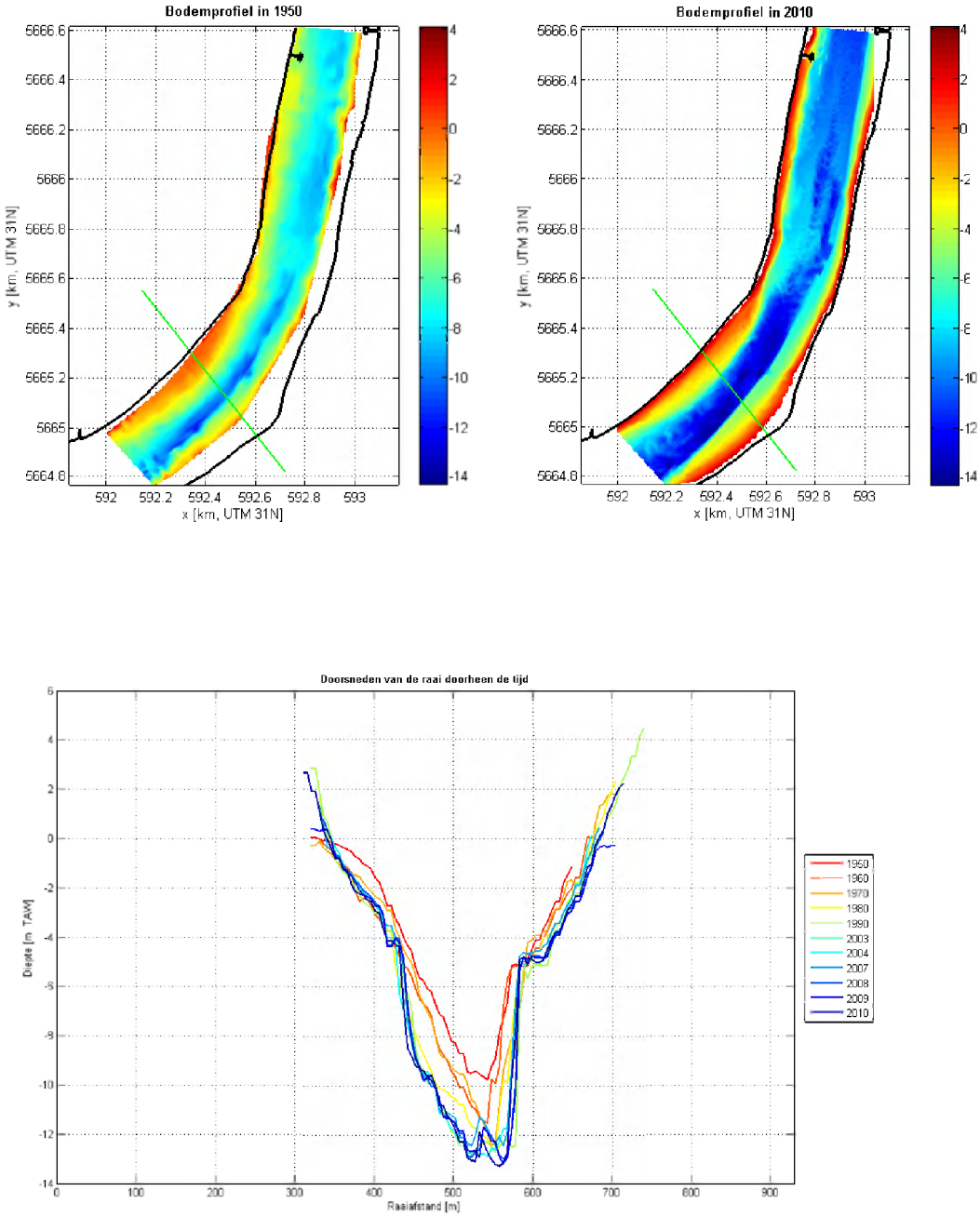


Figuur 3-27: Morfologische ontwikkeling in segment 8, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-28: Morfologische ontwikkeling in segment 8, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



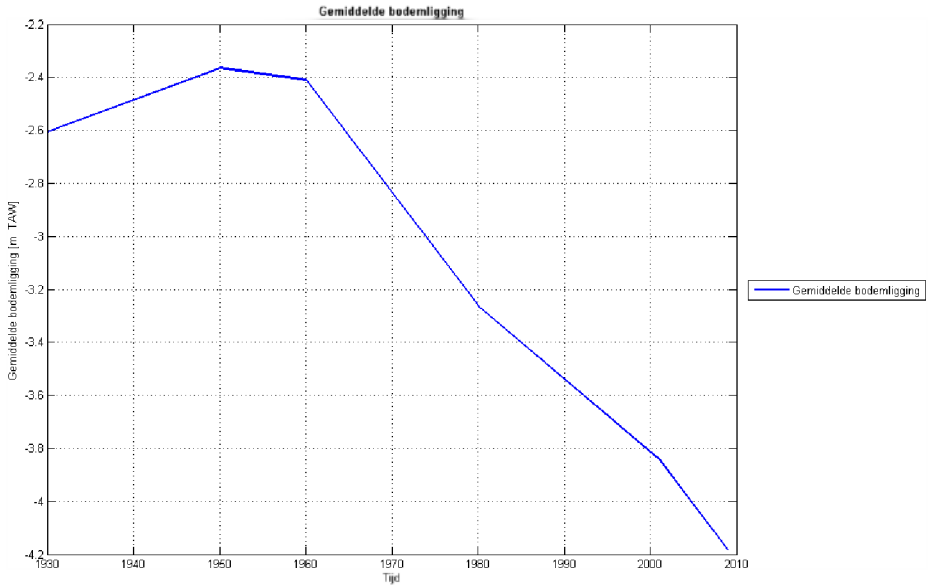
Figuur 3-29: Morfologische ontwikkeling in segment 8 en raai 9. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2010). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

3.3 BOVEN-ZEESCHELDE

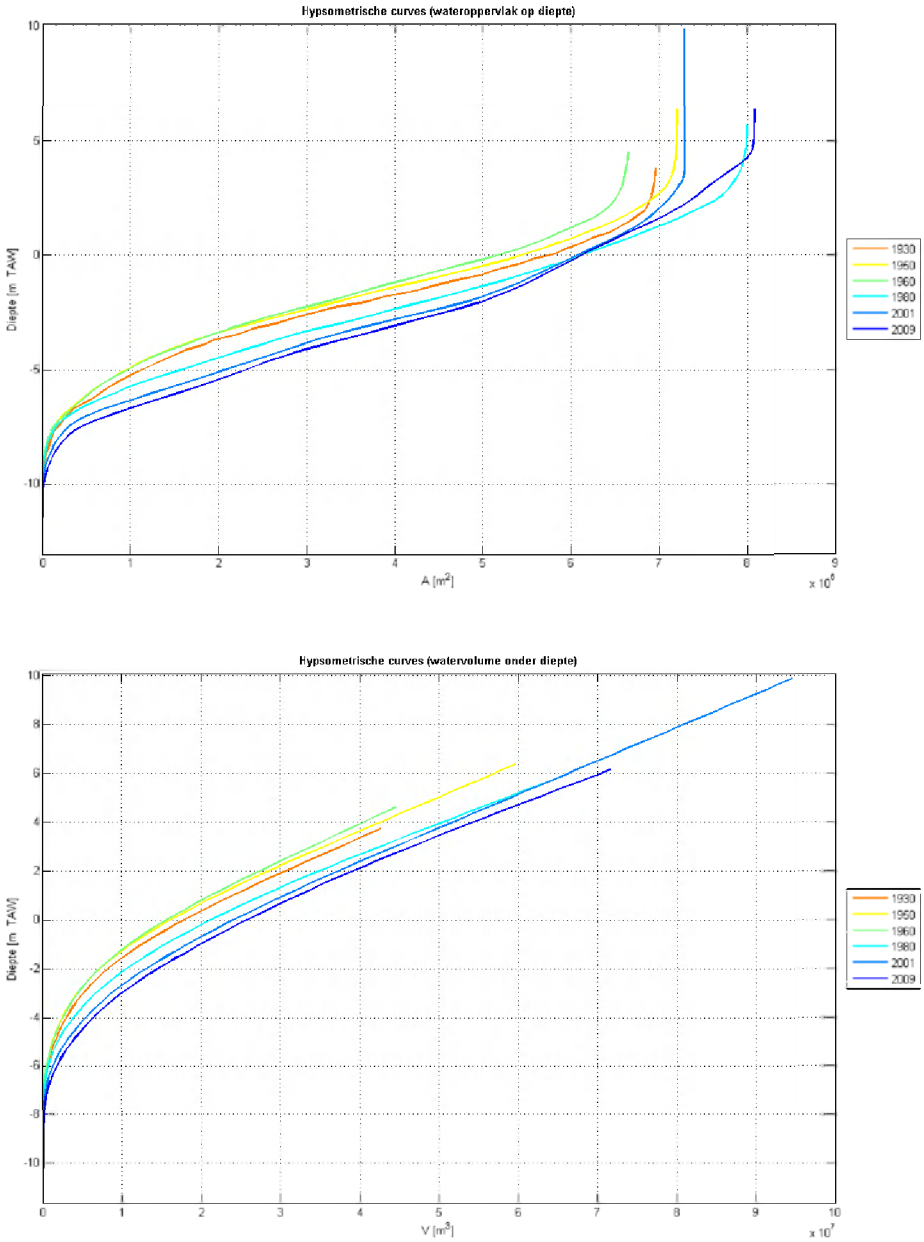
Voor de Boven-Zeeschelde is het aantal jaren waarin een bodemligging beschikbaar was beperkt. Dit bemoeilijkt de bepaling van een correcte inschatting van de gemiddelde bodemveranderingen en de interpretatie van hoe de veranderingen samenhangen met andere ontwikkelingen in het estuarium.

In tegenstelling tot de Beneden-Zeeschelde is de gemiddelde bodemligging in de periode tot 1960 stabiel of neemt deze toe (Figuur 3-30). In de periode 1960 – 2009 zijn ook de bodems van 1980 en 2001 beschikbaar. Op basis van deze 4 bodems wordt geconcludeerd dat in deze periode de gemiddelde bodemligging met bijna 2m is gedaald (van circa -2,4m TAW in 1960 tot -4,2m TAW in 2009). Opvallend is dat de toename van de gemiddelde diepte zich ook in de recente jaren manifesteert.

Een analyse van de hypsometrische curves (Figuur 3-31) laat zien dat de rivier zowel is verdiept als verbreed. Dit blijkt uit de toename van het volume in de diepe delen en uit de toename van het oppervlakte op 0m TAW. De curves bevestigen het eerder gevormde beeld dat de bodemligging met circa 2m is gedaald. Het oppervlak rond 0m TAW is echter minder toegenomen dan het oppervlak op -5m TAW wat duidt op enige versteiling van het profiel. Door de verruiming is het volume onder 0m TAW toegenomen van circa 15 Mm^3 tot 26 Mm^3.

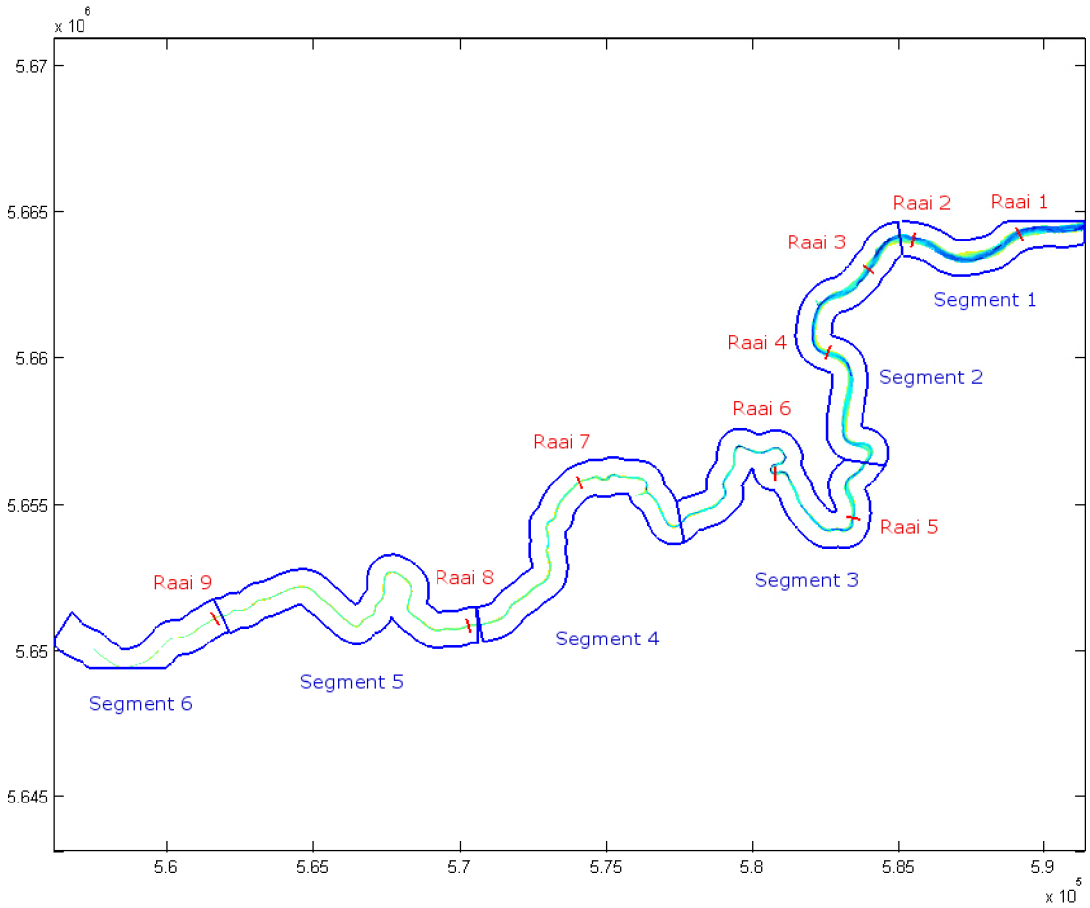


Figuur 3-30: Variatie in gemiddelde bodemligging in de Boven-Zeeschelde



Figuur 3-31: Hypsometrische curve van oppervlak (boven) en volume (onder) van de Boven-Zeeschelde.

Voor een meer gedetailleerde analyse is de Boven-Zeeschelde opgedeeld in 6 segmenten beschreven door de 7 waterstandsstations; Schelle, Temse, Sint-Amands, Dendermonde, Schoonaarde, Wetteren en Melle. Daarnaast zijn 9 raaien gedefinieerd, waarbij in de eerste 3 segmenten 2 raaien en in de meest opwaartse 3 segmenten telkens 1 raai worden getoond. Figuur 3-32 geeft een overzicht van de segmenten en de raaien.



Figuur 3-32: Overzicht van de Boven-Zeeschelde en de opdeling in segmenten (boven) en raaien (onder).

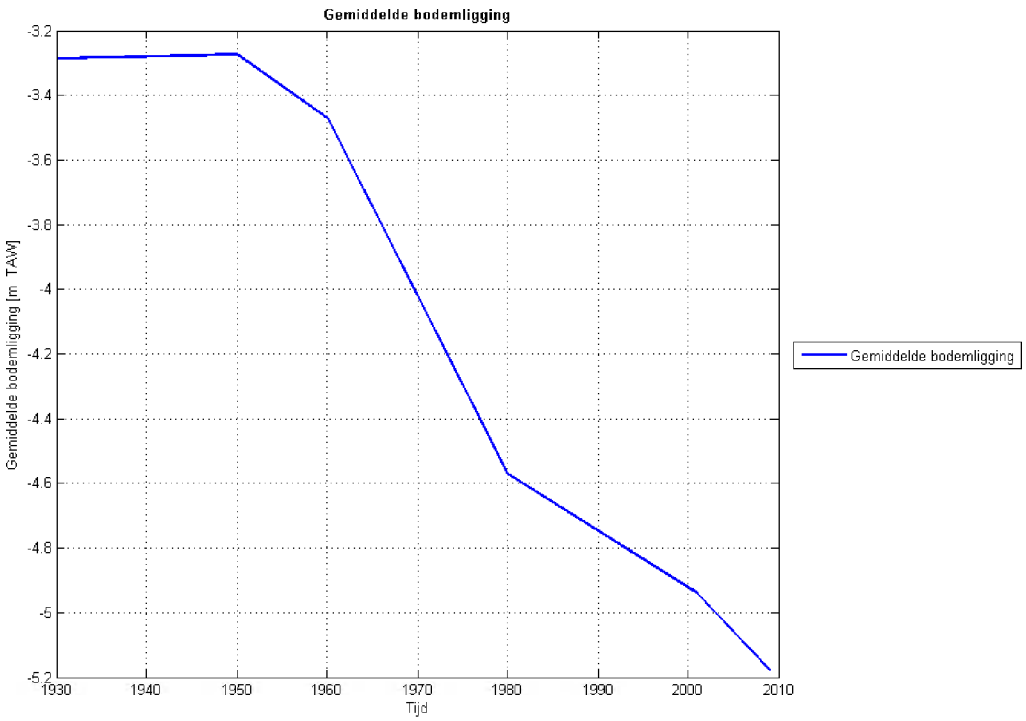
Segment 1 : Schelle - Temse

Het eerste segment in de Schelde opwaarts van de samenvloeiing met de Rupel wordt begrensd door de getijstations Schelle en Temse. De gemiddelde bodemligging (Figuur 3-33) was hier ongeveer stabiel in de periode 1930 – 1960. Na 1950 zet zich een lichte verdieping in. In de periode 1950 – 1980 treedt daling van de gemiddelde bodemligging met ruim 1m van -3,3m TAW tot circa -4,5m TAW. In de daarop volgende peilingen is de bodem verder gedaald tot ruim -5m TAW in 2009.

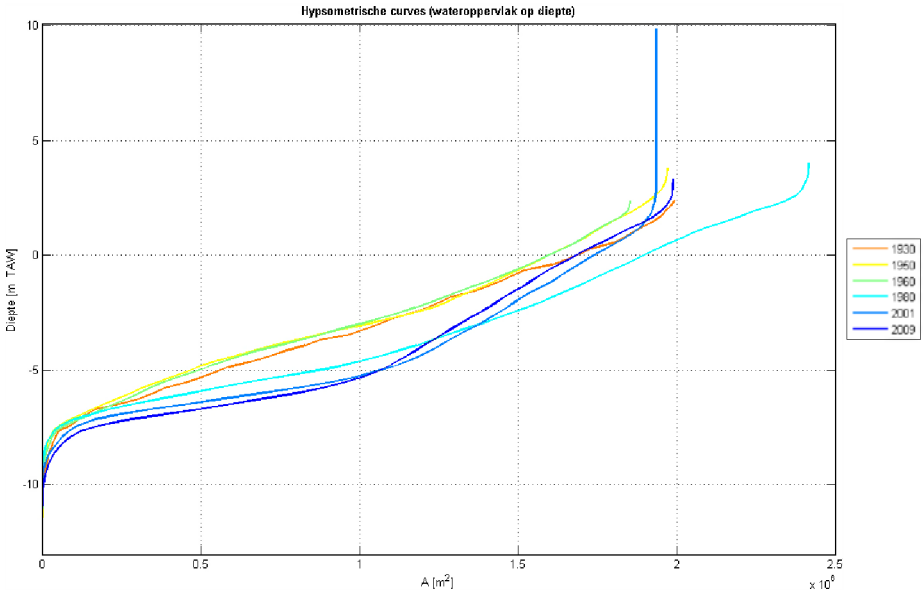
De hypsometrische curves (Figuur 3-34) bevestigen dit beeld. Er treedt een aanzienlijke verruiming van het oppervlakte onder -5m TAW op. Doordat het oppervlakte onder de contour van 0m TAW nagenoeg niet in oppervlakte verandert, is er sprake van versteiling van het profiel. Uitzondering hierop is de contour van 1980, wat erop kan duiden dat in dit jaar een groter areaal ondiep gebied werd gepeild.

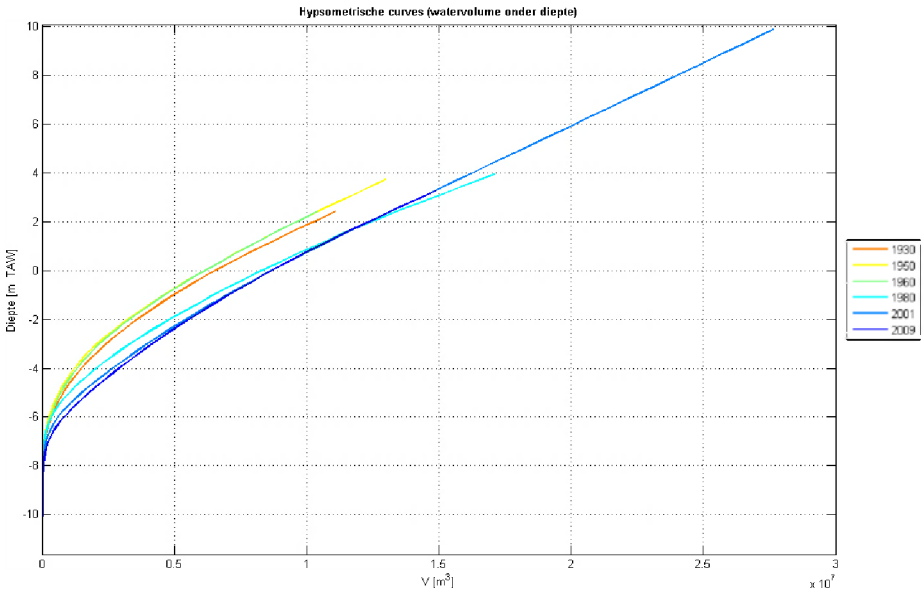
Wanneer de bodemligging van 1930 en die van 2009 onderling wordt vergeleken blijkt een duidelijke verdieping van de riviersectie (Figuur 3-35). Dwarsdoorsnede Raai1 (Figuur 3-35) in Segment 1 (ter hoogte van Steendorp) laat zien dat het profiel sterk is veranderd over de jaren heen. Opvallend is de duidelijk andere ligging van de bodem in 1930. Vanaf 1950 is de ligging van de geulen ongewijzigd en treedt enkel verdieping op. Vanaf 2001 komen er geen ondiepten meer voor en verdiept het gehele profiel. Van 1950 tot 2009 is de bodem lokaal circa 2m tot 4m verdiept.

Dwarsdoorsnede raai 2 (Figuur 3-36, afwaarts van de Temse brug) toont erosie van de geulwand die op die locatie van de rivier de binnenbocht vormt. Ondanks dat gegevens ontbreken om concrete uitspraken te kunnen doen over de ontwikkeling van het intergetijdegebied, duidt de getoonde ontwikkeling op een achteruitgang en versteiling.

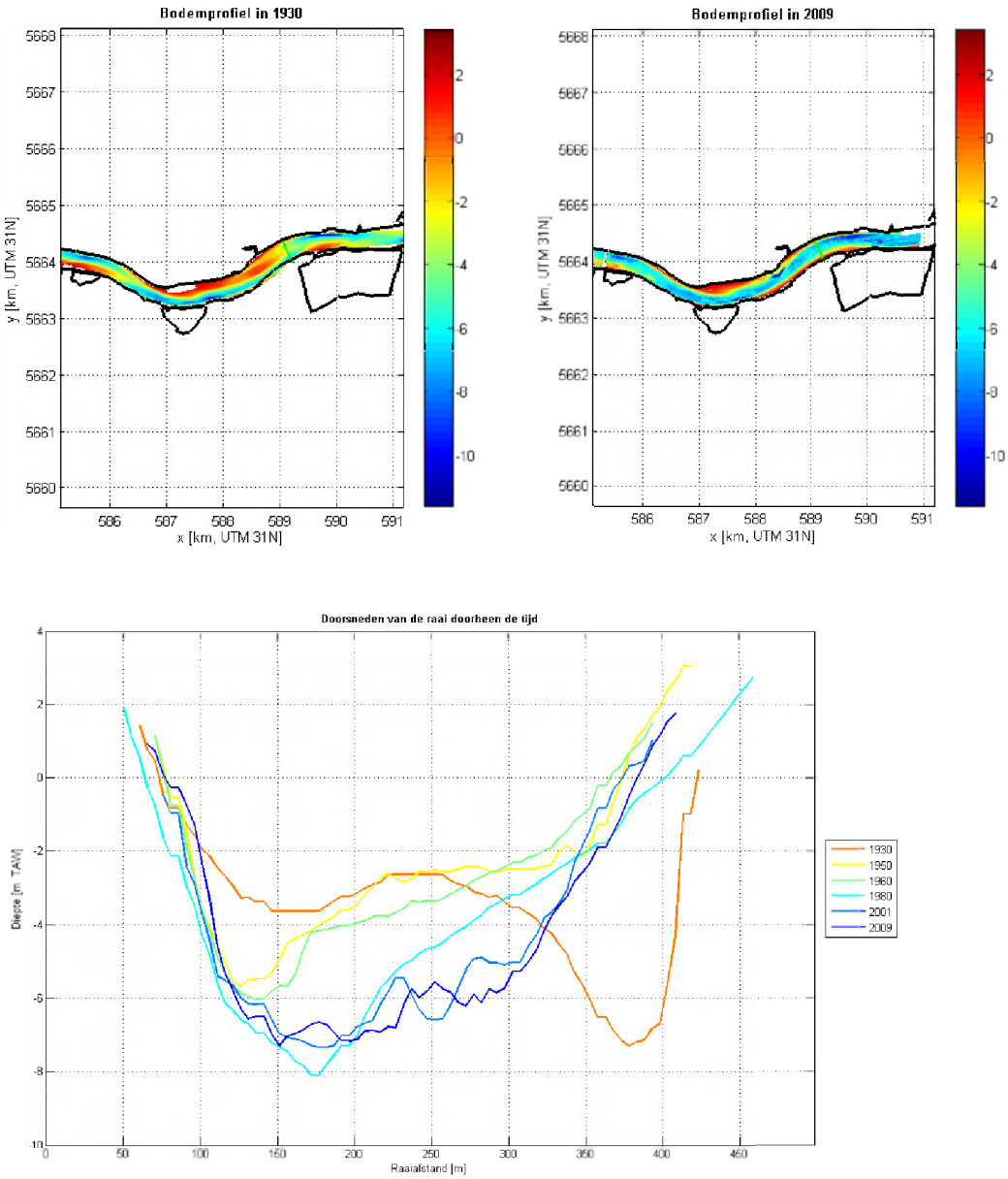


Figuur 3-33: Morfologische ontwikkeling in segment 1, variatie in gemiddelde waterdiepte.

