



departement
Mobiliteit en
Openbare Werken

Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en - allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

DEELRAPPORT 5 - ZOUTINTRUSIE KANAAL GENT-TERNEUZEN



724_04

WL Rapporten

Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en - allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied

Deelrapport 5 - Zoutintrusie kanaal Gent-Terneuzen

Vanderkimpen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F.

Maart 2012

WL2012R724_04_5rev4_0

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vanderkimpfen, P.; Pereira, F.; Mostaert, F. (2012). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en - allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 5 - Zoutintrusie kanaal Gent-Terneuzen. Versie 4_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België



Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115
B-2140 Antwerpen
Tel. +32 (0)3 224 60 35
Fax +32 (0)3 224 60 36
E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be
www.watlab.be

D/2012/3241/053

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaandelijke schriftelijke toestemming van de uitgever.

Documentidentificatie

Titel:	Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 5 - Zoutintrusie kanaal Gent-Terneuzen		
Opdrachtgever:	Waterbouwkundig Laboratorium	Ref.:	WL2012R724_04_5rev4_0
Keywords (3-5):	Kanaal Gent-Terneuzen, zoutintrusie		
Tekst (p.):	83	Tabellen (p.):	/
Bijlagen (p.):	12	Figuren (p.):	/
Vertrouwelijk:	☐ Ja	Uitzondering:	☐ Opdrachtgever
			☐ Intern
			☐ Vlaamse overheid
		Vrijgegeven vanaf	
	☒ Nee	☒ Online beschikbaar	

Goedkeuring

Auteur Vanderkimpfen, P. 	Revisor Pereira, F. 	Projectleider Pereira, F. 	Afdelingshoofd Mostaert, F. 
--	---	--	--

Revisies

Nr.	Datum	Omschrijving	Auteur
1_0	07/09/2011	Conceptversie	Vanderkimpfen, P.
1_1	03/10/2011	Inhoudelijke revisie	Pereira, F.
2_0	23/12/2011	Definitieve versie incl. opmerkingen workshop 15/12/2011	Pereira, F.
2_1	16/02/2012	Conceptversie	Vanderkimpfen, P.
2_2	17/02/2012	Inhoudelijke revisie	Pereira, F.
3_0	17/02/2012	Definitieve versie	Pereira, F.
4_0	09/03/2012	Wijziging subtitel en identificatie	Pereira, F.

Abstract

Deze studie heeft tot doel het opstellen van een model die in staat is om het zoutgehalte langs het kanaal Gent-Terneuzen te analyseren. De variatie van de dieptegemiddelde zoutconcentratie in het kanaal Gent-Terneuzen werd bestudeerd door middel van een ééndimensionaal advectie-dispersiemodel (Mike11-AD).

De huidige toestand van het kanaal werd geëvalueerd aan de hand van een langdurige (40 jaar) simulatie met historische randvoorwaarden. Deze randvoorde zomerperiode verhoogt de zoutconcentratie in het kanaal, maar gedurende de daaropvolgende winter wordt dit zout weer volledig weggespoeld. De piekconcentraties tijdens de zomer zijn afhankelijk van de hydrologische omstandigheden. Gedurende droge jaren is de zoutopbouw duidelijk hoger dan gedurende natte jaren.

Een fictief scenario dat als doel heeft het effect te analyseren van een ingrijpende verandering in het systeem, (halvering van het bovendebiet) leidt tot een nieuw evenwicht waarbij zowel de gemiddelde, minimale als maximale zoutconcentraties hoger zijn dan voor de bestaande toestand. Het nieuwe evenwicht wordt op zeer korte termijn (1 jaar) bereikt. Daarna doet zich geen verdere toename van de zoutconcentratie meer voor.

Een scenario waarbij het bovendebiet in het kanaal Gent-Terneuzen constant gehouden wordt op 13 m³/s (minimale hoeveelheid volgens het verdrag), leidt eveneens op zeer korte termijn tot een nieuw evenwicht. In de nieuwe situatie ligt de gemiddelde zoutconcentratie hoger dan voor de bestaande toestand, maar de extremen zijn minder uitgesproken.

Inhoudstafel

Inhoudstafel	I
Lijst van de tabellen	III
Lijst van de figuren	IV
1 Inleiding	1
2 Studiegebied	2
3 Gegevens	3
3.1 Meetnetten	3
3.1.1 Meetnet bevaarbare waterlopen	3
3.1.2 Meetnet oppervlaktewater	4
3.1.3 Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR)	6
3.1.4 Meetnet Zeeuwse Getijdewateren (ZEGE)	7
3.1.5 Meetnet kanaal Gent-Terneuzen	8
3.2 Metingen	9
3.2.1 Zoutgehalte	9
3.2.2 Meetnet oppervlaktewater	9
3.2.3 Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR)	13
3.2.4 Meetnet Zeeuwse Getijdewateren (ZEGE)	14
3.2.5 Meetnet kanaal Gent-Terneuzen	17
4 Modelopbouw	19
4.1 Software	19
4.2 Hydraulisch model	20
4.2.1 Waterlopen	20
4.2.2 Dwarssecties	20
4.2.3 Structuren	20
4.2.4 Randvoorwaarden	24
4.2.5 Simulatieparameters	26
4.3 Zouttransportmodel	26
4.3.1 Variabele	26
4.3.2 Algorithme	26
4.3.3 Processen	26
4.3.4 Randvoorwaarden	26

4.3.5	Simulatieparameters	27
5	Kalibratie.....	30
6	Validatie	37
7	Gevoeligheidsanalyse	52
7.1	Inleiding.....	52
7.2	Impact bovendebiet.....	52
7.3	Impact zoutgehalte Westerschelde	54
7.4	Impact bovendebiet en zoutgehalte Westerschelde	54
8	Analyse bestaande toestand	64
9	Scenario-analyse	70
9.1	Scenario 1 – gehalveerde bovendebieten	70
9.2	Scenario 2 – constant bovendebiet.....	76
10	Conclusies en aanbevelingen	82
11	Referentielijst.....	83
	Bijlage 1: Metingen HMCZ	B1

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Meetpunten bevaarbare waterlopen (HIC).....	4
Tabel 2 – Meetpunten oppervlaktewater (VMM)	5
Tabel 3 – Meetpunten DONAR (RWS)	6
Tabel 4 – Meetpunten ZEGE (HMCZ).....	7
Tabel 5 – Meetpunten kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ).....	8
Tabel 6 – Classificatie oppervlaktewater (vereenvoudigd Venetiaans systeem)	9
Tabel 7 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (VMM).....	10
Tabel 8 – Zoutgehalte Moervaart (VMM)	10
Tabel 9 – Zoutgehalte Durmekanaal (VMM)	13
Tabel 10 – Zoutgehalte Ringvaart (VMM)	13
Tabel 11 – Zoutgehalte Westerschelde en kanaal Gent-Terneuzen (DONAR)	14
Tabel 12 – Zoutgehalte Westerschelde (ZEGE)	16
Tabel 13 – Zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (ZEGE).....	16
Tabel 14 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ).....	17
Tabel 15 – Bruggen Moervaart	20
Tabel 16 – Sluizen Terneuzen	21
Tabel 17 – Deelbekkens Moervaart	25
Tabel 18 – Gekalibreerde uitwisselingsdebieten sluizen Terneuzen	30
Tabel 19 – Ligging controlepunten.....	52
Tabel 20 – Zoutgehalte bestaande toestand.....	64
Tabel 21 – Zoutgehalte scenario 1.....	70
Tabel 22 – Zoutgehalte scenario 2.....	76

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Studiegebied	2
Figuur 2 – Meetpunten bevaarbare waterlopen (HIC).....	3
Figuur 3 – Meetpunten oppervlaktewater (VMM).....	4
Figuur 4 – Meetpunten DONAR (RWS)	6
Figuur 5 – Meetpunten ZEGE (HMCZ)	7
Figuur 6 – Meetpunten kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ)	8
Figuur 7 – Verloop zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (Vlaams gedeelte)	11
Figuur 8 – Verloop zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (Vlaams gedeelte)	11
Figuur 9 – Verloop zoutgehalte Moervaart.....	12
Figuur 10 – Verloop zoutgehalte Moervaart.....	12
Figuur 11 – Zoutgehalte Westerschelde en kanaal Gent-Terneuzen (DONAR)	14
Figuur 12 – Zoutgehalte Westerschelde (ZEGE)	15
Figuur 13 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (ZEGE)	15
Figuur 14 – Dieptegemiddelde zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen.....	18
Figuur 15 – Dieptegemiddelde zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen.....	18
Figuur 16 – Hydraulisch model - overzicht.....	22
Figuur 17 – Hydraulisch model – detail Terneuzen.....	23
Figuur 18 – Deelbekkens Moervaart	25
Figuur 19 – Correlatie zoutgehalte Terneuzen en zoutgehalte Baalhoek	28
Figuur 20 – Schatting zoutgehalte Terneuzen dmv zoutgehalte Baalhoek.....	28
Figuur 21 – Correlatie zoutgehalte Terneuzen en bovendebiet Schelle	29
Figuur 22 – Schatting zoutgehalte Terneuzen dmv bovendebiet Schelle	29
Figuur 23 – Afwaartse randvoorwaarde Westerschelde station ZEGE – TWZZ	31
Figuur 24 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – TWKZ (0.8 km).....	31
Figuur 25 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTB (3.5 km)	32
Figuur 26 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTS (11.5 km)	32
Figuur 27 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38000 (0.6 km)	33
Figuur 28 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38020 (3.8 km)	33
Figuur 29 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39000 (7.4 km)	34
Figuur 30 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39500 (11.4 km)	34
Figuur 31 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39800 (13.5 km)	35
Figuur 32 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40000 (15.6 km)	35
Figuur 33 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40500 (18.9 km)	36
Figuur 34 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – TWKZ (0.8 km).....	38
Figuur 35 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTB (3.5 km)	38
Figuur 36 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTS (11.5 km)	39
Figuur 37 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 1 (0 km)	39

Figuur 38 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 2 (0.8 km)	40
Figuur 39 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 3 (1.5 km)	40
Figuur 40 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 4 (2.5 km)	41
Figuur 41 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 5 (4.5 km)	41
Figuur 42 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 6 (6.5 km)	42
Figuur 43 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 7 (10.5 km)	42
Figuur 44 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 8 (13.5 km)	43
Figuur 45 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 9 (20.5 km)	43
Figuur 46 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 10 (24.3 km)	44
Figuur 47 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 11 (27.0 km)	44
Figuur 48 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 30000 (14.0 km)	45
Figuur 49 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 31000 (15.8 km)	45
Figuur 50 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32000 (19.8 km)	46
Figuur 51 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 33100 (21.0 km)	46
Figuur 52 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32800 (22.8 km)	47
Figuur 53 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32600 (24.5 km)	47
Figuur 54 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 34100 (25.8 km)	48
Figuur 55 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38000 (0.6 km)	48
Figuur 56 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38020 (3.8 km)	49
Figuur 57 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39000 (7.4 km)	49
Figuur 58 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39500 (11.4 km)	50
Figuur 59 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39800 (13.5 km)	50
Figuur 60 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40000 (15.6 km)	51
Figuur 61 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40500 (18.9 km)	51
Figuur 62 – Totaal debiet voor kanaal Gent-Terneuzen en Moervaart (berekeningen HMCZ vs Mike Basin)	53
Figuur 63 – Debiet voor de Moervaart (herschaalde meting HIC vs Mike Basin)	53
Figuur 64 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Terneuzen	55
Figuur 65 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Sas-van-Gent	55
Figuur 66 – Impact bovendebiet op chloride concentratie monding Moervaart	56
Figuur 67 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Gent.....	56
Figuur 68 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Wachtebeke	57
Figuur 69 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Sinaai	57
Figuur 70 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Terneuzen	58
Figuur 71 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Sas-van-Gent	58
Figuur 72 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie monding Moervaart.....	59
Figuur 73 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Gent.....	59
Figuur 74 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Wachtebeke.....	60
Figuur 75 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Sinaai.....	60
Figuur 76 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Terneuzen.....	61
Figuur 77 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Sas-van-Gent.....	61

Figuur 78 – Impact randvoorwaarden op concentratie monding Moervaart.....	62
Figuur 79 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Gent	62
Figuur 80 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Wachtebeke	63
Figuur 81 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Sinaai	63
Figuur 82 – Bestaande toestand - chloride concentratie Terneuzen	65
Figuur 83 – Bestaande toestand - chloride concentratie Sas-van-Gent	65
Figuur 84 – Bestaande toestand - chloride concentratie monding Moervaart.....	66
Figuur 85 – Bestaande toestand - chloride concentratie Gent.....	66
Figuur 86 – Bestaande toestand - chloride concentratie Wachtebeke.....	67
Figuur 87 – Bestaande toestand - chloride concentratie Sinaai.....	67
Figuur 88 – Bestaande toestand - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen	68
Figuur 89 – Bestaande toestand - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart.....	68
Figuur 90 – Bestaande toestand - chloride concentratie controlepunt verdrag.....	69
Figuur 91 – Bestaande toestand – duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag	69
Figuur 92 – Scenario 1 - chloride concentratie Terneuzen	71
Figuur 93 – Scenario 1 - chloride concentratie Sas-van-Gent	71
Figuur 94 – Scenario 1 - chloride concentratie monding Moervaart	72
Figuur 95 – Scenario 1 - chloride concentratie Gent.....	72
Figuur 96 – Scenario 1 - chloride concentratie Wachtebeke	73
Figuur 97 – Scenario 1 - chloride concentratie Sinaai	73
Figuur 98 – Scenario 1 - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen	74
Figuur 99 – Scenario 1 - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart.....	74
Figuur 100 – Scenario 1 - chloride concentratie controlepunt verdrag	75
Figuur 101 – Scenario 1 - duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag.....	75
Figuur 102 – Scenario 2 - chloride concentratie Terneuzen	77
Figuur 103 – Scenario 2 - chloride concentratie Sas-van-Gent	77
Figuur 104 – Scenario 2 - chloride concentratie monding Moervaart	78
Figuur 105 – Scenario 2 - chloride concentratie Gent.....	78
Figuur 106 – Scenario 2 - chloride concentratie Wachtebeke	79
Figuur 107 – Scenario 2 - chloride concentratie Sinaai	79
Figuur 108 – Scenario 2 - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen	80
Figuur 109 – Scenario 2 - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart.....	80
Figuur 110 – Scenario 2 - chloride concentratie controlepunt verdrag	81
Figuur 111 – Scenario 2 - duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag.....	81

1 Inleiding

Uit de resultaten van deelopdracht 2 en 4 van de opdracht “Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied” werd geconcludeerd dat in de huidige toestand, rekening houdend met het verdrag met Nederland waarin minimum 13 m³/s gemiddeld over 2 maanden richting Terneuzen gevoerd moet worden, er in het kanaal Gent-Terneuzen gemiddeld 3,5 maanden per jaar te weinig water is om aan dit aspect van het verdrag tussen België en Nederland te voldoen.

Om het effect van dit “watertekort” te analyseren werd een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de zoutintrusie in het kanaal Gent-Terneuzen, waar de huidige toestand van het kanaal geëvalueerd werd door een langdurige (40 jaar) simulatie uit te voeren.

Deze studie heeft tot doel:

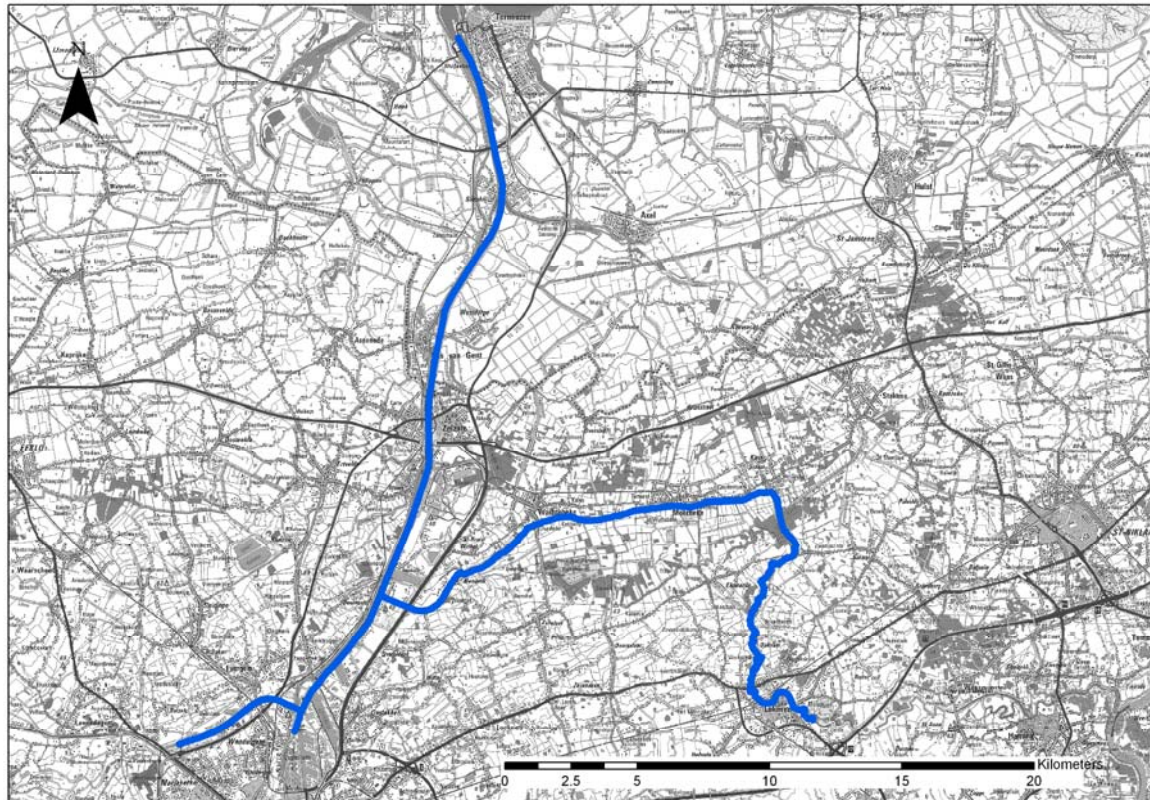
- Een advectie-dispersie model op te stellen dat in staat is om het zoutgehalte langs het kanaal Gent-Terneuzen te analyseren.
- Een gevoeligheidsanalyse van het systeem uit te voeren.
- Het effect van de minimale hoeveelheid zoet voedingswater van 13 m³/s (volgens het verdrag met Nederland) te evalueren.

Op basis van de resultaten kunnen vervolgens nieuwe meetcampagnes of aanvullende studies (met een complexer modelinstrumentarium) gepland worden. In eerste instantie wordt enkel het kanaal Gent-Terneuzen beschouwd. In een latere fase kunnen ook andere kanalen toegevoegd worden.

Deze studie vormt een nieuwe deelopdracht (deelopdracht 7) voor het lopende project “Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied” (724/04).

2 Studiegebied

Het studiegebied voor de analyse van de zoutintrusie in het kanaal Gent-Terneuzen omvat de volgende bevaarbare waterlopen: het kanaal Gent-Terneuzen (van de haven van Gent tot de sluizen in Terneuzen), het Durmekanaal en de Moervaart (van de dam in Lokeren tot de monding in het kanaal Gent-Terneuzen in Mendonk) en het noordervak van de Ringvaart (van de stuw en sluis in Evergem tot het kanaal Gent-Terneuzen in Wondelgem). Deze bevaarbare waterlopen worden weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 – Studiegebied

3 Gegevens

3.1 Meetnetten

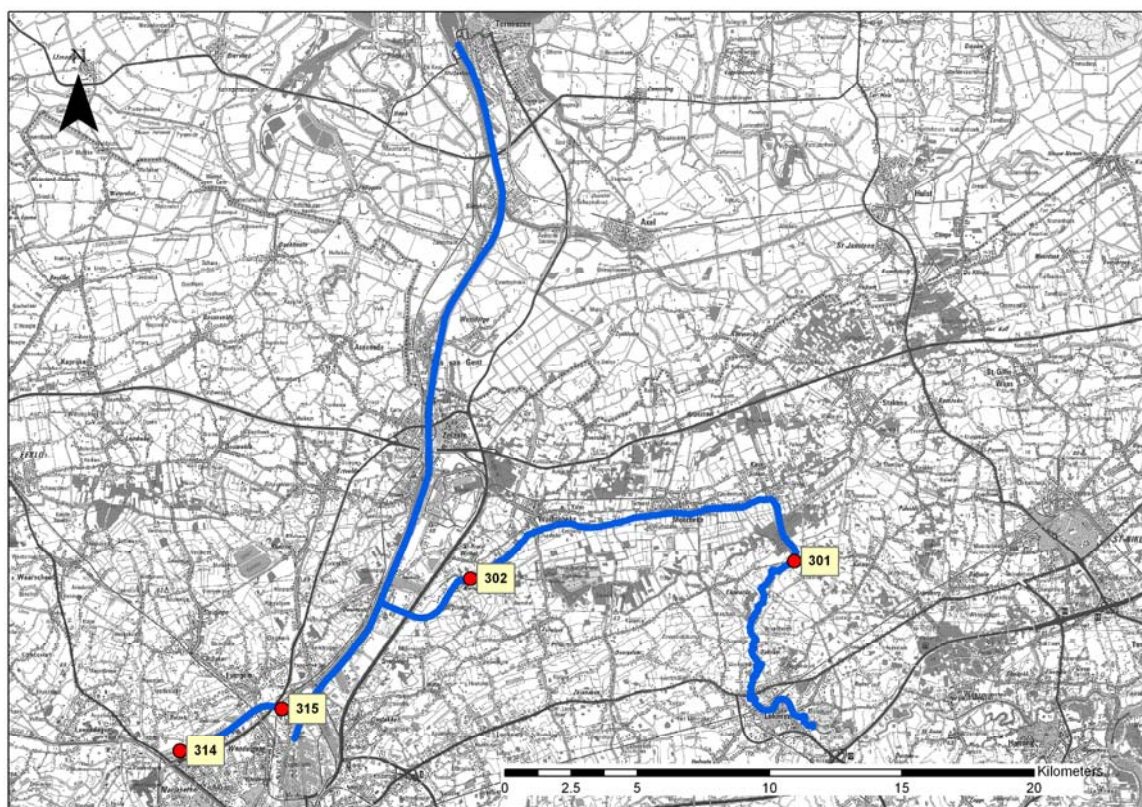
In het studiegebied bevinden zich meetpunten van volgende meetnetten:

- meetnet bevaarbare waterlopen, Hydrologisch Informatie Centrum (HIC)
- meetnet oppervlaktewater, Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)
- Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR), Rijkswaterstaat (RWS)
- meetnet Zeeuwse Getijdewateren (ZEGE), Hydro Meteo Centrum Zeeland (HMCZ)
- meetnet kanaal Gent-Terneuzen, Hydro Meteo Centrum Zeeland (HMCZ)

De eerste twee netwerken bevatten enkel meetpunten in Vlaanderen. De volgende twee bevatten enkel meetpunten in Nederland. Het laatste meetnet is grensoverschrijdend. In de volgende paragrafen worden de verschillende meetnetten verder toegelicht.

3.1.1 Meetnet bevaarbare waterlopen

De meetpunten van het meetnet bevaarbare waterlopen van het HIC worden weergegeven in Figuur 2. De relevante metingen worden samengevat in Tabel 1.



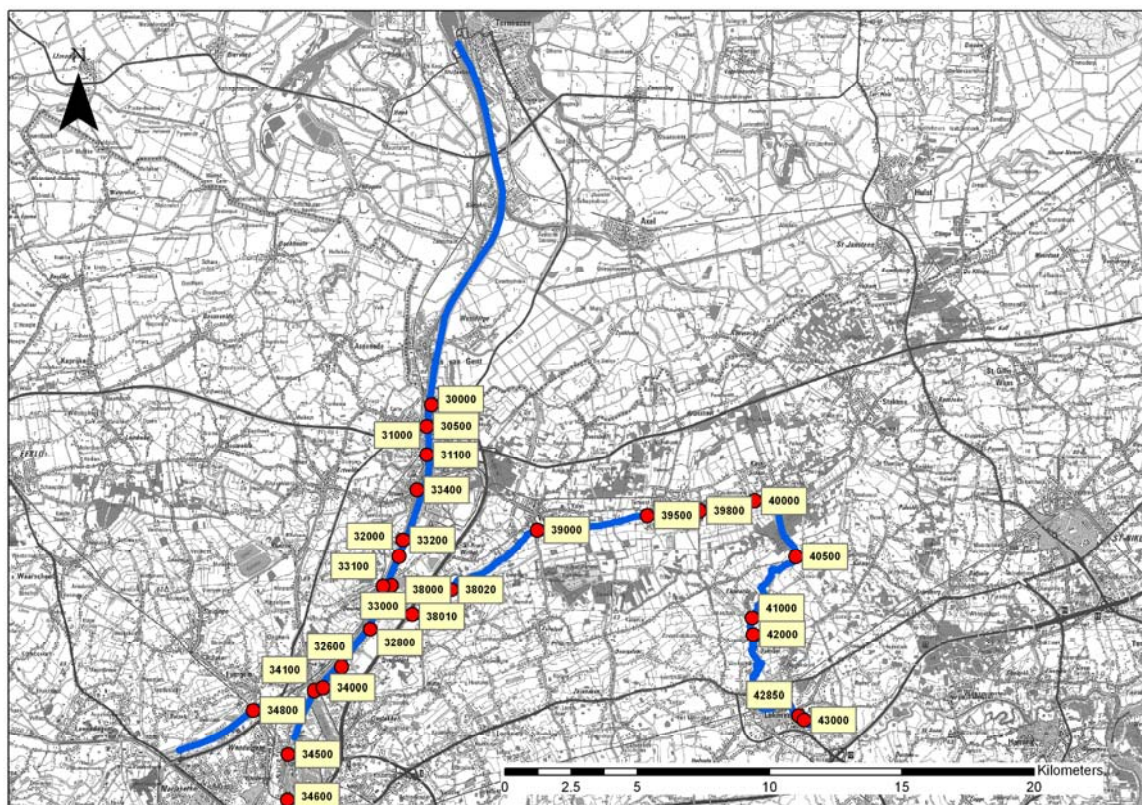
Figuur 2 – Meetpunten bevaarbare waterlopen (HIC)

Tabel 1 – Meetpunten bevaarbare waterlopen (HIC)

ID	Waterloop	Ligging	Variabelen	Periode	Frequentie
301	Moervaart	Sinaai	H, Q	2006-2010	15 min
302	Moervaart	Mendonk	H, Q	2006-2010	15 min
314	Ringvaart	Evergem	Q	2002-2010	5 min
315	Ringvaart	Wondelgem	H	1991-2010	60/15 min

3.1.2 Meetnet oppervlaktewater

De meetpunten van het meetnet oppervlaktewater van VMM worden weergegeven in Figuur 3. De relevante metingen worden samengevat in Tabel 2.



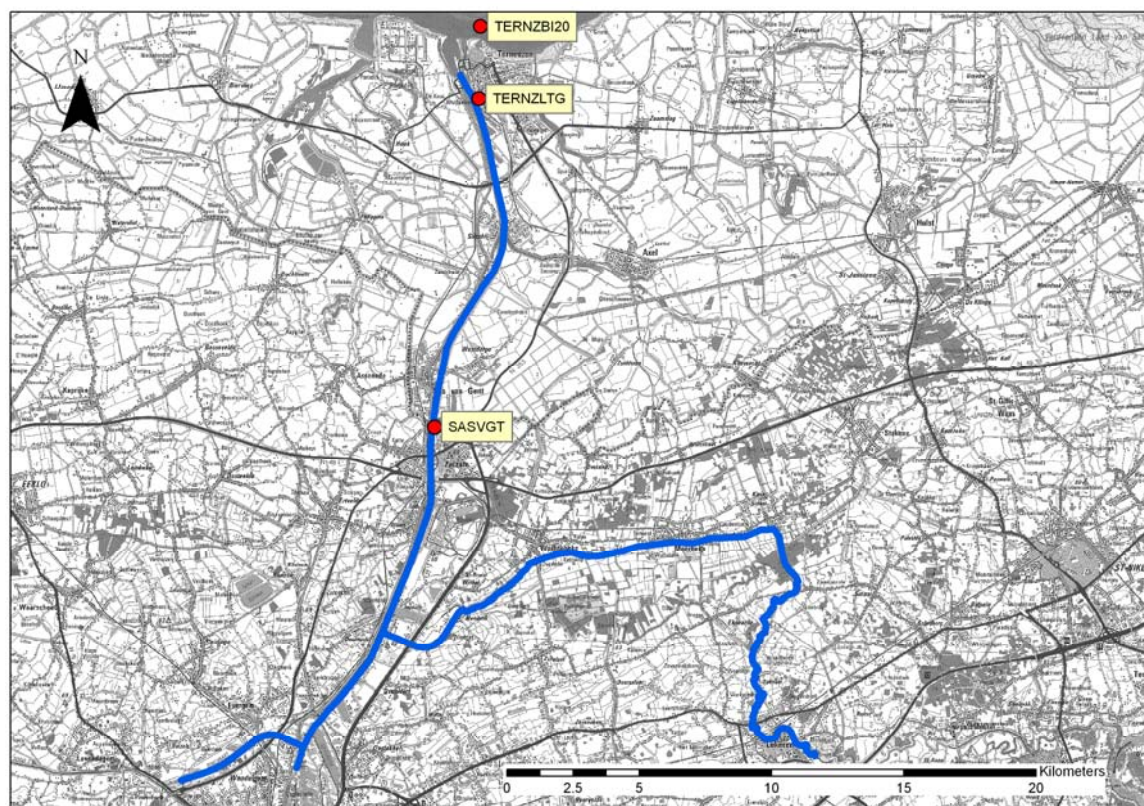
Figuur 3 – Meetpunten oppervlaktewater (VMM)

Tabel 2 – Meetpunten oppervlaktewater (VMM)

ID	Waterloop	Ligging	Variabelen	Periode	Frequentie
30000	Kanaal G-T	Zelzate	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
31000	Kanaal G-T	Zelzate	Cl ⁻	1989-2006	> 2 weken
32000	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
32600	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	2000-2002	> 2 weken
32800	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1993-2002	> 2 weken
33000	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1993-1994	> 2 weken
33100	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1998-2006	> 2 weken
33200	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1993-1994	> 2 weken
33400	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1993-1999	> 2 weken
34000	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1989-1997	> 2 weken
34100	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1998-2010	> 2 weken
34500	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	1993-2006	> 2 weken
34600	Kanaal G-T	Gent	Cl ⁻	2008-2010	> 2 weken
34700	Ringvaart	Wondelgem	Cl ⁻	1995-2010	> 2 weken
34800	Ringvaart	Wondelgem	Cl ⁻	1997-2006	> 2 weken
38000	Moervaart	Oostakker	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
38010	Moervaart	Oostakker	Cl ⁻	1995-1997	> 2 weken
38020	Moervaart	Oostakker	Cl ⁻	2006-2010	> 2 weken
39000	Moervaart	Wachtebeke	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
39500	Moervaart	Moerbeke	Cl ⁻	1995-2010	> 2 weken
39800	Moervaart	Moerbeke	Cl ⁻	1999-2010	> 2 weken
40000	Moervaart	Moerbeke	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
40500	Moervaart	Sinaai	Cl ⁻	2008-2010	> 2 weken
41000	Moervaart	Daknam	Cl ⁻	1989-1998	> 2 weken
42000	Durmekanaal	Daknam	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken
42800	Durmekanaal	Lokeren	Cl ⁻	2007-2010	> 2 weken
42850	Durmekanaal	Lokeren	Cl ⁻	2010-2010	> 2 weken
43000	Durmekanaal	Lokeren	Cl ⁻	1989-2010	> 2 weken

3.1.3 Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR)

De meetpunten uit de DONAR databank van RWS worden weergegeven in Figuur 4. De relevante metingen worden samengevat in Tabel 3.