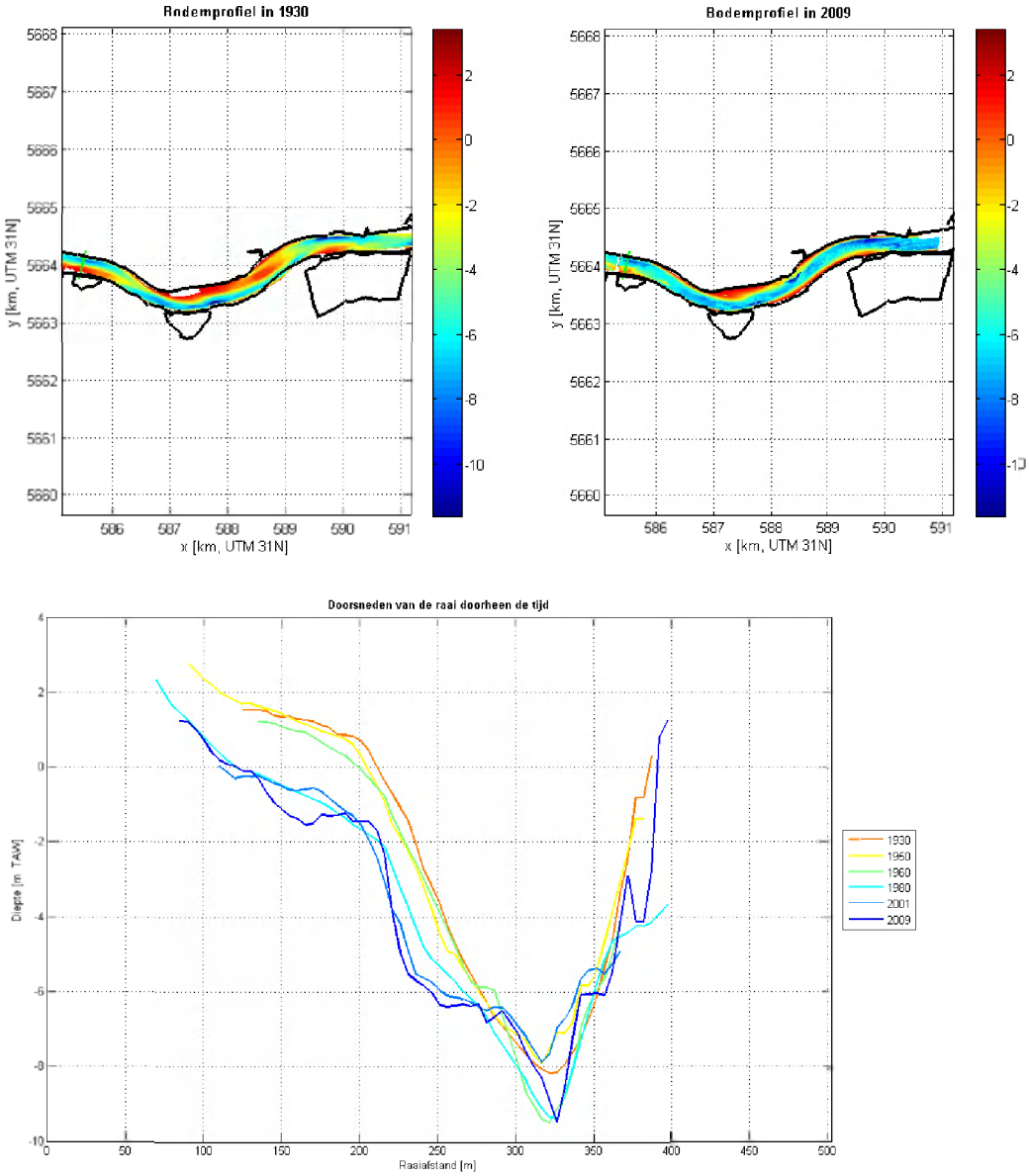




Figuur 3-34: Morfologische ontwikkeling in segment 1, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



Figuur 3-35: Morfologische ontwikkeling in segment 1 en raai 1. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).



Figuur 3-36: Morfologische ontwikkeling in segment 1 en raai 2. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

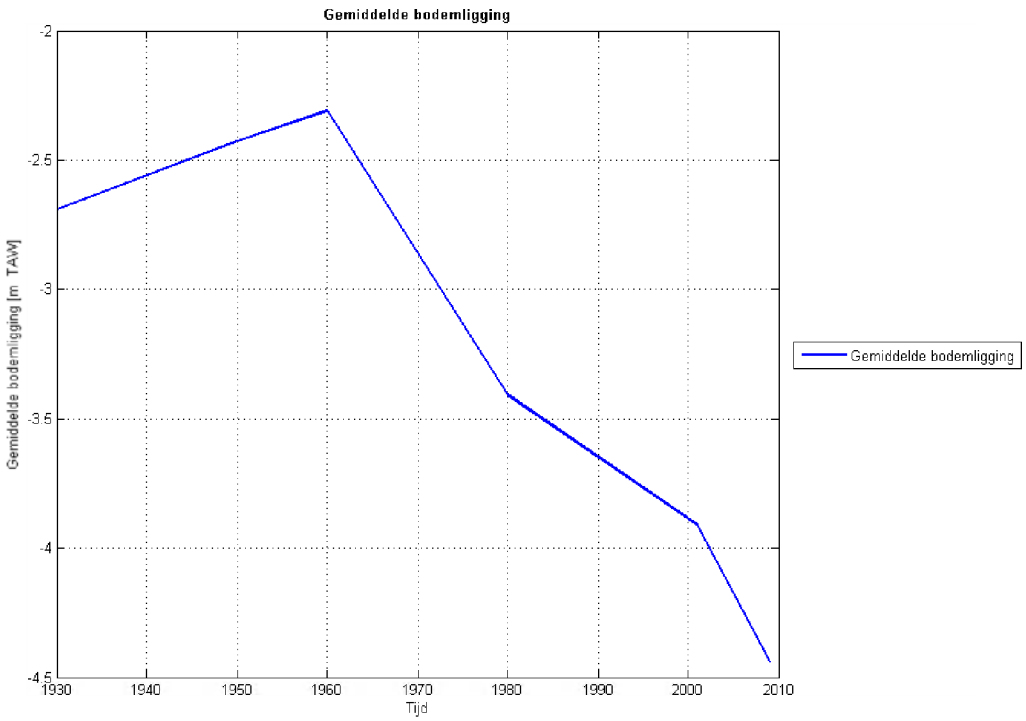
Segment 2 : Temse - Sint-Amands

Segment 2 wordt begrensd door Temse en Sint-Amands. De gemiddelde bodemligging van dit segment duidt op een lichte afname (verondieping) in de periode tot 1960 (Figuur 3-37). Na 1960 treedt een verdieping op die zich doorzet tot 2009. De bodem verdiept in deze periode gemiddeld met circa 2m van -2,7m TAW tot -4,5m TAW.

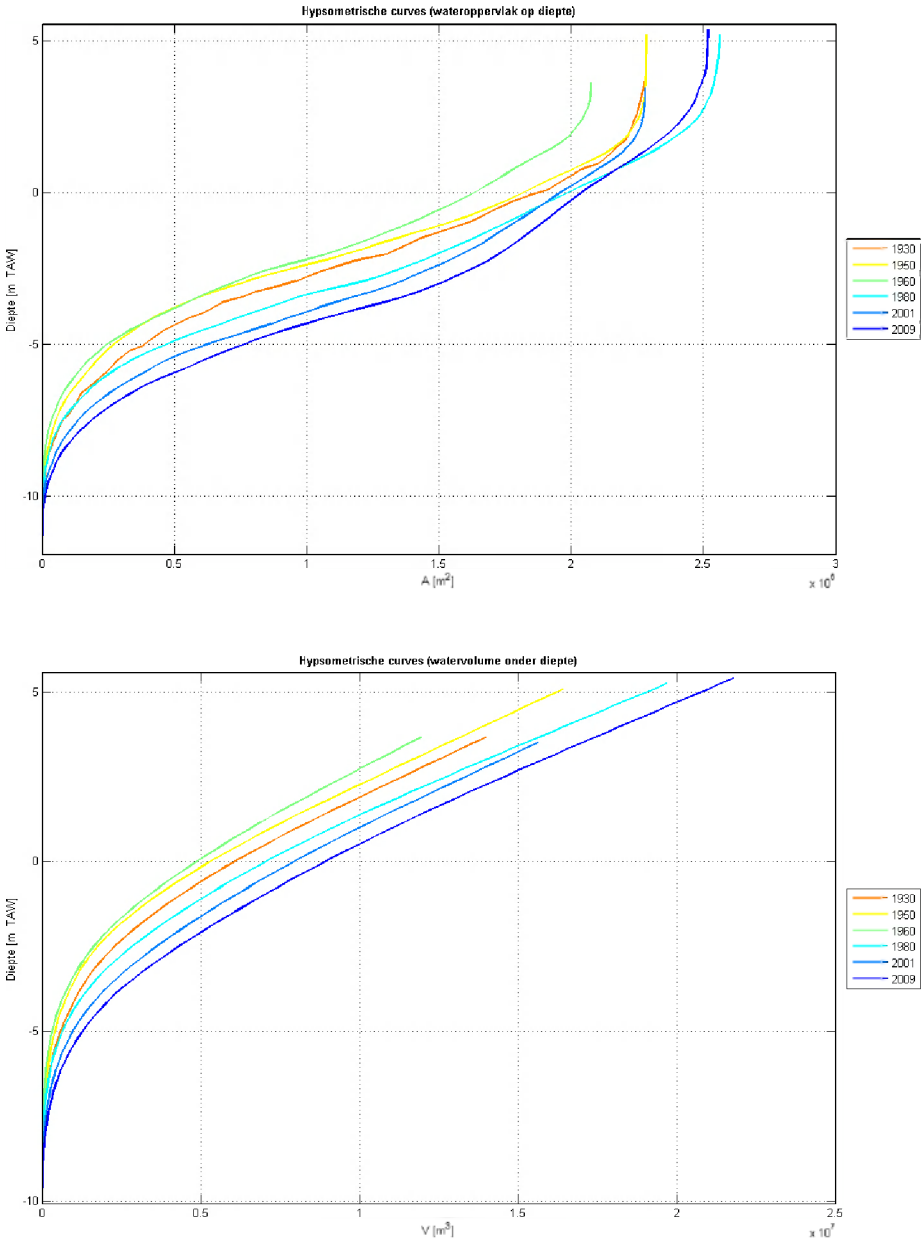
De hypsometrische curves (Figuur 3-38) laten zien dat de verondieping in de periode tot 1960, met name in de periode 1930 – 1950, vooral de diepere secties betreft, maar zich daarna uitbreidt tot de ondiepere delen. Na 1960 blijkt zowel een verdieping als een verruiming van de rivier op te treden, waarbij het volume onder de 0m TAW contour ongeveer verdubbelt. In deze periode neemt ook de oppervlakte van de 0m TAW contour toe, mogelijk ten koste van het intergetijdegebied of van de aan de rivier grenzende schorren. Echter aangezien de beschouwde oppervlakte van de bodems niet gelijk zijn, kunnen er geen harde conclusies over de ontwikkeling van het ondiep areaal getrokken worden.

Dwarsdoorsnede raai 3 in segment 2 (Figuur 3-39, opwaarts Temse brug) geeft aan dat in de periode 1930 – 1950 de diepe delen van de rivier volledig zijn opgevuld. Lokaal is de bodem tot 3m ondieper. Na 1960 verdiept de bodem en treedt er een verruiming en versteiling van het profiel op. Ten opzichte van de bodem van 1960 verdiept de bodem lokaal met circa 4m.

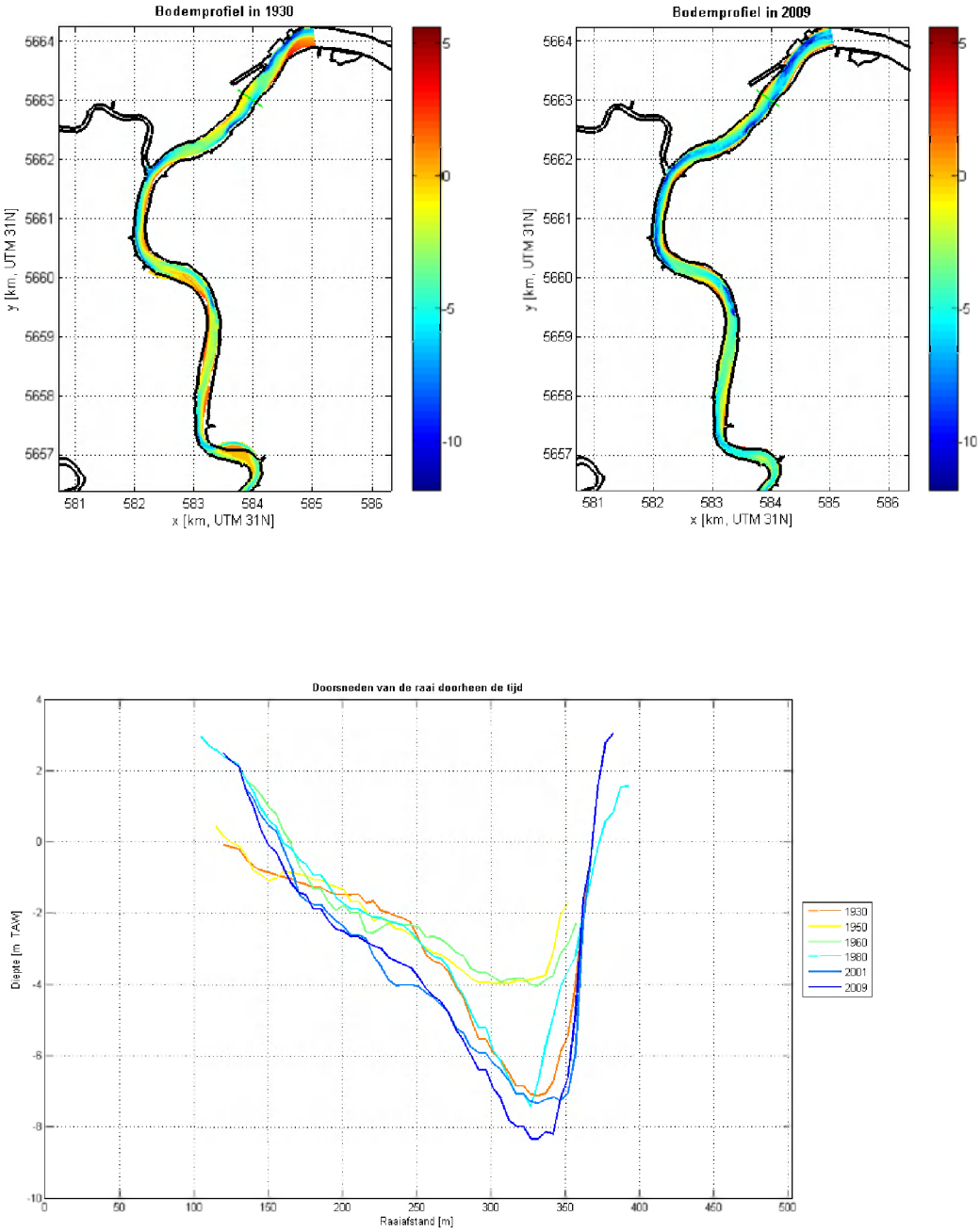
Raai 4 in segment 2 (Figuur 3-40), ter hoogte van de Lippenbroek polder) is gelegen ter hoogte van een drempelgebied tussen twee tegenovergestelde bochten. Erosie van de bodem treedt op vanaf 1960, waarbij tussen 1980 en 2001 de ligging van de geul verschuift van rechteroever naar linkeroever. Zowel uit de dwarsdoorsnede als uit de vergelijking van de bodemligging in 1930 en 2009 blijkt dat deze drempelzone daarna sterk verdiept (locaal tot 3m) en er in 2009 een vlakke bodem is ontstaan.



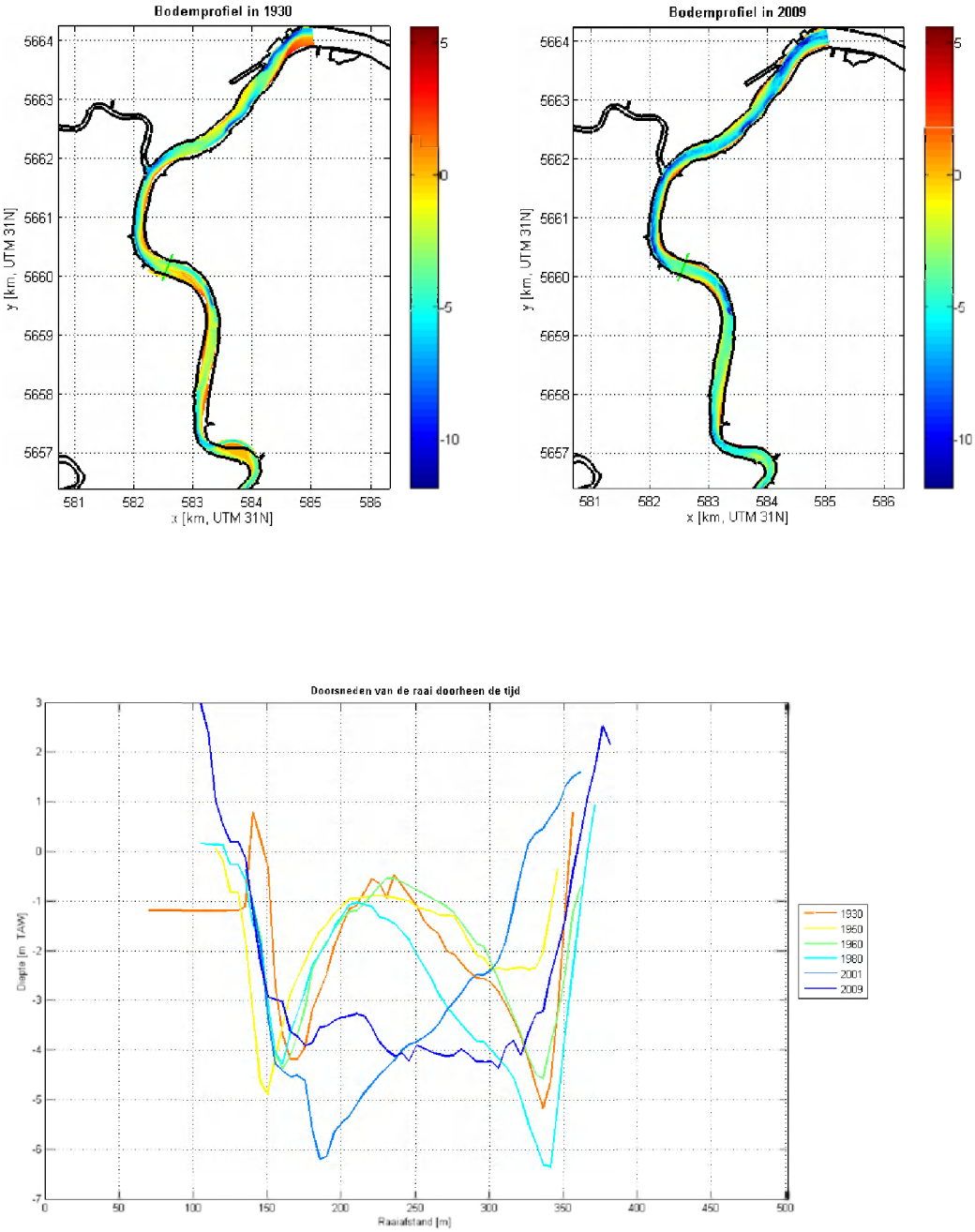
Figuur 3-37: Morfologische ontwikkeling in segment 2, variatie in gemiddelde waterdiepte.



Figuur 3-38: Morfologische ontwikkeling in segment 2, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



Figuur 3-39: Morfologische ontwikkeling in segment 2 en raai 3. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).



Figuur 3-40: Morfologische ontwikkeling in segment 2 en raai 4. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

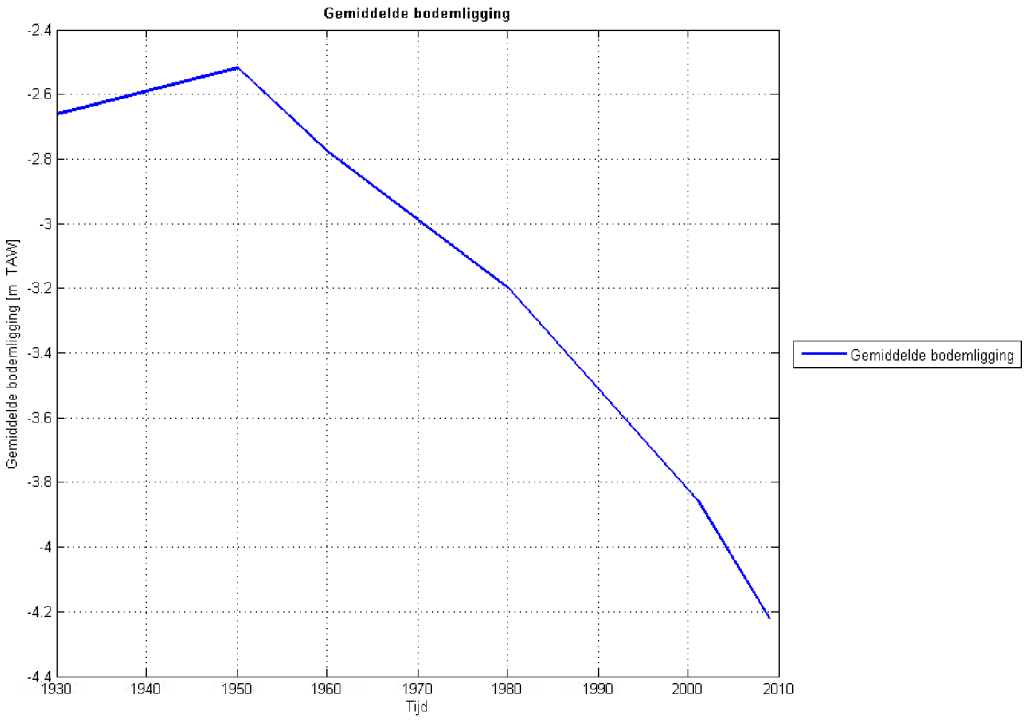
Segment 3 : Sint-Amands - Dendermonde

Segment 3 wordt begrenst door de tijposten Sint-Amands en Dendermonde. Wanneer de ontwikkeling van de gemiddelde bodemligging (Figuur 3-41) en de hypsometrische curves (Figuur 3-42) samen worden geanalyseerd, blijkt dat de verruiming van het profiel start na 1960 en doorgaat tot 2009. De gemiddelde bodemligging neemt hierbij af met circa 1,5m van -2,8m TAW in 1960 tot -4,2m TAW in 2009.

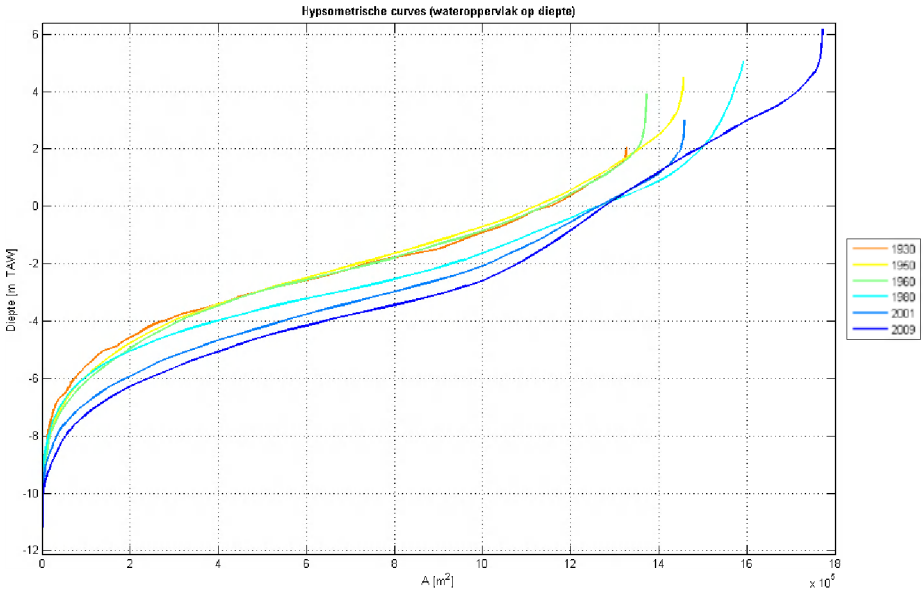
In de periode 1930 – 1960 zijn de hypsometrische curves ongewijzigd. Na 1960 treedt een verruiming en verdieping van de doorsnede op. Na 1980 neemt enkel de diepte nog toe. Tussen 1960 en 1980 neemt het oppervlakte van de 0m TAW contour toe, waarna deze tot 2009 ongewijzigd blijft en er een versteiling van het profiel onder 0m TAW optreedt.

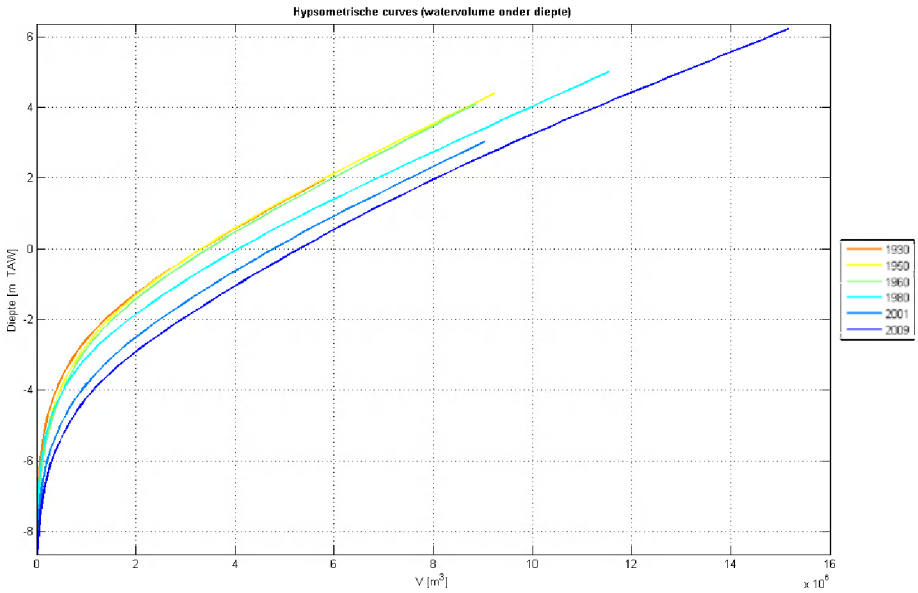
Langs de linkeroever van dwarsdoorsnede raai 5 in segment 3 (Figuur 3-43, tussen Sint-Amands en Baasrode) is de geulwand tussen 1960 en 1980 verschoven. De sectie laat zien dat door insnoering door de dijken in sommige secties na 1980 de rivier enkel nog verdiept is. Lokaal bedraagt deze verdieping circa 2m.

Dwarsdoorsnede raai 6 in segment 3 (Figuur 3-44) is gelegen ter hoogte van de Kramp en geeft een verbreding over de jaren weer.

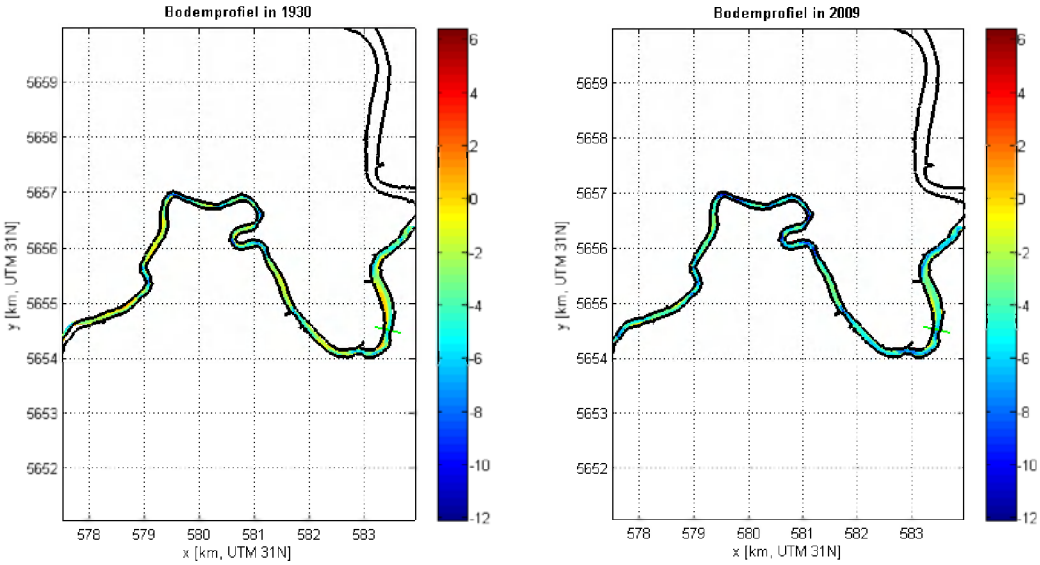


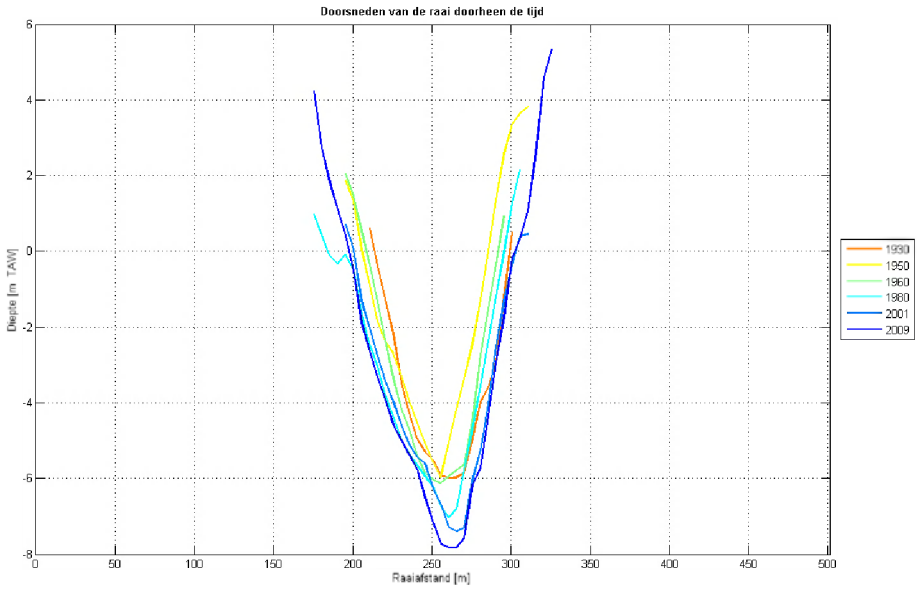
Figuur 3-41: Morfologische ontwikkeling in segment 3, variatie in gemiddelde waterdiepte.



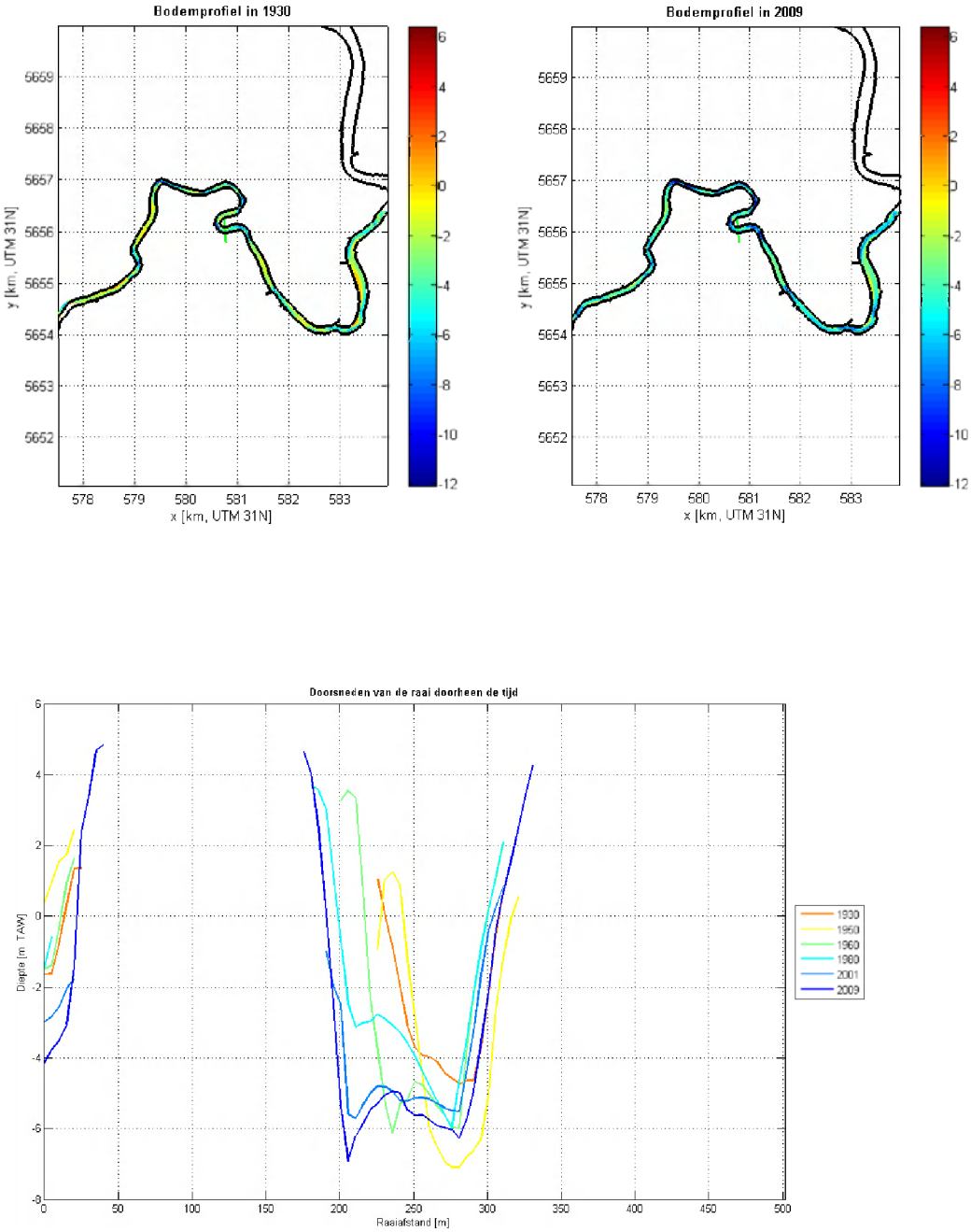


Figuur 3-42: Morfologische ontwikkeling in segment 3, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).





Figuur 3-43: Morfologische ontwikkeling in segment 3 en raai 5. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).



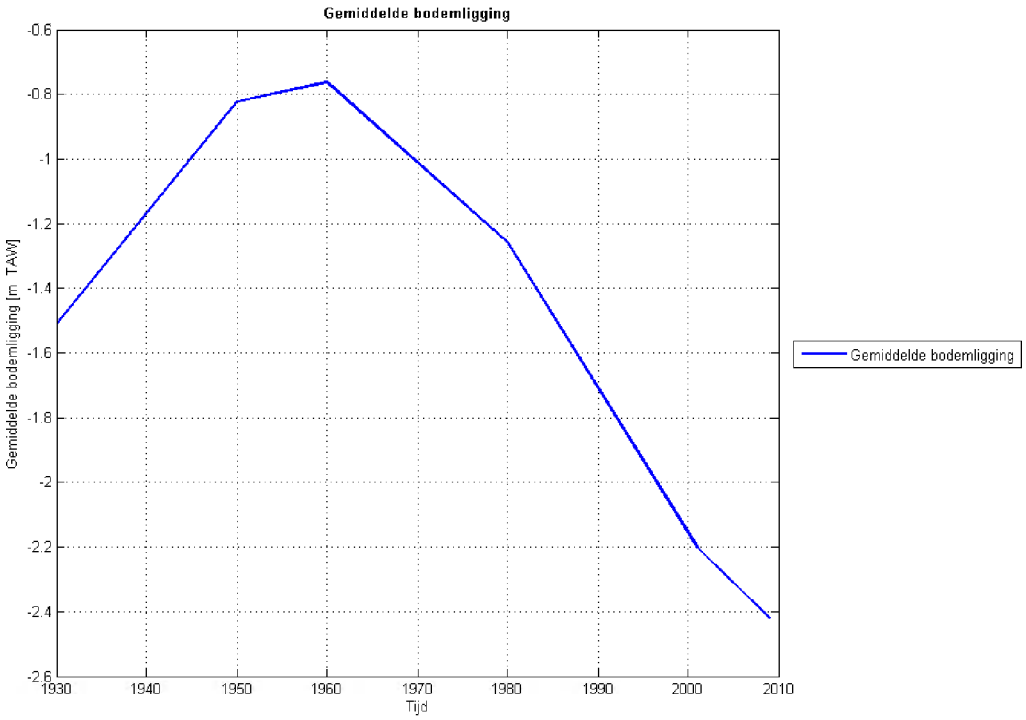
Figuur 3-44: Morfologische ontwikkeling in segment 3 en raai 6. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

Segment 4 : Dendermonde - Schoonaarde

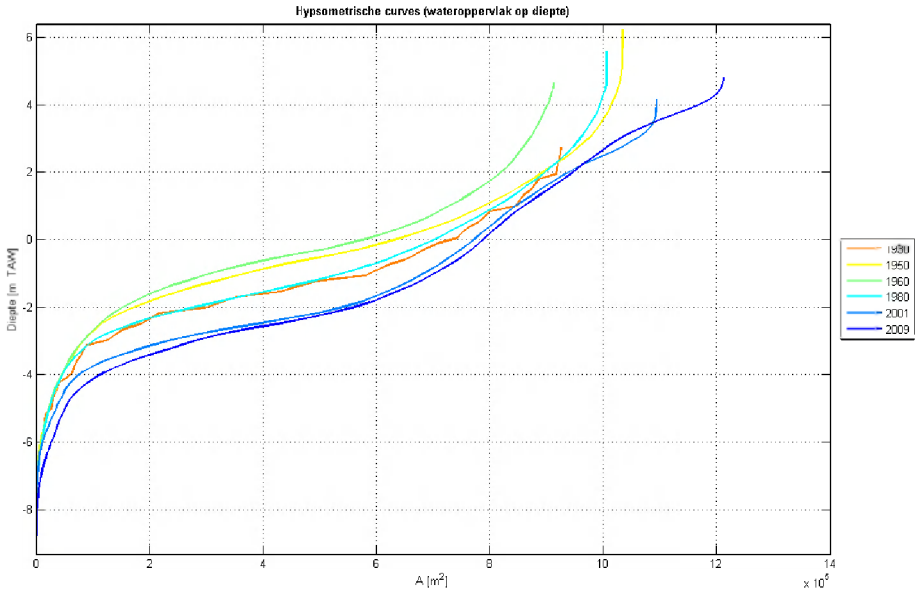
Segment 4 wordt begrenst door Dendermonde en Schoonaarde. In de periode tot 1960 is de gemiddelde bodemligging met ruim 0,5m afgenomen (Figuur 3-45). Uit de hypsometrische curves blijkt dat in eerste instantie vooral de diepere delen opgevuld werden en dat daarna de ondiepere zones in oppervlakte afnamen (Figuur 3-46). Na 1960 treedt verdieping en verruiming op en in 1980 is de hypsometrische curve ongeveer identiek aan de curve van 1930. In de daarop volgende jaren neemt de gemiddelde bodemligging verder toe. De bodem verdiept in deze periode gemiddeld met ruim 1,5m van -0,8m TAW in 1960 tot -2,4m TAW in 2009.

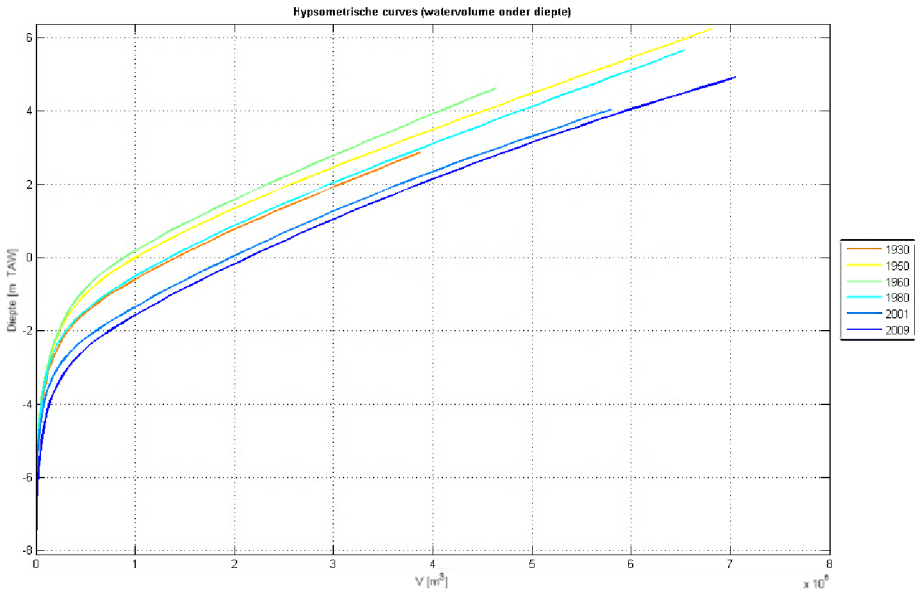
De hypsometrische curves laten verder zien dat na 1980 het oppervlak van de 2m TAW contour niet significant meer wijzigt. Tegelijkertijd verruimt de -2m TAW contour waardoor geconcludeerd kan worden dat tussen de beide contouren een versteiling van het profiel optreedt.

Dit blijkt ook uit de analyse van raai 7 (Figuur 3-47). Na een momentane verondieping tussen 1930 en 1950 verdiept het profiel zich in eerste instantie met circa 1,5m, waarna een verruiming van het profiel optreedt zonder dat het verder verdiept.

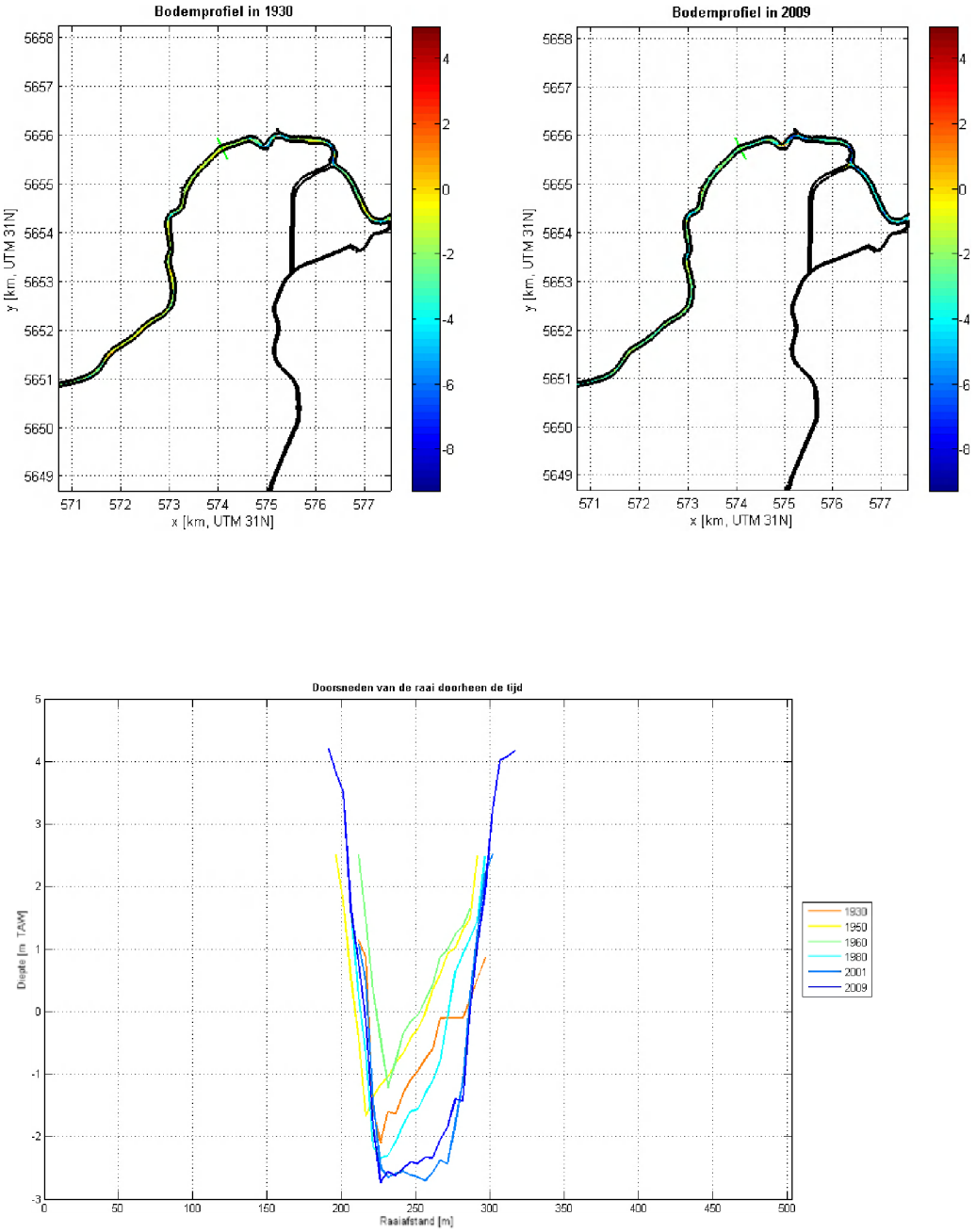


Figuur 3-45: Morfologische ontwikkeling in segment 4, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-46: Morfologische ontwikkeling in segment 4, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



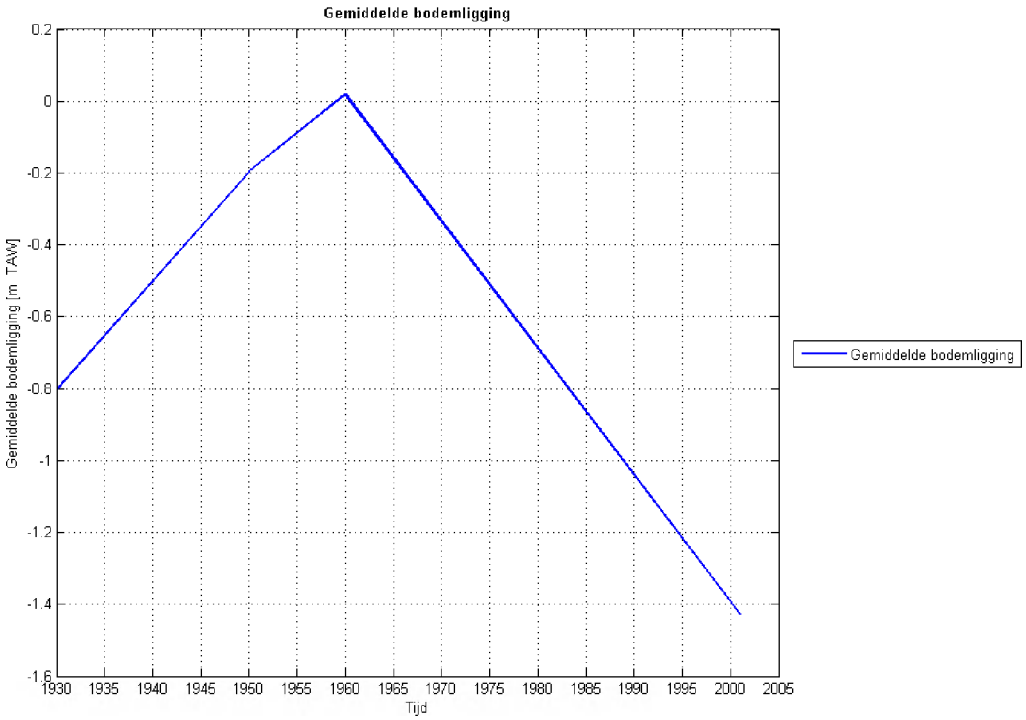
Figuur 3-47: Morfologische ontwikkeling in segment 4 en raai 7. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

Segment 5 : Schoonaarde - Wetteren

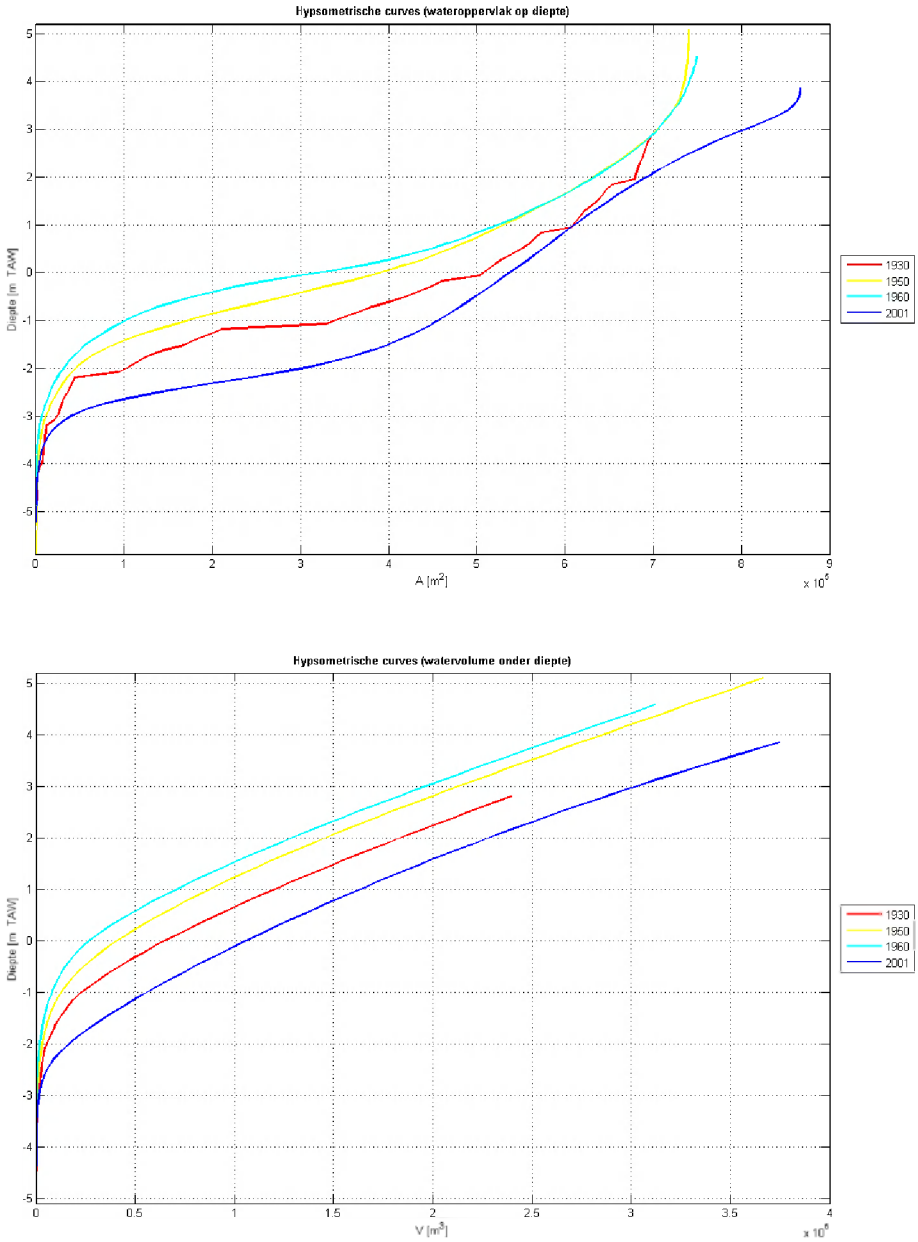
Segment 5 is gelegen tussen Schoonaarde en Wetteren. Voor dit segment zijn enkel bodemgegevens beschikbaar uit 1930, 1950, 1960 en 2001. Evenals in het afwaarts gelegen segment neemt in de periode tot 1960 de gemiddelde bodemdiepte toe, hier met circa 0,8m (Figuur 3-48). Na 1960 treedt verdieping en verruiming van de diepere delen op. De gemiddelde bodemligging neemt in de periode 1960 - 2001 circa 1,5m af.

Uit de hypsometrische curves blijkt dat na 1960 vooral het oppervlak van de contouren op -1m TAW en -2m TAW sterk zijn toegenomen (Figuur 3-49). Aangezien de contouren veelal door dijken begrenst zijn, duidt deze toename op een erosie van de drempelgebieden. De contour op 2m TAW is niet significant gewijzigd, waardoor tevens geconcludeerd kan worden dat tussen -1m TAW en 2m TAW een versteiling van het profiel is opgetreden.