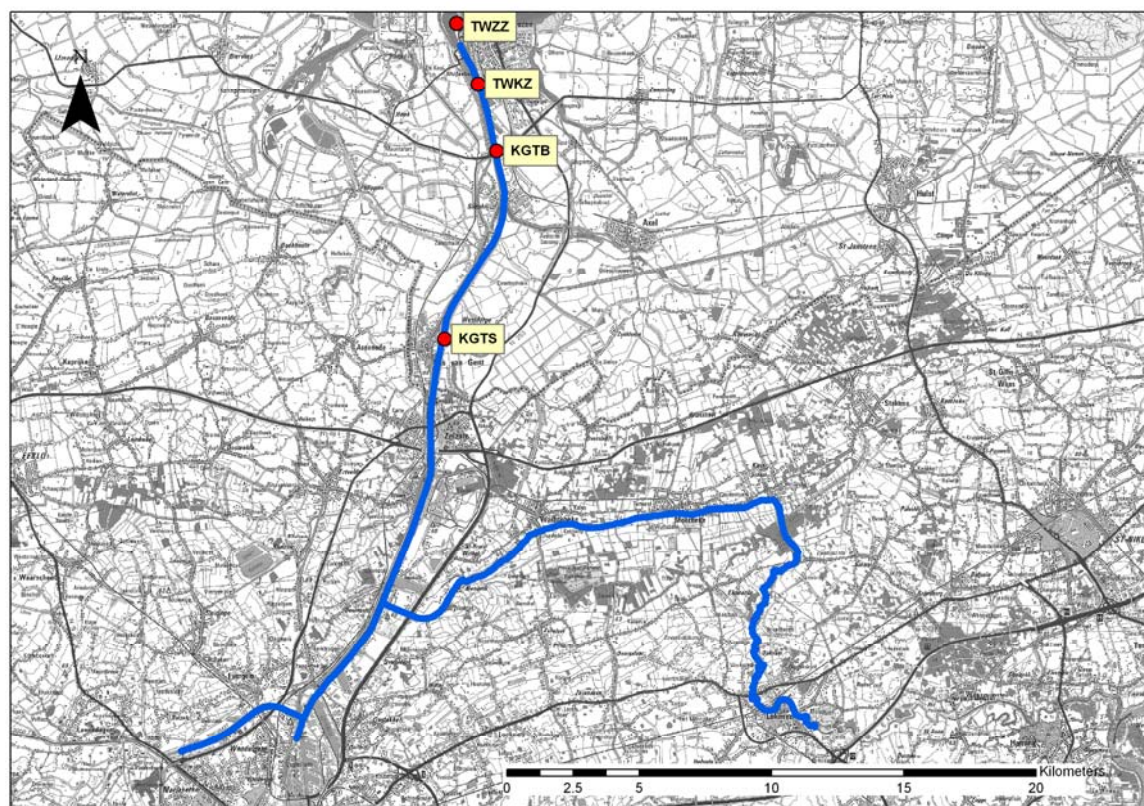
Figuur 4 – Meetpunten DONAR (RWS)

Tabel 3 – Meetpunten DONAR (RWS)

ID	Waterloop	Ligging	Variabelen	Periode	Frequentie
TERNZBI20	Westerschelde	Terneuzen, boei 20	H	1971-2010	10 min
TERNZBI20	Westerschelde	Terneuzen, boei 20	Cl ⁻	1967-1996	> 2 weken
TERNZBI20	Westerschelde	Terneuzen, boei 20	S	1982-2010	> 2 weken
TERNZLTG	Kanaal G-T	Terneuzen, landtong	S	1982-1989	> 2 weken
SASVGT	Kanaal G-T	Sas-van-Gent	S	1982-2010	> 2 weken

3.1.4 Meetnet Zeeuwse Getijdewateren (ZEGE)

De meetpunten van het ZEGE meetnet van HMCZ worden weergegeven in Figuur 5. De relevante metingen worden samengevat in Tabel 4.



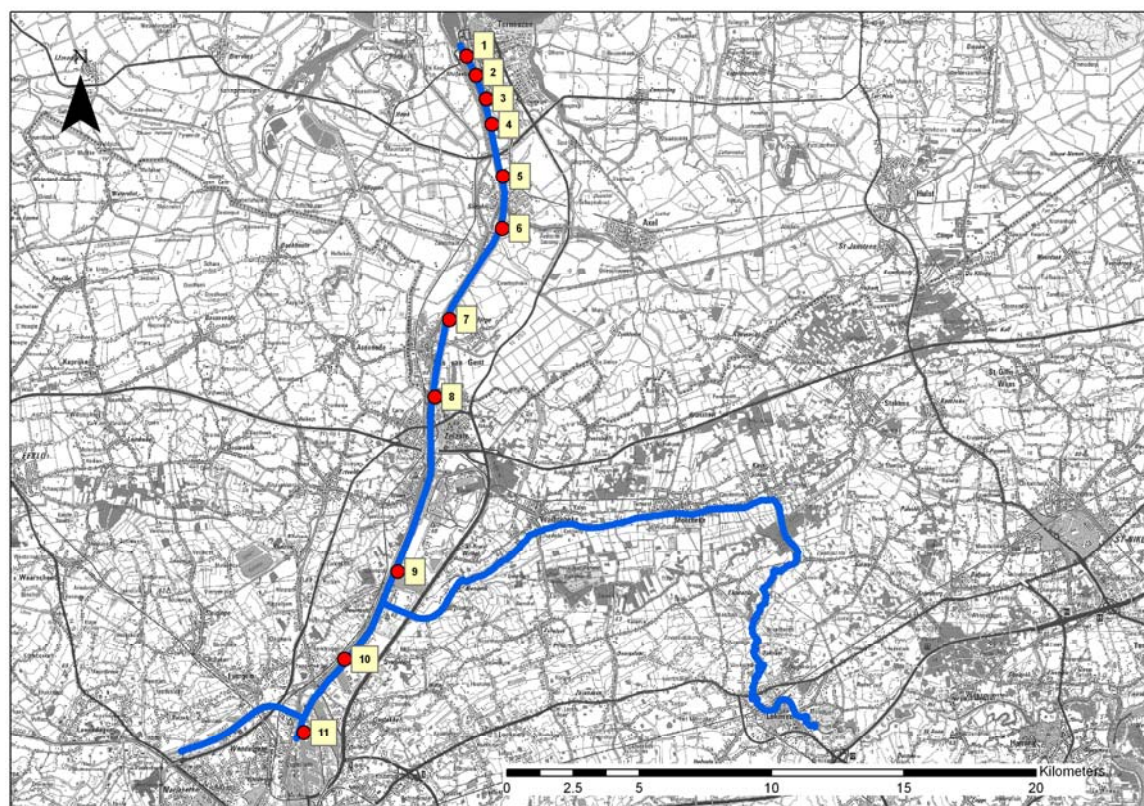
Figuur 5 – Meetpunten ZEGE (HMCZ)

Tabel 4 – Meetpunten ZEGE (HMCZ)

ID	Waterloop	Ligging	Variabelen	Periode	Frequentie
HFPL	Westerschelde	Hoofdplaat	Cl_{top} , Cl_{bot}	1987-2010	10 min
OVHA	Westerschelde	Overloop Hansweert	Cl_{top} , Cl_{bot}	1996-2010	10 min
BAAL	Westerschelde	Baalhoek	Cl_{top} , Cl_{bot}	1987-2010	10 min
TWZZ	Westerschelde	Terneuzen, westsluis	Cl_{top} , Cl_{bot}	2007-2010	10 min
TWKZ	Kanaal G-T	Terneuzen, westsluis	Cl_{top} , Cl_{bot}	2007-2010	10 min
KGTB	Kanaal G-T	Sluiskil	Cl_{top} , Cl_{bot}	1995-2010	10 min
KGTS	Kanaal G-T	Sas-van-Gent	Cl_{top} , Cl_{bot}	2008-2010	10 min

3.1.5 Meetnet kanaal Gent-Terneuzen

De meetpunten van het meetnet voor het kanaal Gent-Terneuzen van HMCZ worden weergegeven in Figuur 6. De relevante metingen worden samengevat in Tabel 5.



Figuur 6 – Meetpunten kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ)

Tabel 5 – Meetpunten kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ)

ID	Waterloop	Ligging	Variabelen	Periode	Frequentie
1	Kanaal G-T	Terneuzen	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
2	Kanaal G-T	Terneuzen	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
3	Kanaal G-T	Terneuzen	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
4	Kanaal G-T	Terneuzen	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
5	Kanaal G-T	Sluiskil	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
6	Kanaal G-T	Sluiskil	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
7	Kanaal G-T	Sas-van-Gent	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden
8	Kanaal G-T	Sas-van-Gent	Cl_{profiel}	1997-2010	2 maanden

9	Kanaal G-T	Gent	Cl _{profiel}	1997-2010	2 maanden
10	Kanaal G-T	Gent	Cl _{profiel}	1997-2010	2 maanden
11	Kanaal G-T	Gent	Cl _{profiel}	1997-2010	2 maanden

3.2 Metingen

3.2.1 Zoutgehalte

Afhankelijk van de dataset wordt het zoutgehalte uitgedrukt onder vorm van het chloride gehalte (Cl⁻) of de saliniteit (S). Het chloride gehalte geeft het aantal g chloride per liter water weer. Daarnaast wordt soms ook gebruik gemaakt van de chlorositeit (het aantal g chloride, iodide en bromide per liter water bij een temperatuur van 20 °C) of de chloriniteit (het aantal g chloride, iodide en bromide per kg water). Aangezien het iodide en bromide gehalte veel lager ligt dan het chloride gehalte en de impact van temperatuurschommelingen en zoutconcentratie op de dichtheid van water beperkt blijft tot enkele procenten, kan het verschil tussen chloride gehalte, chlorositeit en chloriniteit in deze studie verwaarloosd worden in het licht van andere onzekerheden (meetfouten, variatie in tijd en ruimte, ...).

De saliniteit is de hoeveelheid opgeloste zouten in g per kg water (= ppt). Voor zeewater is de onderlinge verhouding tussen de verschillende ionen min of meer constant en kan de saliniteit geschat worden op basis van de chloriniteit (UNESCO, 1996):

$$S = 1.80655 \text{ Cl} \quad (1)$$

met S = saliniteit (ppt)

Cl = chloriniteit (ppt)

Op basis van hun zoutgehalte kunnen oppervlaktewateren ingedeeld worden in meerdere klassen. Een veel gebruikte classificatie is het "Venetiaans Systeem" (IAL-IUBS, 1959). Dit wordt vereenvoudigd weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 – Classificatie oppervlaktewater (vereenvoudigd Venetiaans systeem)

Type	saliniteit (ppt)	chloriniteit (ppt)
Zoet	< 0.5	< 0.3
Brak	0.5 – 30	0.3 -17
Zout	> 30	> 17

3.2.2 Meetnet oppervlaktewater

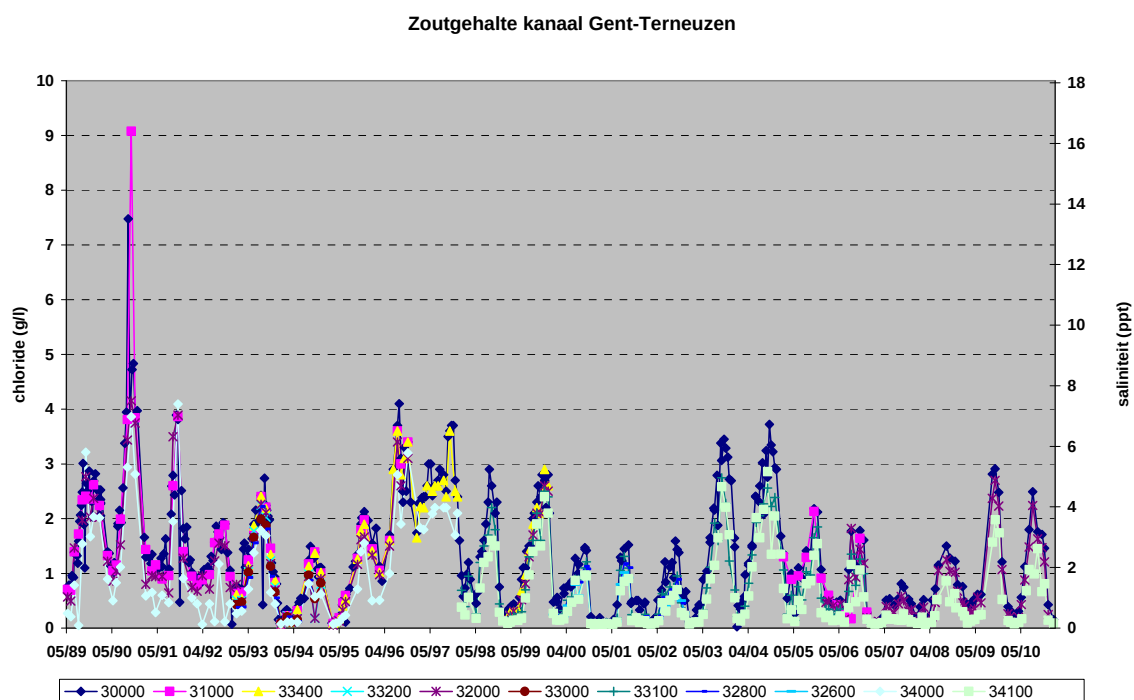
De metingen van het meetnet oppervlaktewater van VMM worden samengevat in Tabel 7 t.e.m. Tabel 10. Voor elk meetpunt worden de laagste, de hoogste en de gemiddelde waarde voor het zoutgehalte weergegeven. Om vergelijkingen met andere metingen te vergemakkelijken werden de gemeten chloride gehalten omgerekend naar saliniteit. Het verloop van het zoutgehalte in de tijd en langsheen de lengte van een waterloop wordt weergegeven in Figuur 7 t.e.m. Figuur 10. Bij de interpretatie van de tabellen dient steeds rekening gehouden te worden met het feit dat niet alle meetreeksen op dezelfde periode betrekking hebben, zodat vergelijkingen tussen meetpunten onderling niet altijd zinvol zijn. Het verschil in meetperiode verklaart ook het grillige verloop van de curven in de lengteprofielen.

Tabel 7 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (VMM)

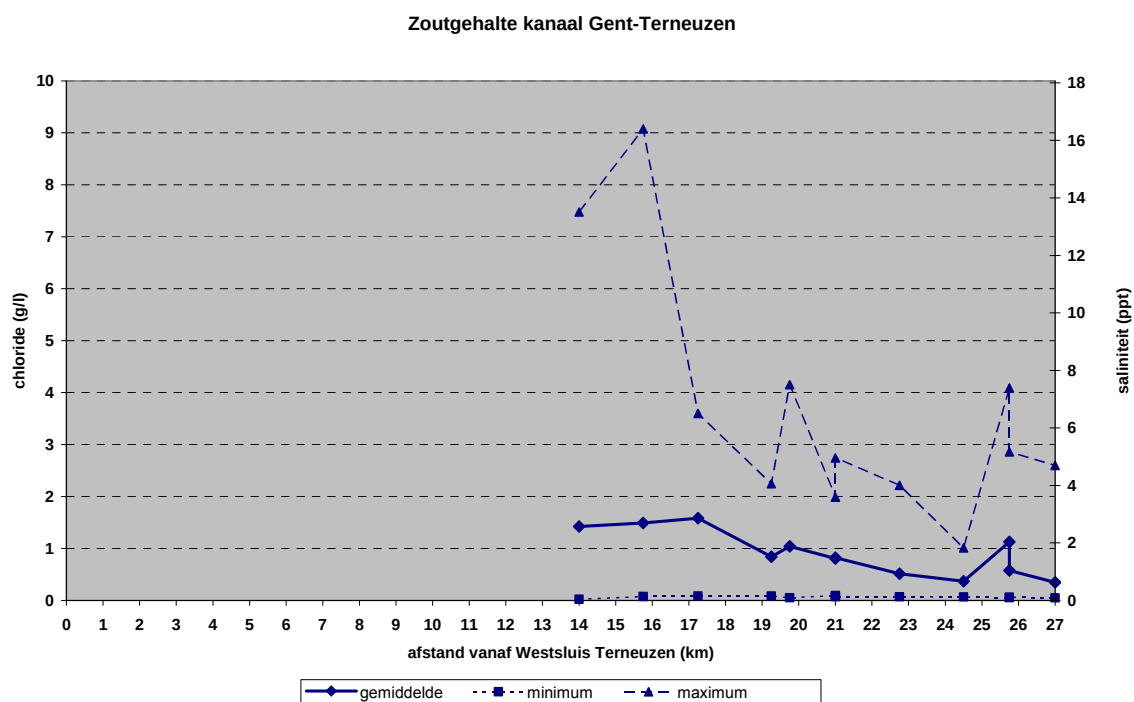
ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
30000	Cl ⁻	0.0	7.5	1.4	0.0	13.5	2.6
31000	Cl ⁻	0.1	9.1	1.5	0.1	16.4	2.7
33400	Cl ⁻	0.1	3.6	1.6	0.2	6.5	2.9
33200	Cl ⁻	0.1	2.2	0.8	0.2	4.1	1.5
32000	Cl ⁻	0.1	4.2	1.0	0.1	7.5	1.9
33000	Cl ⁻	0.1	2.0	0.8	0.2	3.6	1.5
33100	Cl ⁻	0.1	2.7	0.8	0.1	5.0	1.5
32800	Cl ⁻	0.1	2.2	0.5	0.1	4.0	0.9
32600	Cl ⁻	0.1	1.0	0.4	0.1	1.8	0.7
34000	Cl ⁻	0.1	4.1	1.1	0.1	7.4	2.0
34100	Cl ⁻	0.1	2.9	0.6	0.1	5.2	1.0
34500	Cl ⁻	0.0	2.6	0.3	0.1	4.7	0.6
34600	Cl ⁻	0.1	0.7	0.2	0.1	1.3	0.4

Tabel 8 – Zoutgehalte Moervaart (VMM)

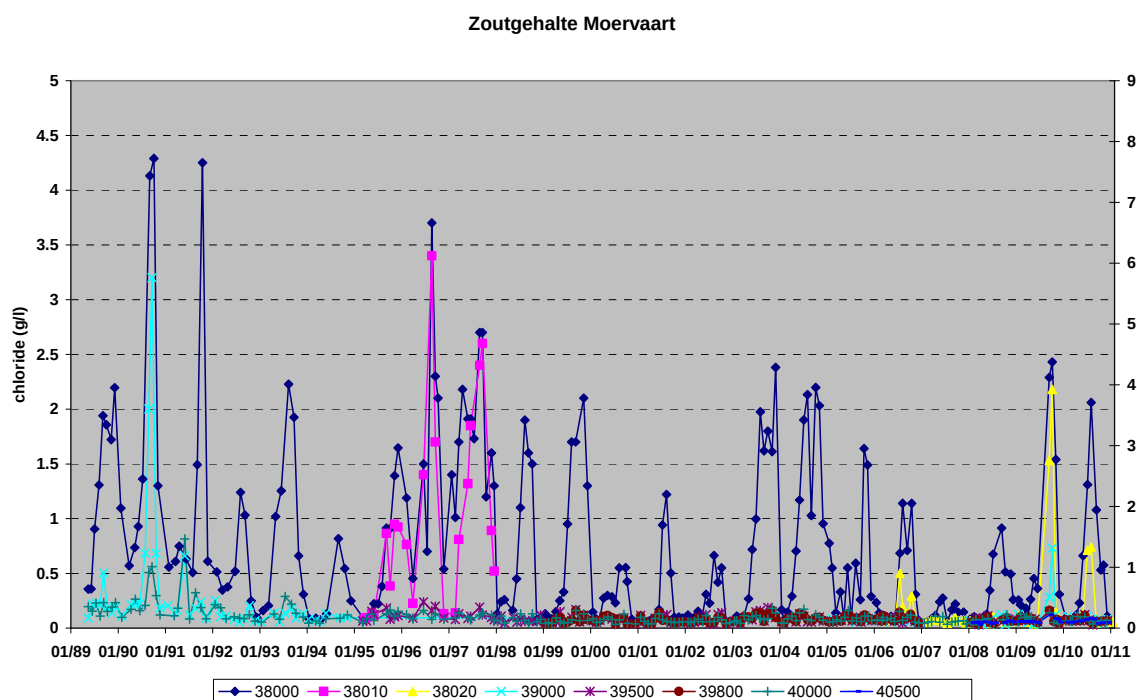
ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
38000	Cl ⁻	0.0	4.3	0.7	0.1	7.7	1.3
38010	Cl ⁻	0.1	3.4	1.0	0.2	6.1	1.8
38020	Cl ⁻	0.0	2.2	0.2	0.1	3.9	0.3
39000	Cl ⁻	0.0	3.2	0.2	0.1	5.8	0.3
39500	Cl ⁻	0.0	0.2	0.1	0.0	0.4	0.2
39800	Cl ⁻	0.0	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1
40000	Cl ⁻	0.0	0.8	0.1	0.1	1.5	0.2
40500	Cl ⁻	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
41000	Cl ⁻	0.1	0.6	0.1	0.1	1.0	0.3



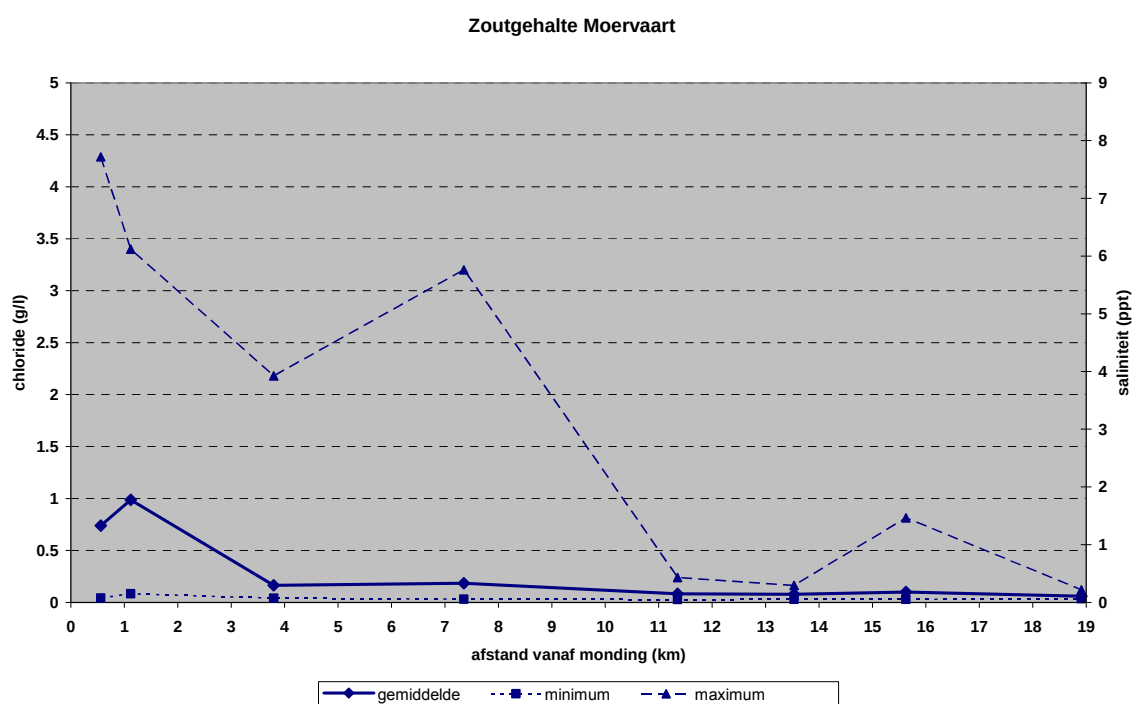
Figuur 7 – Verloop zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (Vlaams gedeelte)



Figuur 8 – Verloop zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (Vlaams gedeelte)



Figuur 9 – Verloop zoutgehalte Moervaart



Figuur 10 – Verloop zoutgehalte Moervaart

Tabel 9 – Zoutgehalte Durmekanaal (VMM)

ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
42000	Cl ⁻	0.0	0.6	0.1	0.1	1.0	0.2
42800	Cl ⁻	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1
42850	Cl ⁻	0.1	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2
43000	Cl ⁻	0.0	0.3	0.1	0.1	0.6	0.2

Tabel 10 – Zoutgehalte Ringvaart (VMM)

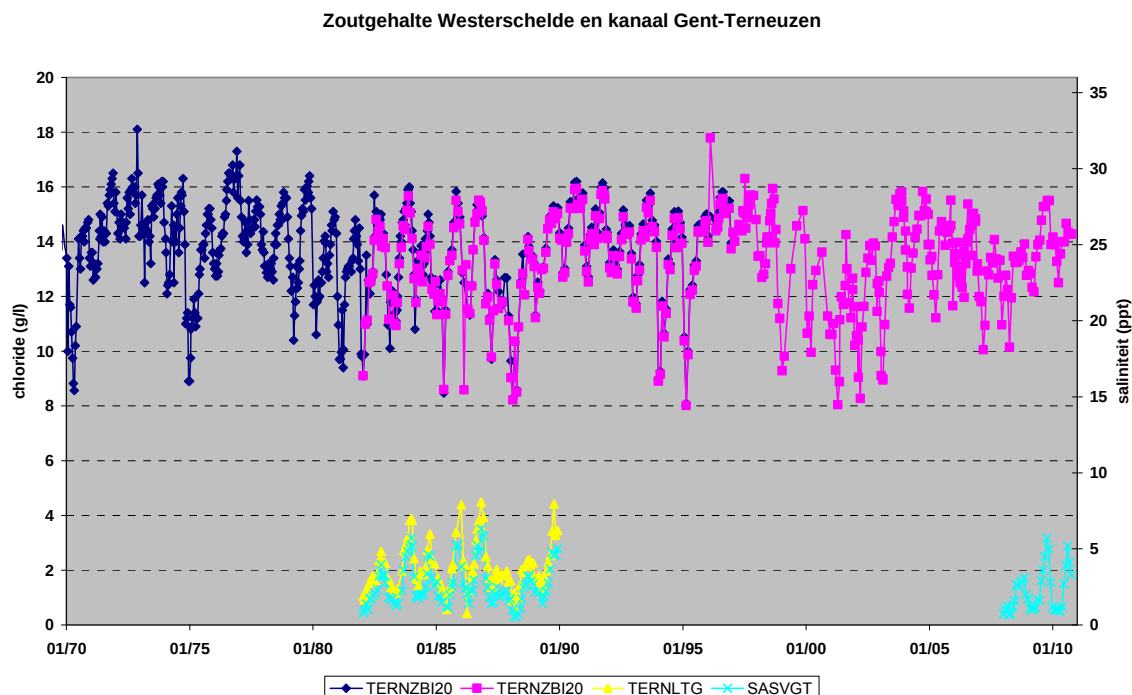
ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
34700	Cl ⁻	0.0	1.9	0.2	0.1	3.4	0.4
34800	Cl ⁻	0.0	1.0	0.2	0.1	1.9	0.4

Op basis van het gemiddelde chloride gehalte, kan het kanaal Gent-Terneuzen over zijn volledige lengte als brak geklasseerd worden. De haven van Gent en het noordervak van de Ringvaart kunnen als zoet geklasseerd worden. Het meest afwaartse deel van de Moervaart is brak, maar het opwaartse deel is zoet.

3.2.3 Data Opslag Natte Rijkswaterstaat (DONAR)

De metingen uit de DONAR databank geven een aanduiding van de langetermijnvariatie van het zoutgehalte in de Westerschelde in Terneuzen en het kanaal Gent-Terneuzen. De metingen worden gevisualiseerd in Figuur 11. De numerieke waarden worden samengevat in Tabel 11. Om vergelijkingen met andere metingen te vergemakkelijken werden de gemeten chloride gehalten omgerekend naar saliniteit en omgekeerd.

Op basis van de gemiddelde zoutgehaltenes kan ook de Westerschelde in Terneuzen als brak geklasseerd worden. Enkel de maxima zijn representatief voor zout water. Het zoutgehalte in de Westerschelde vertoont een duidelijke variatie. Die is vermoedelijk het gevolg van de variatie van het bovendebiet. Hoge bovendebieten leiden tot lagere zoutgehaltenes en omgekeerd. Het zoutgehalte in het kanaal Gent-Terneuzen, net opwaarts van de sluizen, is beduidend lager dan het zoutgehalte in de Westerschelde en neemt nog verder af naar opwaarts toe.