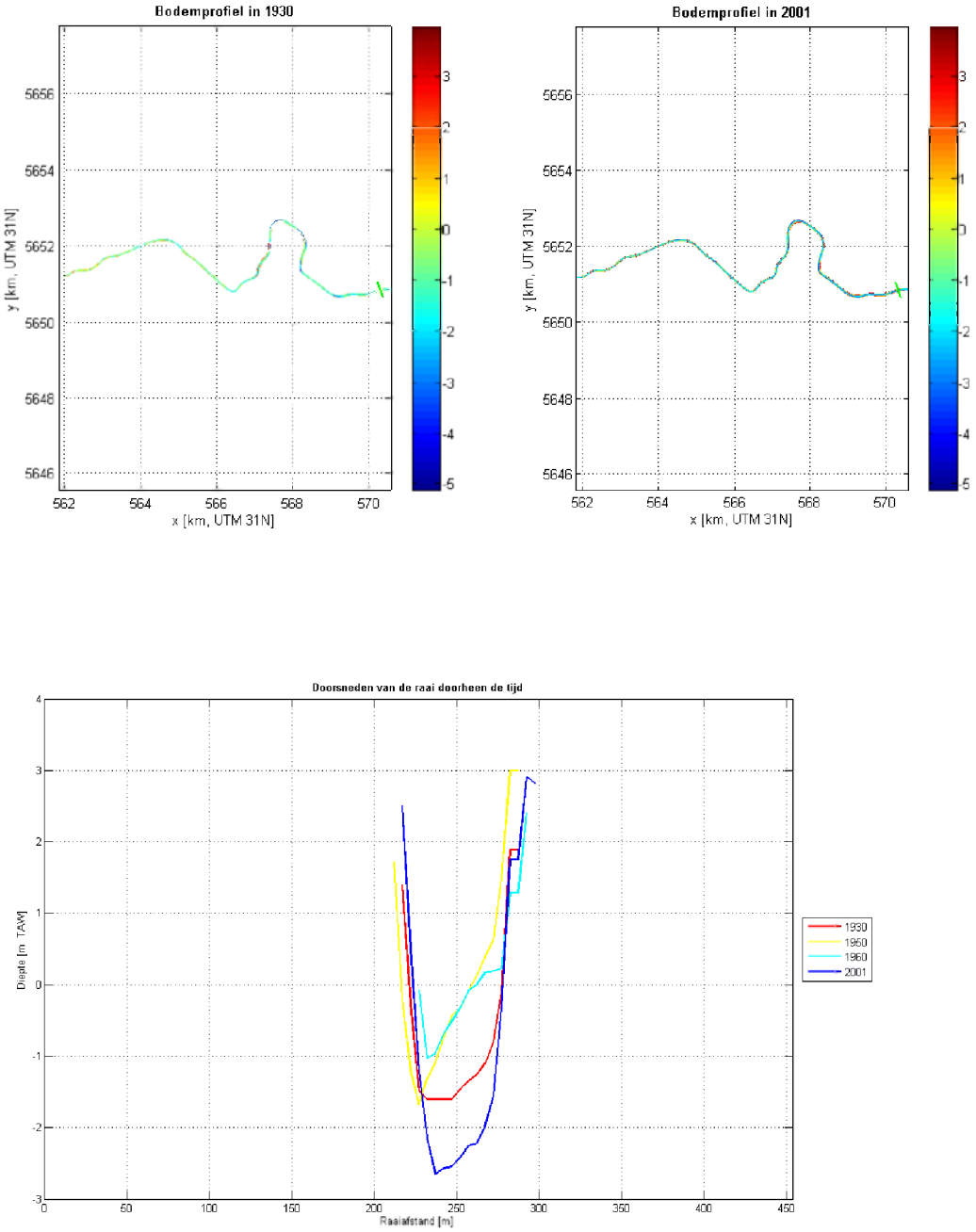
Dwarsdoorsnede raai 8 in segment 5 (Figuur 3-50, Schoonaarde) illustreert dat er opwaarts van de Boven-Zeeschelde nog weinig variatie in breedte mogelijk is. Het profiel van 1960 is het ondiepst. Na 1960 is het profiel lokaal met circa 1,5m verdiept.



Figuur 3-48: Morfologische ontwikkeling in segment 5, variatie in gemiddelde waterdiepte.



Figuur 3-49: Morfologische ontwikkeling in segment 5, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



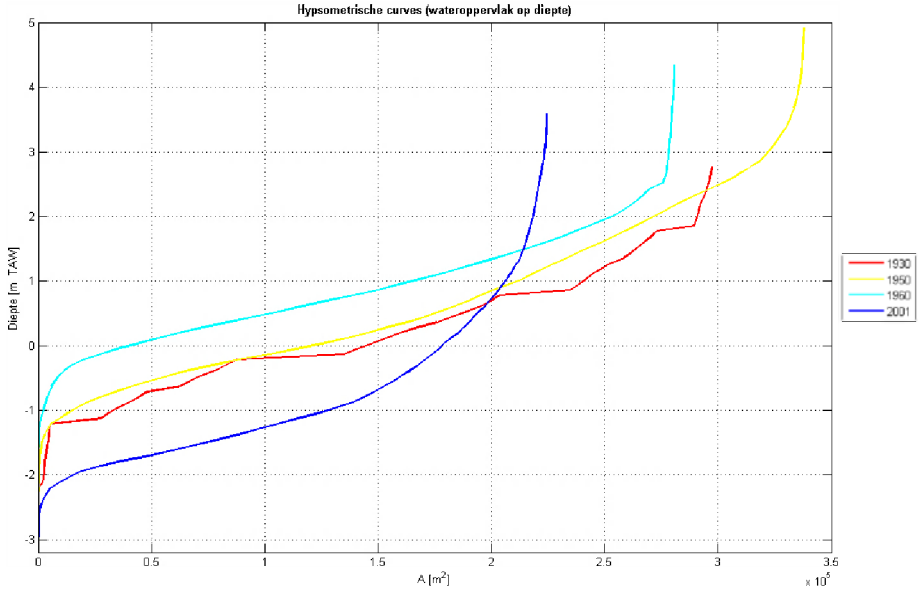
Figuur 3-50: Morfologische ontwikkeling in segment 4 en raai 8. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

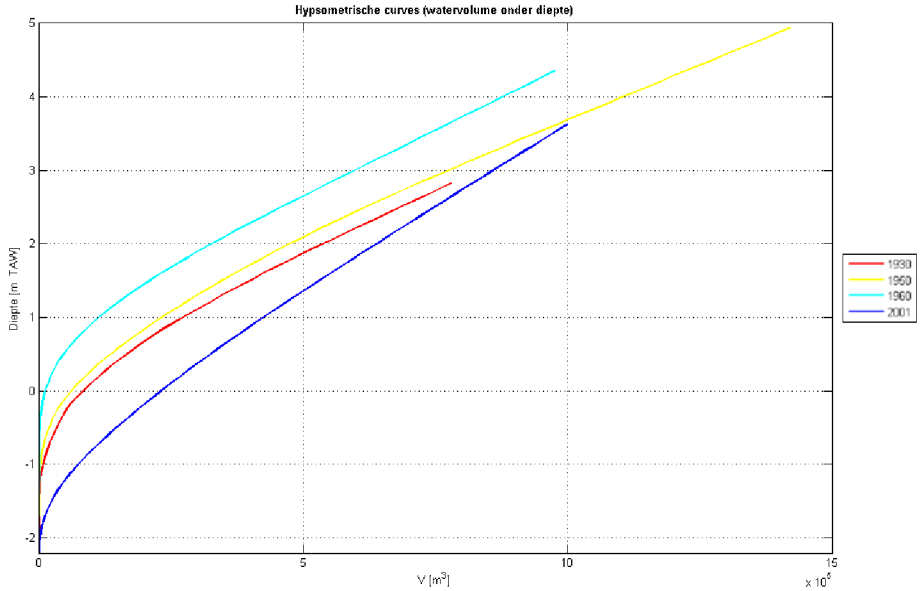
Segment 6 : Wetteren - Melle

Het meest opwaartse segment 6 van de Boven-Zeeschelde is gelegen tussen Wetteren en Melle. Het gedrag is zeer gelijkaardig aan het afwaarts gelegen segment 5. Ook voor dit segment zijn enkel bodemgegevens beschikbaar uit 1930, 1950, 1960 en 2001. En ook in dit segment neemt in de periode tot 1960 de gemiddelde bodemligging met circa 0,8m af (Figuur 3-51). Na 1960 treedt verdieping en verruiming van de diepere delen op. De gemiddelde bodemligging neemt in de periode 1960 - 2001 ruim 1,5m af.

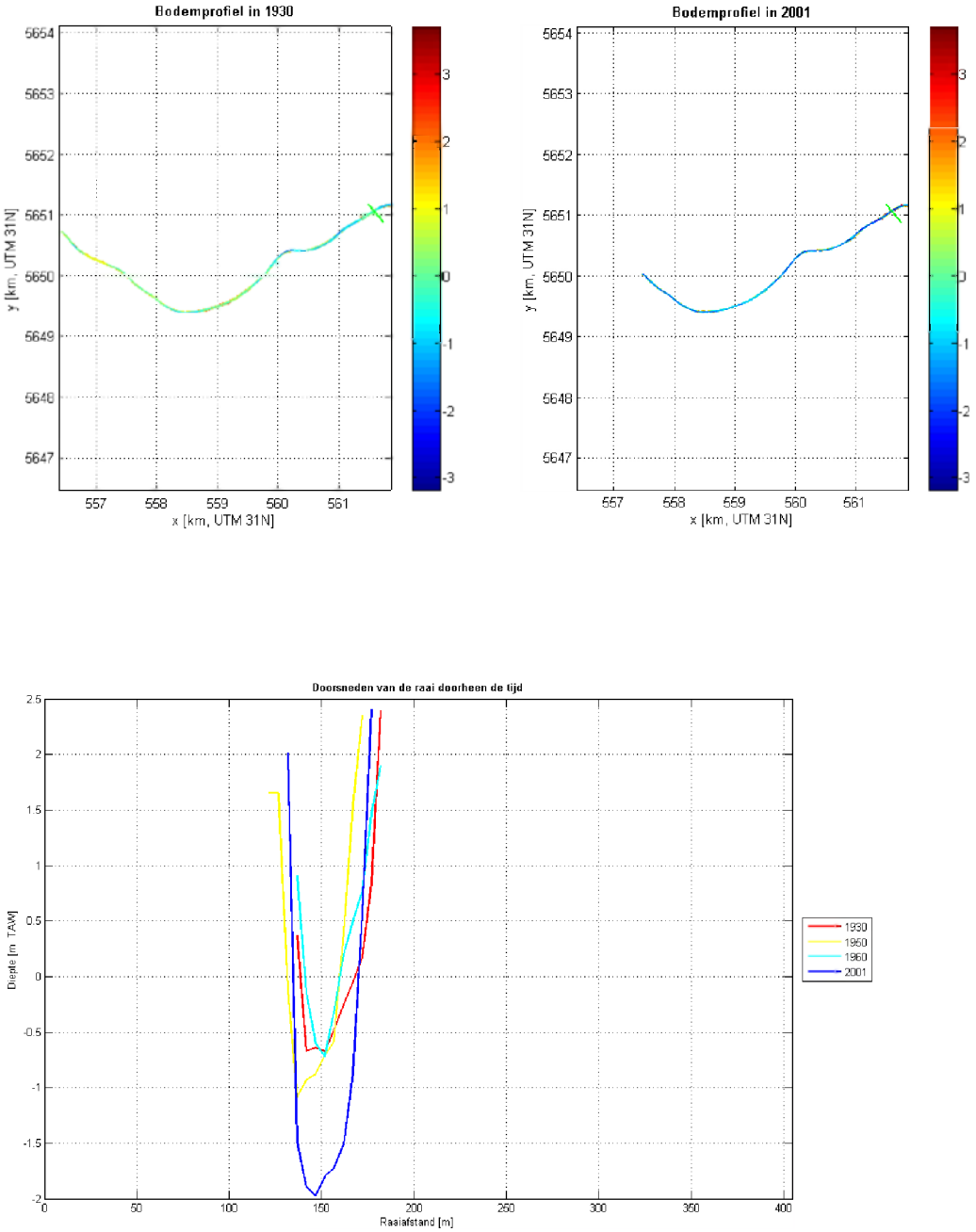
Uit de hypsometrische curves blijkt dat vooral het oppervlak van de contouren op -0m TAW en -1m TAW sterk zijn toegenomen (Figuur 3-52). Ook hier is door de begrenzing van de dijken geen uitbreiding van de rivier mogelijk. De toename duidt hier op een verdieping van de rivier met lokaal circa 1,5m. Dit wordt tevens geïllustreerd in de dwarsdoorsnede van raai 9 in segment 6 (Figuur 3-53, Wetteren). Opvallend in de hypsometrische curve is de afname van het oppervlakte boven 1m TAW. Dit zou duiden op een verdere versmalling van de riviersectie.

Figuur 3-51: Morfologische ontwikkeling in segment 6, variatie in gemiddelde waterdiepte.





Figuur 3-52: Morfologische ontwikkeling in segment 6, hypsometrische curves van areaal (boven) en volume (onder).



Figuur 3-53: Morfologische ontwikkeling in segment 6 en raai 9. Boven: bodemligging met aanduiding raai (links: 1950, rechts: 2009). Onder: variatie in bodemligging over raai (van linker- naar rechteroever).

3.4 SAMENVATTING

De volgende morfologische ontwikkelingen werden geobserveerd:

Beneden-Zeeschelde

- In de afwaartse segmenten van de Beneden-Zeeschelde is tussen 1970 en 2010 sprake van een dominante trend van verdieping. De gemiddelde verdieping van de bodem in deze segmenten bedraagt circa 2,5m tot 5,0m. Lokaal neemt de bodemdiepte met 6m tot 8m toe.
- In de meer opwaartse segmenten, vanaf ongeveer Oosterweel – Antwerpen, is vooral een verdieping tussen 1960 en 1980 opvallend. De gemiddelde verdieping van de bodem in deze segmenten bedraagt circa 1,5m tot 2,0m. Lokaal neemt de bodemdiepte met 3m tot 5m toe. Eveneens voor deze segmenten geldt dat ook na 1980 nog een beperkte daling van de gemiddelde diepte wordt waargenomen.
- Voor de meeste segmenten geldt dat de rivier rond de laagwaterlijn (0m TAW) slechts beperkt in breedte wijzigt. Uitzondering lijkt het gebied tussen Oosterweel, Antwerpen en Hoboken, waar een duidelijke verruiming zich ook doorzet in het intergetijdegebied. Echter, de recentere bodems beslaan over het algemeen een groter gebied dan de oudere bodems en bevatten dus meer ondiep areaal. Hierdoor kunnen over de ontwikkeling van het ondiep areaal geen harde conclusies worden getrokken.
- Door de toegenomen diepte en verbreding van het stroomvoerend oppervlak is, zonder dat in veel gevallen de breedte van de rivier op 0m TAW is gewijzigd, er in de meeste secties sprake van een versteiling van het profiel.
- In het afwaartse gebied tot Liefkenshoek ontstaat er een zeer vlakke bodem. Langs de hele Beneden-Zeeschelde geldt dat de drempels verdwijnen of sterk worden verdiept.
- Er ontstaan nieuw diepe putten in verschillende secties, bijvoorbeeld ter hoogte van de Boudewijn en Van Cauwelaertsluis en ter hoogte van de Kallosluis. De diepe putten ter hoogte van de Royerssluis blijven ongewijzigd diep.

Boven-Zeeschelde

- De volledige Boven-Zeeschelde is tussen 1930 en 1960 verondiept. De gemiddelde toename van de bodemligging bedraagt 0,5m tot 0,8m.
- Tussen 1960 en 2001 (2009) vindt er over de volledige lengte van de Boven-Zeeschelde een verdieping en verruiming plaats. De gemiddelde bodemligging neemt hierbij met circa 1,5m toe. Lokaal verdiept de bodem 2m tot 4m in de afwaartse segmenten en circa 1,5m in de opwaartse segmenten van de Boven-Zeeschelde. Ook na 2001 zet de verruiming zich voort.
- Langs de hele Boven-Zeeschelde geldt dat de drempels verdwijnen of sterk worden verdiept.
- In de meest opwaartse secties van de Boven-Zeeschelde wordt de rivier ingesnoerd door de aanwezige dijken. Hier treedt enkel verdieping van de bodem op, waarbij de geulwanden verder versteilen.

3.5 ANALYSE TEN BEHOEVE VAN ONDERZOEK GETIJDERESPONS BOVEN-ZEESCHELDE

Ten behoeve van de analyse van de getijderepons in de Boven-Zeeschelde in reactie op de waargenomen verdieping van versmalling van het estuarium (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013c) werd een analyse van de bodemgegevens van de Boven-Zeeschelde uitgevoerd. Deze analyse werd uitgevoerd op basis van de bodemgegevens voor 1930, 1960, 2001 en 2009 (bron: afdeling Maritieme Toegang). Bij deze analyse werd dezelfde opdeling van de Boven-Zeeschelde aangehouden als in dit rapport.

De bodemgegevens boven LW-niveau zijn niet meegenomen in de analyse. Dit wijkt af van de analyses zoals hierboven beschreven waar de gemiddelde diepte voor punten werd berekend die in alle bodemgrids aanwezig waren. Voor ieder segment is de gemiddelde diepteligging in mTAW en de gemiddelde waterdiepte ten opzichte van laagwater berekend. De afstand langsheen de thalweg tussen Schelle en Melle bedraagt iets meer dan 60 km en 60 raaien zijn gedefinieerd. Voor deze raaien werd de stroomvoerende breedte bepaald.

Tabel 3-1: Gemiddelde diepteligging per segment in mTAW.

Segment	1930	1960	2001	2009
Schelle – Temse	-3.73	-3.67	-5.21	-5.11
Temse – Sint-Amands	-2.86	-2.72	-3.96	-4.28
Sint-Amands – Dendermonde	-2.43	-2.59	-3.49	-3.88
Dendermonde – Schonnaarde	-1.37	-0.86	-2.10	-2.23
Schoonaarde – Wetteren	-0.68	0.07	-1.26	-1.27
Wetteren – Melle	0.20	0.84	-0.90	-0.63

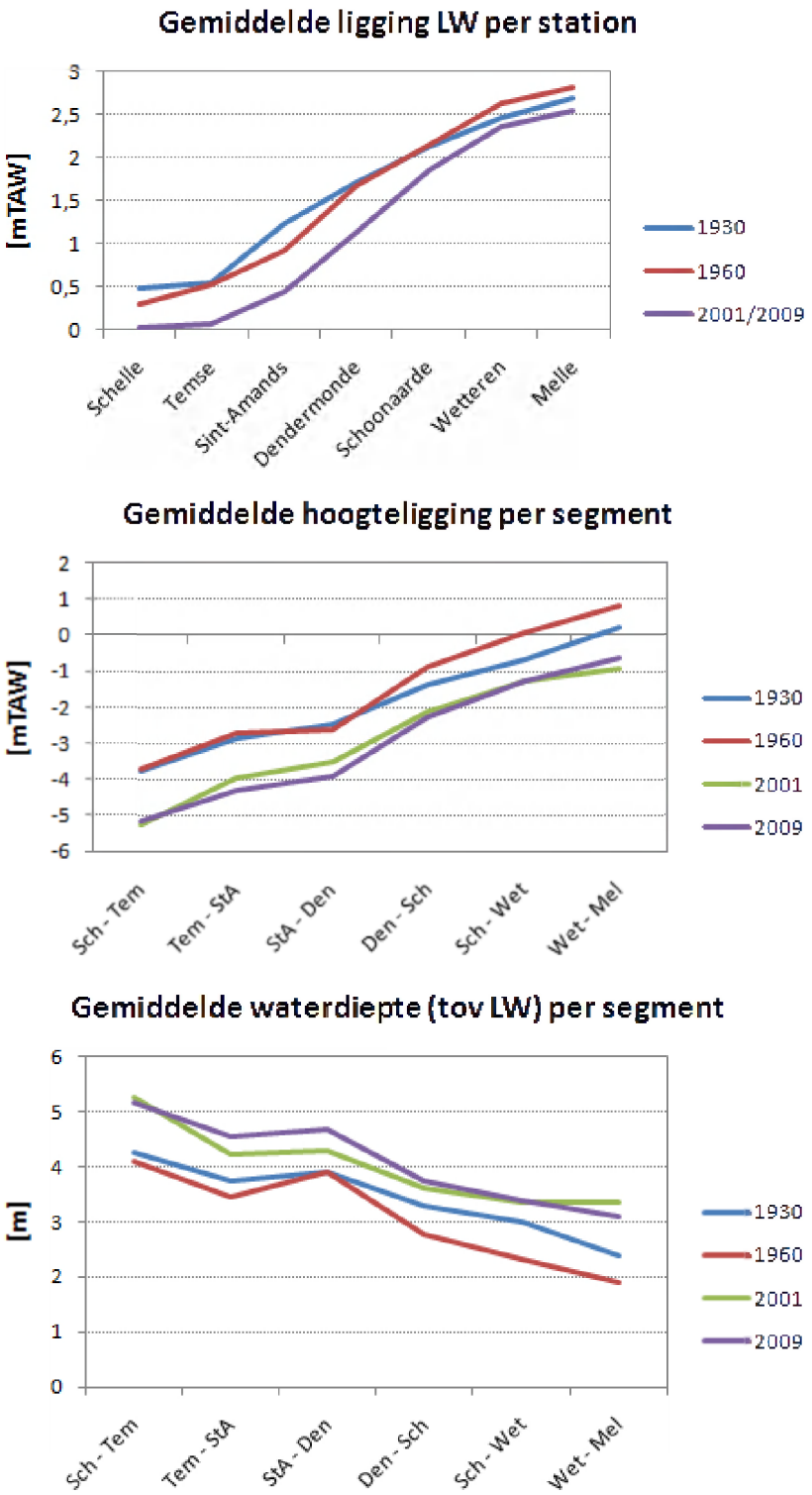
Tabel 3-2: Gemiddelde waterdiepte (waterkolom) in m per segment ten opzichte van LW

Segment	1930	1960	2001	2009
Schelle – Temse	4.25	4.09	5.27	5.17
Temse – Sint-Amands	3.75	3.45	4.22	4.54
Sint-Amands – Dendermonde	3.90	3.89	4.28	4.67
Dendermonde – Schonnaarde	3.29	2.77	3.60	3.73
Schoonaarde – Wetteren	2.98	2.32	3.36	3.37
Wetteren – Melle	2.38	1.89	3.35	3.08

Figuur 3-54 vat de analyse van de bodemgegevens per segment samen. Tussen 1930 en 1960 is de bodemligging gestegen en de waterdiepte ten opzicht van LW afgenomen. In deze periode is geen duidelijke wijziging in LW peil opgetreden.

Tussen 1960 en 2001 is de bodemligging gedaald. Daarnaast is ook het LW peil gedaald. Beide dalingen zijn echter niet evenredig want de gemiddelde waterdiepte ten opzicht van LW

is toegenomen van 1960 naar 2001. De bodem van 2009 vertoont een verdere verdieping tussen Temse en Dendermonde en een lichte stijging tussen Wetteren en Melle.



Figuur 3-54: Analyse van bodemgegevens per segment. Boven: gemiddeld LW voor begrenzende stations. Midden: gemiddelde hoogteligging in mTAW per segment. Onder: gemiddelde waterdiepte (waterkolom) in m ten opzichte van LW per segment.

4. MENSELIJKE INGREPEN

In de Zeeschelde zijn verschillende menselijke ingrepen uitgevoerd die de morfologische ontwikkelingen hebben beïnvloed of nog altijd beïnvloeden. Menselijke ingrepen die zijn uitgevoerd omvatten infrastructuurwerken, bagger- en stortactiviteiten en zandwinning. In de grafiek in Figuur 4-1 staat onder de ontwikkeling van de hoogwaters ook een overzicht van de ingrepen die zijn uitgevoerd in de Beneden-Zeeschelde

Een duidelijk overzicht van de ingrepen in de Boven-Zeeschelde is niet bekend. Een belangrijke ingreep betreft de aanleg van de Ringvaart rond Gent in 1975. Daarnaast werd de schutsluis aan Gentbrugge gesloten in 1975, waarna in 2009 opnieuw een doorstroom vanuit de binnenwateren is gecreëerd via een pompinstallatie. De meeste rechttrekkingen van de Boven-Zeeschelde vonden plaats tussen 1878 en 1903. Door de sigmawerken vinden er nieuwe ingrepen, met name de ontwikkeling van overstromingsgebieden plaats.

4.1 BAGGEREN- EN STORTEN

Een belangrijke bijdrage qua betrokken sedimentvolumes wordt geleverd door de bagger- en stortactiviteiten. Een overzicht wordt gegeven in Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). De belangrijkste aspecten worden hier weergegeven. De gebaggerde en gestorte hoeveelheden zand in de Beneden-Zeeschelde worden gepresenteerd in Figuur 4-2 (uit Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a), op basis van de beschikbare BIS gegevens van aMT). De hoeveelheid slib wordt gepresenteerd in Figuur 4-3 en is uitgedrukt in gereduceerd of equivalent volume (dichtheid van 2 t/m³). Uit beide grafieken blijken dezelfde grootteordes voor te komen. Omwille van het equivalent volume zal in realiteit het volume effectief gebaggerd slib groter zijn.

Voor de Boven-Zeeschelde zijn er geen gegevens over bagger- en stortactiviteiten bekend.

Naast het reguliere onderhoud van de drempels (hoofdzakelijk zand) en de toegangsgeulen (enkel slib) leveren de aanlegbaggerwerken van infrastructuurwerken een belangrijke bijdrage aan de gebaggerde hoeveelheden. Van deze baggeractivtieiten, die tot de categorie ‘Overige’ worden gerekend, kunnen vermeld worden: de Plaat van de Parel (± 1 Mm³ in situ) en de toegangsgeul tot de Zandvliet- en Berendrechtsluis (± 1 Mm³ in situ) ten tijde van de 1^{e} verruiming in 1971, de Liefkenshoektunnel (± 4 Mm³ in situ) in 1989, de Europaterminal (± 1,5 Mm³ in situ) in 1989-1990 en de Noordzeeterminal (± 1 Mm³ in situ) in 1996. Daarnaast is begin jaren ’70 een 1^{e} verdieping uitgevoerd met in 1997-1998 een 2^{e} verruiming. De derde verruiming is tussen 2008-2010 uitgevoerd. De volumes die tijdens de 1^{e} en 2^{e} verruimingen gebaggerd werden, zijn niet exact bekend en zijn daarom niet te onderscheiden van de onderhoudsbaggerwerken.

4.2 ZANDEXTRACTIE

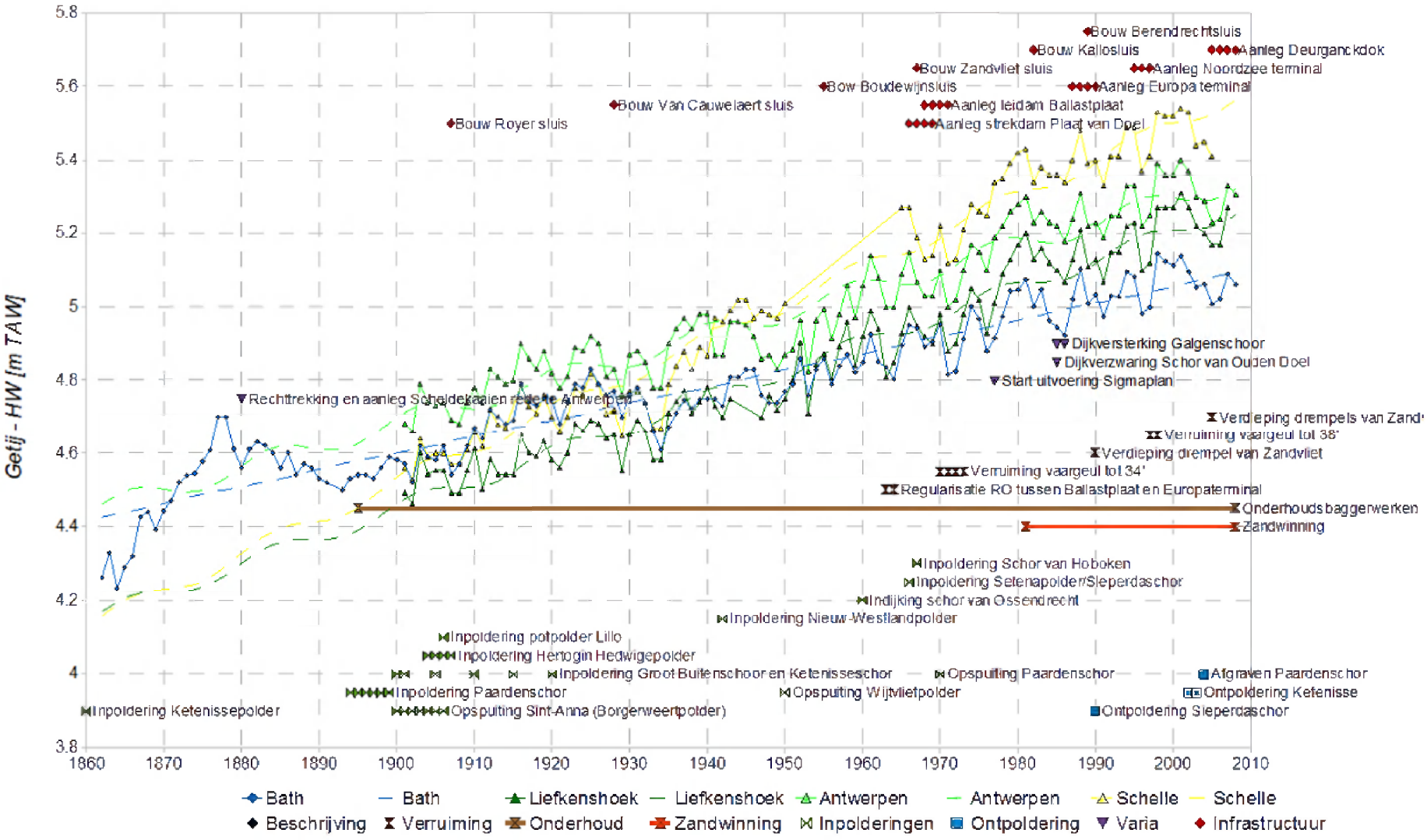
Tijdens de werken in de Beneden-Zeeschelde is een deel van het zand aan land gebracht. Figuur 4-4 geeft een overzicht van de grootteordes. In de jaren ’60 werd gemiddeld circa 2,5 Mm³/jaar aan land gebracht. In het begin van het daarop volgende decennium liep dit verder op tot een maximum van 9 Mm³ in 1971. Vanaf 1975 bedraagt de zandextractie

gemiddeld circa 1 Mm³/jaar. Eind jaren ’80 is er opnieuw een piek van circa 6 Mm³ in 1989. Vanaf 1991 bedraagt de zandextractie gemiddeld circa 0,5 Mm³/jaar. In de periode 1950 tot 2011 werd circa 95 Mm³ zand (in beun) uit de Beneden-Zeeschelde onttrokken.

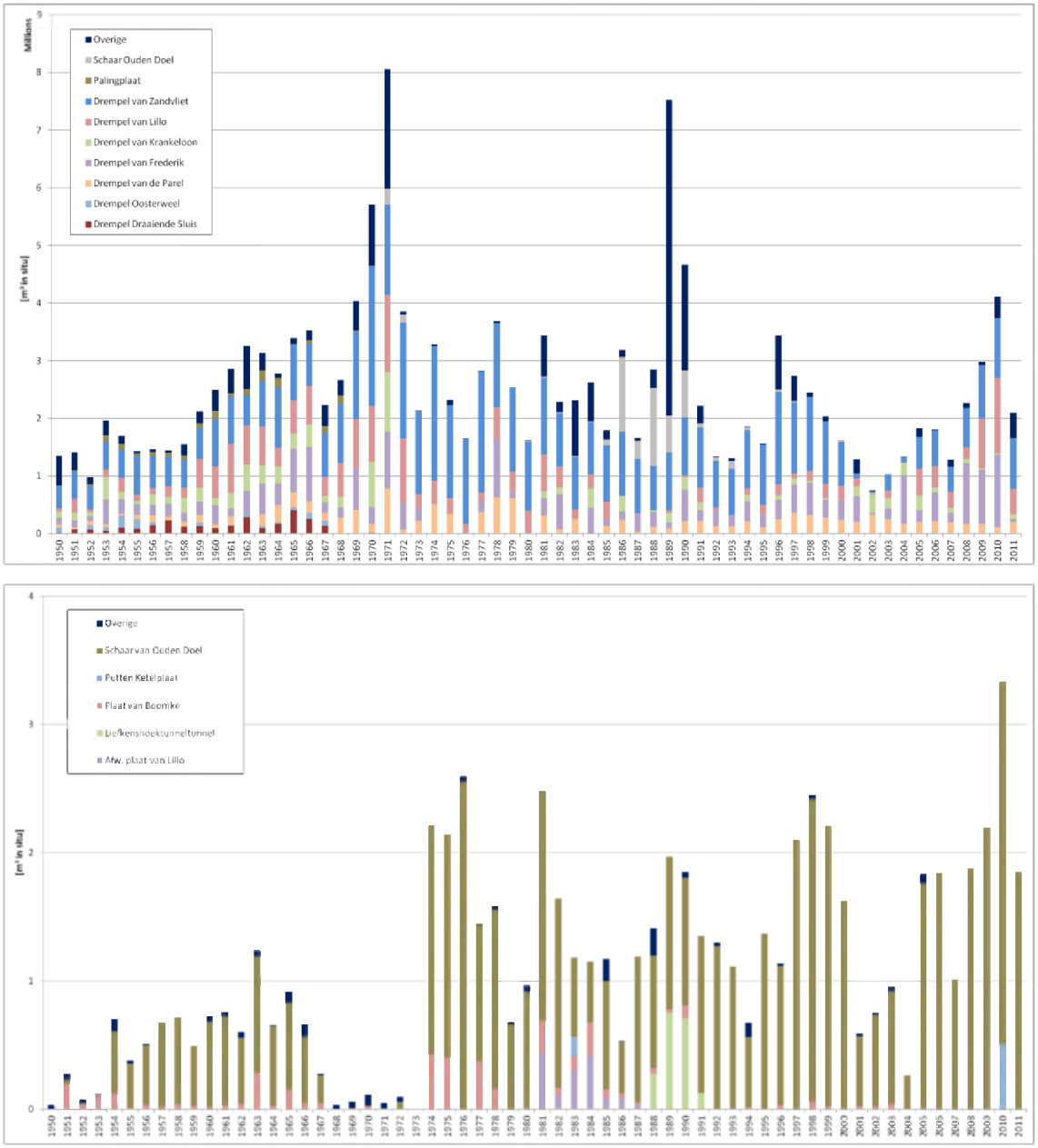
In de Boven-Zeeschelde is enkel de zandextractie ten bate van de dijkconstructie aan de Hedwige-Prosperpolder bekend. In 2008 werd er ongeveer 60.000 m³ gebaggerd, in 2009 werd dit 550.000 m³. De specie is afkomstig van de Plaat te Sint-Amands, de Plaat Kont West, de Plaat Kont Oost, de Durme, de Plaat Onbekende en de Plaat Buitenland.

4.3 COMMERCIËLE ZANDWINNING

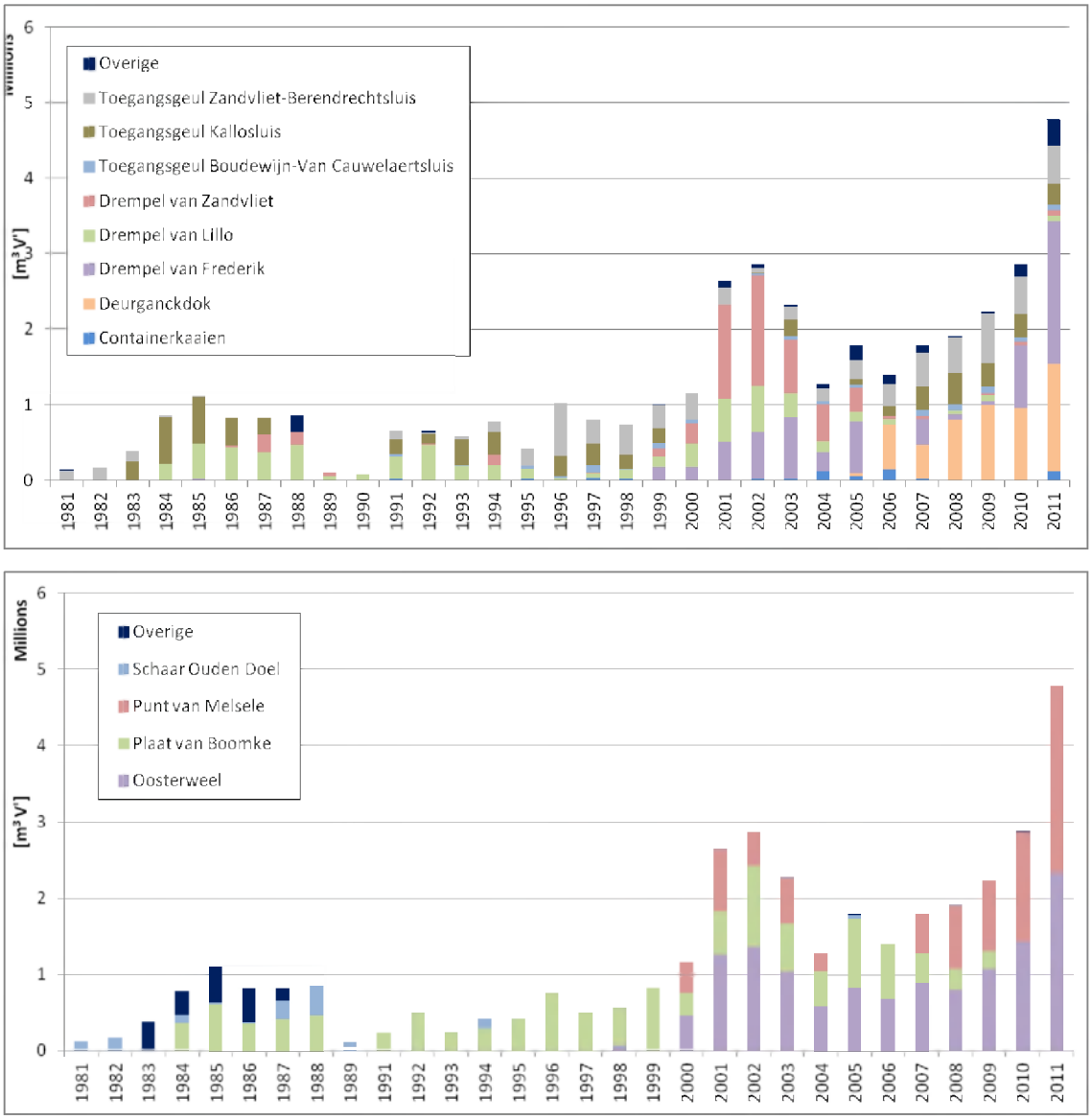
Naast de baggeractiviteiten wordt ook zand onttrokken via commerciële zandwinning. In de Beneden-Zeeschelde gebeurt dit sinds 1990 met een gemiddelde van ongeveer 1,5 Mm³ in beun per jaar Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). De evolutie in zandwinning is gepresenteerd in Figuur 4-5.



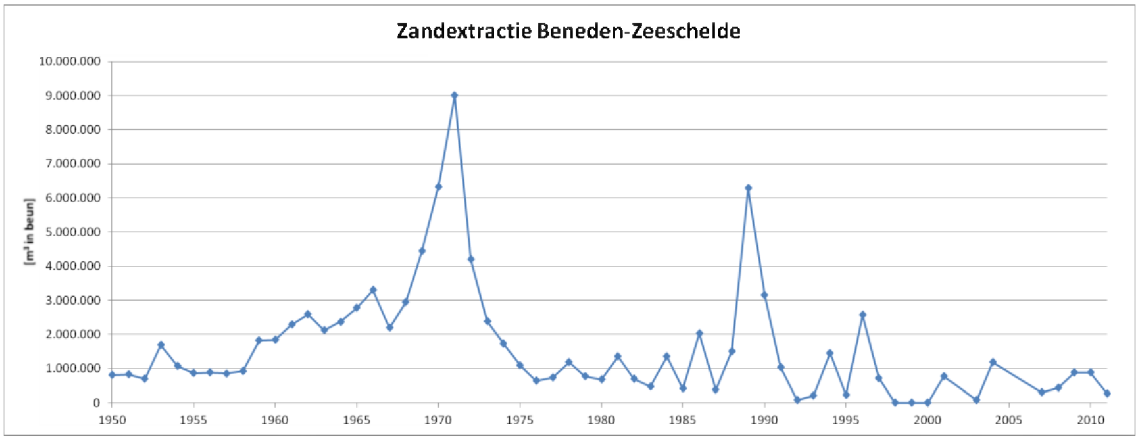
Figuur 4-1: Overzicht van de ingrepen in de Beneden-Zeeschelde (Plancke et al, 2012).



Figuur 4-2: Gebaggerde (boven) en gestorte (onder) hoeveelheden zand (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013a)



Figuur 4-3: Gebaggerde (boven) en gestorte (onder) hoeveelheden slib (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013a)



Figuur 4-4: Totale volume zand dat uit het systeem van de Beneden-Zeeschelde gehaald werd [m³ in beun].

Figuur 4-5: Zandwinning (volume m³ in beun) in de Westerschelde en Zeeschelde.

5. SEDIMENTVOLUMES

5.1 BODEMLIGGING

Op basis van de beschikbare gegevens kan de verandering van het sedimentvolume op verschillende manieren worden geanalyseerd. De volumeveranderingen kunnen worden bekomen aan de hand van het verschil in watervolumes onder een bepaald niveau, of het verschil in sedimentvolume boven een bepaald niveau. De beschikbare bodems zijn vaak maar beschikbaar tot het laagwaterpeil. Er is daarom gekozen de watervolumes beneden 0m TAW te vergelijken. Dit impliceert dat de veranderingen in het intergetijdegebied niet in de analyse zitten vervat.

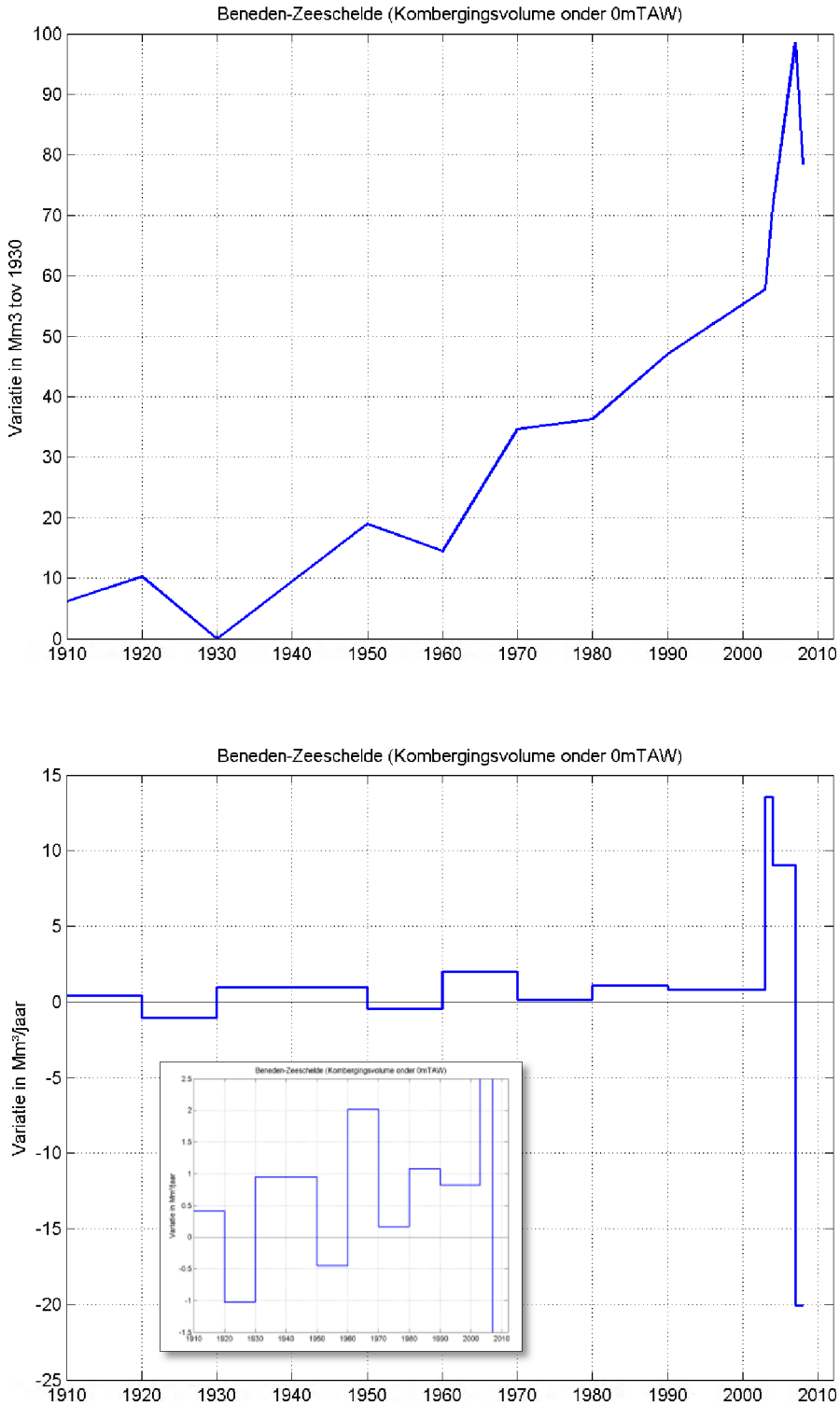
In Figuur 5-1 en Figuur 5-2 worden de volumeveranderingen in de Beneden- en Boven-Zeeschelde gepresenteerd. De volumeveranderingen werden afgeleid op basis van het waterbergend volume onder 0mTAW opgelijst voor de T2009 rapportage Schelde-estuarium (Consortium AIUNI, 2012). Een positief verschil in het bergend volume betekent een afname van de hoeveelheid sediment in een bepaalde sectie. Het volumeverschil ten opzichte van 1930 is weergegeven.

Voor de Beneden-Zeeschelde geldt de trend dat de hoeveelheid sediment ten opzichte van 1930 is afgenomen. De afname is echter niet continu en er zijn jaren waarbij de hoeveelheid sediment in de Beneden-Zeeschelde is toegenomen. De jaarlijkse volumeverandering varieert tussen een toename van sediment van 1 Mm^3/jaar en een daling van de hoeveelheid sediment van 2 Mm^3/jaar. Echter, omdat er slechts één bodem per decennium beschikbaar is, kan dit beeld sterk beïnvloed zijn door een momentane fluctuatie in de bodemligging en moet niet te veel waarde gehecht worden aan veranderingen van jaar tot jaar. Over de gehele periode 1930 – 2003 geldt een gemiddelde sedimentafname van circa 0,8 Mm^3/jaar. Tussen 1960 en 1980 wordt een gemiddelde sedimentafname van 1,05 Mm^3/jaar berekend. Na 2000 treedt er een opvallende afname van het sedimentvolume (toename bergend volume) op waarbij de jaarlijkse verschillen in bergend volume sterk variëren. Gemiddeld wordt over de periode 2003 – 2008 een sedimentafname van 4,2 Mm^3/jaar berekend.

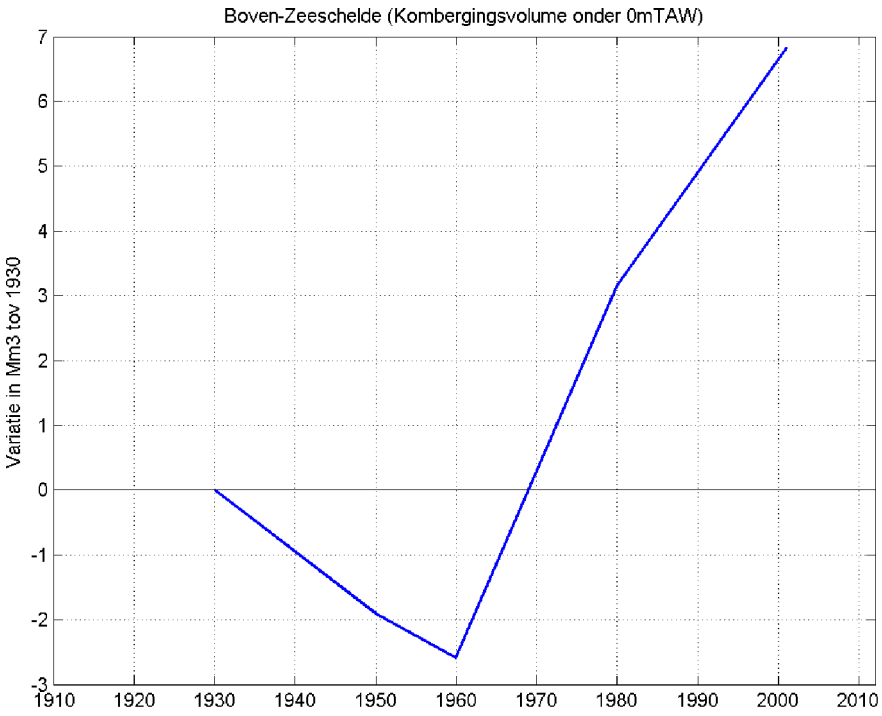
In de Boven-Zeeschelde geldt dat de hoeveelheid sediment is toegenomen van 1930 tot 1960 (gemiddeld circa 0,085 Mm^3/jaar). Na 1960 is het bergend volume onder 0mTAW toegenomen en de hoeveelheid sediment afgenomen (over de periode 1960 – 2001 met gemiddeld 0,230 Mm^3/jaar).

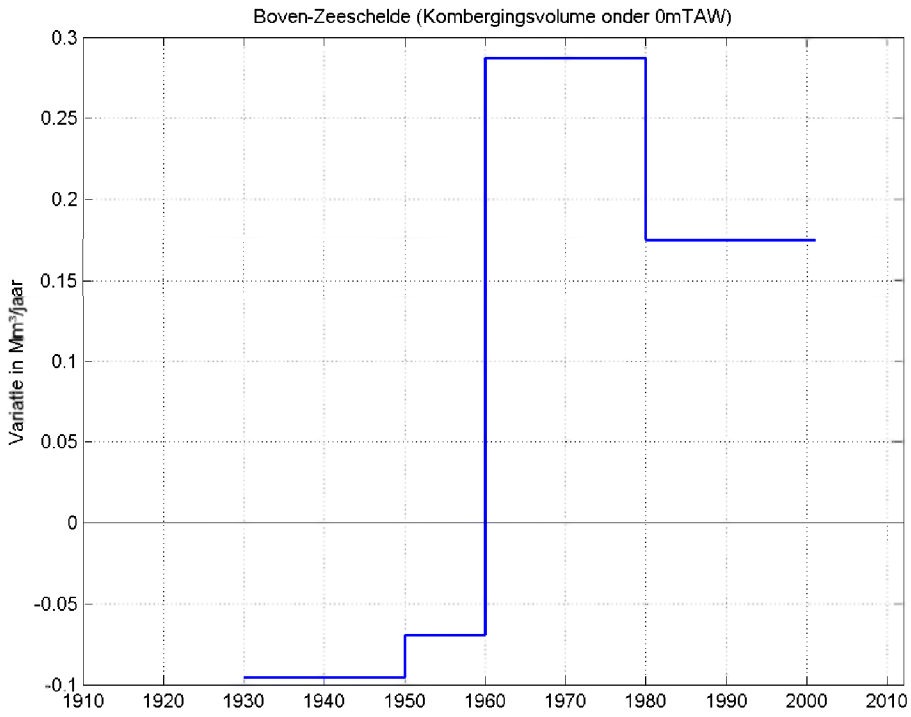
Volledigheidshalve zijn ook de getijgebonden zijrivieren, namelijk de Durme en de Rupel, beschouwd. Het aantal beschikbare bodems is echter zeer beperkt. Figuur 5-3 geeft aan dat ook de Rupel verruimt (afname in de periode 1960 – 2000 van 0.035 Mm^3/jaar) en dat in de Durme sediment accumuleert (toename in de periode 1950 – 1997 van circa 0.01 Mm^3/jaar).

In tweede instantie zijn de bodemveranderingen geanalyseerd wat toelaat om zowel het toe- als afgenomen volume te beschrijven (zie Tabel 5-1). Aangezien alle beschikbare data werd meegenomen, vallen de cijfers hoger uit dan de resultaten die op basis van het bergend volume onder 0m TAW werden bekomen (zie ook Bijlage B.1). Aangezien de verwachting is dat er eerder verlies van intergetijdegebied is dan aangroei, moet bij de getallen op basis van het bergend volume onder 0m TAW rekening worden gehouden met een onderschatting.