Figuur 11 – Zoutgehalte Westerschelde en kanaal Gent-Terneuzen (DONAR)

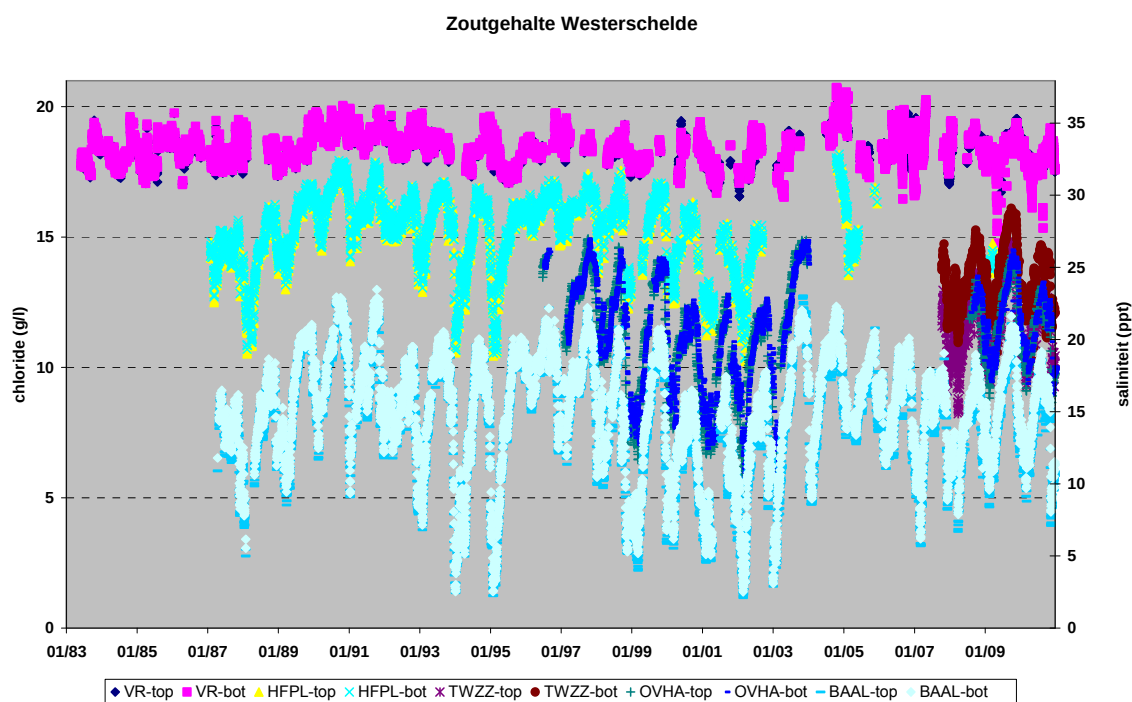
Tabel 11 – Zoutgehalte Westerschelde en kanaal Gent-Terneuzen (DONAR)

ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
TERNZBI20	Cl ⁻	8.1	18.1	13.7	14.6	32.7	24.8
TERNZBI20	S	8	17.7	13.2	14.4	32.0	23.9
TERNZLTG	S	0.4	4.5	2.1	0.8	8.1	3.7
SASVGT	S	0.3	3.5	1.4	0.5	6.3	2.5

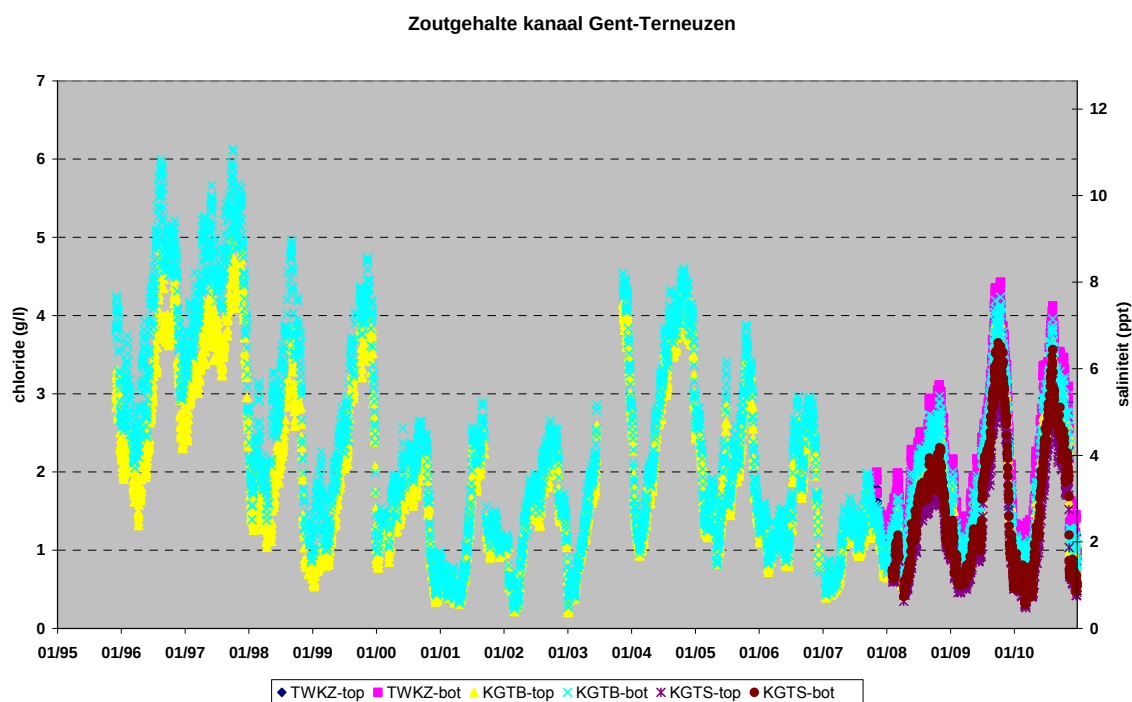
3.2.4 Meetnet Zeeuwse Getijdewateren (ZEGE)

De metingen uit het ZEGE meetnet van HMCZ bieden een inzicht in de variatie van het zoutgehalte in de Westerschelde en het kanaal Gent-Terneuzen. De metingen worden gevisualiseerd in Figuur 12 en Figuur 13. De numerieke waarden worden samengevat in Tabel 12 en Tabel 13.

Voor de Westerschelde werden enkel de metingen in de omgeving van Terneuzen (van Baalhoek tot Hoofdplaat) geanalyseerd. In de figuur werden als referentie ook de metingen voor de Noordzee (vlakte van de Raan) toegevoegd. Om visualisatie van de volledige meetreeksen mogelijk te maken, werden de 10-minutelijkse meetwaarden omgerekend tot daggemiddelde waarden. Voor elk meetpunt zijn twee metingen beschikbaar: één nabij het wateroppervlak (top) en één nabij de bodem (bot). De waarden uit de tabellen werden berekend voor de perioden waarin beide waarden gelijktijdig beschikbaar waren. De hoogfrequente meetreeksen bevatten een aantal uitzonderingswaarden, die niet allemaal verwijderd werden. De minima en maxima zijn dan ook minder betrouwbaar. De gemiddelden zijn als gevolg van het zeer hoge aantal metingen wel betrouwbaar.



Figuur 12 – Zoutgehalte Westerschelde (ZEGE)



Figuur 13 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (ZEGE)

Tabel 12 – Zoutgehalte Westerschelde (ZEGE)

ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
HFPL	Cl ⁻ _{top}	0.8	19.0	15.2	1.4	34.3	27.5
HFPL	Cl ⁻ _{bot}	6.7	19.0	15.3	12.1	34.3	27.6
OVHA	Cl ⁻ _{top}	2.4	15.8	11.2	4.3	28.5	20.2
OVHA	Cl ⁻ _{bot}	2.9	15.9	11.4	5.2	28.7	20.6
BAAL	Cl ⁻ _{top}	0	14.5	8.0	0.0	26.2	14.5
BAAL	Cl ⁻ _{bot}	0	14.7	8.3	0.0	26.6	15.0
TWZZ	Cl ⁻ _{top}	2.9	15.7	11.6	5.2	28.4	21.0
TWZZ	Cl ⁻ _{bot}	3.3	16.7	13.4	6.0	30.2	24.2

Tabel 13 – Zoutgehalte Kanaal Gent-Terneuzen (ZEGE)

ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
TWKZ	Cl ⁻ _{top}	0.5	4.5	1.9	0.9	8.1	3.4
TWKZ	Cl ⁻ _{bot}	0.7	4.9	2.1	1.3	8.9	3.8
KGTB	Cl ⁻ _{top}	0.2	5.2	2.0	0.4	9.4	3.6
KGTB	Cl ⁻ _{bot}	0.1	7.4	2.3	0.2	13.4	4.2
KGTS	Cl ⁻ _{top}	0.2	3.5	1.4	0.4	6.3	2.5
KGTS	Cl ⁻ _{bot}	0.3	3.8	1.6	0.5	6.9	2.9

In de Westerschelde is er een duidelijke afname van het gemiddelde zoutgehalte van afwaarts (HFPL) naar opwaarts (BAAL). De variatie (verschil tussen maxima en minima) neemt daarentegen toe van afwaarts naar opwaarts. Het verschil in zoutgehalte tussen oppervlak en bodem is vrij beperkt. Enkel voor het station TWZZ (gelegen aan de zeezijde van de Westsluis van Terneuzen) is er een uitgesproken verschil.

3.2.5 Meetnet kanaal Gent-Terneuzen

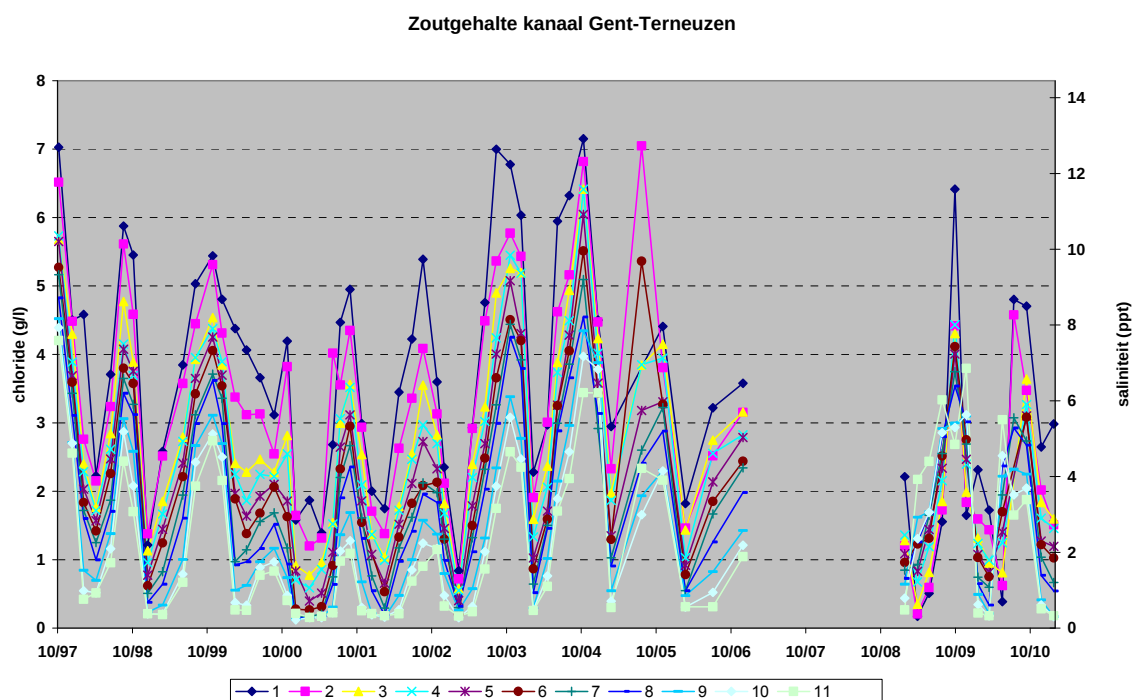
De metingen van het meetnet kanaal Gent-Terneuzen van HMCZ geven een zeer duidelijk beeld van de variatie van het zoutgehalte in het kanaal Gent-Terneuzen in de ruimte (horizontaal en verticaal) en in de tijd. Een uitgebreide set figuren, opgemaakt door HMCZ, werd toegevoegd in bijlage. De figuren tonen duidelijk aan dat er zich tijdens de zomermaanden een zouttong ontwikkelt, die zich uitstrekt van in Terneuzen tot in Gent. De hoge afvoeren tijdens de wintermaanden dringen deze zouttong tijdelijk terug.

Tabel 14 – Zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ)

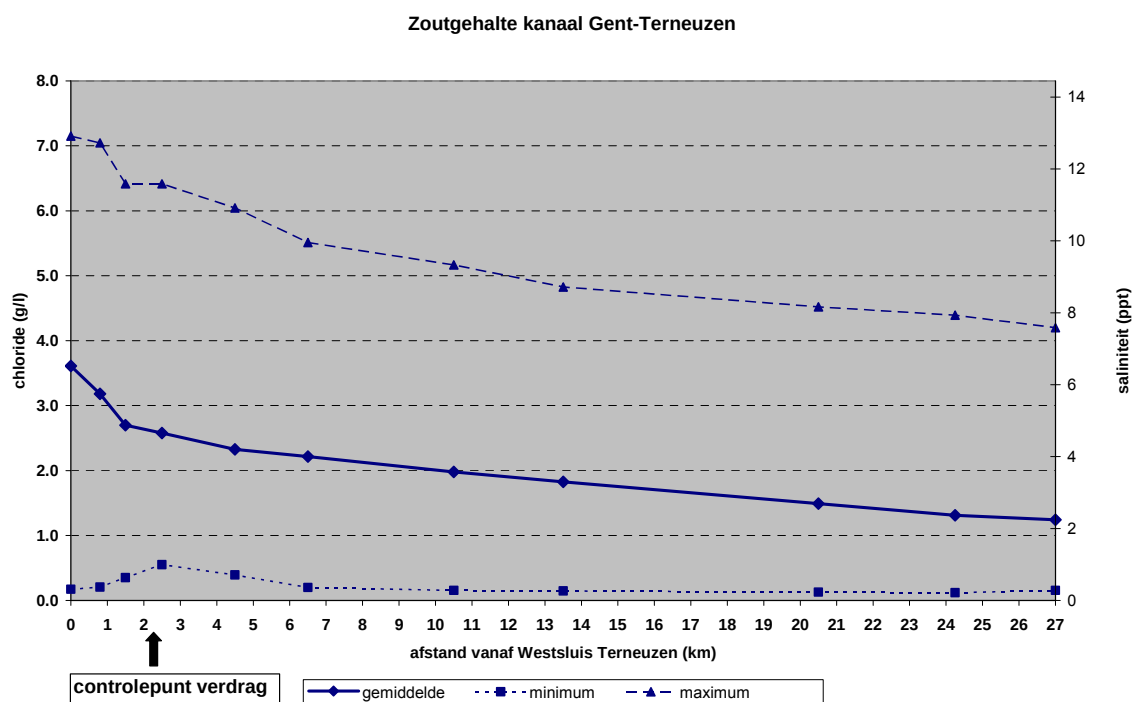
ID	Variabele	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
1	Cl ⁻ _{gem}	0.2	7.2	3.6	0.3	12.9	6.5
2	Cl ⁻ _{gem}	0.2	7.0	3.2	0.4	12.7	5.7
3	Cl ⁻ _{gem}	0.4	6.4	2.7	0.6	11.6	4.9
4	Cl ⁻ _{gem}	0.6	6.4	2.6	1.0	11.6	4.7
5	Cl ⁻ _{gem}	0.4	6.0	2.3	0.7	10.9	4.2
6	Cl ⁻ _{gem}	0.2	5.5	2.2	0.4	10.0	4.0
7	Cl ⁻ _{gem}	0.2	5.2	2.0	0.3	9.3	3.6
8	Cl ⁻ _{gem}	0.1	4.8	1.8	0.3	8.7	3.3
9	Cl ⁻ _{gem}	0.1	4.5	1.5	0.2	8.2	2.7
10	Cl ⁻ _{gem}	0.1	4.4	1.3	0.2	7.9	2.4
11	Cl ⁻ _{gem}	0.2	4.2	1.2	0.3	7.6	2.2

Voor deze studie zijn vooral de dieptegemiddelde waarden van belang. Deze worden samengevat in Tabel 14. De tijdsafhankelijke variatie wordt weergegeven in Figuur 14 en het lengteprofiel in Figuur 15. Ditmaal hebben alle metingen wel betrekking op dezelfde periode, waardoor de curven in het lengteprofiel een veel regelmatigere verloop hebben.

Het oorspronkelijke verdrag tussen België en Nederland van 20 juni 1960 schreef voor dat de dieptegemiddelde chloride concentratie, gemeten 2200 meter ten zuiden van de Westsluis, niet meer dan 3.5 g/l mocht bedragen. Uit Figuur 15 blijkt dat de gemiddelde waarde aan deze norm voldoet, maar dat de piekwaarden deze norm ver overschrijden. In de jaren '80 was reeds gebleken dat de chloridenorm uit het oorspronkelijke verdrag in de praktijk niet haalbaar was. In een aanvullend verdrag van 5 februari 1985 werd deze norm dan ook vervangen door een debietsnorm (minimaal 13 m³/s gemeten over een periode van 2 maand).



Figuur 14 – Dieptegemiddelde zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen



Figuur 15 – Dieptegemiddelde zoutgehalte kanaal Gent-Terneuzen

4 Modelopbouw

4.1 Software

Het hydraulisch model werd opgebouwd door middel van het softwarepakket Mike11 (versie 2009, SP5). Voor het zouttransportmodel werd gebruik gemaakt van de advection-dispersie module.

De hydraulische berekeningen zijn gebaseerd op de vergelijkingen van de Saint-Venant:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gh \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{n^2 g Q |Q|}{AR^{4/3}} = 0 \quad (3)$$

met Q = debiet (m^3/s)
 A = dwarssectie (m^2)
 q = zijdelingse instroming ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)
 h = waterpeil (m TAW)
 n = ruwheidcoëfficiënt Manning ($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)
 R = hydraulische straal (m)
 α = snelheidsverdelingscoëfficiënt (-)

De transportberekeningen maken gebruik van de advection-dispersievergelijking:

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_s q \quad (4)$$

met C = concentratie (g/m^3)
 D = longitudinale dispersiecoëfficiënt (m^2/s)
 K = lineaire afbraakcoëfficiënt ($1/\text{s}$)
 C_s = concentratie instroming (g/m^3)

De dispersiecoëfficiënt is afhankelijk van de stroomsnelheid:

$$D = a \left| \frac{Q}{A} \right|^b \quad (5)$$

waarbij a en b empirische coëfficiënten zijn. Indien b gelijk gesteld wordt aan nul, dan krijgt de dispersiecoëfficiënt een constante waarde gelijk aan a .

4.2 Hydraulisch model

Het hydraulisch model werd opgebouwd op basis van een bestaand model van de Gentse kanalen, opgemaakt in het kader van het project “Verbetering Modelinstrumentarium” (725/02). De modelopbouw omvatte volgende stappen:

- vereenvoudiging waterlopen
- vereenvoudiging dwarssecties
- aanpassing structuren
- opmaak randvoorwaarden

4.2.1 Waterlopen

Enkel de meest noodzakelijke waterlopen werden behouden: het kanaal Gent-Terneuzen (van de monding van de Ringvaart in Wondelgem tot de sluizen in Terneuzen) en de Moervaart (van de limnigraaf in Sinaai tot de monding in het kanaal Gent-Terneuzen). Het vereenvoudigde netwerk wordt weergegeven in Figuur 16.

4.2.2 Dwarssecties

De dwarssecties langsheen de Moervaart werden vereenvoudigd. Versmalde dwarssecties die een brug voorstelden werden verwijderd. De dwarssecties net opwaarts en afwaarts van de bruggen werden enkele honderden meters naar opwaarts en naar afwaarts verschoven.

4.2.3 Structuren

De bruggen langsheen de Moervaart werden weergegeven door middel van duikers (culverts). De breedte en het bodempeil werden overgenomen uit de versmalde dwarssecties van het oorspronkelijke model. Aan elke duiker werd een fictieve hoogte van 4 m toegekend. Dit is voldoende hoog opdat de duiker nooit onder druk zou komen te staan. De lengte werd arbitrair ingesteld op 10 m en de ruwheidcoëfficiënt (Manning) op 0.013 (beton). De ligging van deze bruggen is weergegeven in Figuur 16 (blauwe vierkantjes). De hoofdkenmerken worden samengevat in Tabel 15.

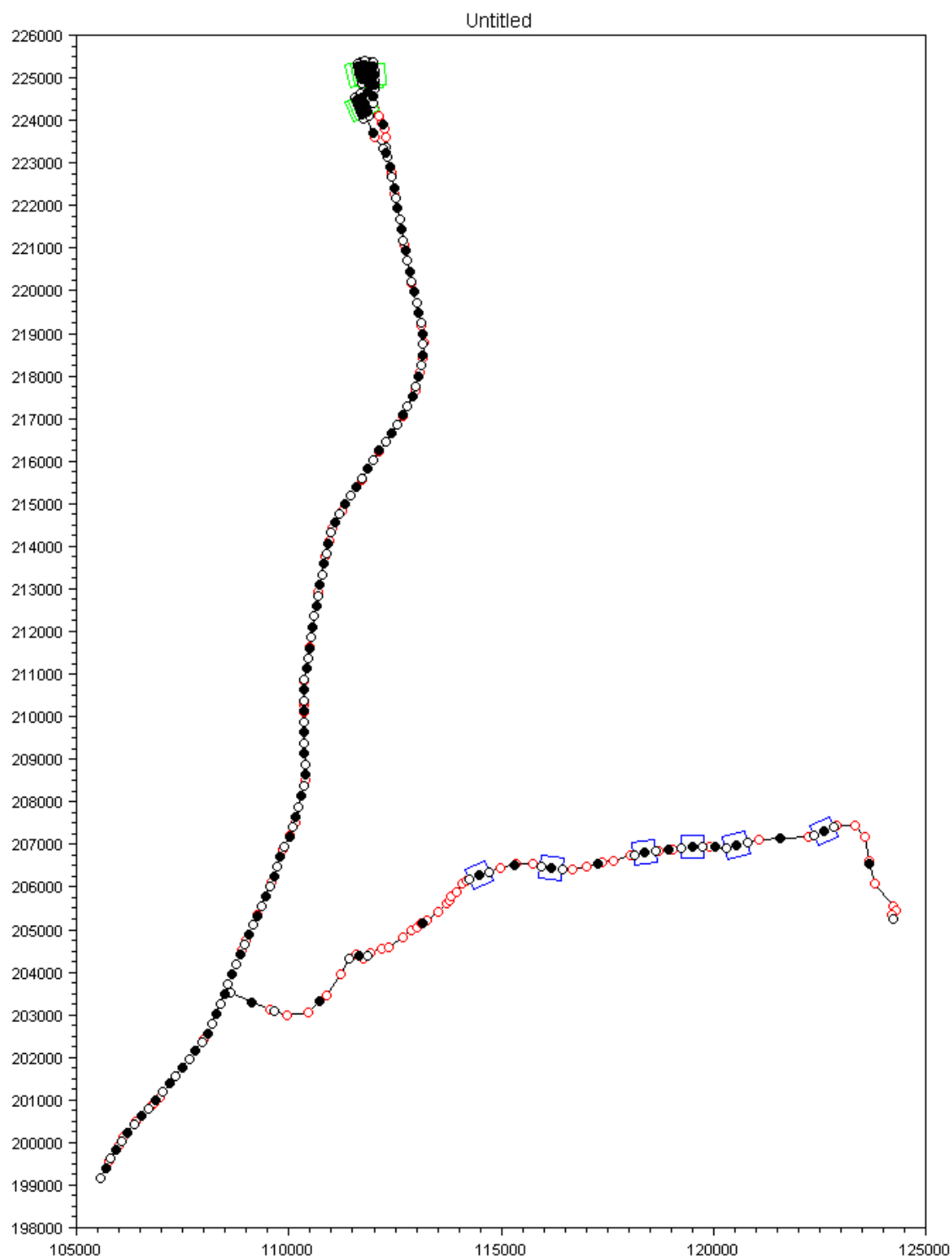
Tabel 15 – Bruggen Moervaart

Waterloop (branch)	Plaats (chainage)	Bodempeil (m TAW)	Breedte (m)	Hoogte (m)	Lengte (m)
Moervaart	7356	2.1	6	4	10
Moervaart	9113	2	6.6	4	10
Moervaart	11352	2	6	4	10
Moervaart	12470	2.1	7	4	10
Moervaart	13536	2.5	6	4	10
Moervaart	15625	2	6	4	10

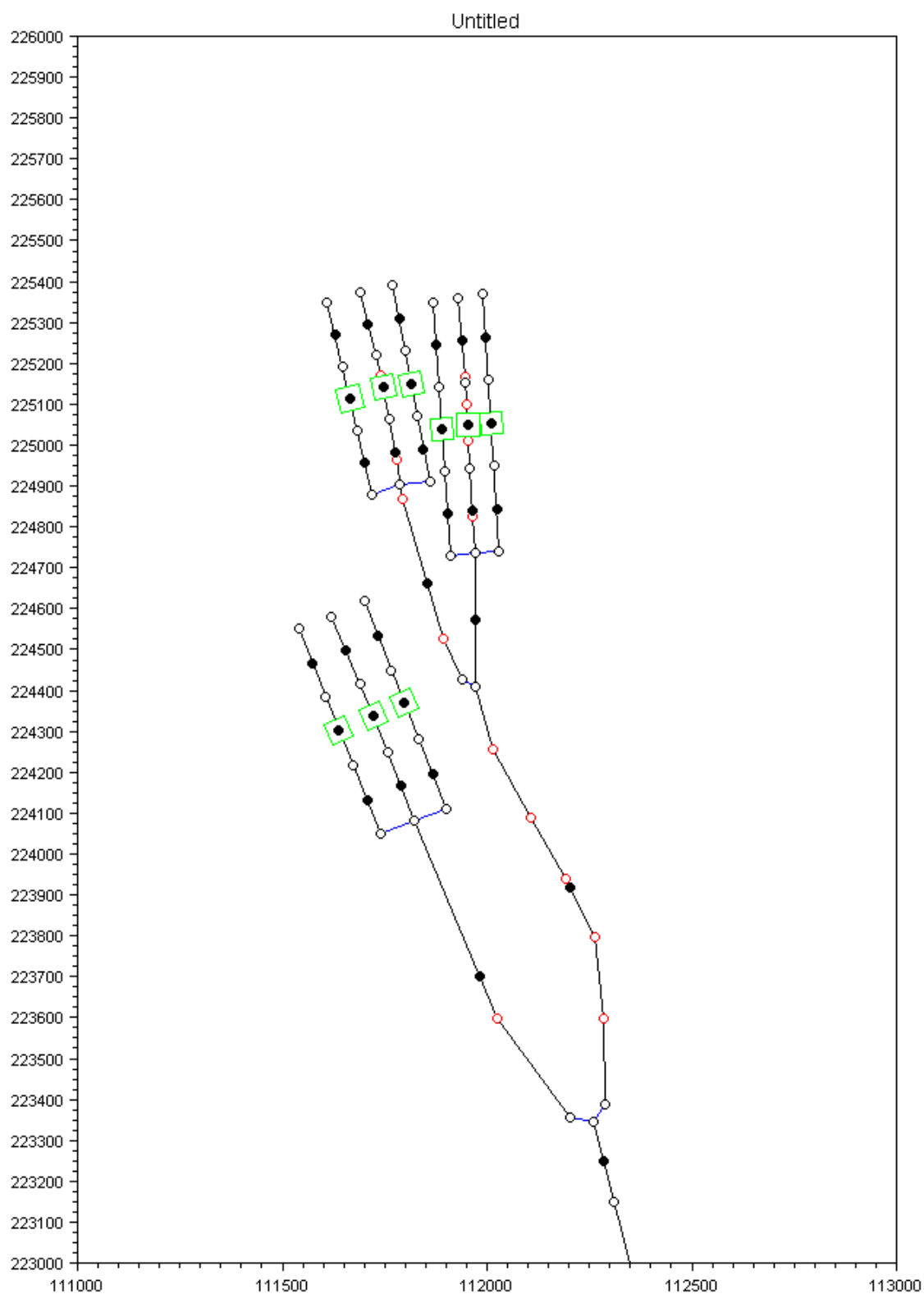
De sluisen in Terneuzen werden gemodelleerd door middel van een aantal parallelle takken, met controlestructuren op elke tak. Elke sluis wordt voorgesteld door middel van drie takken: een hoofdtak die de sluis voorstelt ("Oostsluis", "Middensluis" of "Westsluis" genaamd), een eerste neventak voor de spuiwerking (suffix "spui") en een tweede neventak voor de zoutuitwisseling (suffix "zout"). Deze schematische weergave wordt getoond in Figuur 17. De fysische processen (schutten, spuien en zoutuitwisseling) worden voorgesteld door middel van controlestructuren met een gecontroleerd debiet: één voor de schutverliezen, één voor het spuien en één voor de zoutuitwisseling. Aan de Oostsluis en de middensluis wordt enkel gespuid voor hoogwaterbeheer. Aan de Westsluis wordt er ook gespuid voor zoutbestrijding. Daarbij moet dan nog eens een onderscheid gemaakt worden tussen uitwisselingsspuien (tijdens de schuttingen) en continu spuien (tussen de schuttingen door). De ligging van deze controlestructuren is weergegeven in Figuur 17 (groene vierkantjes). De eigenschappen worden samengevat in Tabel 16.