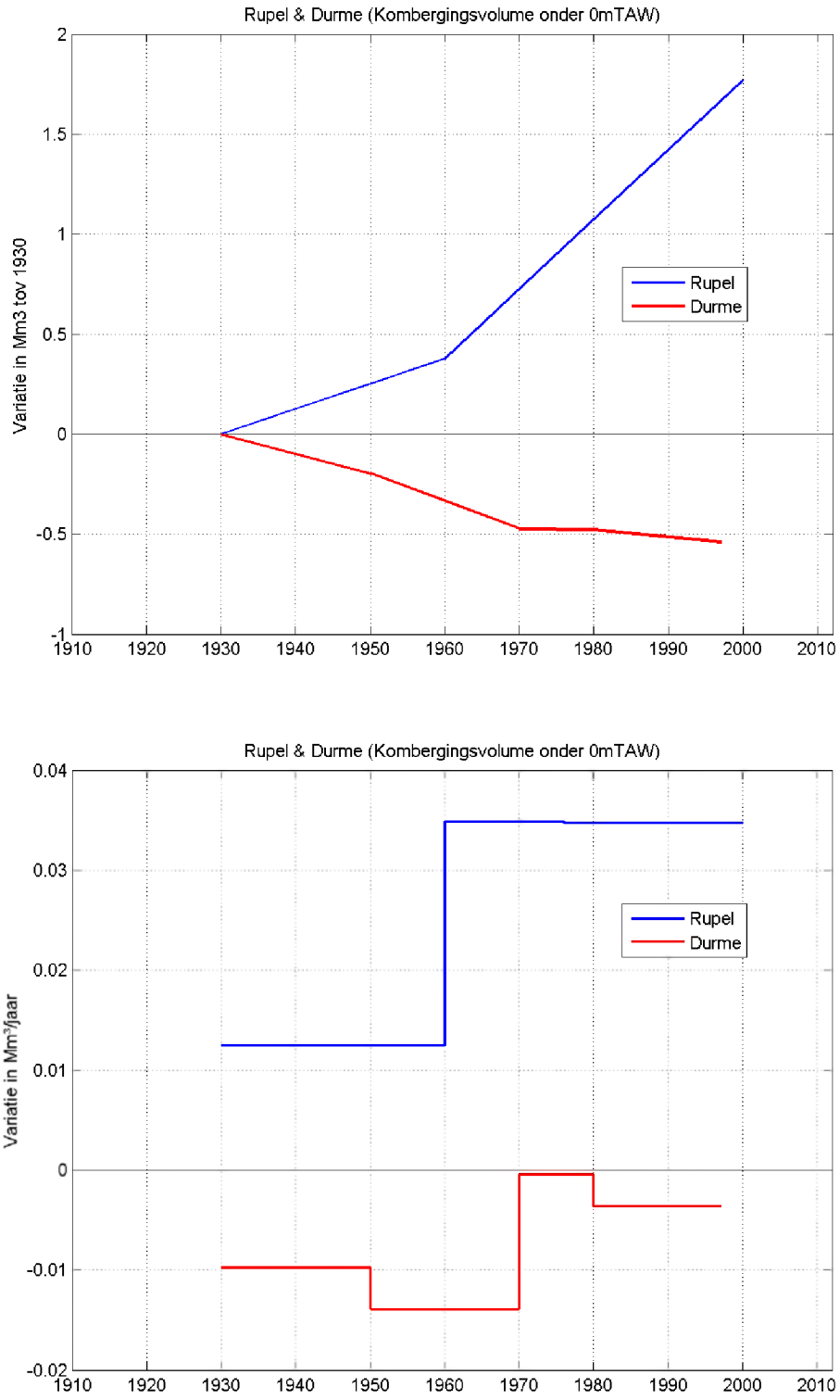


Figuur 5-1: Ontwikkeling water bergend volume onder 0mTAW in de Beneden-Zeeschelde. Boven: variatie volume in Mm³ tov 1930 (pos: toename bergend volume, i.e. afname sediment tov 1930). Onder: jaarlijkse variatie water bergend volume in Mm³.





Figuur 5-2: Ontwikkeling water bergend volume onder 0mTAW in de Boven-Zeeschelde. Boven: variatie volume in Mm³ tov 1930 (pos: toename bergend volume, i.e. afname sediment tov 1930). Onder: jaarlijkse variatie water bergend volume in Mm³.



Figuur 5-3: Ontwikkeling water bergend volume onder 0mTAW in de Rupel & Durme. Boven: variatie volume in Mm³ tov 1930 (pos: toename bergend volume, i.e. afname sediment tov 1930). Onder: jaarlijkse variatie water bergend volume in Mm³.

Tabel 5-1: Volumeverschillen in Beneden- en Boven-Zeeschelde op basis van verschilbodems.

Jaar	1960 - 1980	1980 – 2001/2002	2001/2002 – 2009
Beneden-Zeeschelde			
Toename volume [m³]	+8.91 Mm³	+8.70 Mm³	+6.48 Mm³
Afname volume [m³]	-38.45 Mm³	-28.36 Mm³	-17.40 Mm³
Netto volumeverschil [m³]	-29.55 Mm³	-19.66 Mm³	-10.92 Mm³
Jaarlijkse variatie [m³/jaar]	-1.48 Mm³/jaar	-0.98 Mm³/jaar	-1.56 Mm³/jaar
Boven-Zeeschelde			
Toename volume [m³]	+ 2.01 Mm³	+1.99 Mm³	1.38 Mm³
Afname volume [m³]	-7.44 Mm³	-5.82 Mm³	-3.31 Mm³
Netto volumeverschil [m³]	-5.44 Mm³	-3.83 Mm³	-1.93 Mm³
Jaarlijkse variatie [m³/jaar]	-0.27 Mm³/jaar	-0.20 Mm³/jaar	-0.24 Mm³/jaar

5.2 ZANDBALANS

Een degelijke sedimentbalans is nodig om een compleet beeld te krijgen van de herkomst van zand en slib in relatie tot de waargenomen bodemontwikkelingen in de Boven- en Beneden-Zeeschelde, om een conceptueel model te ontwikkelen over de effecten van getijslagtoename en zandwinning, en om een schatting te maken van het sedimenttransport over de Belgisch-Nederlandse grens.

In 2006 werd door Haecon een zandbalans van de Westerschelde en Beneden-Zeeschelde opgesteld (Haecon, 2006). Op basis van de bevindingen uit het voorliggend onderzoek worden ten aanzien van de door Haecon opgestelde zandbalans een aantal opmerkingen en aanbevelingen geformuleerd.

5.2.1 Vergelijking met Haecon 2006

De zandbalans zoals opgesteld door Haecon (2006) beschouwt de waargenomen bodemveranderingen over de periode 1930 – 2003. Door deze te corrigeren voor het verschil tussen gebaggerde hoeveelheden en gestorte hoeveelheden worden de zogenaamde ‘natuurlijke’ bodemveranderingen bekomen. Vervolgens wordt geconcludeerd dat het tekort

aan sediment afkomstig wordt voorzien uit de Westerschelde en dus in opwaartse richting over de Belgisch-Nederlandse grens werd getransporteerd.

5.2.1.1 Sedimentsamenstelling

Een belangrijke eerste opmerking betreft de aanwezigheid van slib in bodem en waterkolom. In de Haecon balans werd enkel de zandige fractie beschouwd. In Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013b) werd aangetoond dat in de bepaling van de veranderingen in de sedimentvolumes de bijdrage van slib niet mag worden verwaarloosd.

Het sediment dat uit de waargenomen verdieping beschikbaar zal naar verwachting hoofdzakelijk uit zand bestaan, maar zal ook een zeker volume slib bevatten. Bovendien is er ook slib uit onderhoudsbaggerwerken aan land gebracht (ref achtergrondsdocument Baggeren en Storten). Verder kunnen er verschuivingen zijn opgetreden, bijvoorbeeld doordat de sedimentsamenstelling in gebieden waar sedimentatie optreedt slibrijker blijkt te zijn dan in eroderende gebieden.

Er wordt daarom aanbevolen in een volgend onderzoek een uitgebreidere analyse uit te voeren waarin tevens het slibgehalte en de slibextractie wordt betrokken. Het is daarbij vooral de vraag hoe groot het percentage slib is in de zandwinningen en onttrekkingen.

5.2.1.2 Bodemverandering Boven-Zeeschelde

Voor de Boven-Zeeschelde wordt door Haecon aangenomen dat er geen transport van zand richting de Beneden-Zeeschelde is. Haecon onderbouwt deze aanname door te wijzen op de beperkte bodemveranderingen in het opwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde in de periode 1980 – 2003. Dit lijkt om twee redenen onnauwkeurig. Ten eerste, wanneer de Boven-Zeeschelde wordt beschouwd, moet worden geconstateerd dat in de periode 1960 – 2003 daar een geleidelijke daling van de gemiddelde bodemligging met circa 1,5m heeft plaatsgevonden (of met bijna 2m in de periode tot 2009, Figuur 3-30). Op basis van de geanalyseerde bodemdata in dit rapport is het aannemelijk dat deze trend zich nog steeds doorzet. Daarnaast heeft in het opwaartse deel van de Beneden-Zeeschelde ook in de periode 1960 – 1980 een significant afname van de gemiddelde bodemligging plaatsgevonden (zie ook bijvoorbeeld Figuur 3-24). Deze voorafgaande periode wordt door Haecon ook in de zandbalans betrokken.

Er zijn geen officiële gegevens gekend over de mate waarin zand aan de Boven-Zeeschelde onttrokken is geweest voor constructiedoeleinden of anderszins. We nemen daarom aan dat het vrijgekomen sediment op natuurlijke wijze is herverdeeld binnen het Schelde-estuarium. Uit paragraaf 5.1 en Figuur 5-3 blijkt dat de Rupel verdiept en dat de Durme verondiept. De volumes die hierbij gemoeid zijn, zijn echter relatief beperkt. Op basis van de bodemevolutie kan daarom geconcludeerd worden dat in de periode 1960 – 2000 circa 0,250 Mm^3/jaar sediment in afwaartse richting, naar de Beneden-Zeeschelde is getransporteerd. De samenstelling van het sediment (slib en zand) is in dit onderzoek niet bepaald.

5.2.1.3 Menselijke ingrepen

In Haecon (2006) worden bagger- en stortgegevens en zandwinningsdata gebruikt om de grootte van de menselijke ingrepen te kwantificeren. In het Achtergrondsdocument Baggeren & Storten (Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis, 2013a) worden de in het kader van deze studie opgeschoonde data (ontvangen van aMT) gepresenteerd. Er blijken beperkte verschillen te bestaan tussen de gegevens die in beide studies gepresenteerd worden.

In Haecon 2006 wordt het volume van de menselijke ingrepen in de Beneden-Zeeschelde ingeschat op 108 Mm3 in-situ kuub voor de periode 1930 – 2002. Voor de periode 1955 – 2002 bedraagt dit 88 Mm3 in situ of circa 97 Mm3 in beun (circa 27% hiervan is zandwinning). De data zoals gepresenteerd in Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a) vallen iets hoger uit (circa 5 tot 7%). In de periode 1955 – 2002 bedraagt het in-situ volume volgens de meest recente gegevens circa 93 Mm^3. Ondanks de verschillen komt de gemiddelde onttrekking, inclusief de momentane piek begin jaren '70, in beide gevallen neer op afgerond 2,0 Mm^3/jaar (in-situ).

Binnen de beschouwde periode zijn er drie periodes te onderscheiden, begrenst door twee opvallende pieken in 1971 (circa 8,0 Mm^3) en in 1989 (circa 5,6 Mm^3). In de periode tot (1955 – 1970 bedroeg het gemiddeld volume circa 2,2 Mm^3/jaar (of 2,5 Mm^3/jaar inclusief 1970), in de periode 1972 – 1988 circa 1,0 Mm^3/jaar en vanaf 1990 nam het volume, vooral door de toegestane commerciële zandwinning opnieuw toe tot circa 1,8 Mm^3/jaar (in situ). Vanaf 1997 bedraagt het jaarlijks volume zandwinning plus zandextractie gemiddeld circa 1,5 Mm^3 (in situ). Compleetheidshalve worden ook de gemiddelde waarden gegeven voor de eerder beschouwde tijdvakken: in de periode 1960 – 1980 bedraagt het gemiddelde 2,5 Mm^3/jaar, in de periode 1980 – 2002 circa 1,8 Mm^3/jaar, sinds 2002 circa 1,3 Mm^3/jaar.

5.2.1.4 Bodemveranderingen

Uit de bodemveranderingen die volgen uit de verschillende beschikbare lodingen wordt een sedimentvolume bepaald. Deze veranderingen zijn de som van 'natuurlijke' veranderingen en menselijke ingrepen en vormen zo de basis van de sedimentbalans. Zoals hierboven reeds aangegeven dient hierbij in een toekomstig onderzoek ook het slibgehalte in rekening te worden gebracht.

In de Zeeschelde zijn de lodingen tot 2002 hooguit eens per 10 jaar beschikbaar. In veel gevallen is de loding enkel beschikbaar in de hoofdgeul en is de zone tot aan de dijken (intergetijdegebied of slikken en schorren) slechts deels gekend. Uit de verschilbodems in Bijlage B blijkt dat hierdoor zowel gebieden met sedimentatie als met erosie buitenbeschouwing worden gelaten. Doordat er maar weinig lodingen beschikbaar zijn, zal er een aanzienlijke spreiding rond de waargenomen trend zitten. Hierdoor zijn de verschillen binnen de beschouwde periode onzeker.

De volumeveranderingen die worden berekend hangen sterk samen met de toegepaste methodiek. In Haecon 2006 wordt een *clipping* techniek toegepast van de beschikbare bodems, waarbij enkel de waardes beneden 5,8m TAW worden beschouwd. Ook al wordt zoveel mogelijk van het intergetijdegebied in de methode in rekening gebracht, is deze methode ruimtelijk gezien onnauwkeurig voor het bepalen van de evolutie van het systeem in relatie tot bijvoorbeeld die getijamplificatie. Voor de periode 1960 – 2002 wordt een volumeverandering van 0,82 Mm^3/jaar berekend, voor 1960 – 1980 is de waarde iets hoger circa 1,0 Mm^3/jaar, in de daarop volgende periode iets lager 0,7 Mm^3/jaar.

In dit rapport (paragraaf 5.1) zijn volumes gepresenteerd die gebruikt zijn om de veranderingen in de ligging van de hoofdgeul te analyseren. De veranderingen in intergetijdegebieden zijn hierbij buiten beschouwing gelaten door enkel de volumes beneden 0m TAW te bepalen (zie Figuur 5-1 en Bijlage A). De berekende volumeveranderingen bedragen zowel voor de periode 1960 -1980 als voor de periode 1980 – 2002 circa 1,0 Mm^3/jaar.

Ook is gebruikmakend van *clipping* de volumeverandering uit alle beschikbare bodemdata bepaald (Tabel 5-1). Door verschillen in de toegepaste *clipping* en interpolatie methodes vallen de aldus bepaalde volumeveranderingen hoger uit dan de door Haecon gerapporteerde getallen. Voor de periode 1960 – 1980 is de afname van het sedimentvolume circa 1,5 Mm^3/jaar, voor de periode 1980 – 2002 circa 0,9 Mm^3/jaar, gemiddeld genomen 1,15 Mm^3/jaar. Er wordt aanbevolen om door middel van extrapolatie (temporeel en ruimtelijk) de bodemdata aan te vullen ten behoeve van het opstellen van een correcte volumebalans.

5.2.2 Conclusies

Op basis van bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De zandbalans volgens Haecon geeft geen compleet beeld aangezien enkel zand wordt beschouwd.
- Bodemveranderingen in de Boven-Zeeschelde leveren een significante input richting de Beneden-Zeeschelde en dienen dus in de balans mee genomen te worden. Een gemiddelde waarde van dit transport is 0,250 Mm^3/jaar.
- Menselijke ingrepen, in de vorm van zandwinning en zandextractie, hebben de afgelopen decennia op jaarbasis circa 2,0 Mm^3/jaar aan het systeem onttrokken.
- Bodemveranderingen in de Beneden-Zeeschelde zijn moeilijk te bepalen omdat veel gegevens over de oevers en de intergetijdegebieden ontbreken. Cijfers voor de veranderingen variëren tussen 0,8 Mm^3/jaar (Haecon) en 1,15 Mm^3/jaar (deze studie)
- Bodemveranderingen in de Beneden-Zeeschelde zijn zowel natuurlijk als antropogeen. De balans kan enkel sluitend gemaakt worden wanneer een zekere import vanuit Nederland wordt aangenomen. Op basis van bovenstaande getallen (enkel zand) kan de import over de grens variëren tussen 0,6 tot 1,0 Mm^3/jaar.
- Uit de bovenstaande analyses blijkt dat de waarde van het opwaarts transport over de Belgisch-Nederlandse grens naar verwachting lager ingeschat dient te worden (in Haecon werd 1.0 Mm^3/jaar geconcludeerd) als gevolg van het nieuwe inzicht met betrekking tot de toevoer van sediment uit de Boven-Zeeschelde.
- Een nauwkeuriger bepaling van het sedimentvolume dat uit de bodemveranderingen is vrijgekomen is nodig om de inschatting van het transport over de grens te kunnen verbeteren. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen zand en slib.

6. REFERENTIES

Consortium AIUNI (2012). 2e Tussenrapport - T2009 rapportage Schelde estuarium. Consortium ARCADIS, IMDC, UA, NIOZ & IMARES.

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013a). Achtergrondsdocument Baggeren en Storten, Analyse van sedimenteigenschappen, baggerstatistiek, stortintensiteitskaarten en zandwinning in de Wester- en Beneden-Zeeschelde. IMDC rapport: I/RA/11387/12.333/JSN

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013b). Grootschalige sedimentbalans van de Westerschelde. (I/RA/11387/13.080/GVH).

Consortium Deltares-IMDC-Svasek-Arcadis (2013c). Response of tidal rivers to deepening and narrowing. I/RA/11387/12.292/GVH.

Plancke, Y., Maximova, T., Ides, S., Peeters, P., Taverniers, E. & Mostaert, F. (2012). Werkgroep O&M – Projectgroep Veiligheid: Sub project 1: Data analysis and hypothesis – Lower Sea Scheldt. Version 4.0. WL Rapporten, 756/05. Flanders Hydraulics Research: Antwerp, Belgium

Haecon, 2006. Actualisatie van de zandbalans van de Zee- en Westerschelde

Bijlage A Volumeveranderingen Beneden-Zeeschelde, Boven-Zeeschelde, Durme & Rupel

A.1 Verandering in kombergingsvolume onder 0mTAW

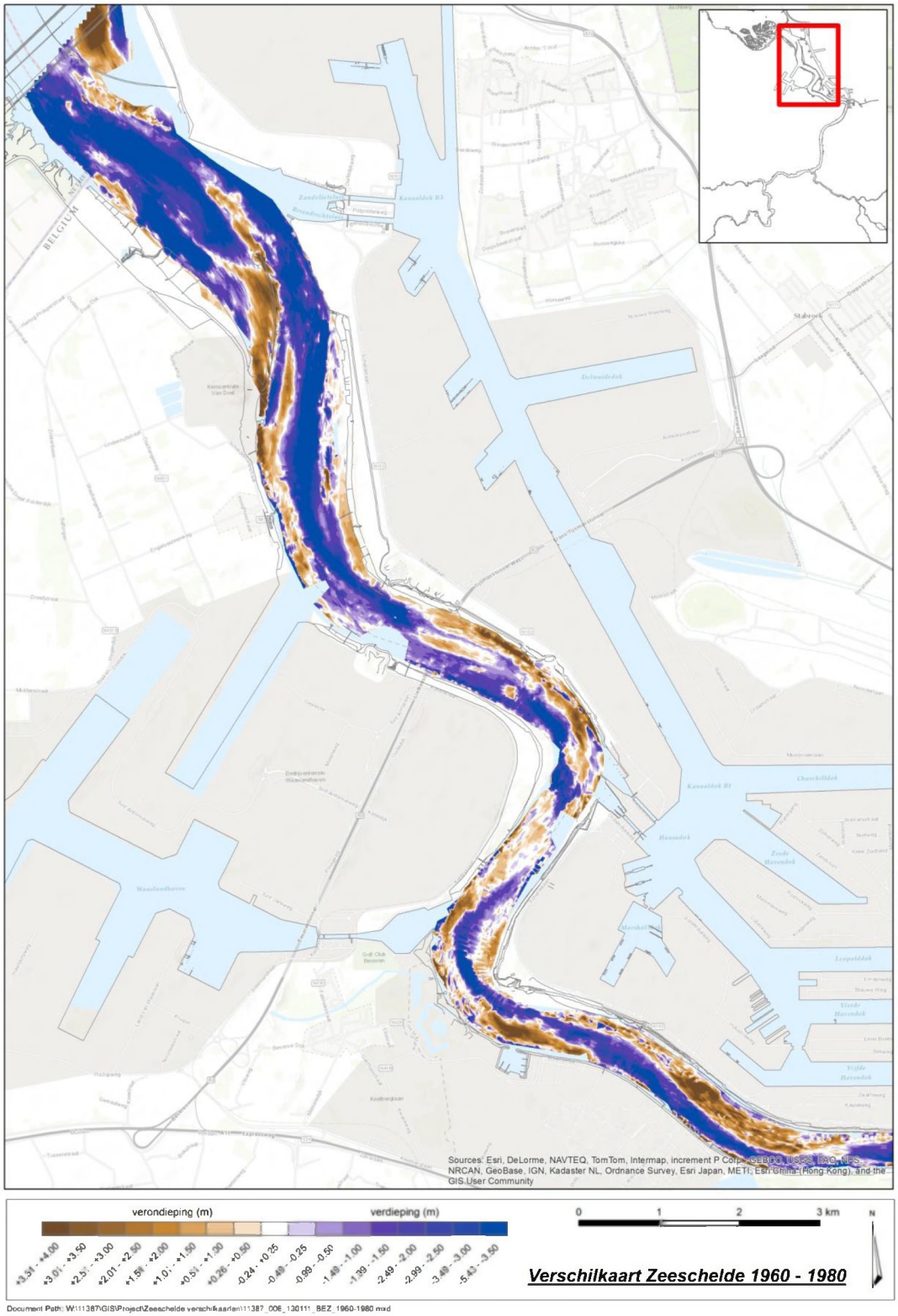
Jaar	Kombergingsvolume [m³]	Volumeverandering [m³]	Volumeverandering [m³/jaar]
Beneden-Zeeschelde			
1910	1.41E+08		
1920	1.45E+08	4.15E+06	4.15E+05
1930	1.35E+08	-1.03E+07	-1.03E+06
1950	1.54E+08	1.90E+07	9.49E+05
1960	1.50E+08	-4.52E+06	-4.52E+05
1970	1.70E+08	2.02E+07	2.02E+06
1980	1.71E+08	1.65E+06	1.65E+05
1990	1.82E+08	1.08E+07	1.08E+06
2003	1.93E+08	1.07E+07	8.24E+05
2004	2.07E+08	1.36E+07	1.36E+07
2007	2.34E+08	2.72E+07	9.06E+06
2008	2.14E+08	-2.01E+07	-2.01E+07
Boven-Zeeschelde			
1930	1.85E+07		
1950	1.66E+07	-1.90E+06	-9.52E+04
1960	1.59E+07	-6.90E+05	-6.90E+04
1980	2.17E+07	5.75E+06	2.87E+05
2001	2.53E+07	3.67E+06	1.75E+05

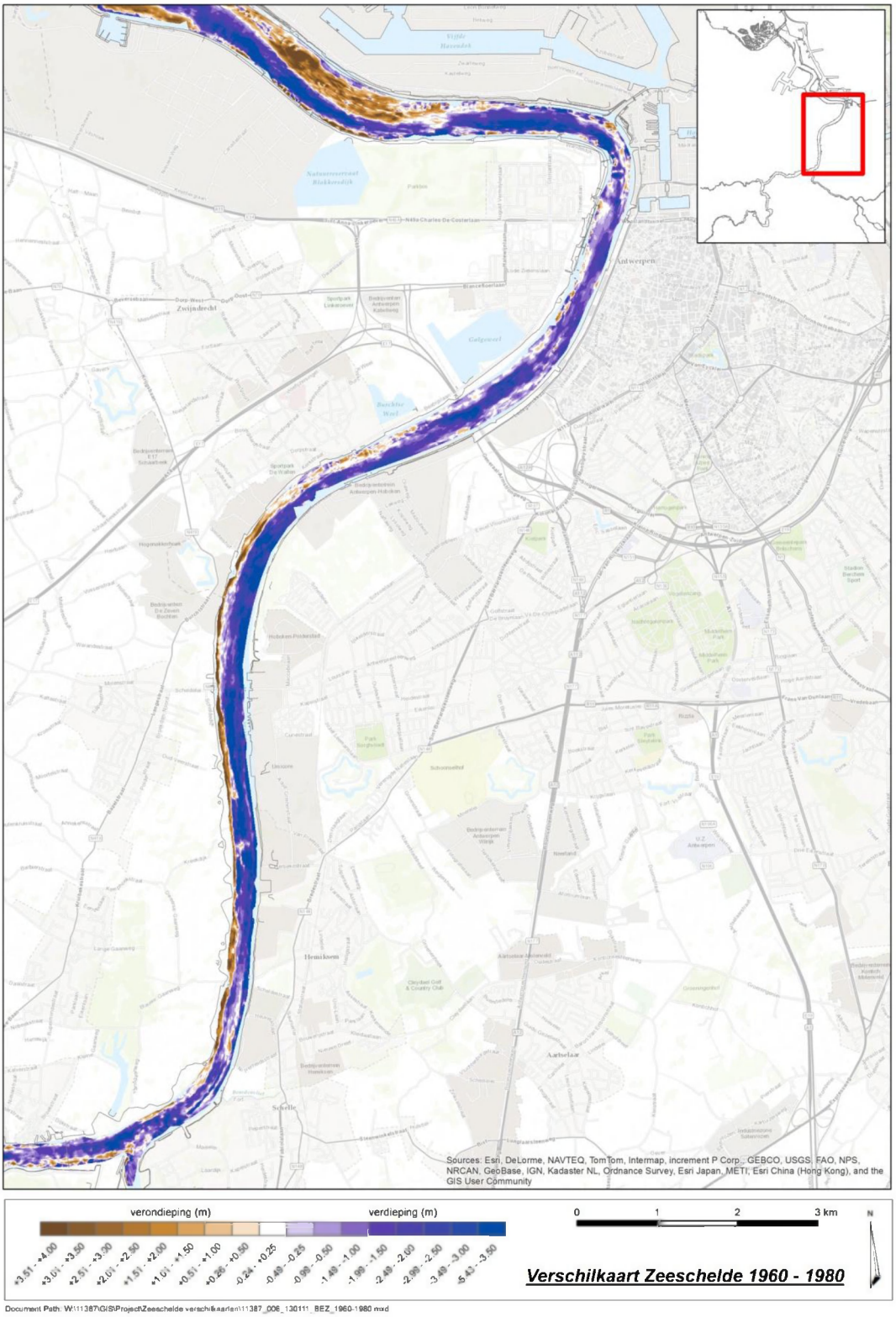
Jaar	Kombergingsvolume [m³]	Volumeverandering [m³]	Volumeverandering [m³/jaar]
Rupel			
1930	3.08E+06		
1960	3.46E+06	3.76E+05	1.25E+04
1976	4.02E+06	5.58E+05	3.49E+04
2000	4.85E+06	8.33E+05	3.47E+04
Durme			
1930	6.31E+05		
1950	4.36E+05	-1.95E+05	-9.76E+03
1970	1.58E+05	-2.79E+05	-1.39E+04
1980	1.53E+05	-4.21E+03	-4.21E+02
1997	9.25E+04	-6.09E+04	-3.58E+03