Tabel 16 – Sluizen Terneuzen

Tak (branch)	Plaats (chainage)	Naam (ID)	Max debiet (m³/s)	Min peil (m TAW)	Max peil (m TAW)
Oostsluis	1735	TO-schut	2.7	4.2	4.45
Oostsluis	1735	TO-zoet	1.39	4.2	4.45
Oostsluis-zout	1735	TO-zout	1.39	4.2	4.45
Oostsluis-spui	1735	TO-spui	90	4.55	4.65
Middensluis	740	TM-schut	0.5	4.2	4.45
Middensluis	740	TM-zoet	0.61	4.2	4.45
Middensluis-zout	740	TM-zout	0.61	4.2	4.45
Middensluis-spui	740	TM-spui	85	4.45	4.55
Westsluis	1100	TW-schut	3.3	4.2	4.45
Westsluis	1100	TW-spui-uitw	4.2	4.35	4.45
Westsluis	1100	TW-spui-cont	3.4	4.44	4.45
Westsluis	1100	TW-zoet	7.37	4.2	4.45
Westsluis-zout	1100	TW-zout	7.37	4.2	4.45
Westsluis-spui	1100	TW-spui	130	4.65	4.75



Figuur 16 – Hydraulisch model - overzicht



Figuur 17 – Hydraulisch model – detail Terneuzen

De gemiddelde schutdebieten voor de drie sluizen werden berekend door RWS-Zeeland voor de periode 2000-2009. Wanneer het waterpeil in het kanaal hoger is dan of gelijk aan het streefpeil (4.45 m TAW), dan wordt het schutdebiet gelijk gesteld aan het berekende schutdebiet. Indien het waterpeil zakt, dan neemt het schutdebiet lineair af tot nul bij een geschat minimaal peil (4.2 m TAW). Wanneer er door een bepaalde sluis gespuid wordt voor hoogwaterbeheer, dan wordt het schutten door die sluis meteen stopgezet. In de andere sluizen kan het schutten nog wel doorgaan, totdat ook die sluizen ingezet worden voor het spuien.

De debieten voor het uitwisselingsspuien en het continu spuien door de Westsluis werden eveneens berekend door RWS-Zeeland voor de periode 2000-2009. Wanneer het waterpeil in het kanaal hoger is dan of gelijk aan het streefpeil (4.45 m TAW), dan wordt het spuidebiet gelijkgesteld aan het berekend spuidebiet. Wanneer het waterpeil zakt tot onder het streefpeil, dan wordt het continu spuien stopgezet. Indien het waterpeil meer dan 10 cm zakt (tot onder 4.35 m TAW), dan wordt ook het uitwisselingsspuien stopgezet. Het spuien voor zoutbestrijding is gekoppeld aan het schutten en wordt dus ook stopgezet van zodra er gespuid wordt voor hoogwaterbeheer.

De structuren voor de zoutuitwisseling geven de uitwisseling van zoet en zout water ten gevolge van densiteitstromingen tijdens het schutten weer. Een eerste controlestructuur op de hoofdtak stuurt een bepaalde hoeveelheid zoet water van het kanaal naar de Westerschelde. Een tweede controlestructuur op een neventak (zout) stuurt een identieke hoeveelheid zout water van de Westerschelde naar het kanaal. Het uitwisselingsdebiet werd geschat op basis van de afmetingen van de sluis, de trafiek doorheen de sluis, de gemiddelde waterstand op- en afwaarts van de sluis; de gemiddelde zoutconcentratie op- en afwaarts van de sluis en de zoutbestrijdingsmaatregelen (luchtbellenschermen aan alle sluizen). Daarbij werd ook gebruik gemaakt van de resultaten van gedetailleerde 3D modellen toegepast in eerdere studies (Royal Haskoning & Svasek, 2010). De reductie van de zoutuitwisseling dankzij het gebruik van een bellenscherm werd ruwweg ingeschat op 50 %. De uitwisselingsdebieten vermeld in Tabel 16 vormen een eerste schatting en zullen bijgesteld worden tijdens de kalibratie.

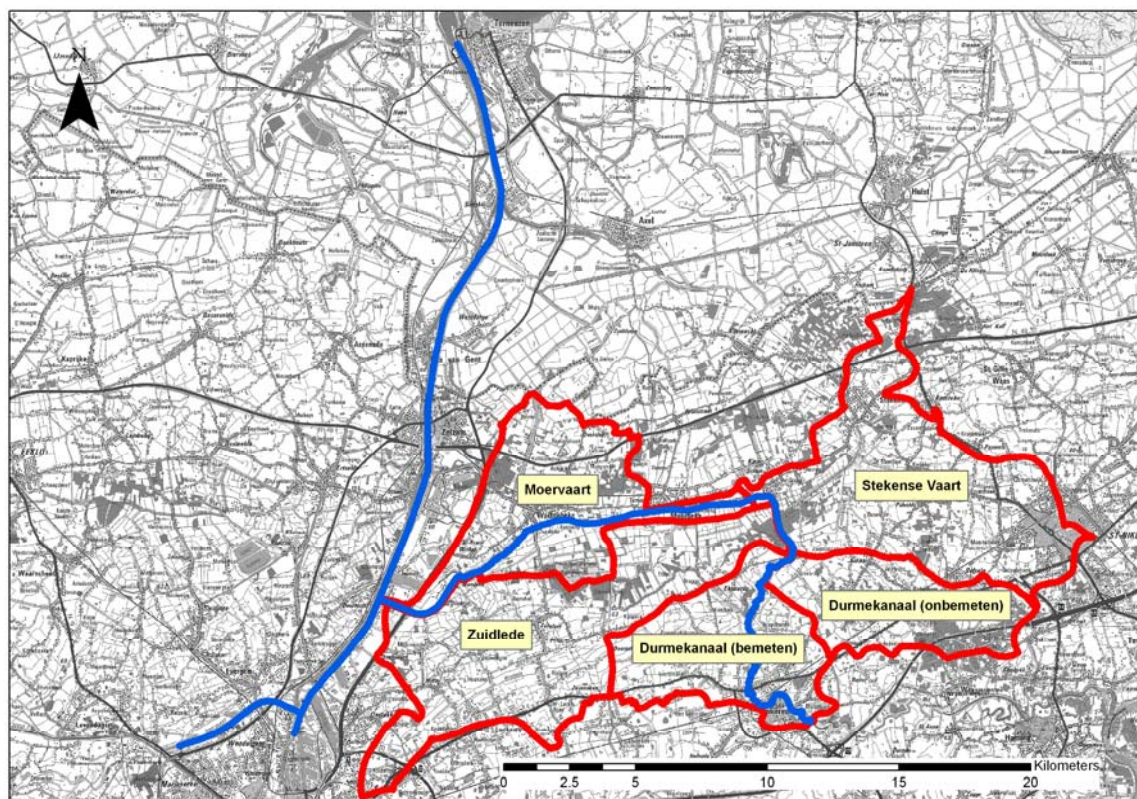
De maximale spuidebieten voor hoogwaterbeheer zijn afkomstig van RWS-Zeeland. Eerst wordt er gespuid via de Middensluis. Wanneer dit niet volstaat, dan wordt ook de Oostsluis ingeschakeld. De Westsluis wordt pas als laatste ingezet. Het spuien via de Middensluis begint van zodra het streefpeil overschreden wordt en bereikt een maximum bij een peil van 4.55 m TAW. Het spuien via de Oostsluis begint bij een peil van 4.55 m TAW en bereikt een maximum bij 4.65 m TAW. Het spuien via de Westsluis begint bij een peil van 4.65 m TAW en bereikt een maximum bij 4.75 m TAW. In het model is het spuidebiet enkel afhankelijk van het opwaartse waterpeil (gemeten te Wondelgem) en wordt het niet gecorrigeerd in functie van de afwaartse waterstand (Westerschelde). Indien het waterpeil afwaarts van een sluis hoger is dan het waterpeil opwaarts van de sluis, dan wordt het spuien wel tijdelijk onderbroken.

4.2.4 Randvoorwaarden

Aan het opwaartse einde van het kanaal Gent-Terneuzen en de Moervaart werd een debietrandvoorwaarde opgelegd.

Voor het kanaal Gent-Terneuzen werd gebruik gemaakt van de daggemiddelde debieten doorheen het sluizencomplex van Terneuzen, berekend door RWS-Zeeland. Deze debieten waren beschikbaar voor de periode 2000-2009.

Voor de Moervaart werd een randvoorwaarde ontwikkeld op basis van de daggemiddelde debieten gemeten te Sinaai (HIC station nr 301). Het bekken van de Moervaart bestaat uit vijf deelbekkens, waarvan er slechts 1 bemeten wordt. Deze deelbekkens worden weergegeven in Figuur 18. De debieten voor de onbemeten deelbekkens werden geschat op basis van de relatieve oppervlakte t.o.v. het bemeten deelbekken. De debieten voor het Durmekanaal en de Stekense Vaart werden aan het opwaartse einde van de Moervaart opgelegd. De debieten voor de deelbekkens van de Moervaart en de Zuidlede werden verder afwaarts opgelegd.



Figuur 18 – Deelbekkens Moervaart

De meetreeks te Sinaai beslaat de periode 2006-2010. Om langere simulaties mogelijk te maken, werd de periode 2000-2006 opgevuld met het gemiddelde debiet voor de periode 2007-2010.

Tabel 17 – Deelbekkens Moervaart

Deelbekken	Oppervlakte (km ²)	Correctiefactor t.o.v. HIC 301	Waterloop (branch)	Ligging (chainage)
Durmekanaal	62.5	1.81	Moervaart	16909
Stekense vaart	62.6	1.81	Moervaart	17417
Moervaart	40.9	1.18	Moervaart	10257.5
Zuidlede	65.6	1.90	Moervaart	3797

Aan het afwaartse einde (zeezijde sluizencomplex Terneuzen) werd een waterpeil opgelegd. Aan de hoofdtakken en de neventakken voor de spuiwerking werd het gemeten waterpeil in de Westerschelde te Terneuzen (DONAR station TERNZBI20) opgelegd. Aan de zijtakken voor de zouttoevoer werd een constant gemiddeld zeepeil (2.33 m TAW) opgelegd.

4.2.5 Simulatieparameters

Het hydraulisch model draait met een tijdstap van 10 minuten. Een simulatie voor een periode van 10 jaar (2000-2009) neemt dan ongeveer 20 minuten in beslag.

4.3 Zouttransportmodel

4.3.1 Variabele

Als primaire variabele werd het chloride-gehalte (mg/l) gebruikt. Een aantal meetreeksen was eigenlijk uitgedrukt als chlorositeit, maar het verschil tussen chloride-gehalte en chlorositeit werd verwaarloosd in het licht van andere onzekerheden.

De beschikbare metingen tonen het bestaan van diepteafhankelijke zoutconcentratiegradiënten in het kanaal Gent-Terneuzen aan. Aangezien gebruik gemaakt wordt van een 1D model, dient noodgedwongen een dieptegemiddelde waarde voor het chloride-gehalte gebruikt te worden.

De meetreeksen van het ZEGE meetnet (HMCZ) bevatten twee waarden: het chloride-gehalte bij het wateroppervlak en het chloride-gehalte bij de bodem. De dieptegemiddelde waarde werd benaderd als het gemiddelde van beide gemeten waarden.

De meetreeksen van het meetnet voor het kanaal Gent-Terneuzen (HMCZ) bevatten een groot aantal metingen, met verticale intervallen van 1 m. De dieptegemiddelde waarde werd berekend als het gemiddelde alle gemeten waarden.

4.3.2 Algorithme

Ter hoogte van het sluizencomplex van Terneuzen treden steile concentratiegradiënten op. Daarom werd gebruik gemaakt van het ULTIMATE algoritme. Dit algoritme produceert immers meer realistische resultaten in de nabijheid van dergelijke gradiënten.

4.3.3 Processen

Zowel advectie als (longitudinale) dispersie werden in rekening gebracht. In werkelijkheid geven de schuttingen in Terneuzen ook nog aanleiding tot de vorming van een zouttong die nabij de bodem gelegen is en zich tijdens de zomer tot in Gent kan uitstrekken. De impact van deze densiteitstroming kan met een 1D model niet expliciet in rekening gebracht worden. Deze impact kan wel impliciet verrekend worden door het gebruik van een artificieel verhoogde dispersiecoëfficiënt.

De intensieve scheepvaart op het kanaal leidt tot een voortdurende menging van het kanaalwater. Dit zou aanleiding kunnen geven tot een afname van de longitudinale dispersie.

Voor de dispersiecoëfficiënt werd een initiële waarde van $10 \text{ m}^2/\text{s}$ gebruikt. De optimale waarde zal tijdens de kalibratie bepaald worden.

4.3.4 Randvoorwaarden

Aan de opwaartse modelranden werd een vaste concentratie van 100 mg/l Cl^- opgelegd. Tijdens de zomer kan de werkelijke zoutconcentratie aan de opwaartse modelrand oplopen tot veel hogere waarden als gevolg van de toevoer van zout van afwaarts naar opwaarts. Deze evolutie kan niet correct weergegeven worden met een open rand en een vaste concentratie. Daarom werden de opwaartse modelranden omgevormd tot een gesloten rand en werden de opwaartse debieten (en bijhorende vaste concentraties) verschoven naar het eerste debietrekenpunt van het model.

Aan de afwaartse modelranden werden gemeten concentraties voor de Westerschelde opgelegd. Indien mogelijk, werd gebruik gemaakt van de metingen te Terneuzen (ZEGE station TWZZ). Deze meetreeks is echter zeer kort (2007-2010). Voor langere simulaties werd de zoutconcentratie in Terneuzen geschat. Daarbij werd gebruik gemaakt van verschillende benaderingen (zie verder). De afwaartse randvoorwaarde werd opgelegd onder vorm van een "open concentration" randvoorwaarde. Dit houdt in dat bij uitgaande stroming de concentratie gelijk gesteld wordt aan de concentratie net opwaarts van de modelrand, terwijl bij inkomende stroming de concentratie gelijk gesteld wordt aan de opgelegde meetwaarde.

De eerste benadering voor het zoutgehalte in Terneuzen is gebaseerd op de metingen in Baalhoek (ZEGE station BAAL). Deze bestrijken immers een veel langere periode (1987-2010). De schatting gebeurde op basis van een correlatie tussen beide reeksen:

$$Cl^- = 0.66 * Cl^-_{BAAL} + 7260 \quad (R^2 = 0.86) \quad (6)$$

met Cl^- = geschatte dieptegemiddelde chloride concentratie in Terneuzen (mg/l)

Cl^-_{BAAL} = gemeten dieptegemiddelde chloride concentratie in Baalhoek (mg/l)

Het verband tussen de dieptegemiddelde en uurgemiddelde metingen voor de periode 2007-2010 wordt getoond in Figuur 19. De overeenkomst tussen de gemeten en geschatte concentraties wordt getoond in Figuur 20.

De tweede benadering voor het zoutgehalte in Terneuzen maakt gebruik van de decadegemiddelde bovendebieten voor de Zeeschelde te Schelle. Deze debieten worden berekend door het Waterbouwkundig Laboratorium en zijn beschikbaar voor de periode 1970-2010. De schatting gebeurde op basis van een correlatie tussen beide reeksen. Daarbij werd gezocht naar een verband tussen de decadegemiddelde chloride concentratie in Terneuzen en het bovendebiet in Schelle gedurende één of meerdere voorgaande decades. Het optimale aantal decades is moeilijk te definiëren omdat het zoutgehalte anders reageert op een toename of een afname van de bovendebieten. Bij lage bovendebieten neemt het zoutgehalte geleidelijk toe gedurende een periode van meerdere maanden. Bij een hoog bovendebiet (bv eind 2010) neemt het zoutgehalte haast ogenblikkelijk sterk af. Twee relaties werden behouden: één op basis van 2 voorgaande decades (overeenstemmend met de doortij-springtij cyclus) en één op basis van 5 voorgaande decades (maximale R^2).

$$Cl^- = 23648 * Q_{20}^{-0.1405} \quad (R^2 = 0.61) \quad (7)$$

met Cl^- = geschatte dieptegemiddelde chloride concentratie in Terneuzen (mg/l)

Q_{20} = berekende bovendebiet in Schelle voor de voorbije 2 decades (m^3/s)

$$Cl^- = 27888 * Q_{50}^{-0.1759} \quad (R^2 = 0.77) \quad (8)$$

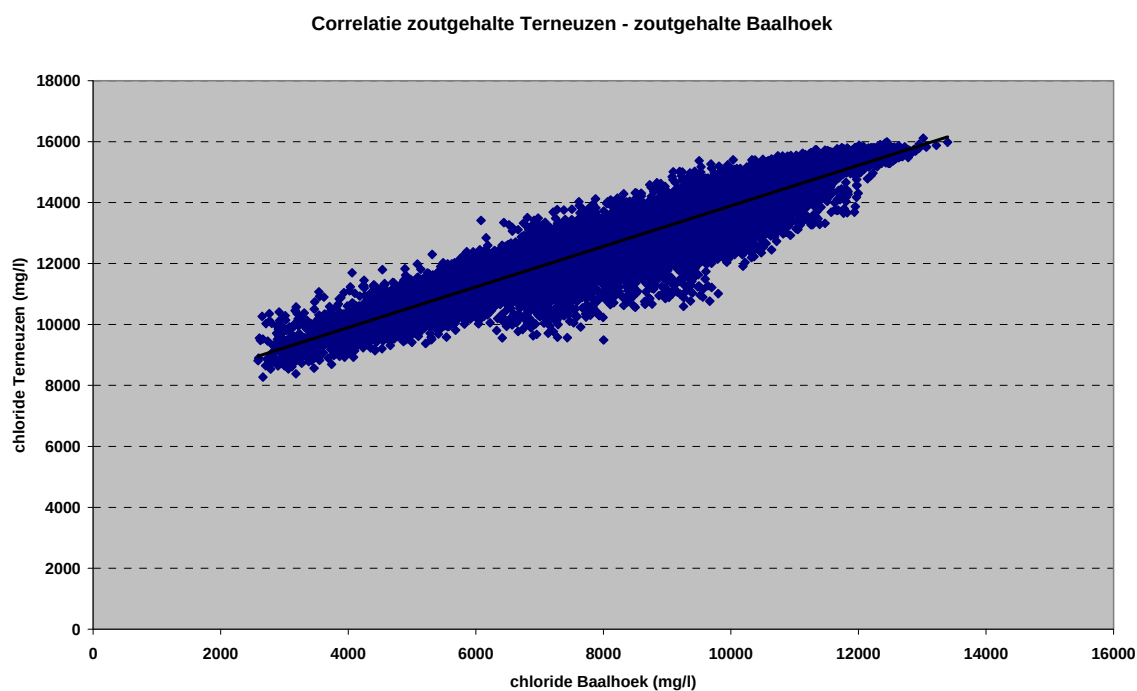
met Cl^- = geschatte dieptegemiddelde chloride concentratie in Terneuzen (mg/l)

Q_{50} = berekende bovendebiet in Schelle voor de voorbije 5 decades (m^3/s)

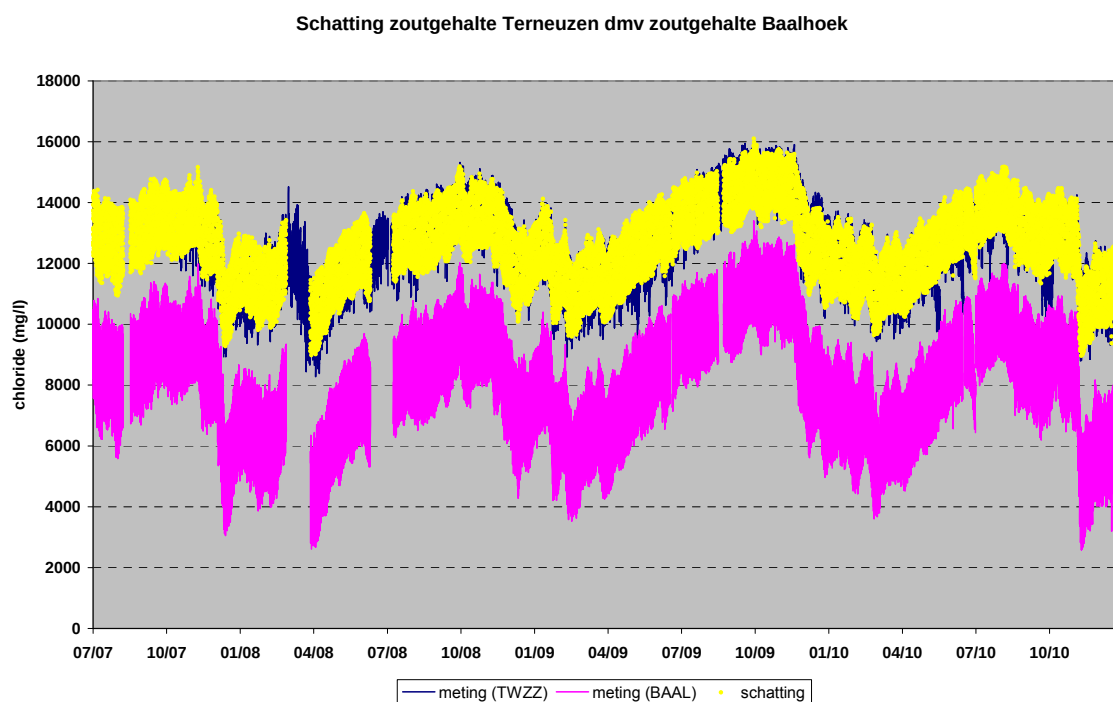
Het verband tussen de diepte- en decadegemiddelde metingen voor de periode 2007-2010 wordt getoond in Figuur 21. De overeenkomst tussen de gemeten en geschatte concentraties wordt getoond in Figuur 22.

4.3.5 Simulatieparameters

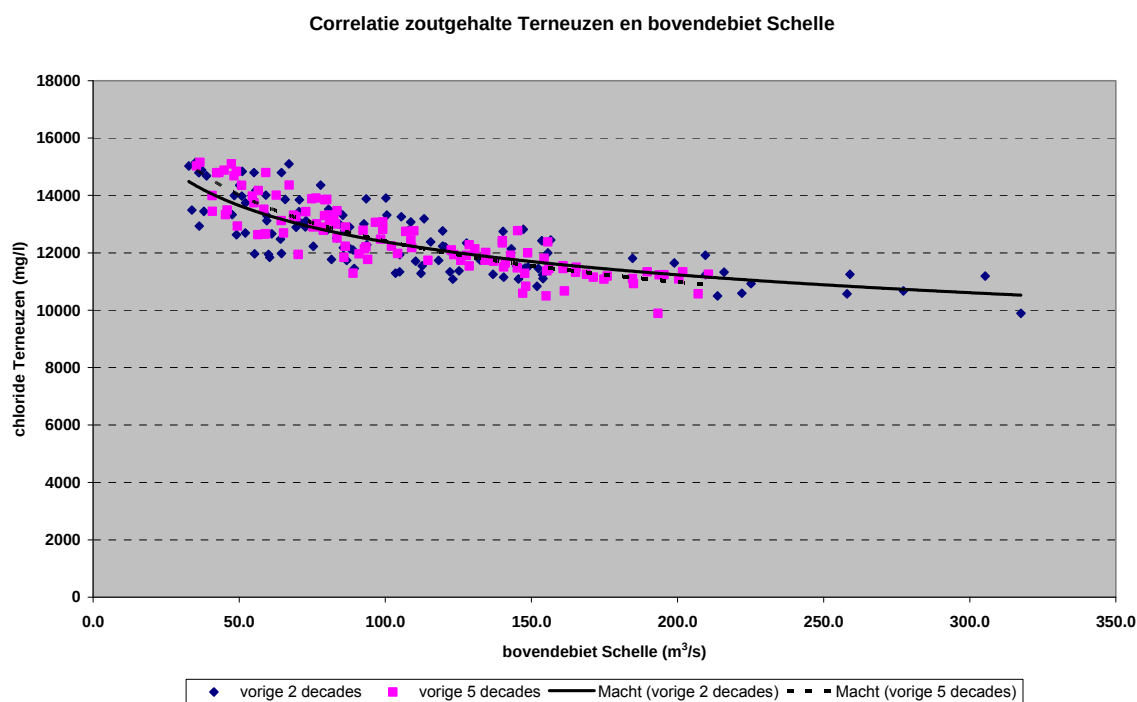
Het zouttransport model draait eveneens met een tijdstap van 10 minuten. Een simulatie voor een periode van 10 jaar (2000-2009) neemt dan ongeveer 25 minuten in beslag.



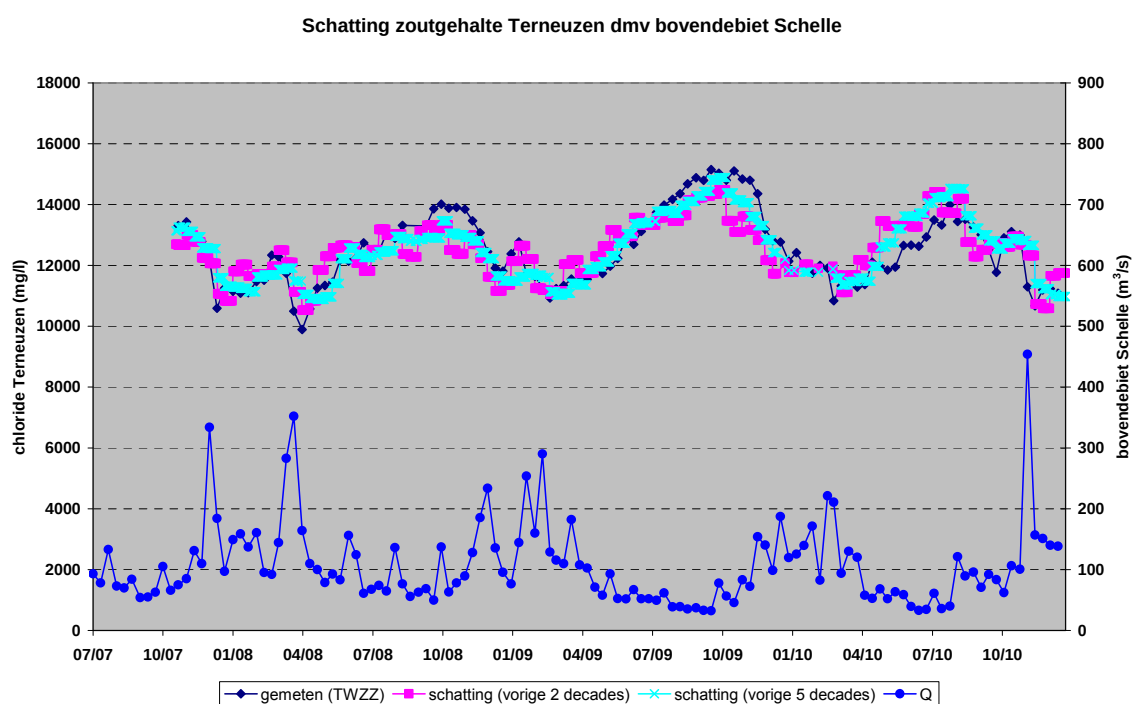
Figuur 19 – Correlatie zoutgehalte Terneuzen en zoutgehalte Baalhoek



Figuur 20 – Schatting zoutgehalte Terneuzen dmv zoutgehalte Baalhoek



Figuur 21 – Correlatie zoutgehalte Terneuzen en bovendebiet Schelle



Figuur 22 – Schatting zoutgehalte Terneuzen dmv bovendebiet Schelle

5 Kalibratie

De kalibratie van het zouttransportmodel werd uitgevoerd op basis van metingen uit de ZEGE databank van HMCZ voor de periode 2008-2009. Voor deze periode zijn de meest nauwkeurige gegevens beschikbaar.

De simulaties starten reeds in oktober 2007. De eerste maanden worden gebruikt als opwarmperiode en de resultaten van deze periode werden niet gebruikt voor de kalibratie.

De metingen van station TWZZ werden, na omrekening tot dieptegemiddelde waarden, gebruikt als afwaartse randvoorwaarde (zie Figuur 23).

In een eerste stap werden de uitwisselingsdebieten voor de verschillende sluizen aangepast zodat de berekende concentraties aan de kanaalzijde zo goed mogelijk zouden overeenstemmen met de dieptegemiddelde metingen in station TWKZ. In de loop van de kalibratie werd de uitwisselingscoëfficiënt voor alle sluizen verlaagd van 0.5 tot 0.35. De definitieve waarden voor de uitwisselingsdebieten worden getoond in Tabel 18.

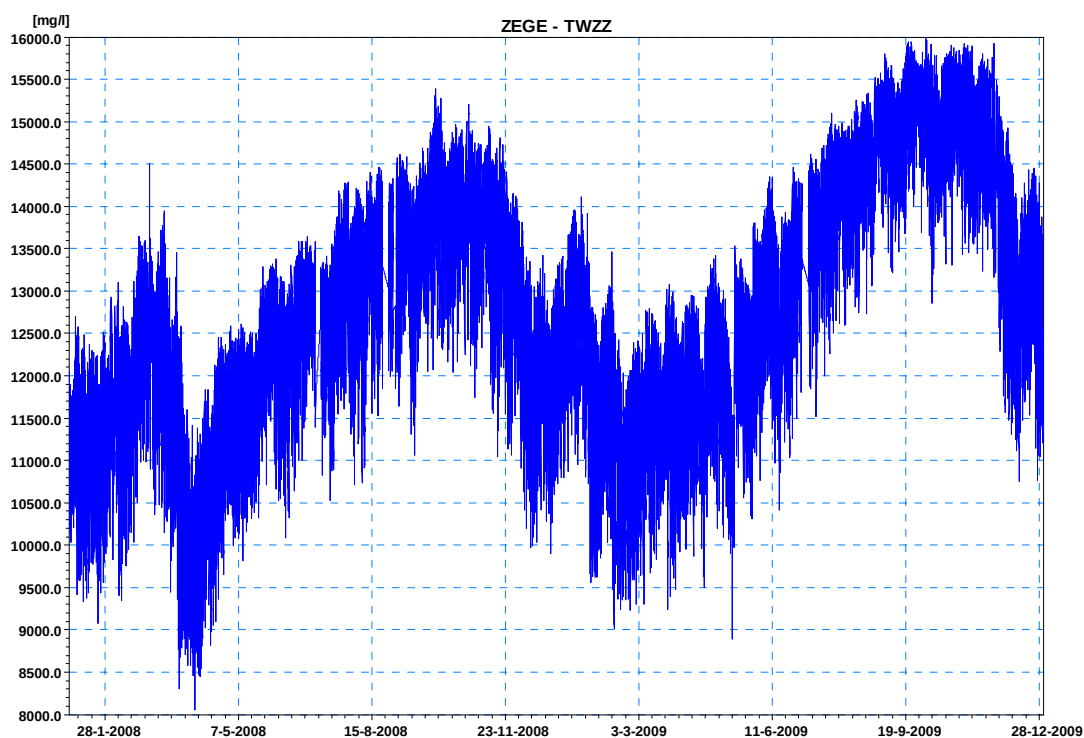
Tabel 18 – Gekalibreerde uitwisselingsdebieten sluizen Terneuzen

Tak (branch)	Plaats (chainage)	Naam (ID)	Max debiet (m ³ /s)	Min peil (m TAW)	Max peil (m TAW)
Oostsluis	1735	TO-zoet	0.86	4.2	4.45
Oostsluis-zout	1735	TO-zout	0.86	4.2	4.45
Middensluis	740	TM-zoet	0.38	4.2	4.45
Middensluis-zout	740	TM-zout	0.38	4.2	4.45
Westsluis	1100	TW-zoet	4.56	4.2	4.45
Westsluis-zout	1100	TW-zout	4.56	4.2	4.45

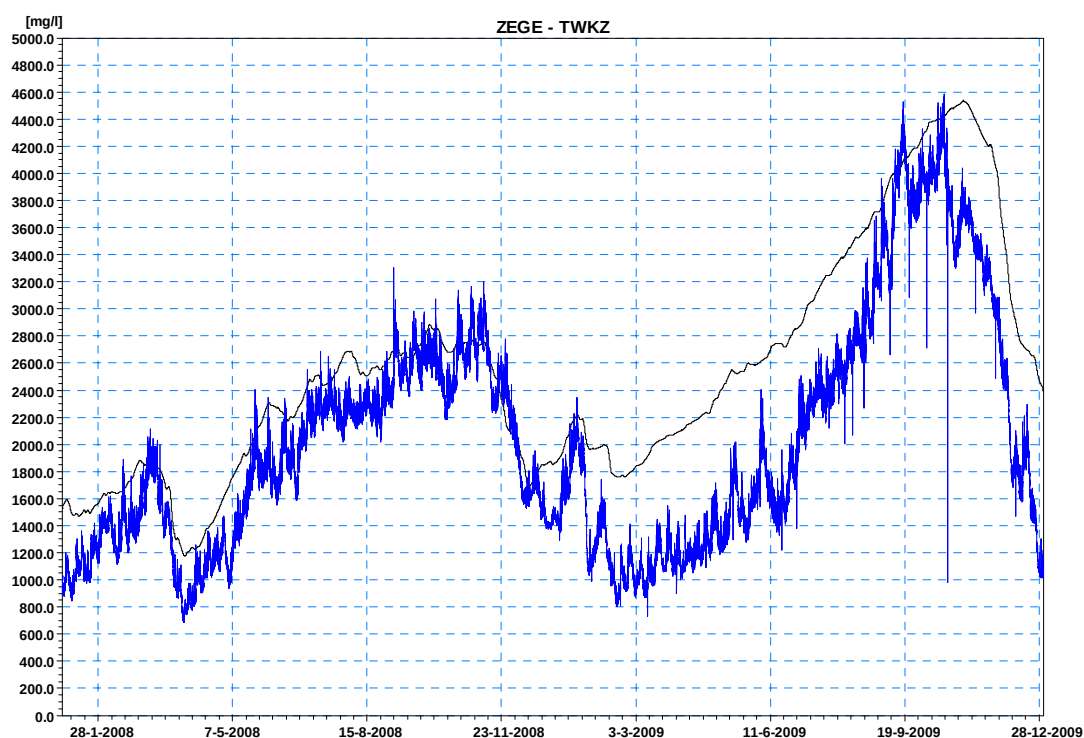
In een tweede stap werd de dispersiecoëfficiënt aangepast zodat de berekende concentraties voor Sluiskil en Sas-van-Gent zo goed mogelijk zouden overeenstemmen met de dieptegemiddelde metingen in stations KGTB en KGTS. Een goed resultaat kon bekomen worden met een constante waarde van 200 m²/s. Deze waarde is uitzonderlijk hoog omdat ze ook de impact van de densiteitstromingen (zouttong op de bodem van het kanaal) in rekening moet brengen.

In een laatste stap werd de dispersiecoëfficiënt voor de Moervaart ingeschat op basis van de metingen uit het meetnet oppervlaktewater van VMM. Een waarde van 2 m²/s blijkt goede resultaten op te leveren. Deze waarde is opvallend lager dan die voor het kanaal Gent-Terneuzen. Dit zou het gevolg kunnen zijn van het feit dat de bodem van de Moervaart (ongeveer 0 m TAW) veel hoger gelegen is dan de bodem van het kanaal Gent-Terneuzen (ongeveer -14 m TAW), waardoor de zouttong op de bodem van het kanaal Gent-Terneuzen niet kan binnendringen in de Moervaart. Daarnaast mag ook niet uit het oog verloren worden dat de metingen uitgevoerd door VMM gebaseerd zijn op schepstalen. Deze worden vermoedelijk nabij het oppervlak genomen en geven dus mogelijk een onderschatting van de dieptegemiddelde concentratie.

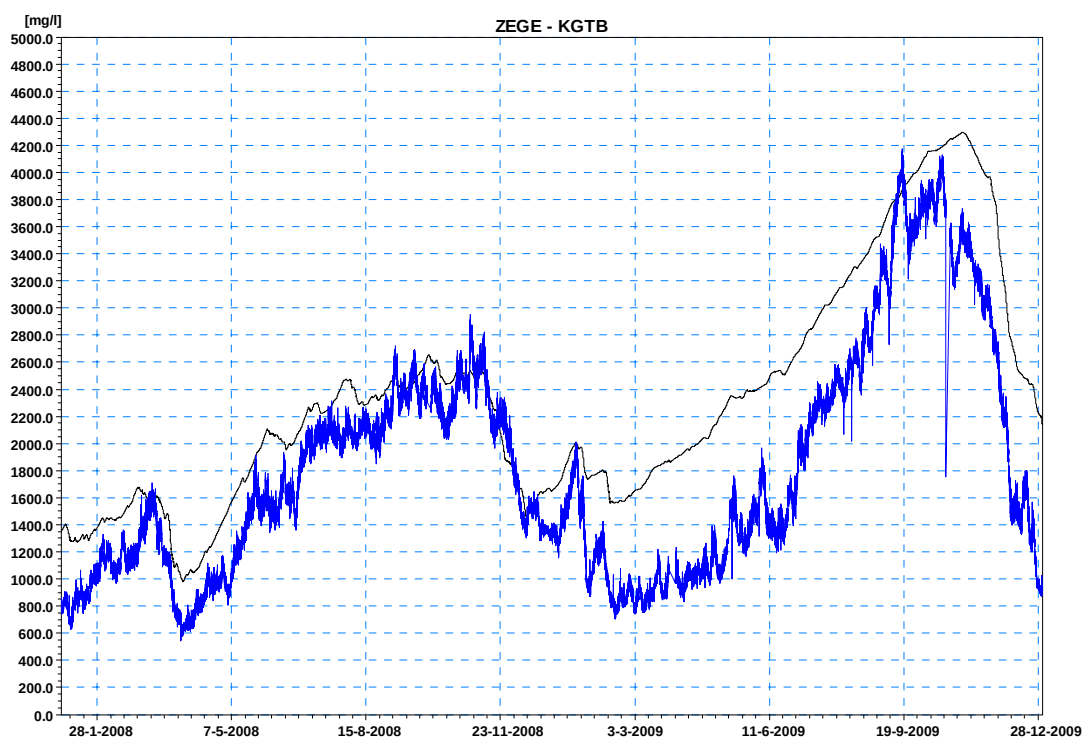
De resultaten van de kalibratie worden weergegeven in Figuur 24 t.e.m. Figuur 33 (blauw = gemeten, zwart = berekend). Om de interpretatie te vergemakkelijken wordt voor elk meetpunt naast de code ook de afstand in km vanaf de afwaartse rand (Terneuzen of Mendonk) weergegeven.



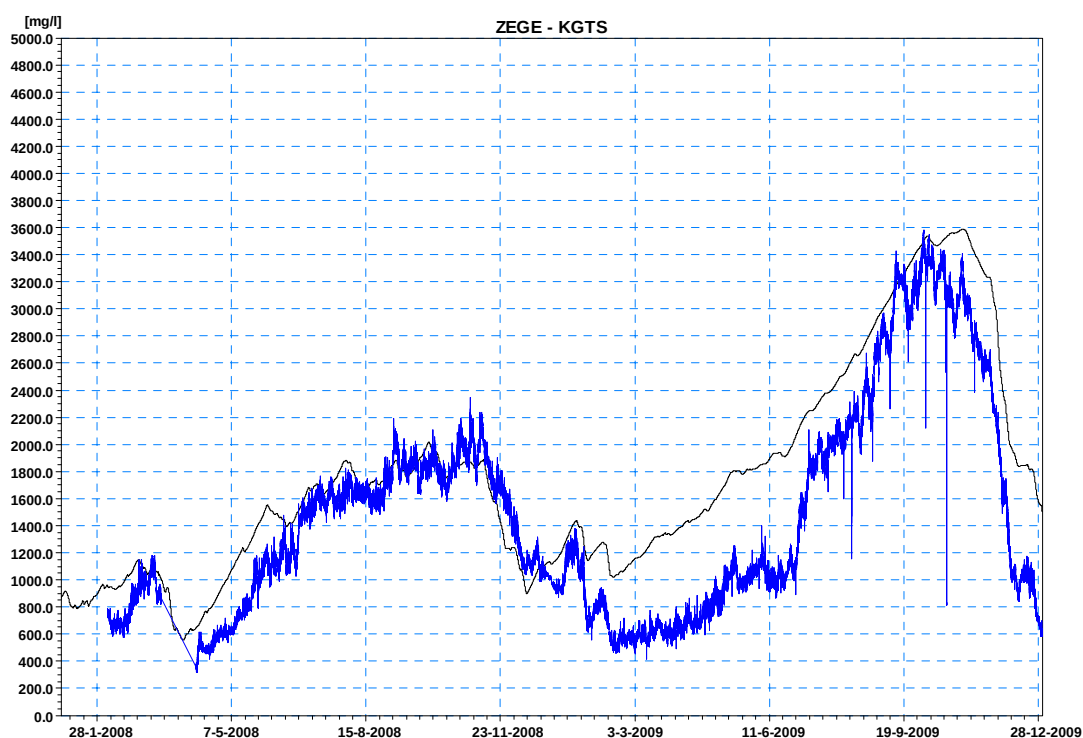
Figuur 23 – Afwaartse randvoorwaarde Westerschelde station ZEGE – TWZZ



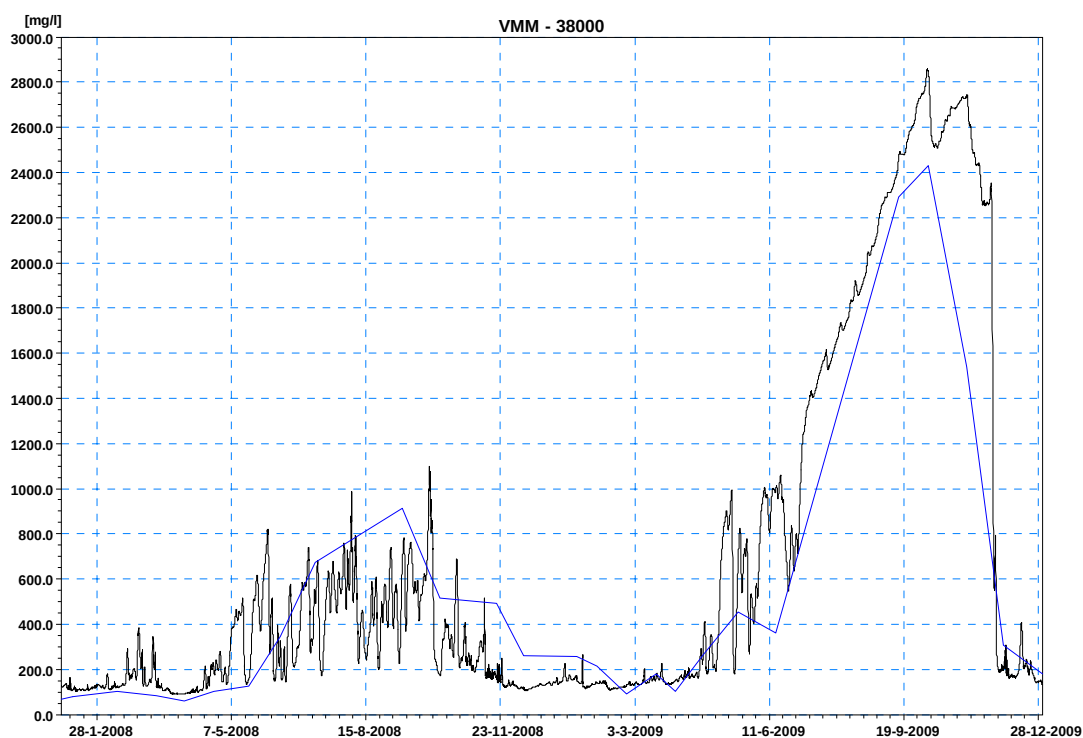
Figuur 24 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – TWKZ (0.8 km)



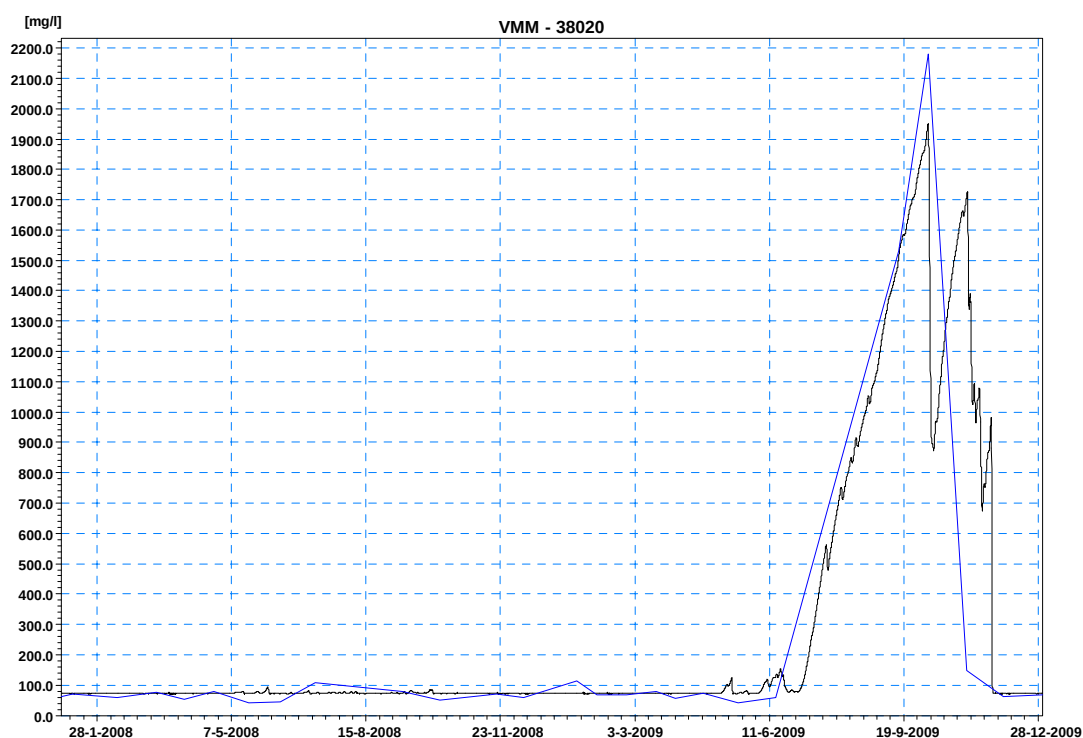
Figuur 25 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTB (3.5 km)



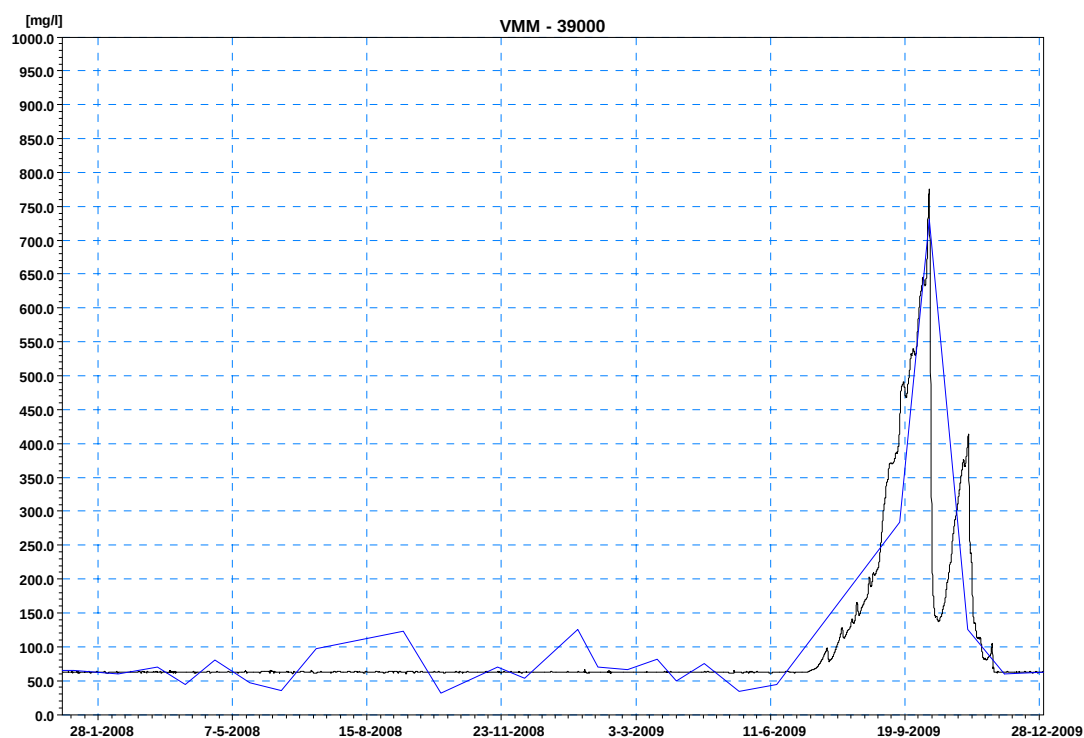
Figuur 26 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTS (11.5 km)



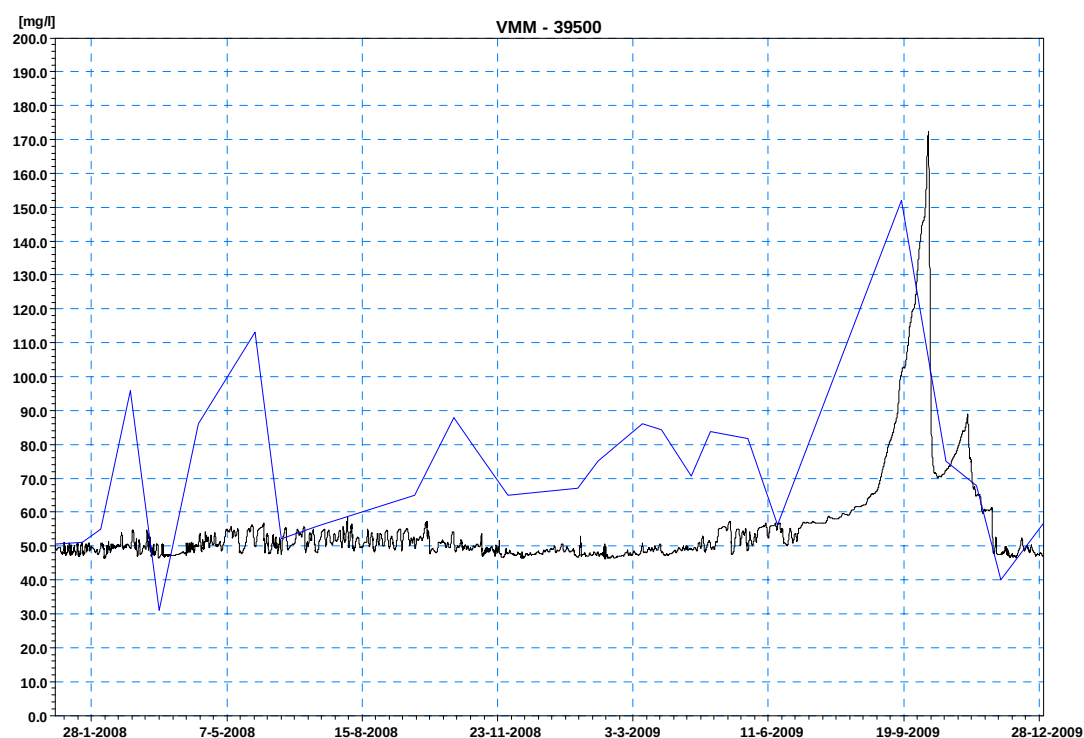
Figuur 27 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38000 (0.6 km)



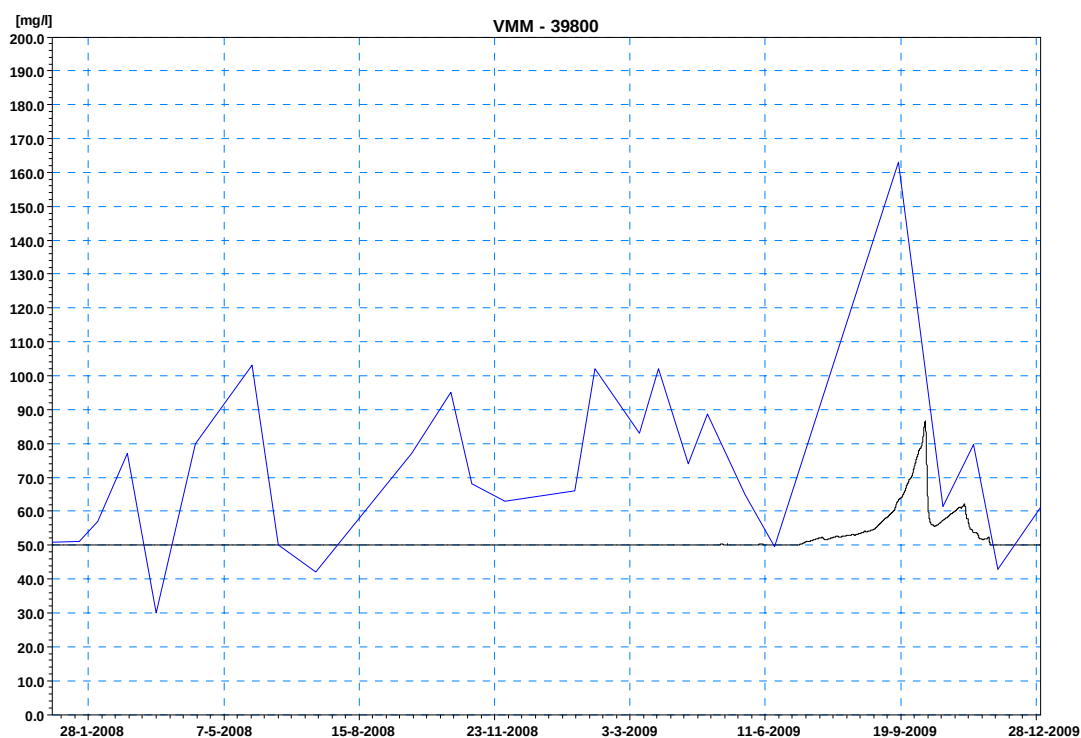
Figuur 28 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38020 (3.8 km)



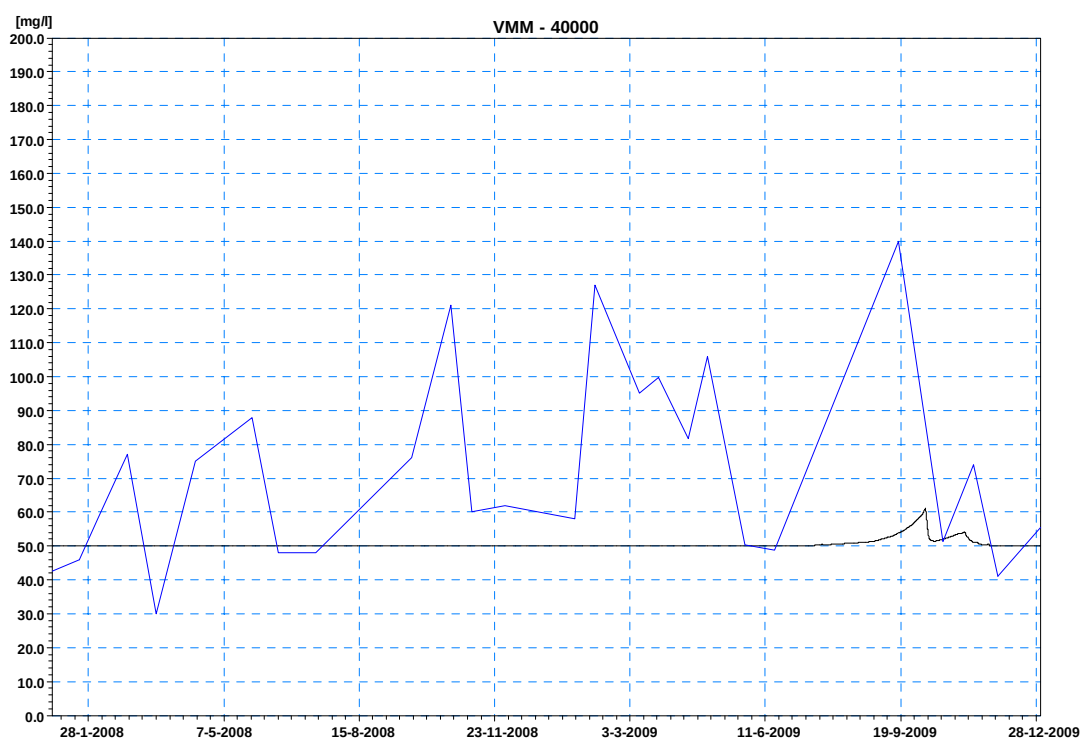
Figuur 29 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39000 (7.4 km)



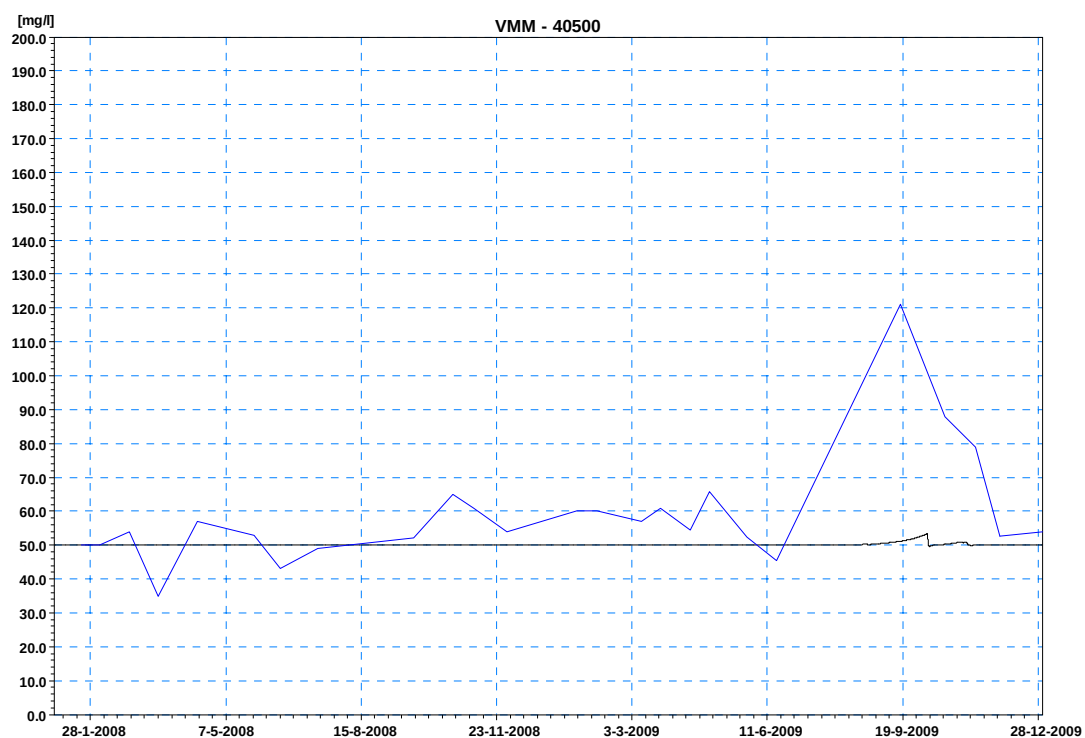
Figuur 30 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39500 (11.4 km)



Figuur 31 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39800 (13.5 km)



Figuur 32 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40000 (15.6 km)



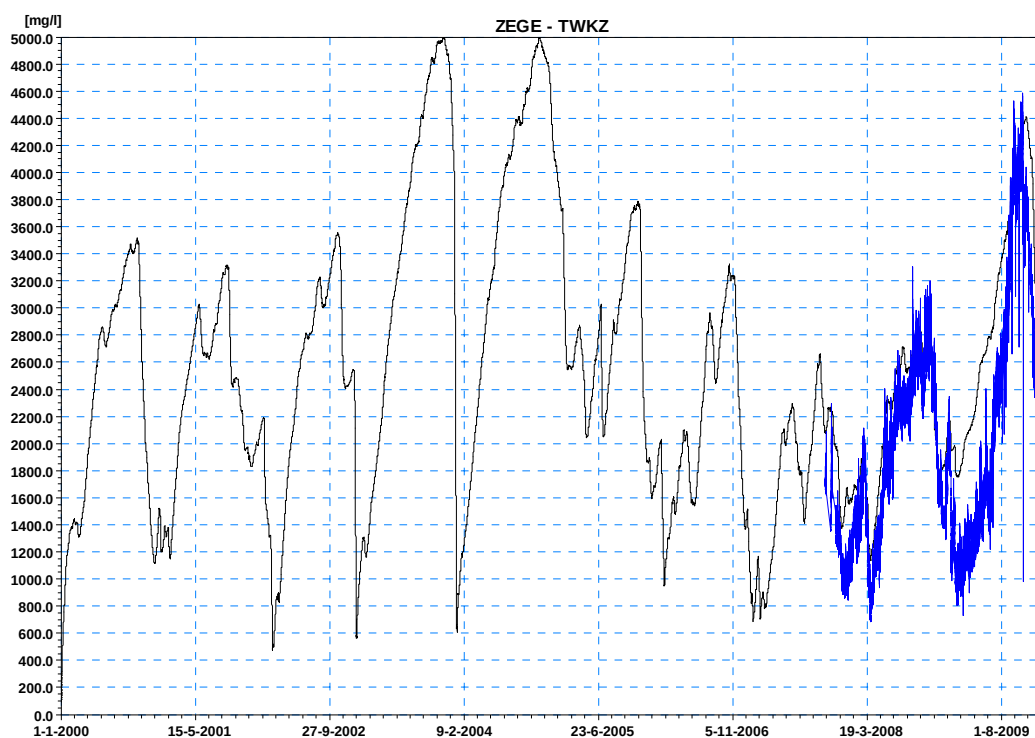
Figuur 33 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40500 (18.9 km)

6 Validatie

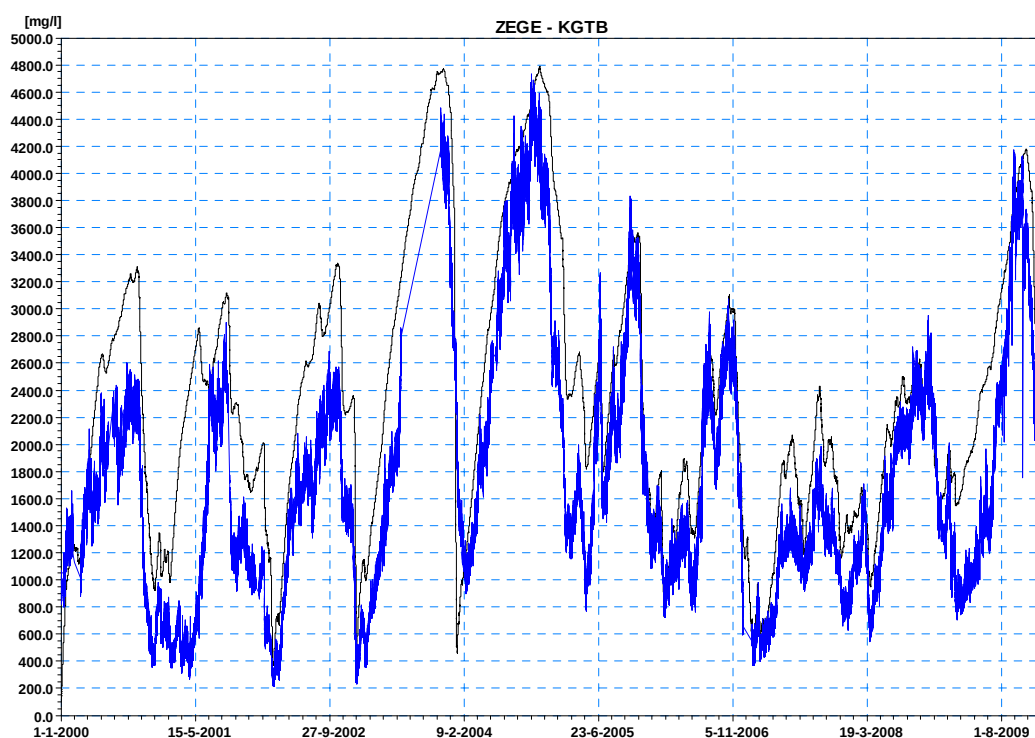
Het gekalibreerde model werd gevalideerd aan de hand van alle beschikbare metingen voor de periode 2000 - 2009.