Bijlage B Bodemveranderingen Beneden-Zeeschelde, Boven-Zeeschelde, Durme & Rupel

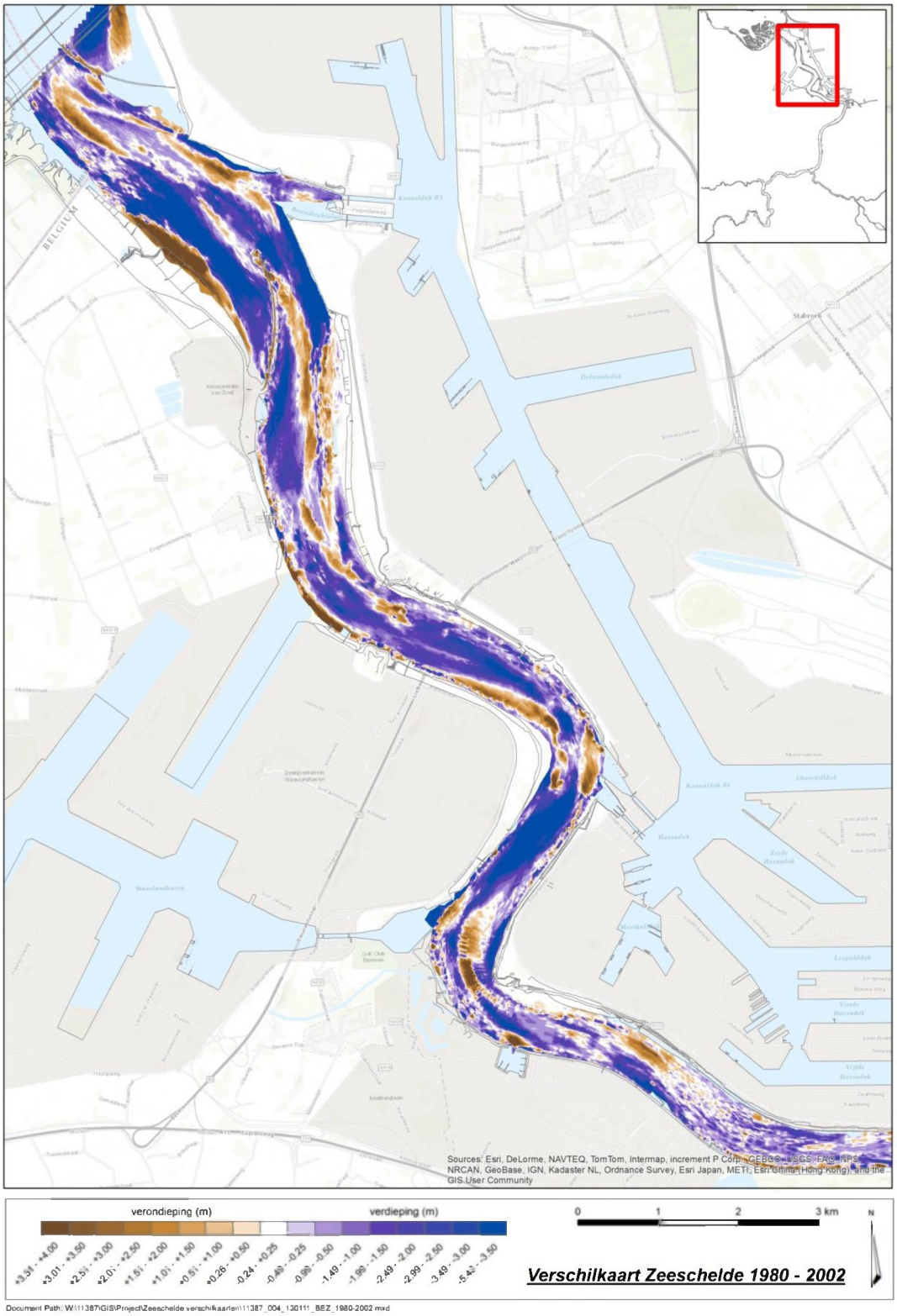
B.1 Beneden-Zeeschelde

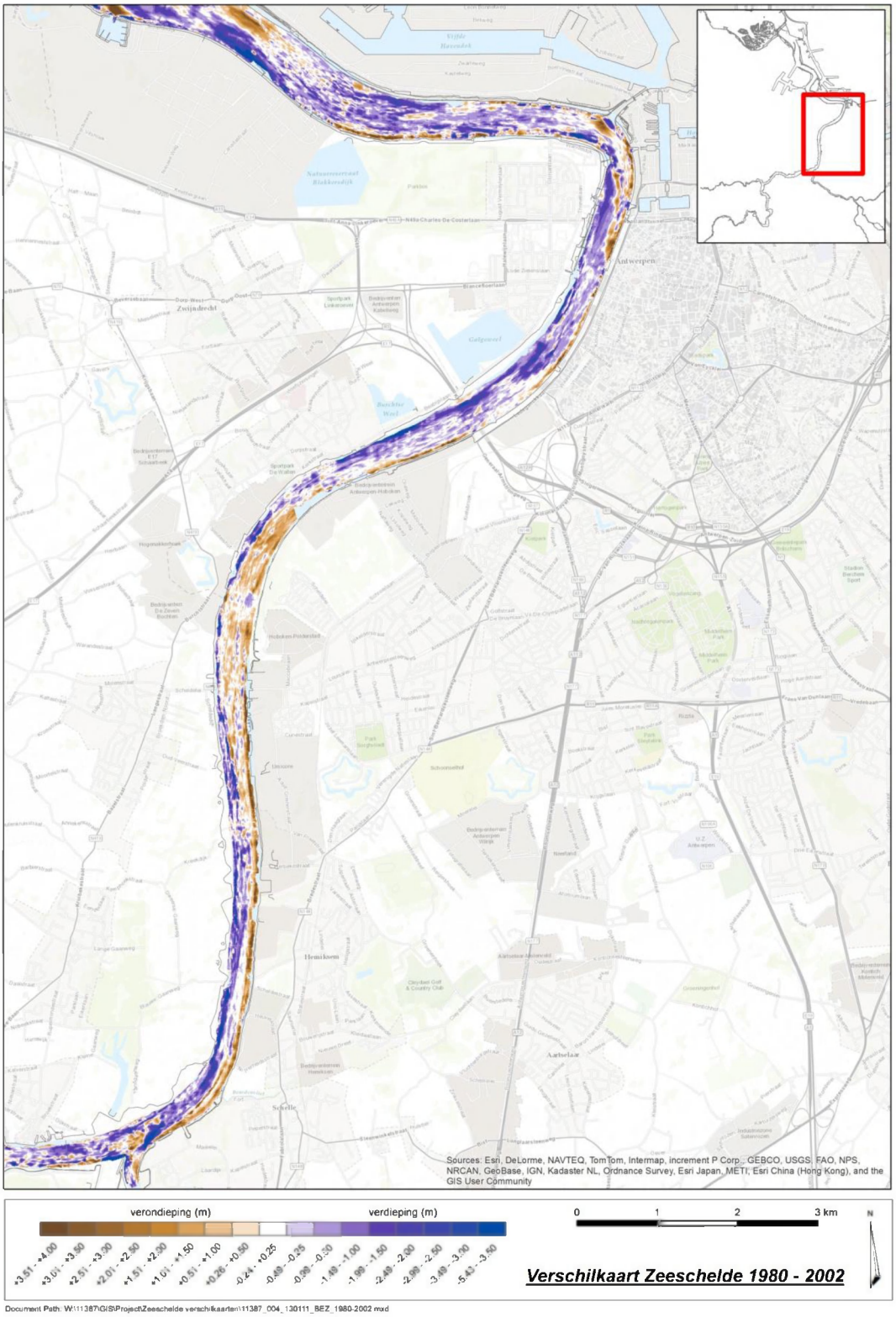
B.1.1 1960-1980


BELGIUM
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
verondieping (m)
verdieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-5.41 - -3.50
0
1
2
3 km
N
Verschilkaart Zeeschelde 1960 - 1980
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_006_130111_BEZ_1960-1980.mxd

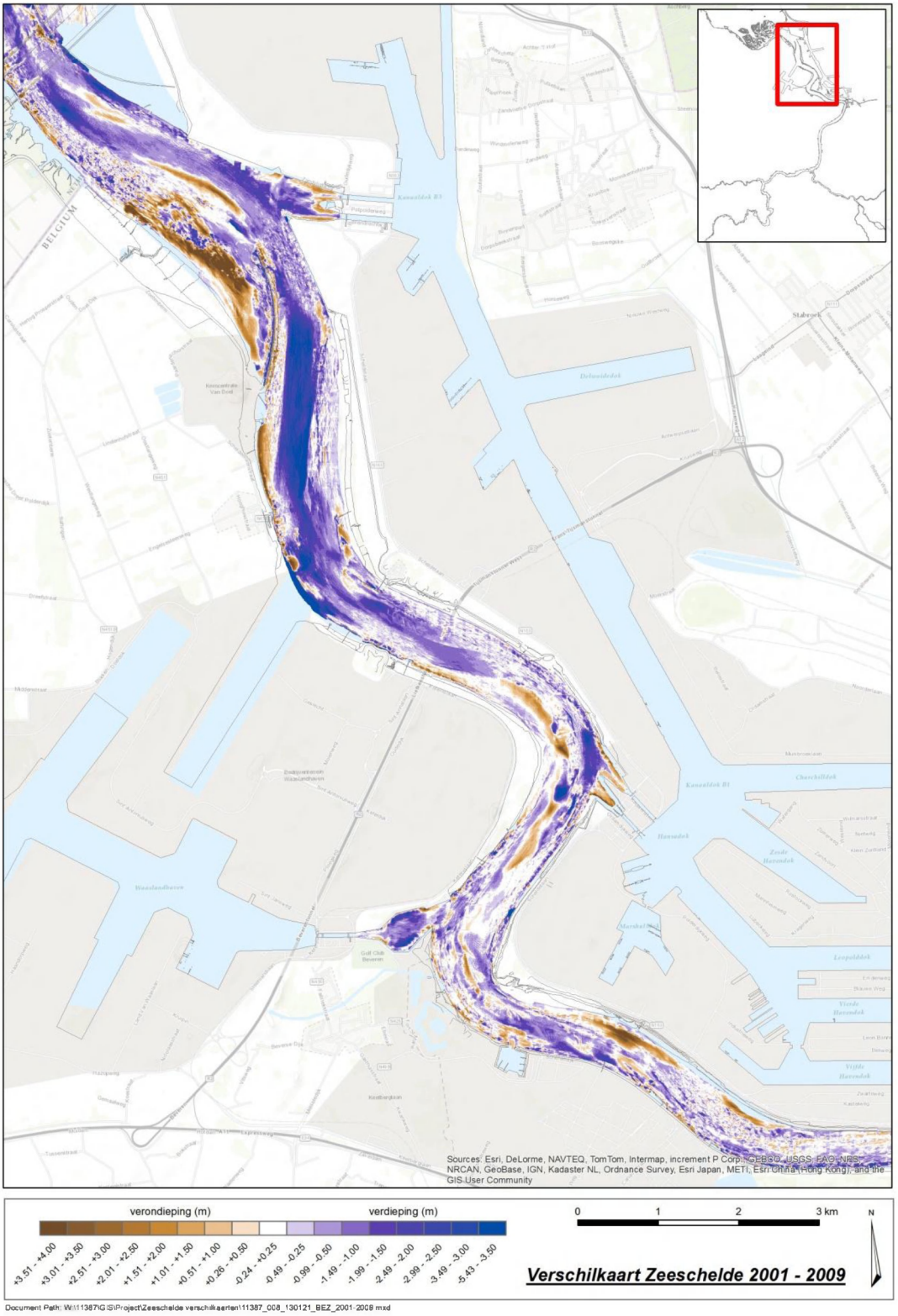

Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
verondieping (m)
verdieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.25 - +0.50
-0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-5.43 - -3.50
0
1
2
3 km
N
Verschilkaart Zeeschelde 1960 - 1980
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_006_130111_BEZ_1960-1980.mxd

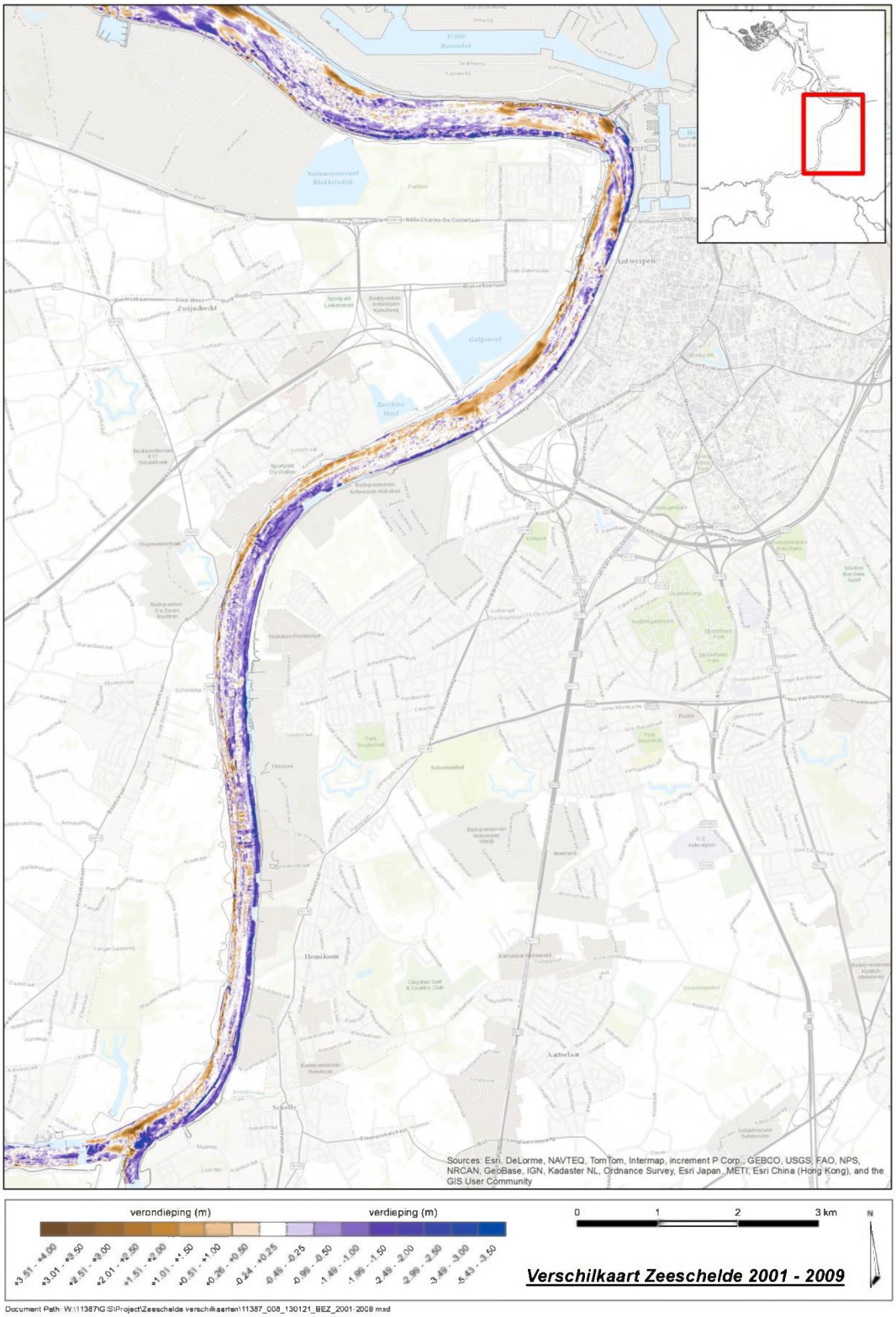
B.1.2 1980-2002




Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
verondieping (m)
verdieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
-0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-5.43 - -3.50
0
1
2
3 km
N
Verschilkaart Zeeschelde 1980 - 2002
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_004_130111_BEZ_1980-2002.mxd

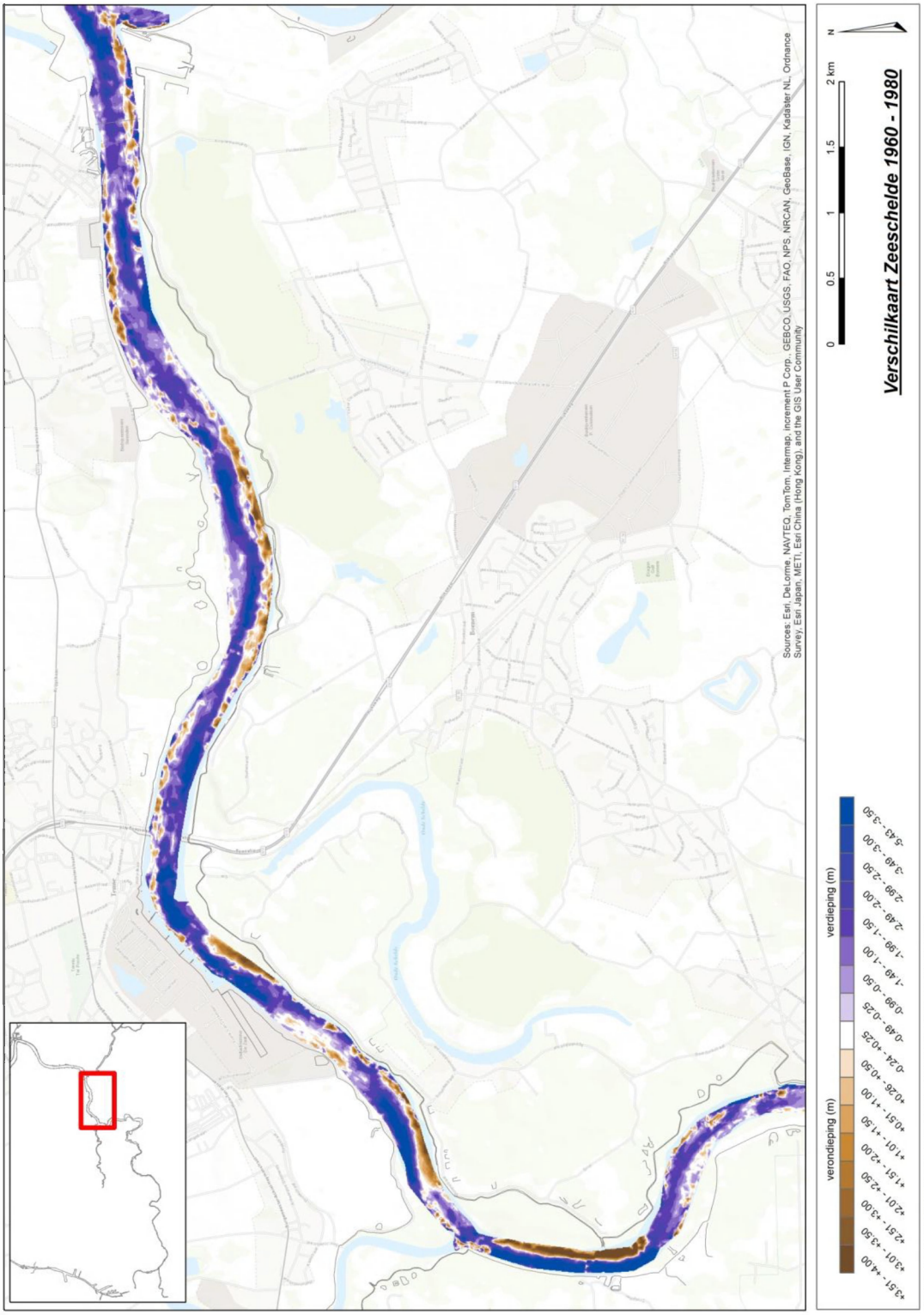
B.1.3 2002-2009

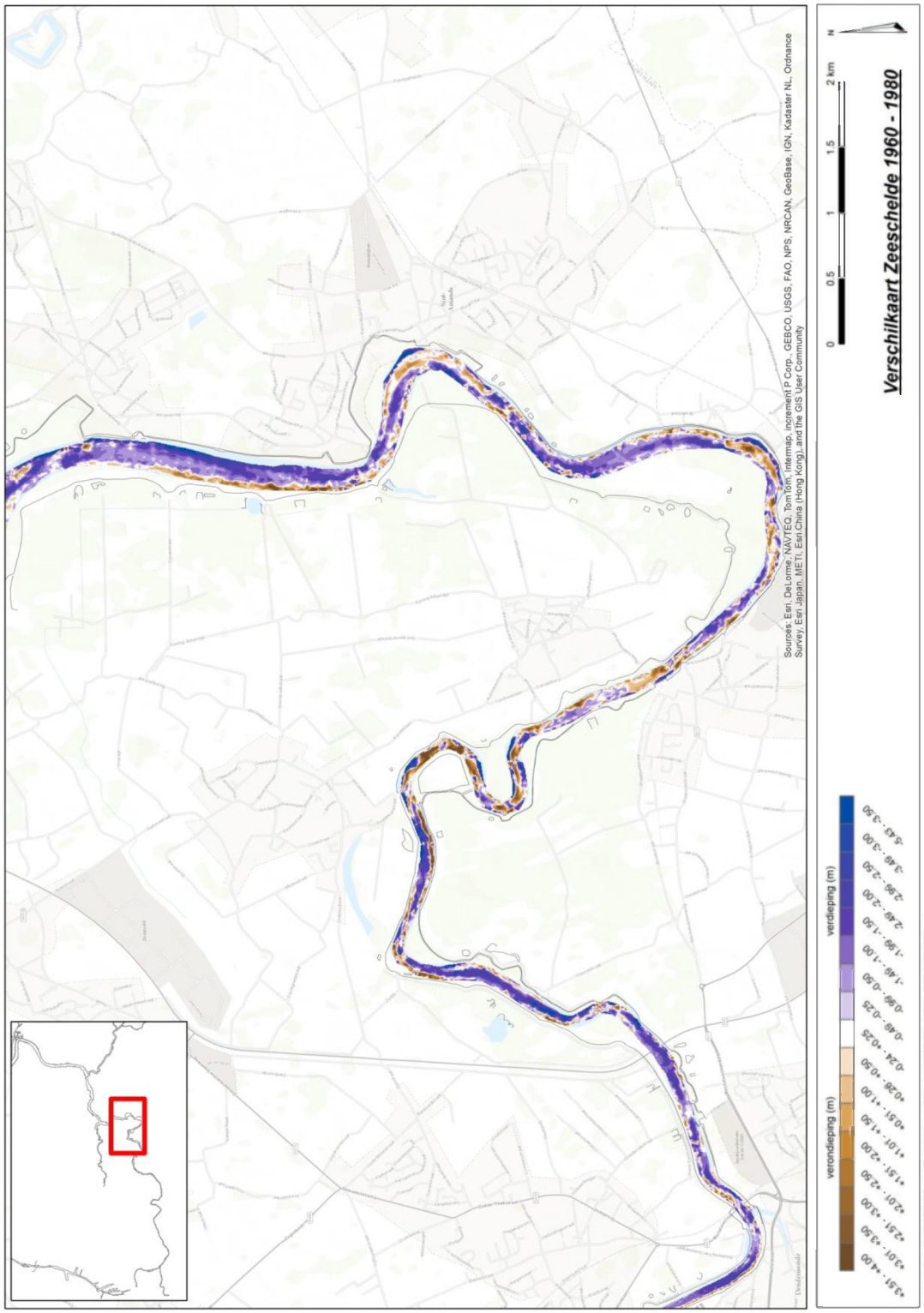


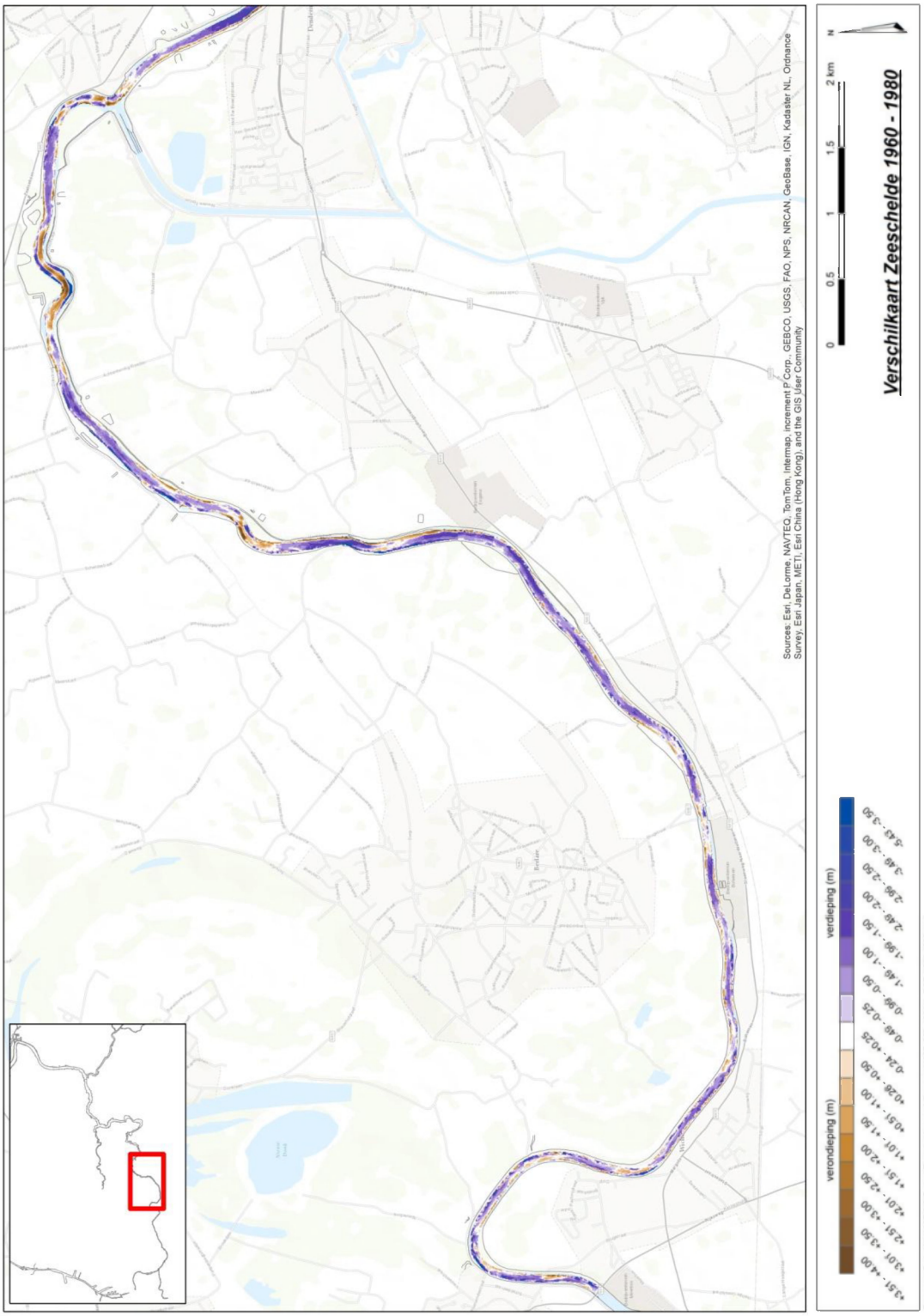

Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
verondieping (m)
verdieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-5.43 - -3.50
0
1
2
3 km
N
Verschilkaart Zeeschelde 2001 - 2009
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_008_130121_BEZ_2001-2009.mxd

B.2 Boven-Zeeschelde

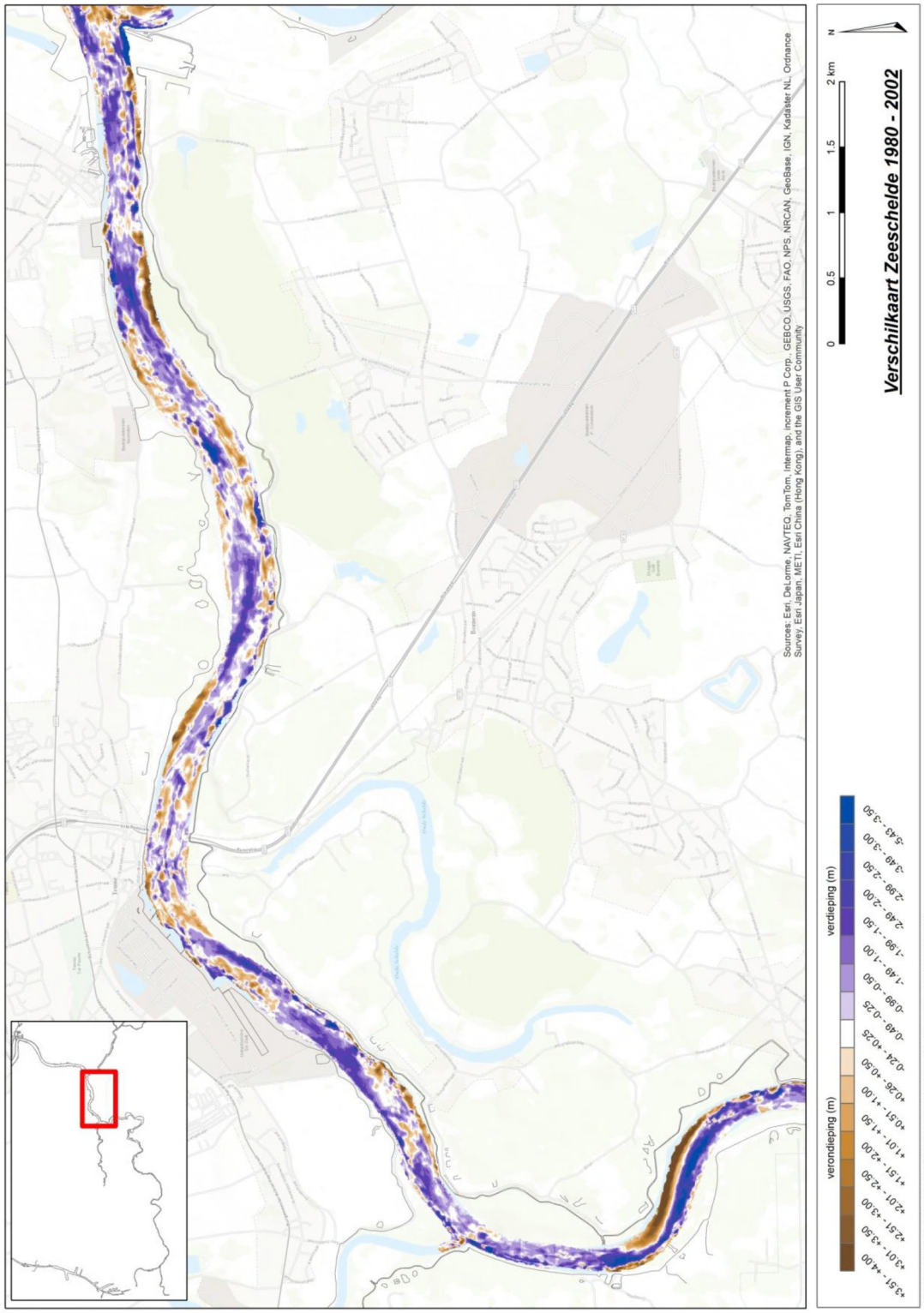
B.2.1 1960-1980

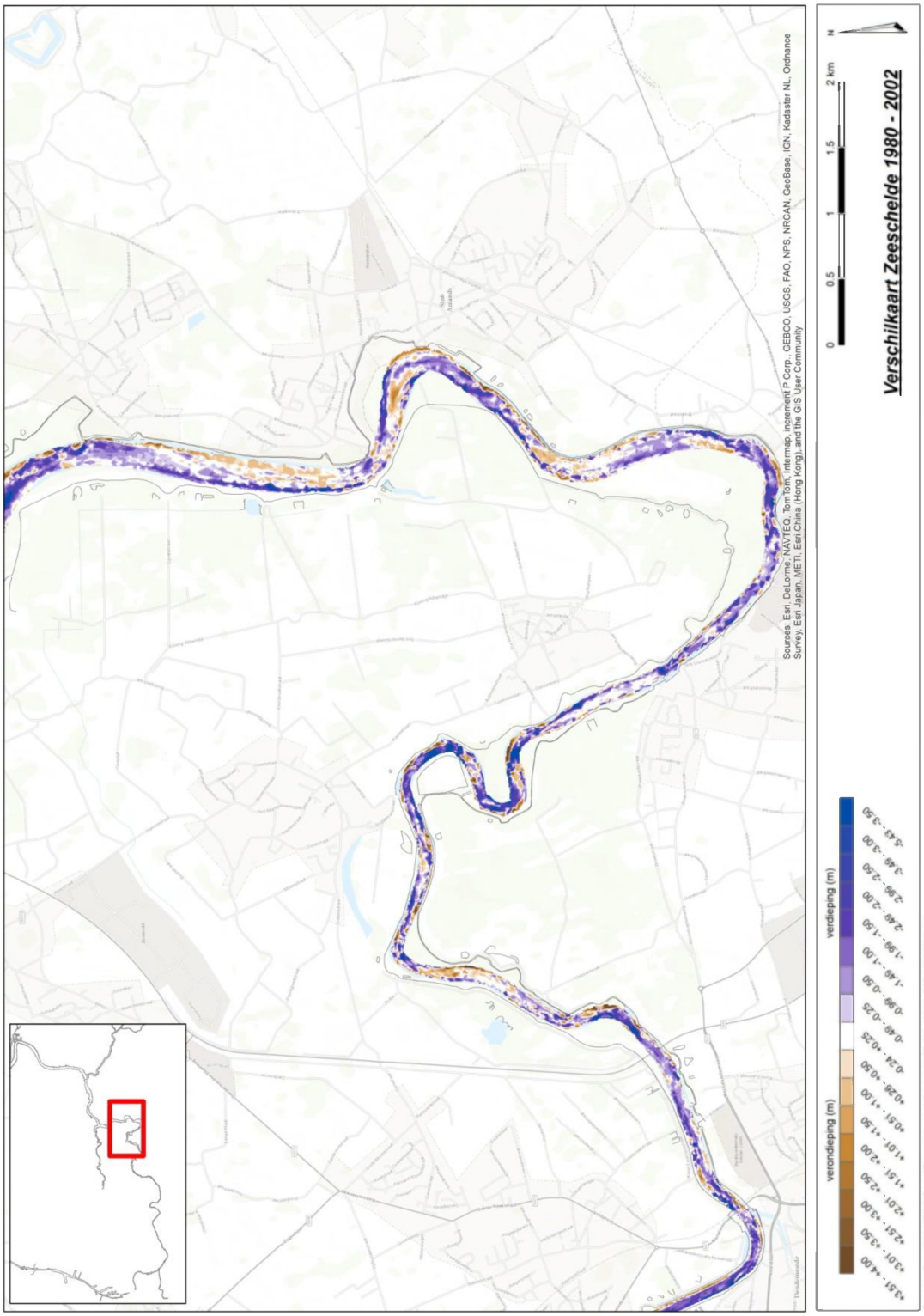

Verschilkaart Zeeschelde 1960 - 1980
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
verondieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
-0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-5.43 - -3.50
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_003_130111_BOZ_1960-1980.mxd

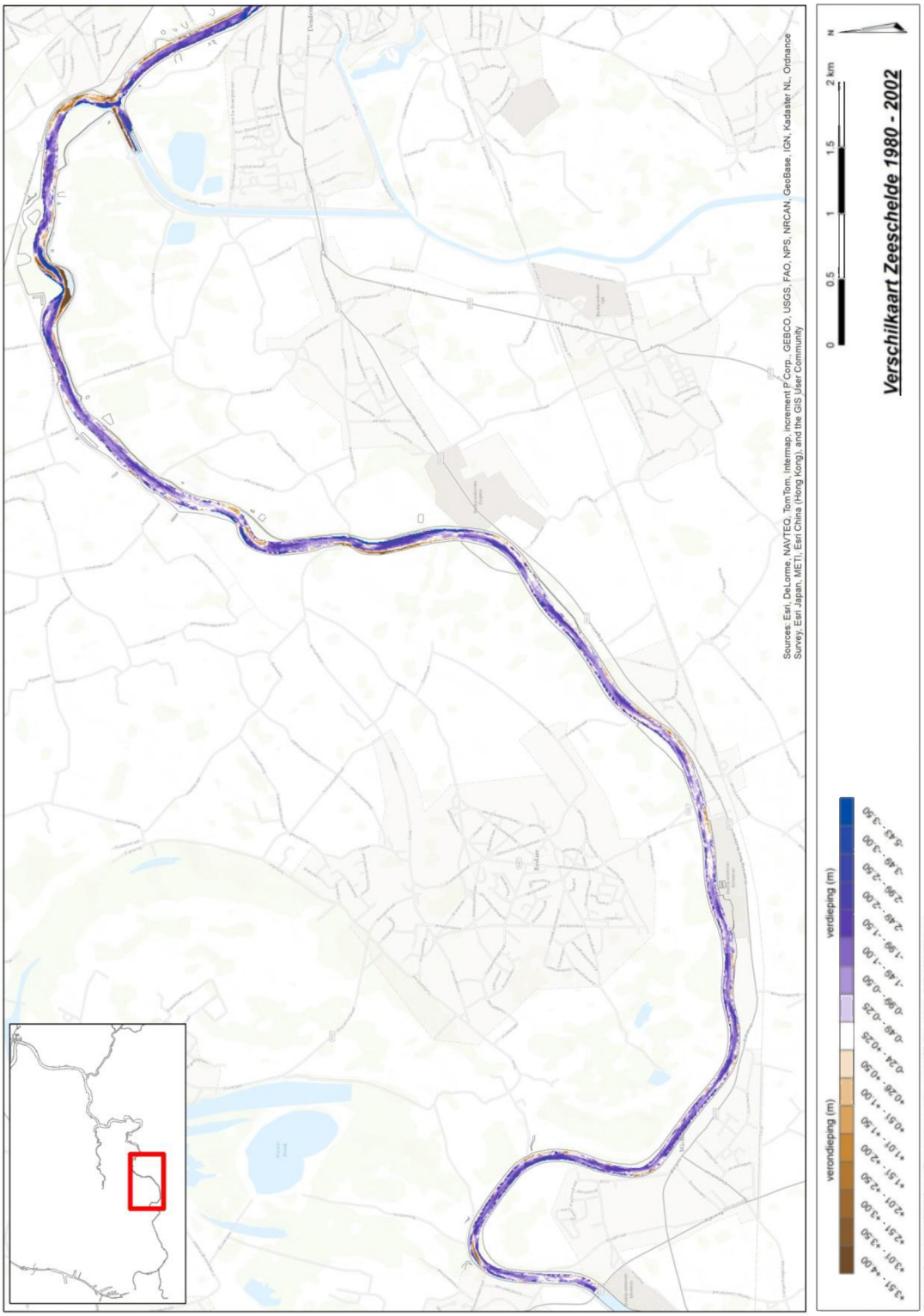

Verschilkaart Zeeschelde 1960 - 1980
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
-3.51 - -4.00
-3.01 - -3.50
-2.51 - -3.00
-2.01 - -2.50
-1.51 - -2.00
-1.01 - -1.50
-0.51 - -1.00
-0.26 - -0.50
-0.24 - -0.25
0.24 - 0.25
0.26 - 0.50
0.51 - 1.00
1.01 - 1.50
1.51 - 2.00
2.01 - 2.50
2.51 - 3.00
3.01 - 3.50
3.51 - 4.00
verondieping (m)
-3.45 - -3.50
-3.49 - -3.00
-2.99 - -2.50
-2.49 - -2.00
-1.99 - -1.50
-1.49 - -1.00
-0.99 - -0.50
-0.49 - -0.25
0.49 - 0.25
0.99 - 0.50
1.49 - 1.00
1.99 - 1.50
2.49 - 2.00
2.99 - 2.50
3.49 - 3.00
3.45 - 3.50
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_003_130111_BOZ_1960-1980.mxd


Verschilkaart Zeeschelde 1960 - 1980
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-3.99 - -3.50
verondieping (m)
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_003_130111_BOZ_1960-1980.mxd

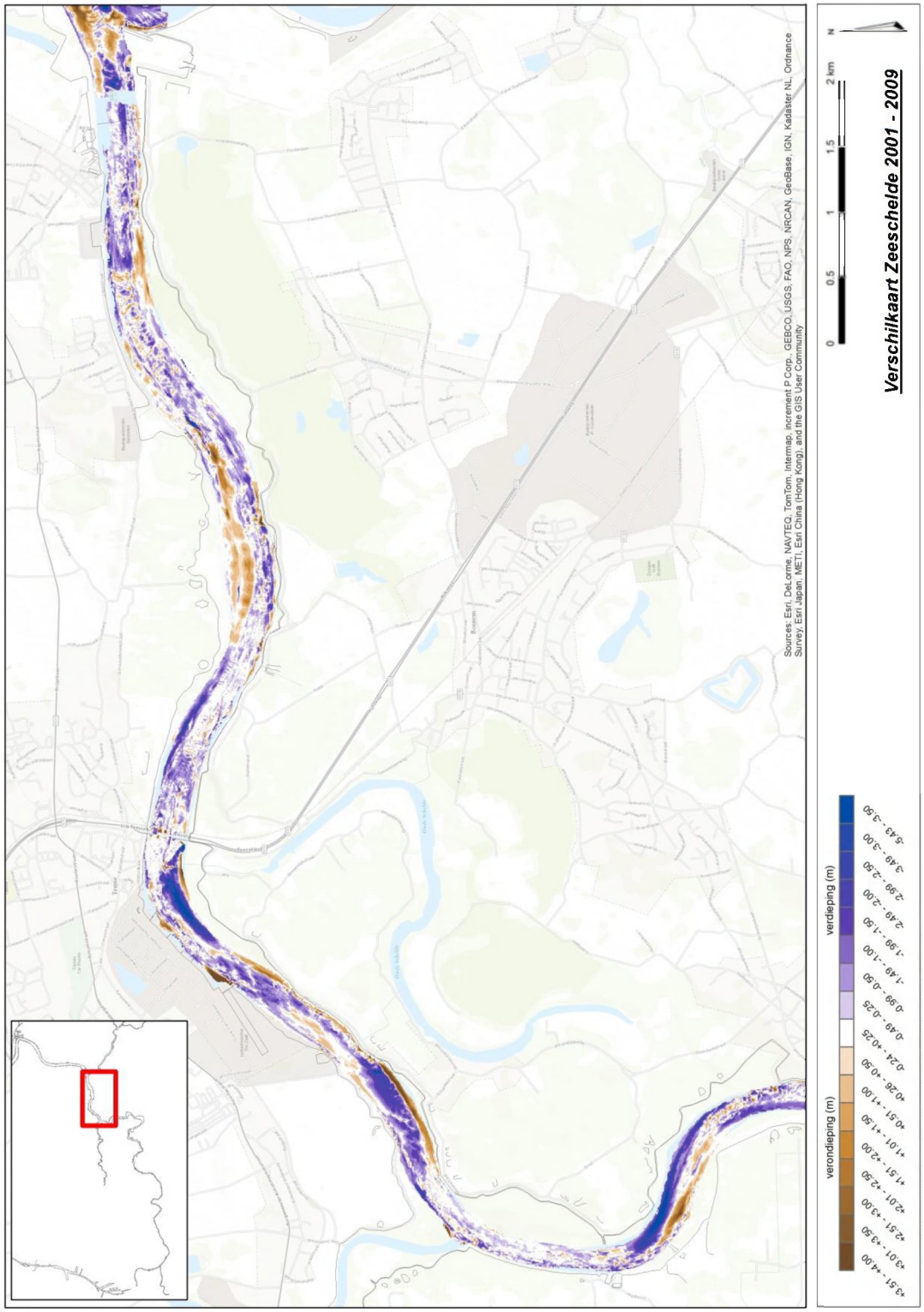
B.2.2 1980-2001

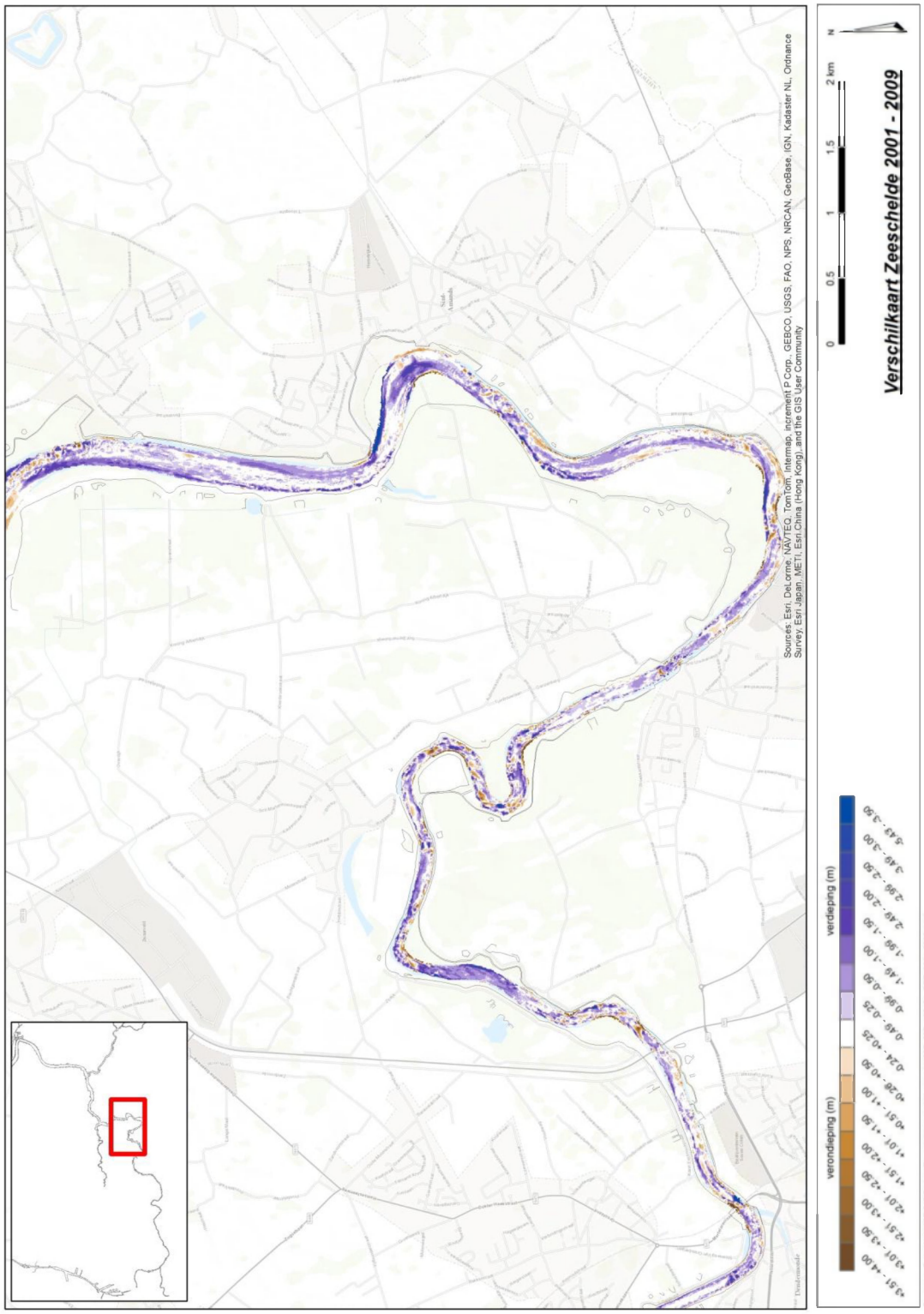


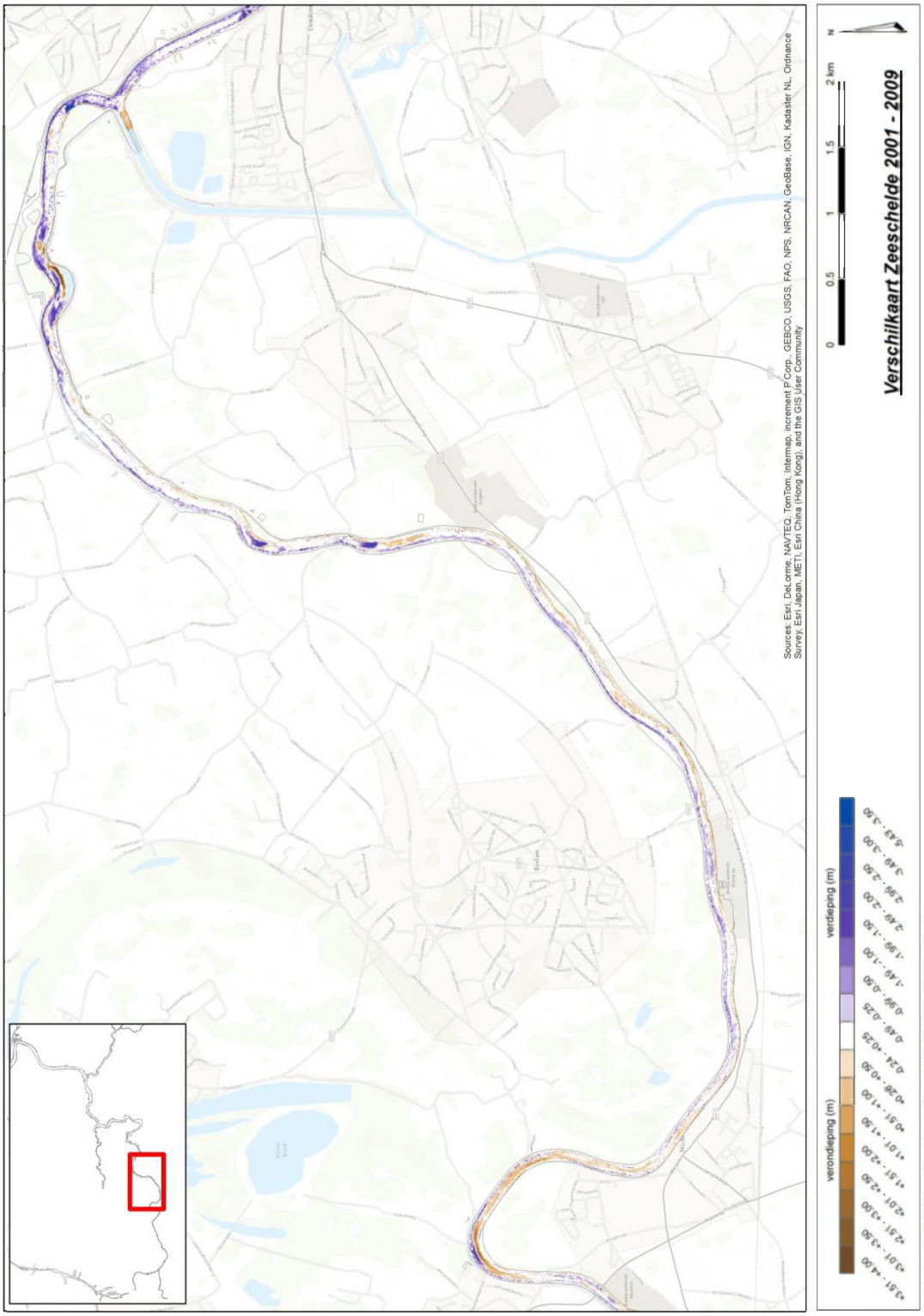

Verschilkaart Zeeschelde 1980 - 2002
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
-3.51 - -4.00
-3.01 - -3.50
-2.51 - -3.00
-2.01 - -2.50
-1.51 - -2.00
-1.01 - -1.50
-0.51 - -1.00
-0.26 - -0.50
-0.24 - -0.25
0.24 - 0.25
0.49 - 0.50
0.99 - 1.00
1.49 - 1.50
1.99 - 2.00
2.49 - 2.50
2.99 - 3.00
3.49 - 3.50
3.45 - 3.50
verondieping (m)
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_001_130111_BOZ_1980-2002.mxd


Verschilkaart Zeeschelde 1980 - 2002
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
verondieping (m)
+3.51 - +4.00
+3.01 - +3.50
+2.51 - +3.00
+2.01 - +2.50
+1.51 - +2.00
+1.01 - +1.50
+0.51 - +1.00
+0.26 - +0.50
+0.24 - +0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-3.49 - -3.50
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_001_130111_BOZ_1980-2002.mxd

B.2.3 2001-2009




Verschilkaart Zeeschelde 2001 - 2009
verondieping (m)
verdieping (m)
-3.51 - -4.00
-2.51 - -3.00
-2.01 - -2.50
-1.51 - -2.00
-1.01 - -1.50
-0.51 - -1.00
-0.26 - -0.50
-0.24 - -0.25
0.49 - 0.25
0.99 - 0.50
1.49 - 1.00
1.99 - 1.50
2.49 - 2.00
2.99 - 2.50
3.49 - 3.00
4.49 - 3.50
0
0.5
1
1.5
2 km
N
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community


Verschilkaart Zeeschelde 2001 - 2009
0
0.5
1
1.5
2 km
N
verdieping (m)
verondieping (m)
-3.51 - -4.00
-3.01 - -3.50
-2.51 - -3.00
-2.01 - -2.50
-1.51 - -2.00
-1.01 - -1.50
-0.51 - -1.00
-0.26 - -0.50
-0.24 - -0.25
-0.49 - -0.25
-0.99 - -0.50
-1.49 - -1.00
-1.99 - -1.50
-2.49 - -2.00
-2.99 - -2.50
-3.49 - -3.00
-3.99 - -3.50
Document Path: W:\11387\GIS\Project\Zeeschelde verschilkaarten\11387_007_130121_BEZ_2001-2009.mxd
Sources: Esri, DeLorme, NAVTEQ, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), and the GIS User Community