Als afwaartse randvoorwaarde werden geschatte chloride concentraties voor de Westerschelde te Terneuzen gebruikt. Deze waarden werden geschat op basis van de gemeten chloride concentraties te Baalhoek (ZEGE station BAAL), zoals beschreven in paragraaf 4.2.4 (vergelijking 6).

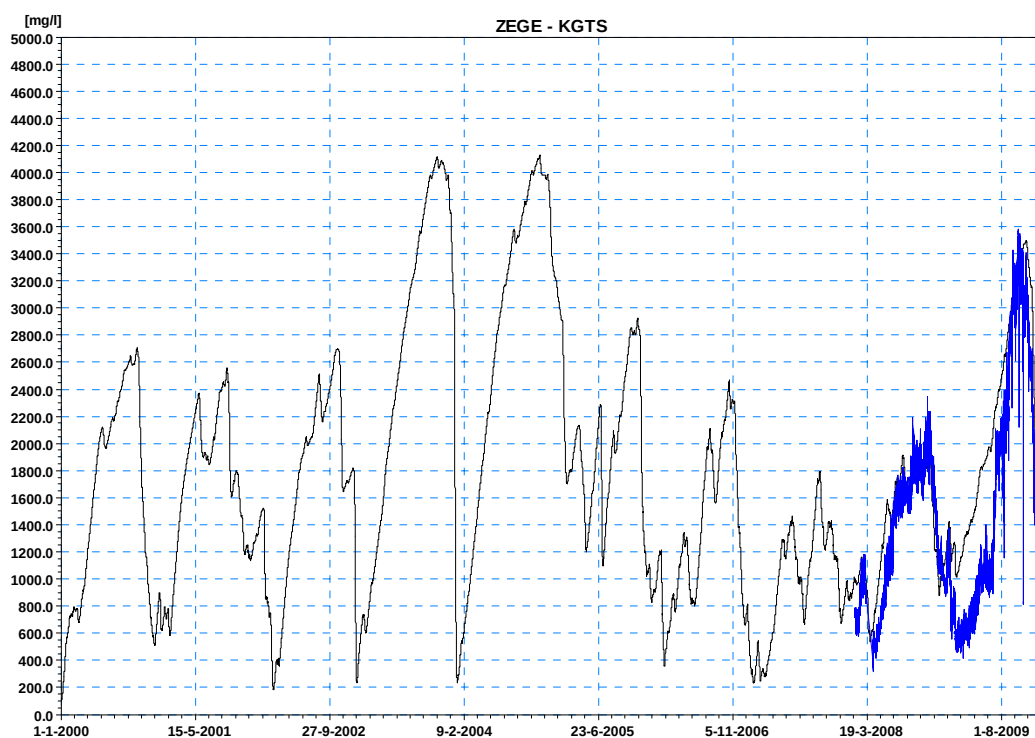
De resultaten van de validatie worden weergegeven in Figuur 34 t.e.m. Figuur 61 (blauw = gemeten, zwart = berekend).



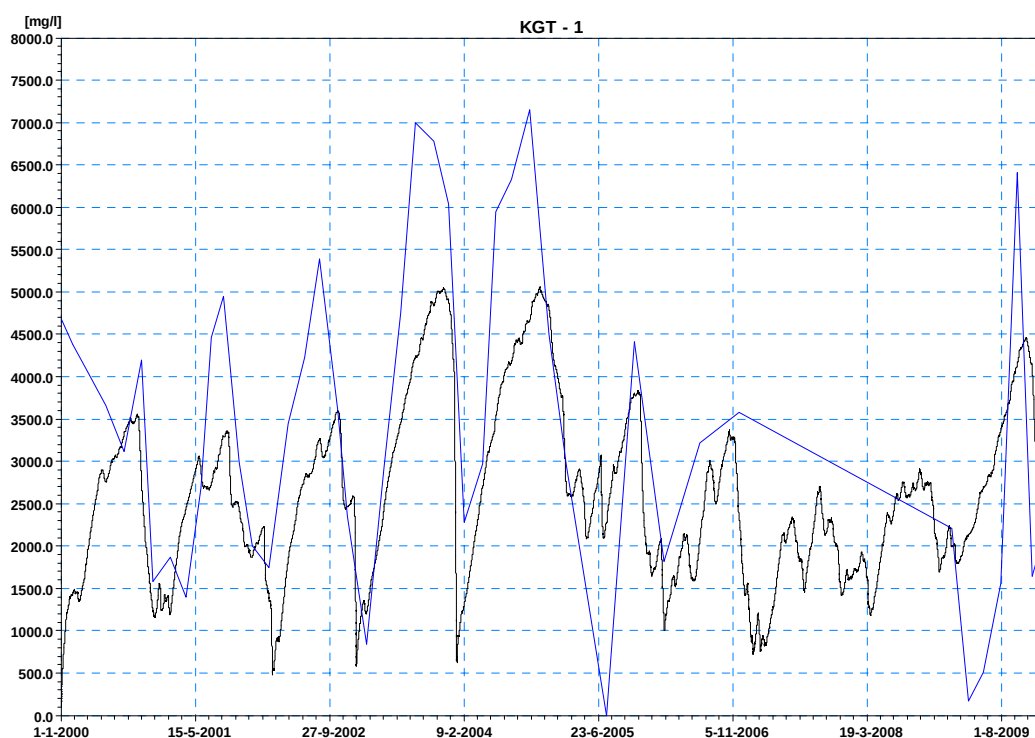
Figuur 34 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – TWKZ (0.8 km)



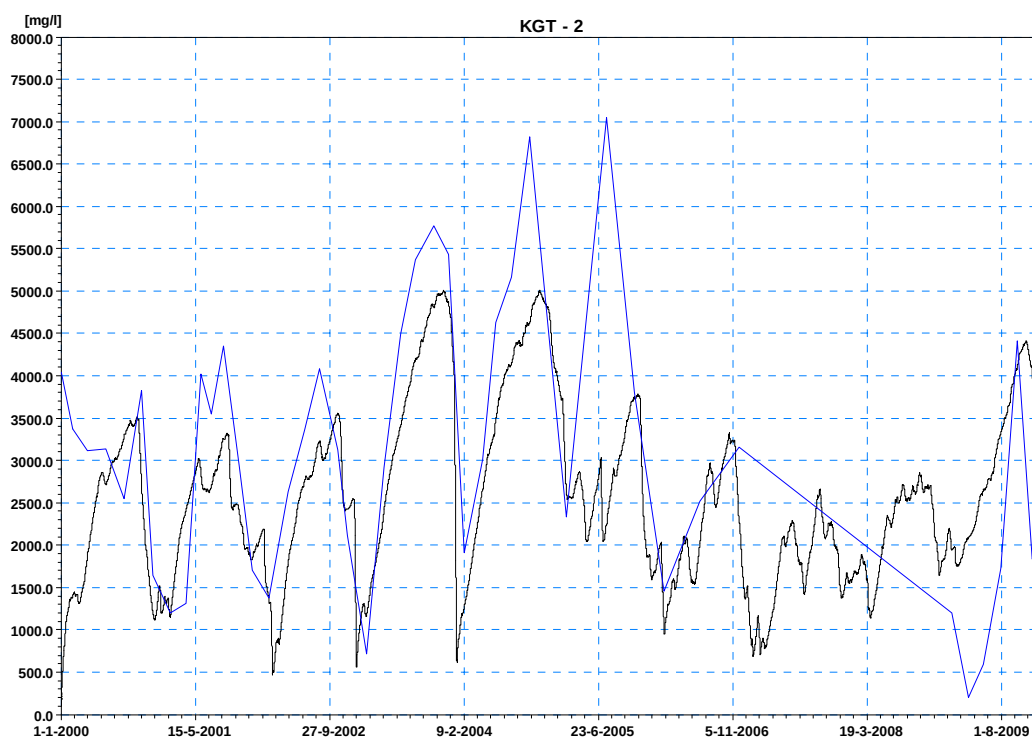
Figuur 35 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTB (3.5 km)



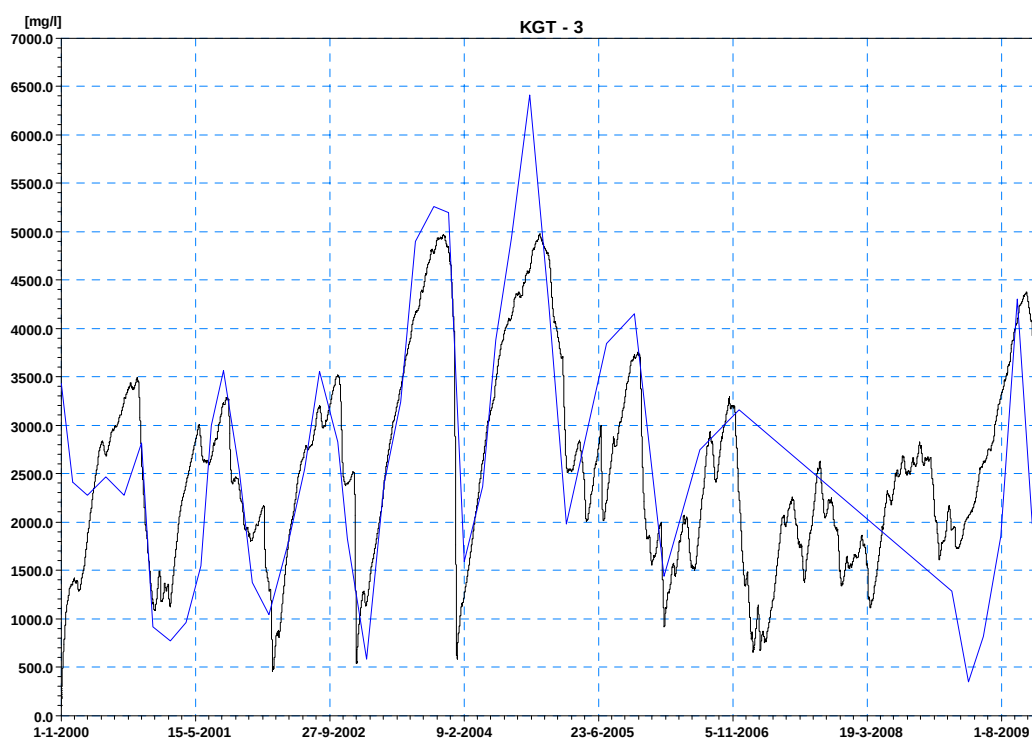
Figuur 36 – Berekende en gemeten chloride concentratie station ZEGE – KGTS (11.5 km)



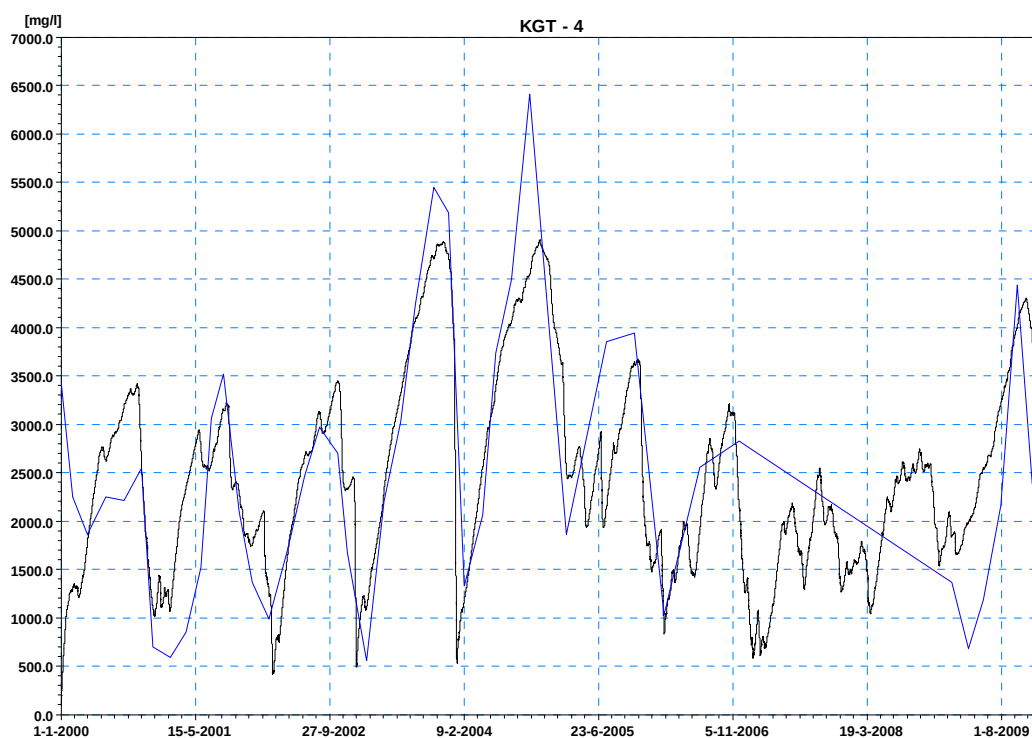
Figuur 37 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 1 (0 km)



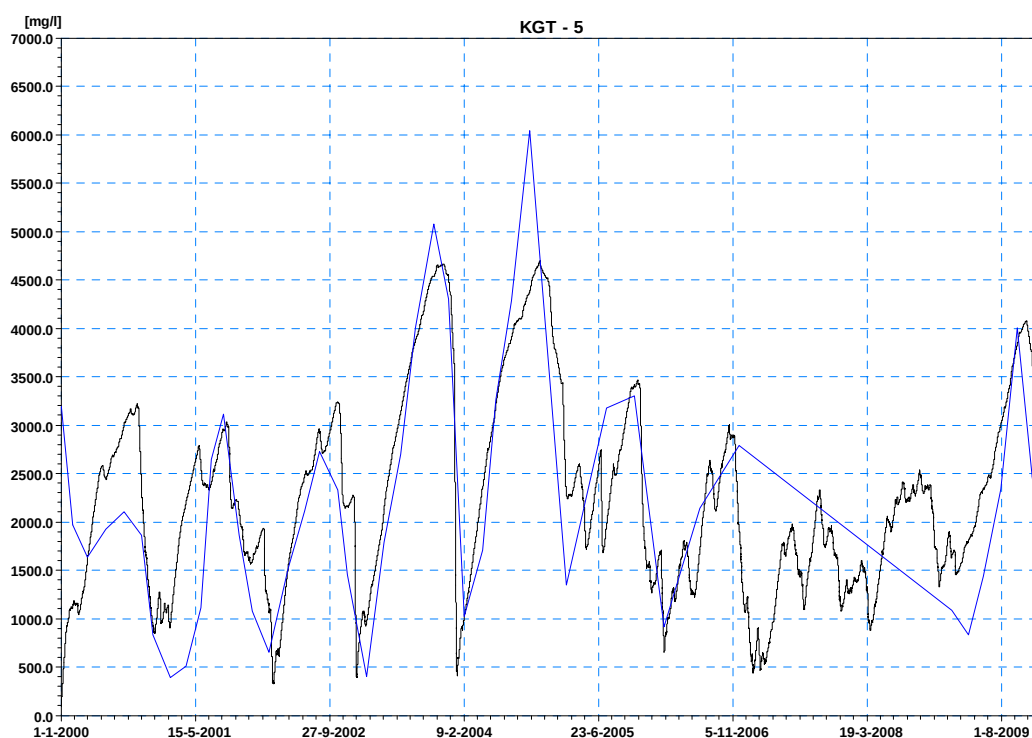
Figuur 38 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 2 (0.8 km)



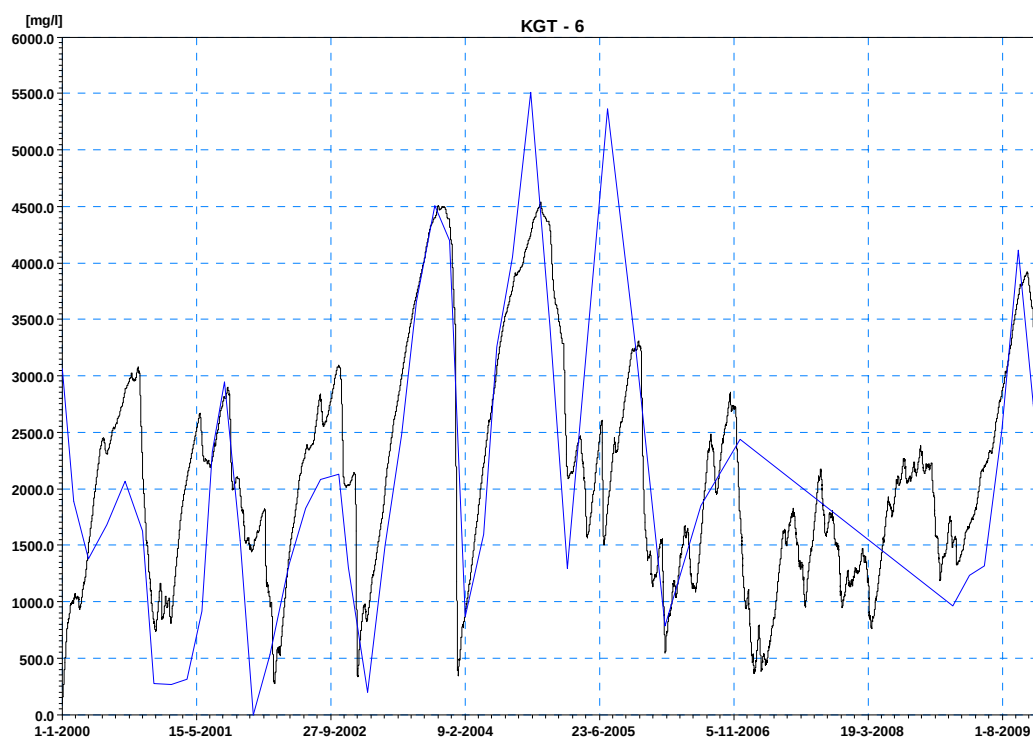
Figuur 39 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 3 (1.5 km)



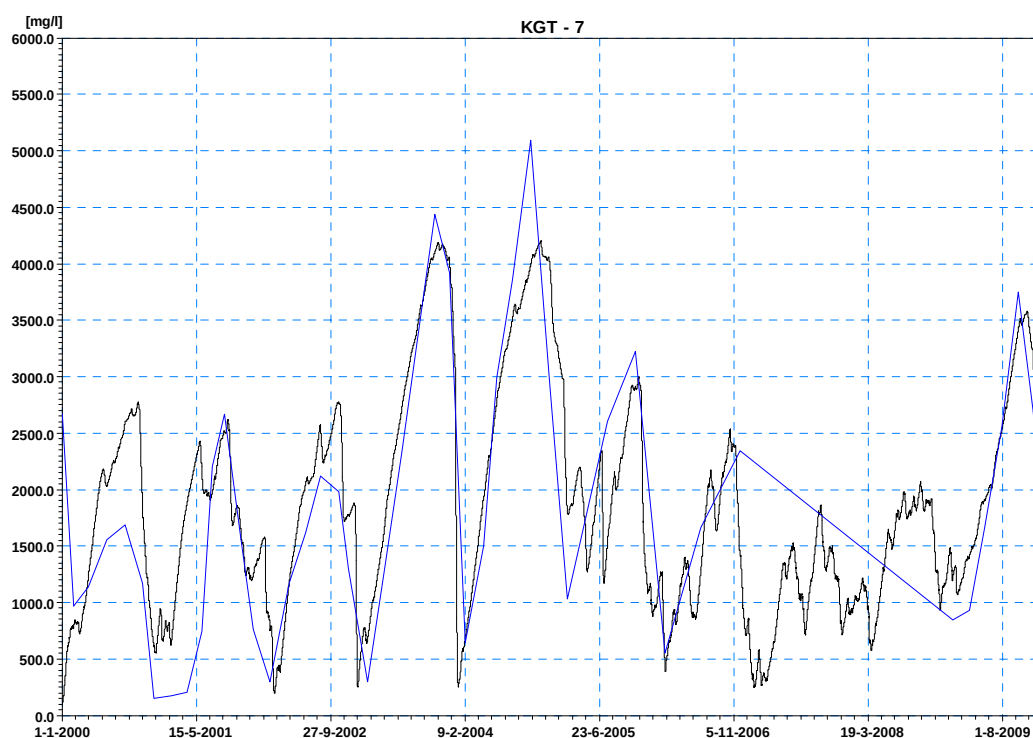
Figuur 40 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 4 (2.5 km)



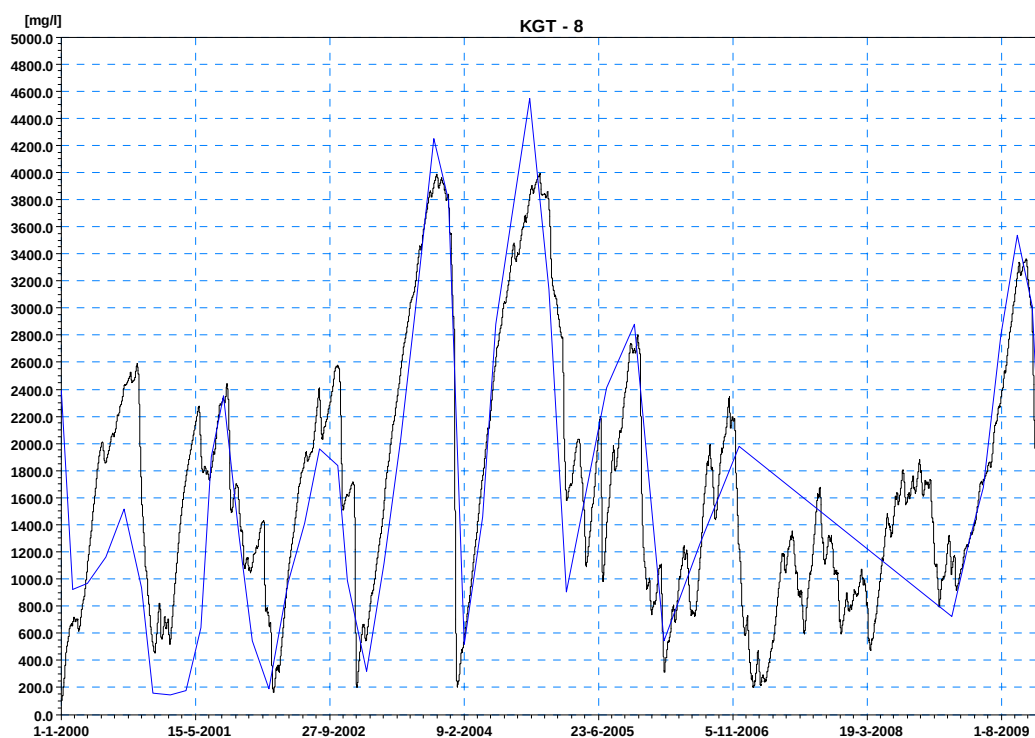
Figuur 41 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 5 (4.5 km)



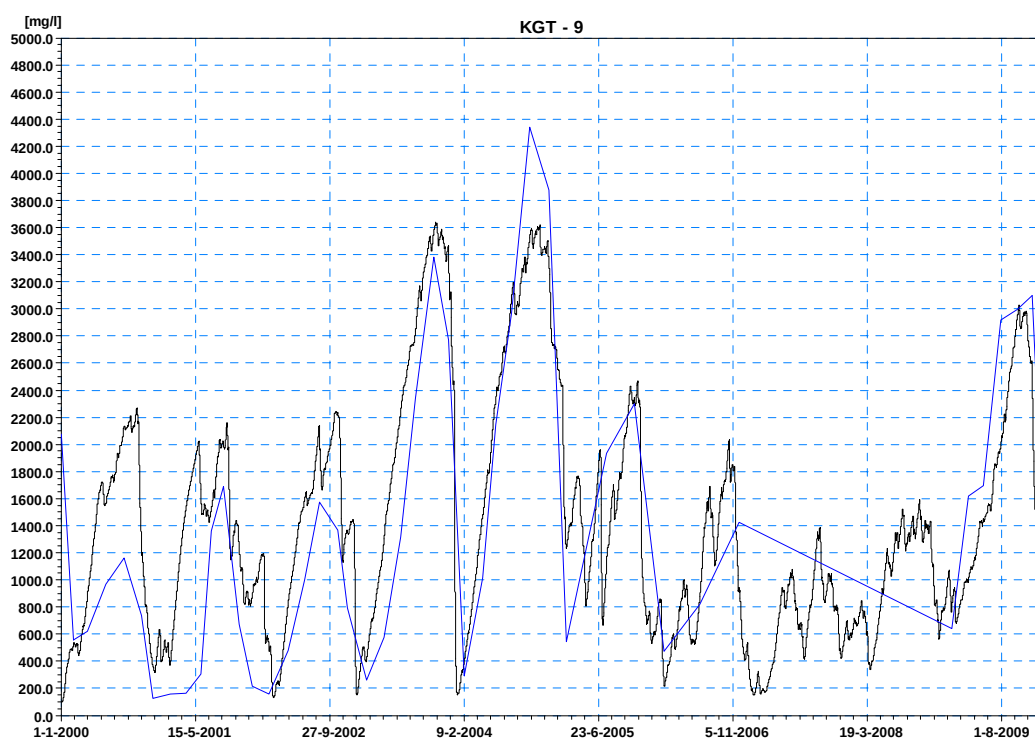
Figuur 42 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 6 (6.5 km)



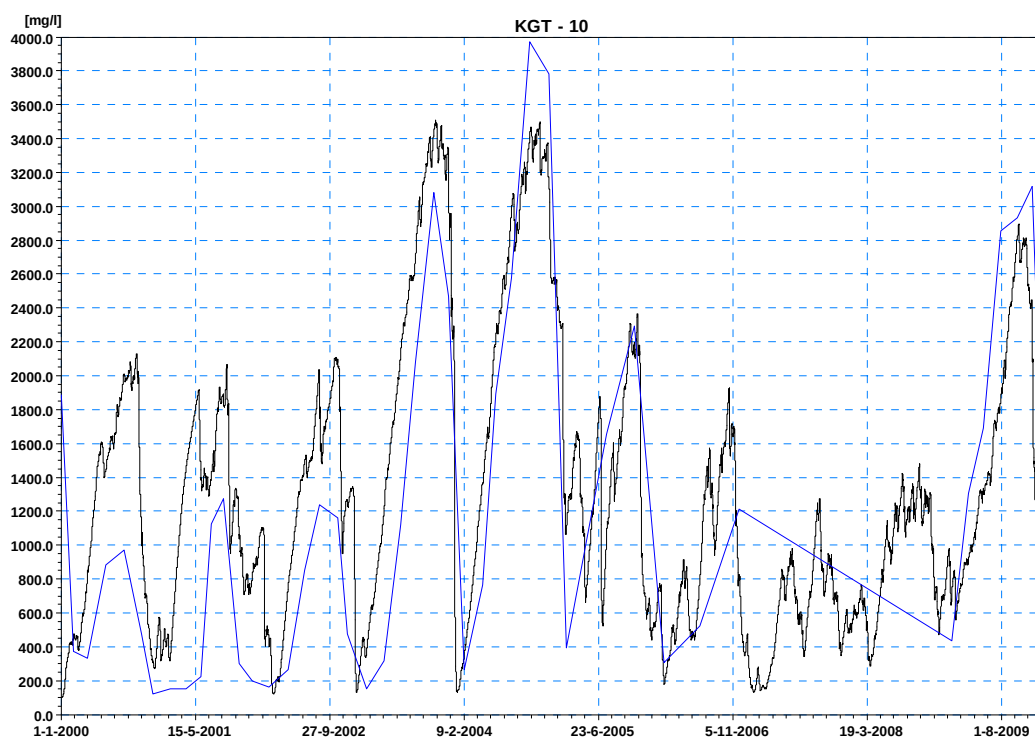
Figuur 43 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 7 (10.5 km)



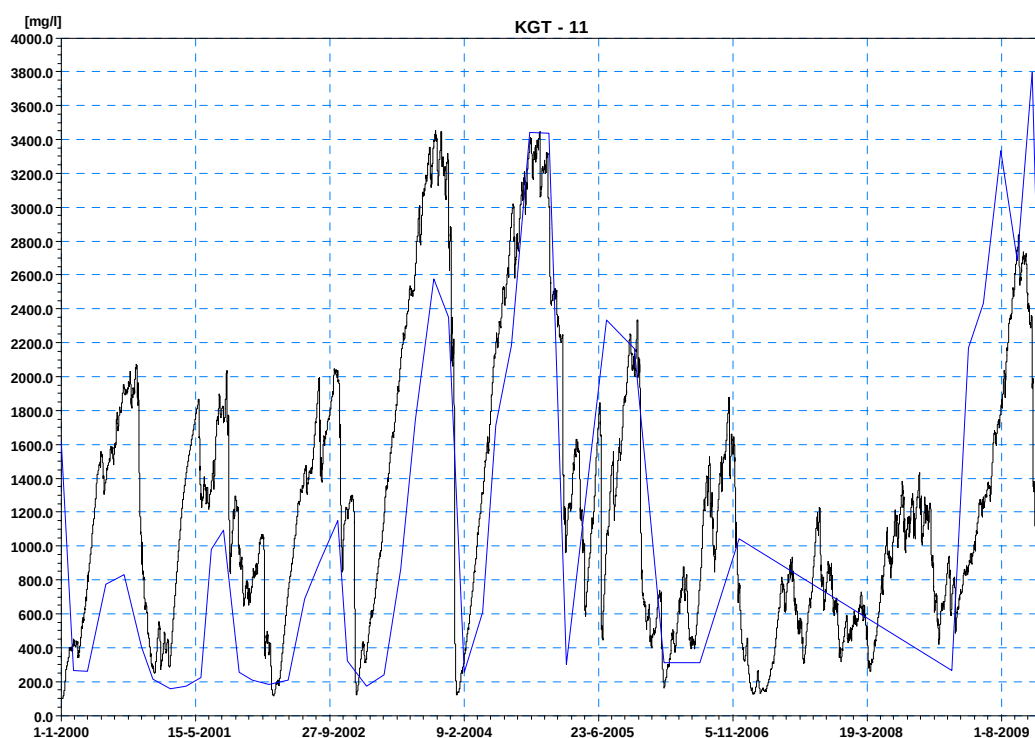
Figuur 44 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 8 (13.5 km)



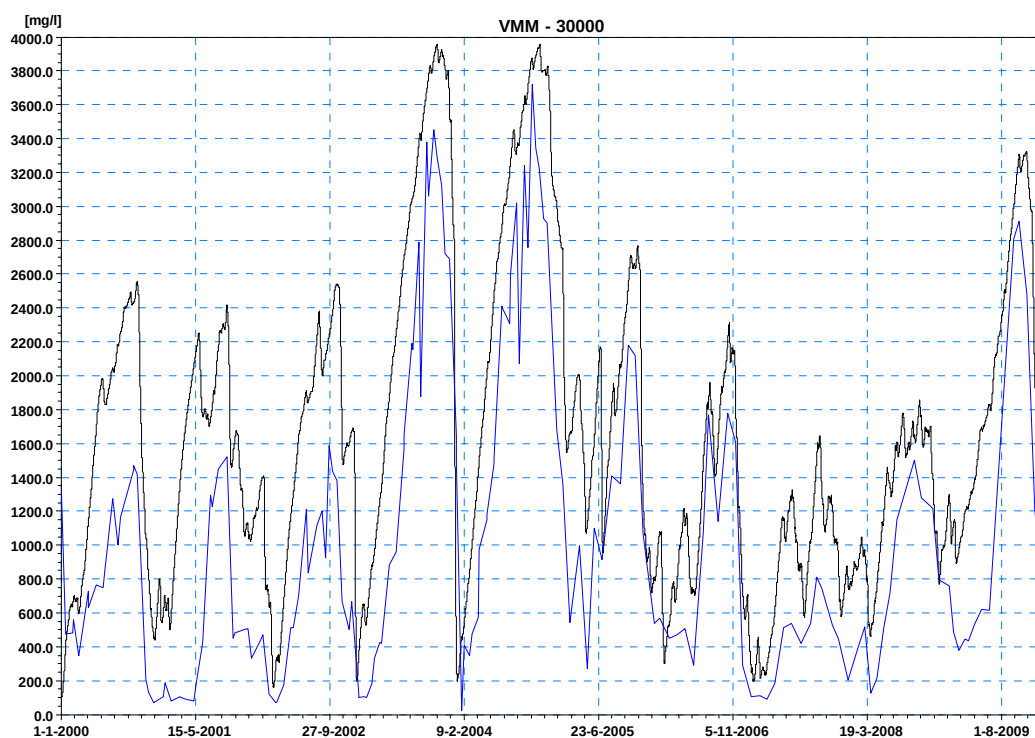
Figuur 45 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 9 (20.5 km)



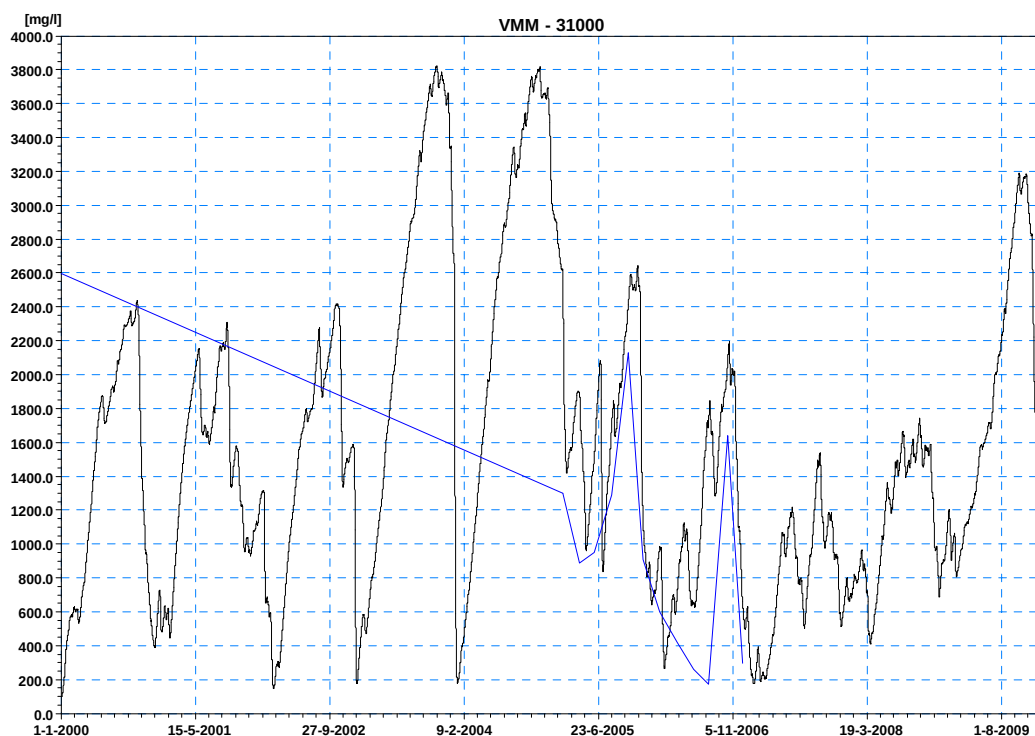
Figuur 46 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 10 (24.3 km)



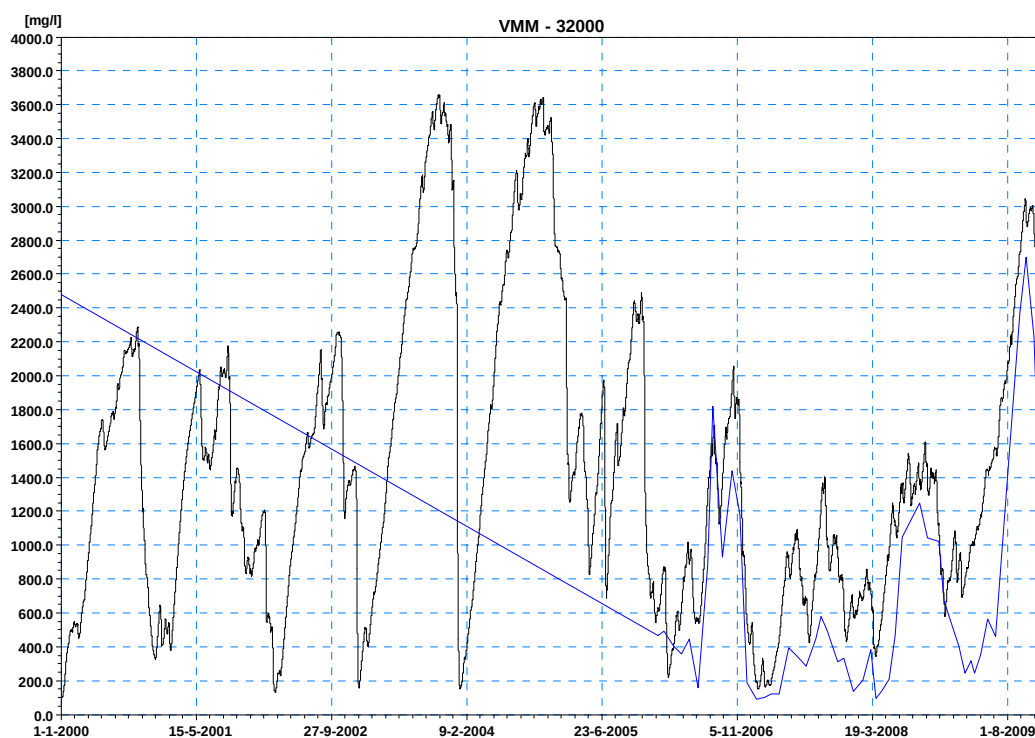
Figuur 47 – Berekende en gemeten chloride concentratie station KGT – 11 (27.0 km)



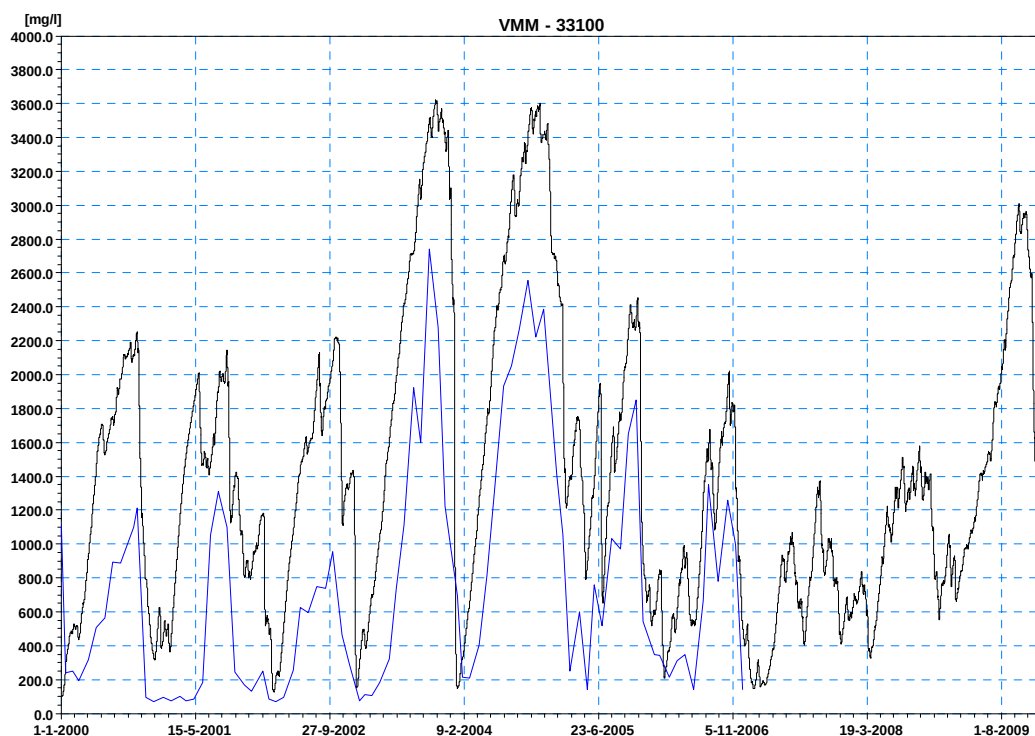
Figuur 48 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 30000 (14.0 km)



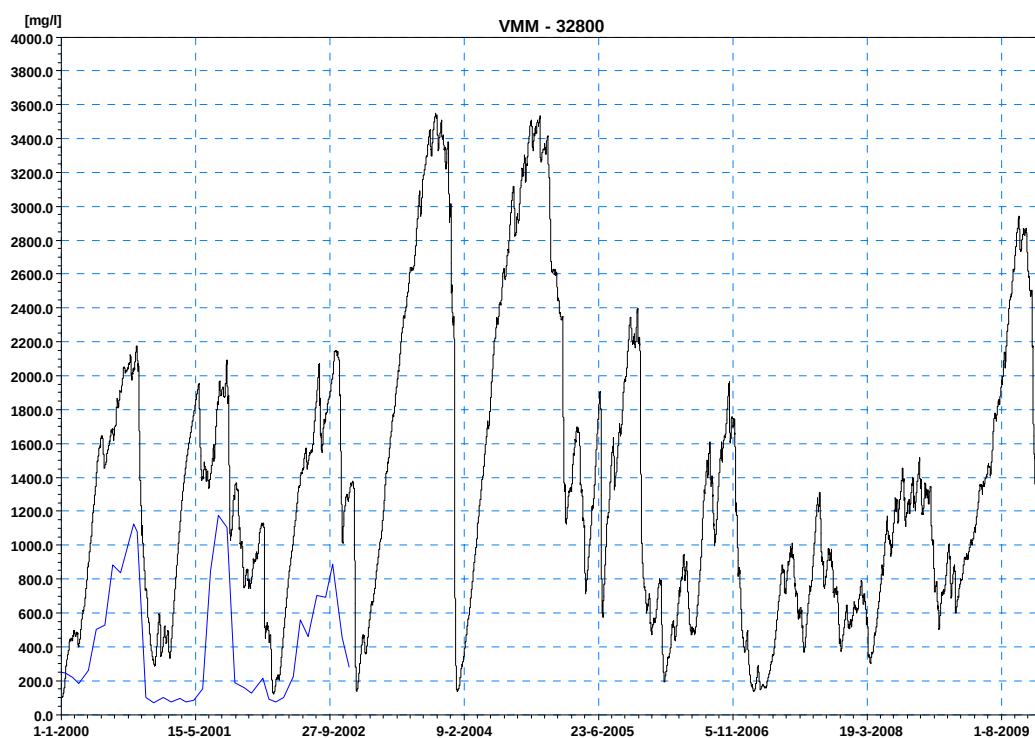
Figuur 49 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 31000 (15.8 km)



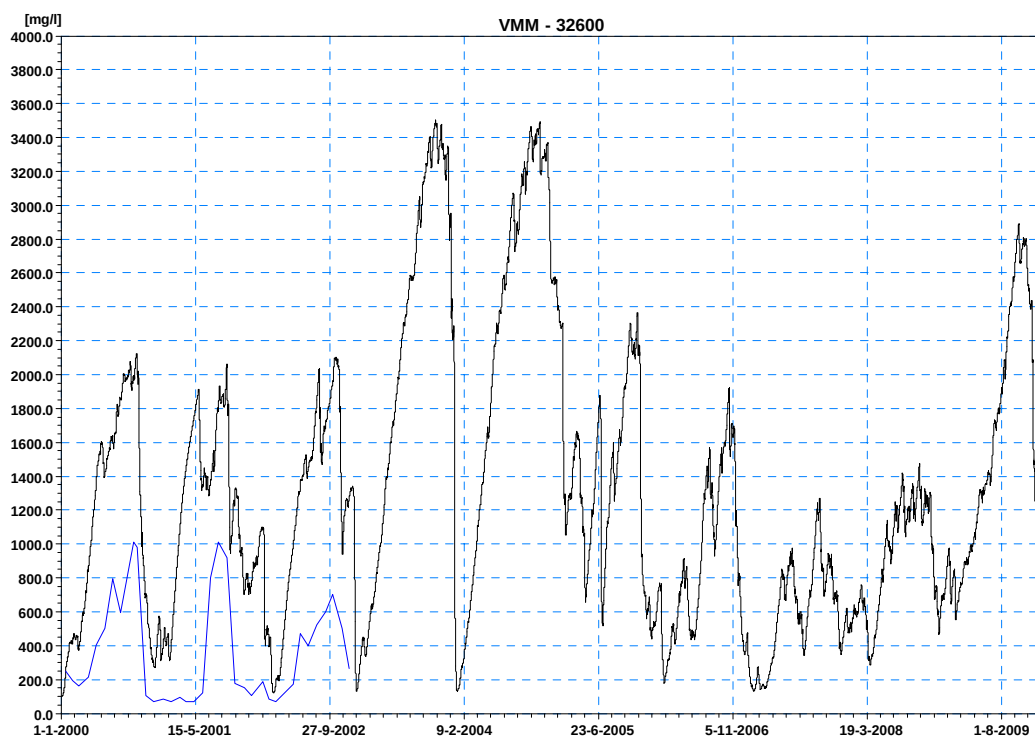
Figuur 50 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32000 (19.8 km)



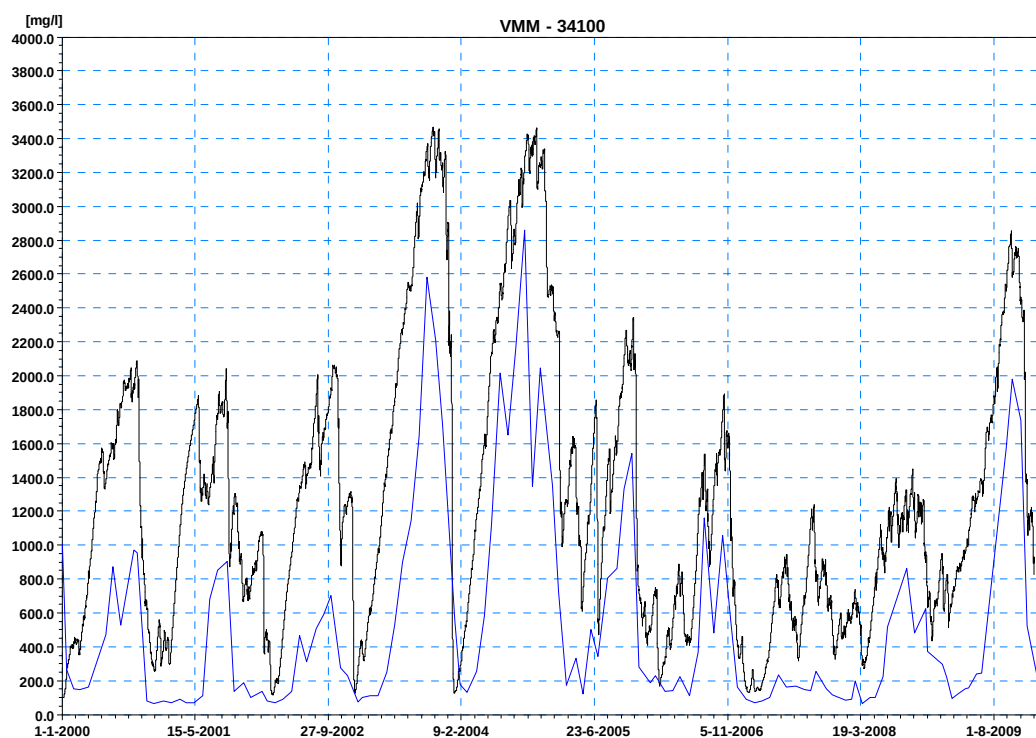
Figuur 51 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 33100 (21.0 km)



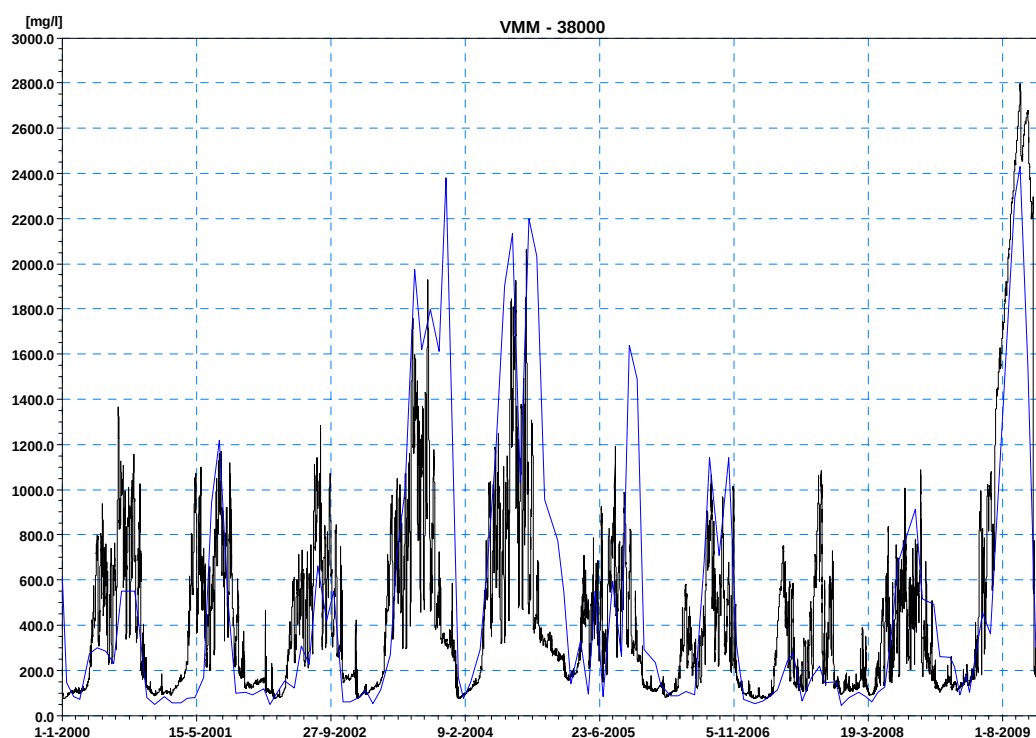
Figuur 52 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32800 (22.8 km)



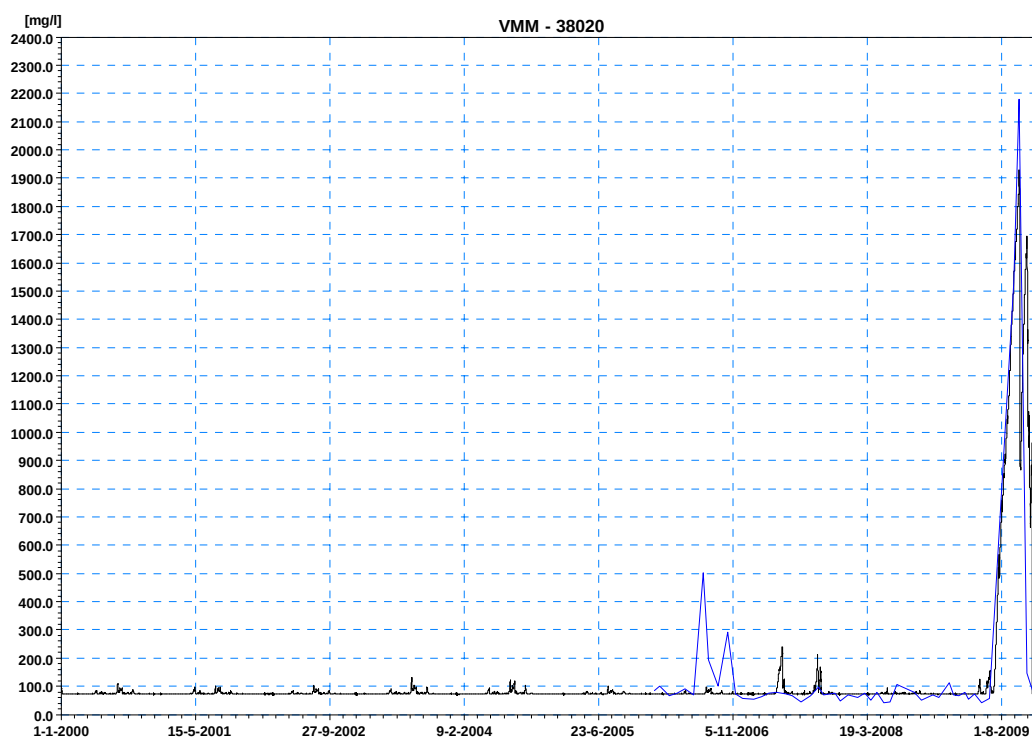
Figuur 53 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 32600 (24.5 km)



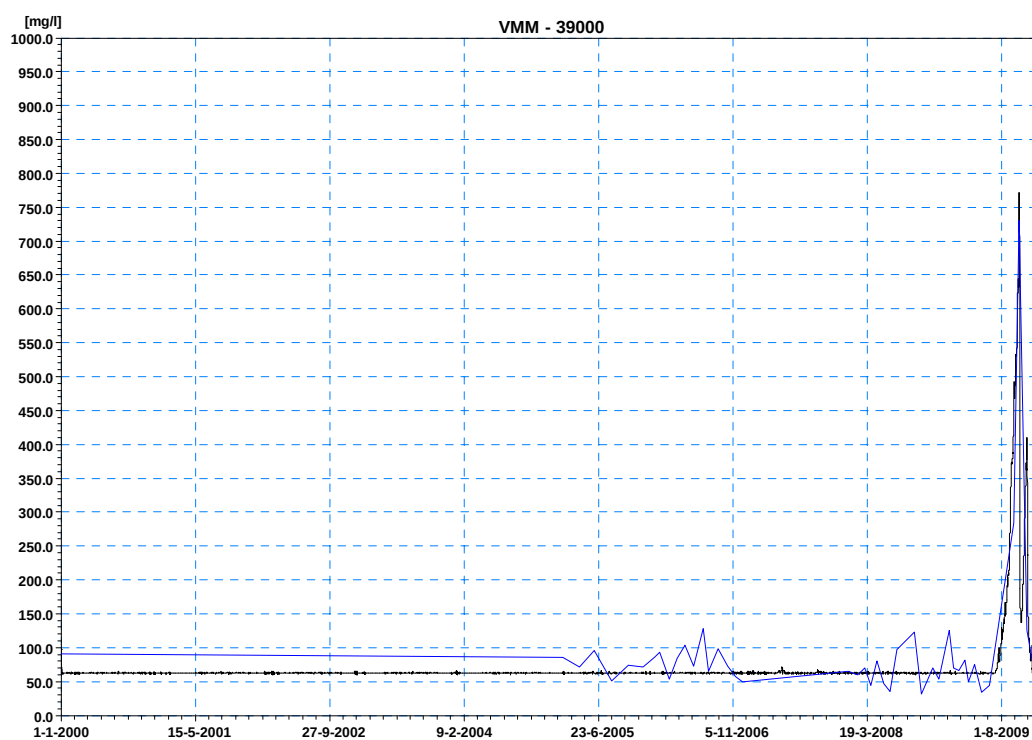
Figuur 54 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 34100 (25.8 km)



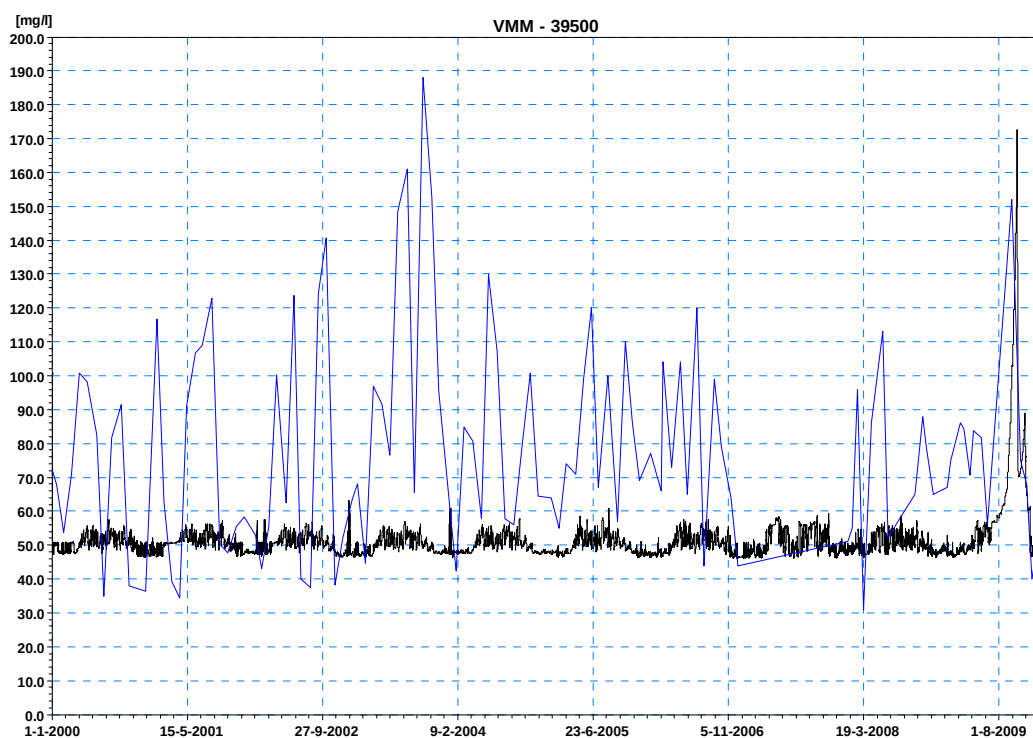
Figuur 55 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38000 (0.6 km)



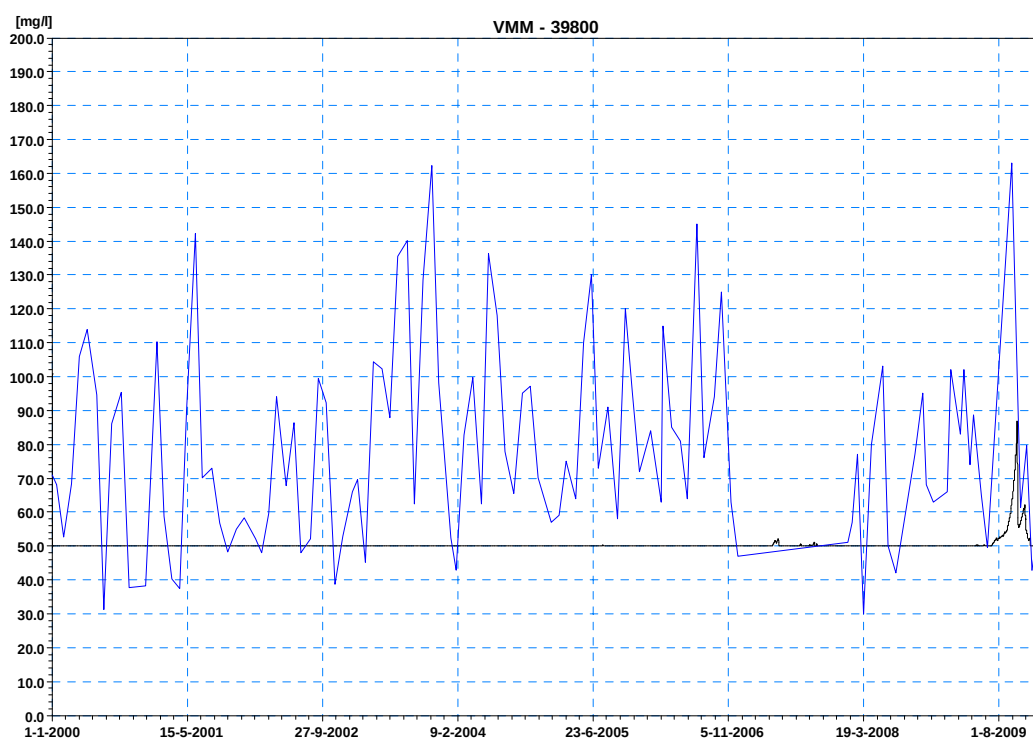
Figuur 56 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 38020 (3.8 km)



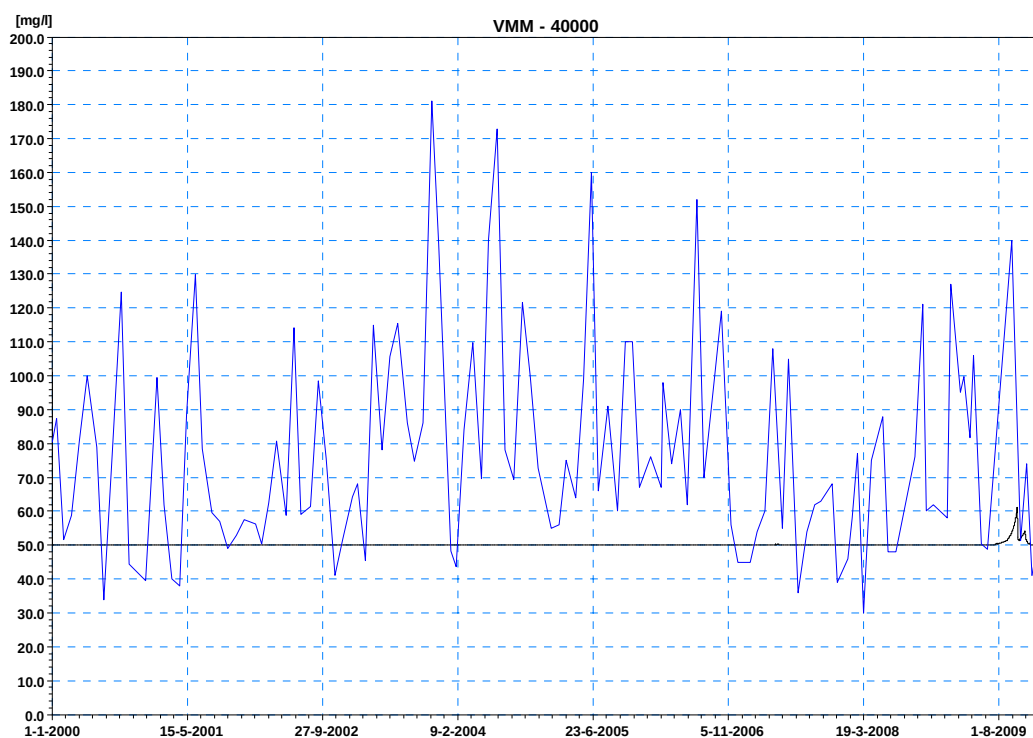
Figuur 57 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39000 (7.4 km)



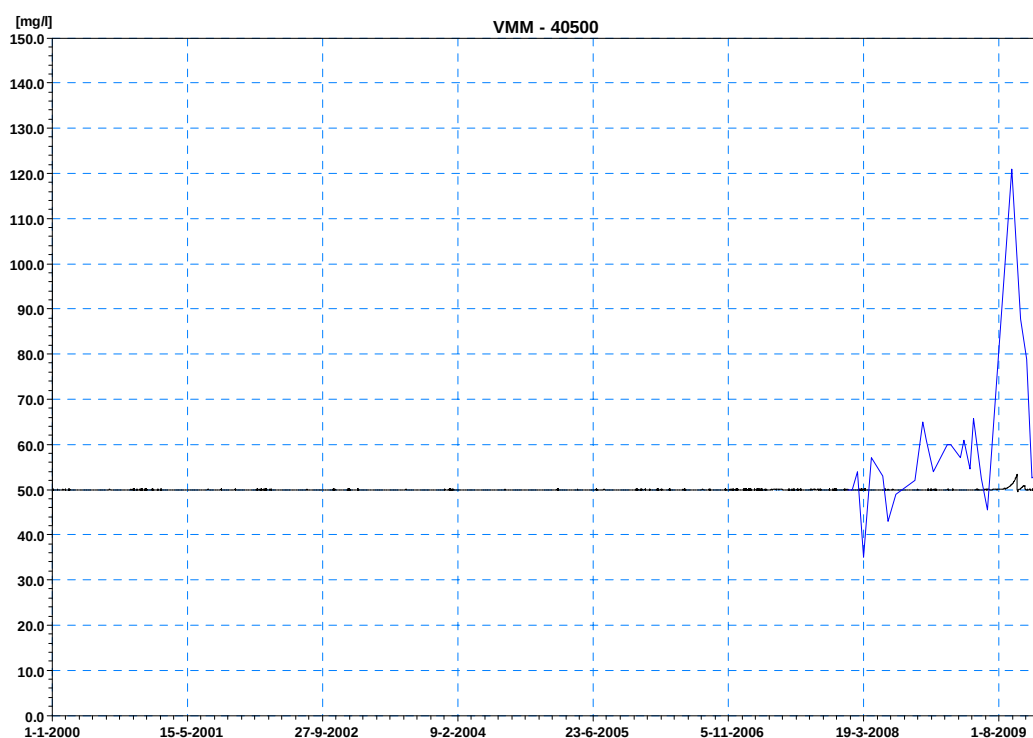
Figuur 58 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39500 (11.4 km)



Figuur 59 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 39800 (13.5 km)



Figuur 60 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40000 (15.6 km)



Figuur 61 – Berekende en gemeten chloride concentratie station VMM – 40500 (18.9 km)

7 Gevoeligheidsanalyse

7.1 Inleiding

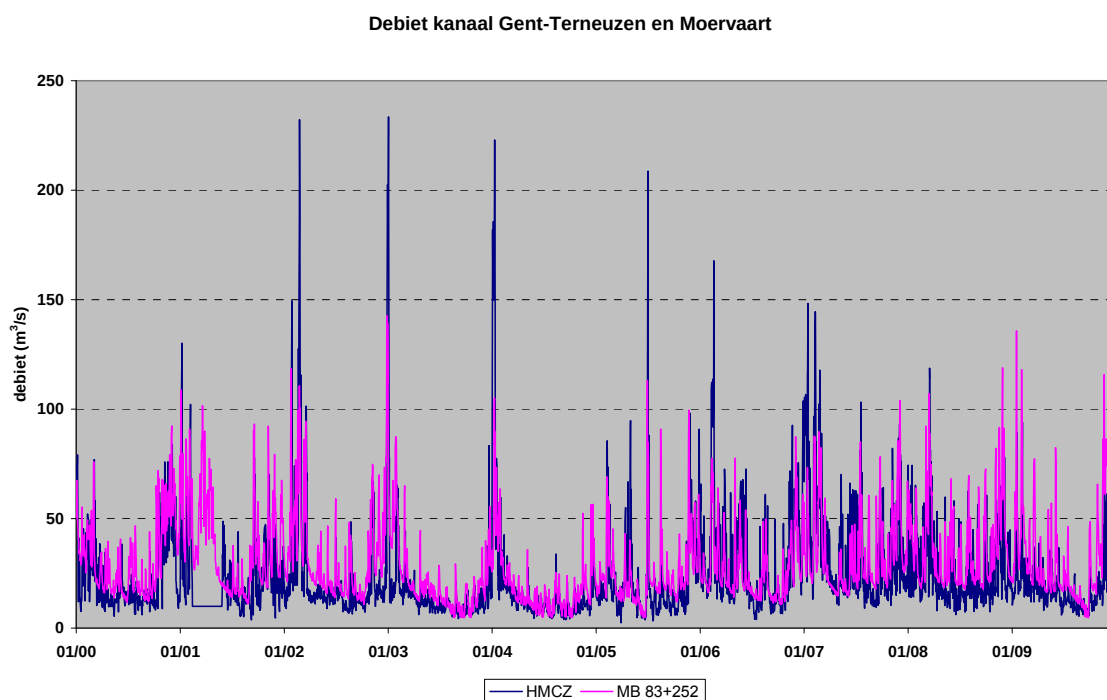
Bij de kalibratie en validatie werd gebruik gemaakt van de beste beschikbare opwaartse en afwaartse randvoorwaarden. Een aantal van deze randvoorwaarden zijn slechts beschikbaar voor beperkte periodes. Om de bestaande toestand en eventuele scenario's over een langere periode te kunnen evalueren, zal noodgedwongen gebruik gemaakt moeten worden van andere, waarschijnlijk minder nauwkeurige, randvoorwaarden. Om de impact van deze randvoorwaarden in te schatten, werden een aantal aanvullende berekeningen met benaderende randvoorwaarden uitgevoerd. Deze werden uitgevoerd voor dezelfde periode als de validatie (2000-2009). De resultaten werden vervolgens vergeleken met die van de validatieberekening. De vergelijking gebeurde voor een beperkt aantal strategische locaties langs het kanaal Gent-Terneuzen en de Moervaart. Voor het kanaal Gent-Terneuzen zijn dit: Terneuzen, Sas-van-Gent, de monding van de Moervaart en de haven van Gent. Voor de Moervaart: Wachtebeke en Sinaai. De precieze ligging van al deze punten wordt samengevat in Tabel 19.

Tabel 19 – Ligging controlepunten

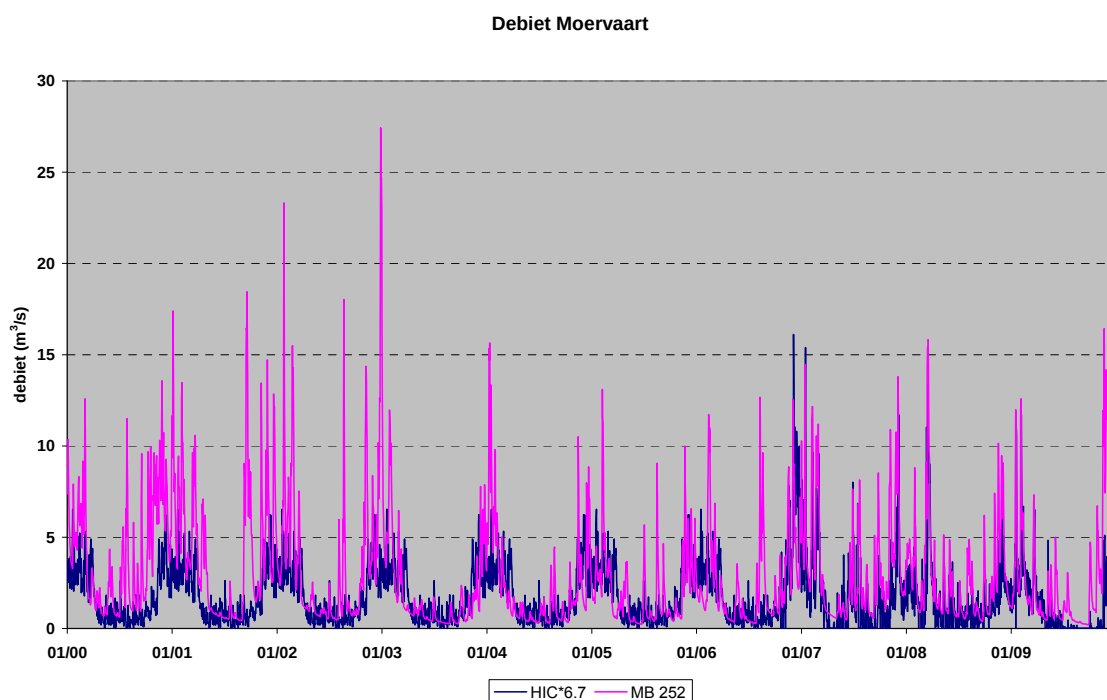
Naam	Waterloop (branch)	Ligging (chainage)
Terneuzen	Kanaal Gent-Terneuzen	26200
Sas-van-Gent	Kanaal Gent-Terneuzen	15500
Monding Moervaart	Kanaal Gent-Terneuzen	5500
Gent	Kanaal Gent-Terneuzen	0
Wachtebeke	Moervaart	7356
Sinaai	Moervaart	18909

7.2 Impact bovendebiet

Bij de kalibratie en validatie werd gebruik gemaakt van berekende debieten voor het kanaal Gent-Terneuzen en gemeten of geschatte debieten voor de Moervaart. Bij de evaluatie van de bestaande toestand en scenario's kan eventueel ook gebruik gemaakt worden van berekende debieten, afkomstig van het Mike Basin model voor het Scheldebekken. Dit model werd opgesteld in het kader van deelopdracht 4. Het opwaartse debiet voor het kanaal Gent-Terneuzen stemt overeen met de toevoer naar knoop 83, gelegen aan het opwaartse einde van het kanaal Gent-Terneuzen. De opwaartse debieten voor de Moervaart werden afgeleid uit de resultaten voor knoop 252, gelegen aan het afwaartse einde van de Moervaart. Dit debiet werd verdeeld over de verschillende deelbekkens op basis van hun respectievelijke deelopervlakten (zie Tabel 17). De resultaten van het Mike Basin model zijn beschikbaar voor de periode 1970-2009. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden getoond in Figuur 64 t.e.m. Figuur 69 (zwart = berekening met nieuwe randvoorwaarde, blauw = validatie). De bovendebieten hebben een zichtbare invloed op de berekende chloride concentraties. Zowel in het kanaal Gent-Terneuzen als in de Moervaart leidt het gebruik van bovendebieten uit het Mike Basin model tot een daling van de chloride concentraties.



Figuur 62 – Totaal debiet voor kanaal Gent-Terneuzen en Moervaart (berekeningen HMCZ vs Mike Basin)



Figuur 63 – Debiet voor de Moervaart (herschaalde meting HIC vs Mike Basin)

De totale bovendebieten voor het kanaal Gent-Terneuzen en de Moervaart afkomstig van HMCZ en Mike Basin (knoop 83 + knoop 252) worden vergeleken in Figuur 62. Uit deze vergelijking blijkt dat het debiet berekend door Mike Basin vaak hoger ligt dan het debiet berekend door HMCZ. Voor de periode 2000-2009 ligt het totale afvoervolume berekend door Mike Basin ongeveer 25% hoger dan het afvoervolume berekend door HMCZ. Dit verklaart de afname van de chloride concentraties in het kanaal Gent-Terneuzen.

De bovendebieten voor de Moervaart afkomstig van het HIC (limnigraaf Sinaai, herschaald met een factor 6.7) en Mike basin (knoop 252) worden vergeleken in Figuur 63. De metingen in Sinaai zijn pas beschikbaar vanaf eind 2006. Voor de periode voorafgaand aan het begin van de metingen werd het gemiddelde van de metingen voor de periode 2007-2010 gebruikt. Zowel voor de periode 2007-2009 als voor de periode 2000-2009 is het totale afvoervolume berekend door Mike Basin ongeveer 65% hoger dan het afvoervolume op basis van de metingen van het HIC. Dit verklaart de zeer sterke afname van de chloride concentraties in de Moervaart.

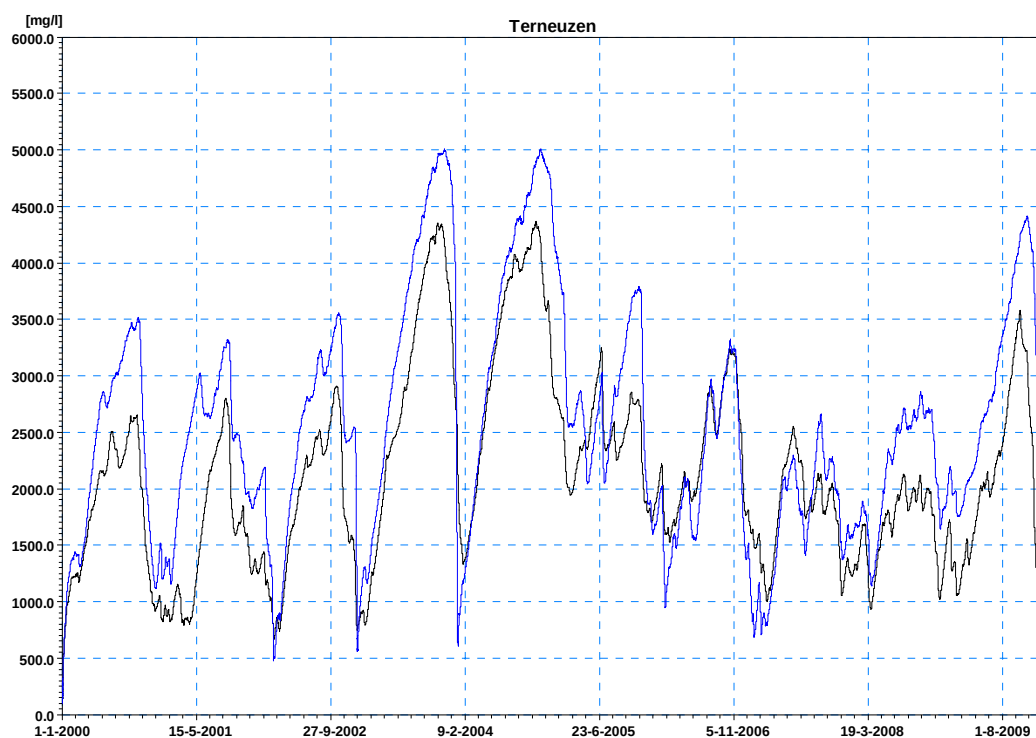
7.3 Impact zoutgehalte Westerschelde

Bij de kalibratie en validatie werd gebruik gemaakt van chloride concentraties op de Westerschelde te Terneuzen die geschat werden op basis van de gemeten chloride concentraties op de Westerschelde te Baalhoek (zie paragraaf 4.2.4., vergelijking 7). Deze relatie kan enkel gebruikt worden voor de periode 1988-2010. De chloride concentratie op de Westerschelde kan ook geschat worden op basis van de bovendebieten op de Zeeschelde te Schelle. Bij deze gevoeligheidsanalyse werd in eerste instantie gebruik gemaakt van de relatie op basis van de 2 voorgaande decades (zie paragraaf 4.2.4, vergelijking 7). Deze relatie kan toegepast worden op de periode 1970-2010.

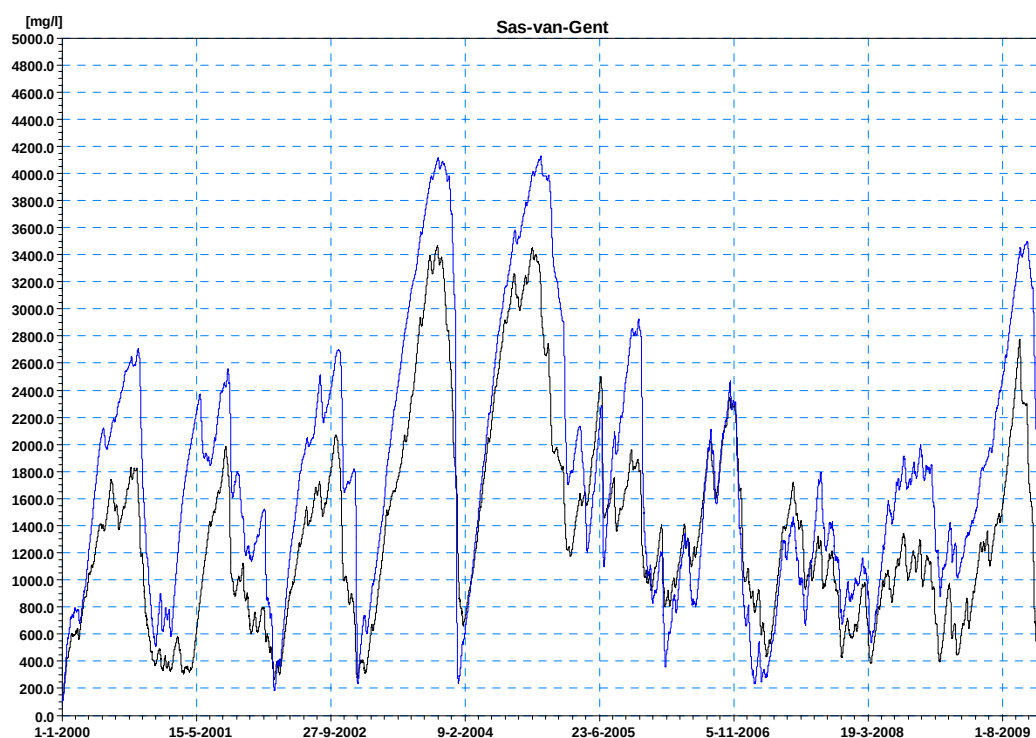
De resultaten van de gevoeligheidsanalyse worden getoond in Figuur 70 t.e.m. Figuur 75 (zwart = berekening met nieuwe randvoorwaarde, blauw = validatie). Uit deze figuren blijkt dat de impact van de chloride concentratie in de Westerschelde minder groot is dan de invloed van het bovendebiet. De alternatieve relatie voor de schatting van de chloride concentraties (paragraaf 4.2.4, vergelijking 8) werd dan ook niet meer toegepast.

7.4 Impact bovendebiet en zoutgehalte Westerschelde

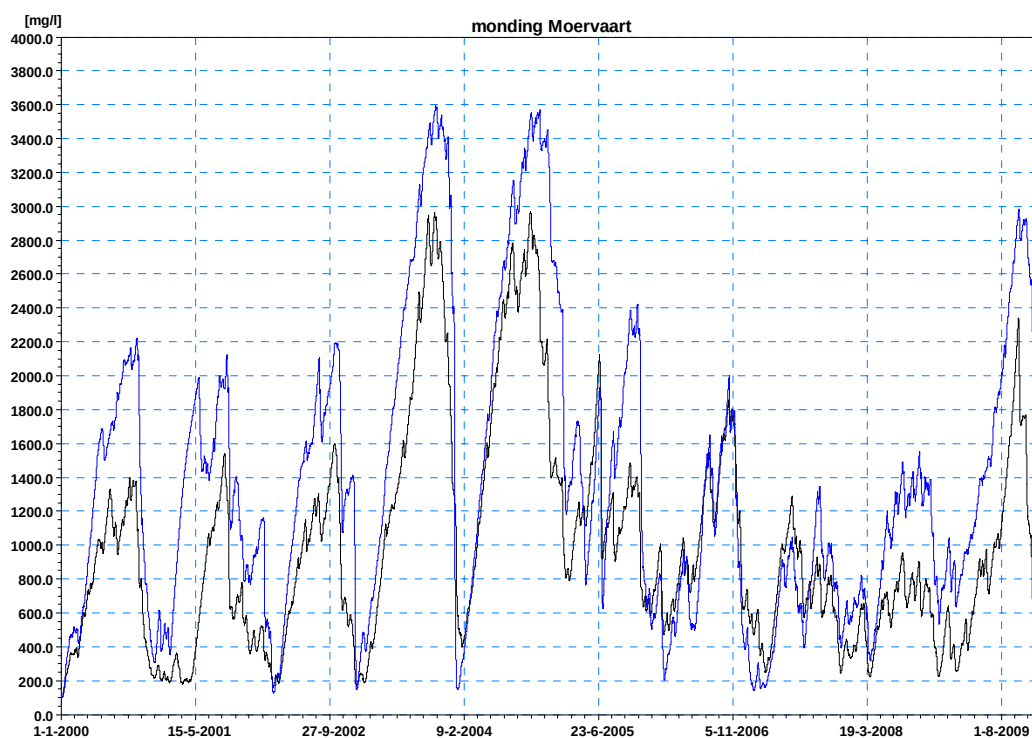
Om een simulatie over een periode van 40 jaar (1970-2009) te kunnen uitvoeren, moeten zowel de bovendebieten als de zoutgehaltes op de Westerschelde benaderd worden. Daarom werd ook een berekening met beide vereenvoudigde randvoorwaarden uitgevoerd. De resultaten worden getoond in Figuur 76 t.e.m. Figuur 81 (zwart = berekening met nieuwe randvoorwaarde, blauw = validatie). De geobserveerde verschillen kunnen grotendeels toegeschreven worden aan de impact van de bovendebieten.



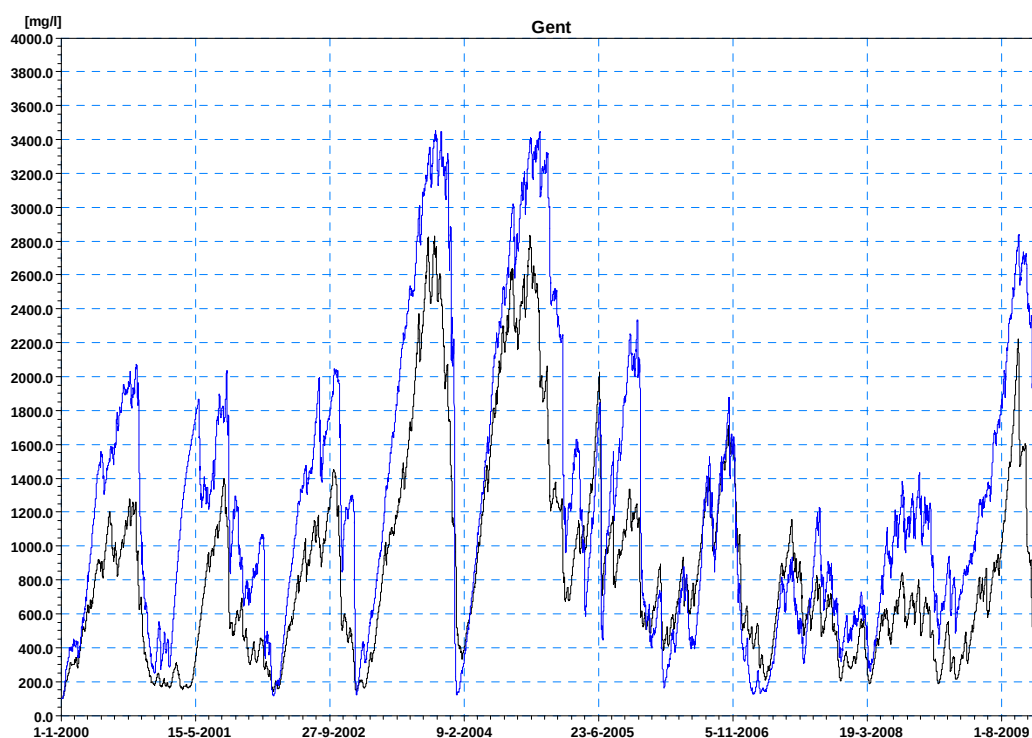
Figuur 64 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Terneuzen



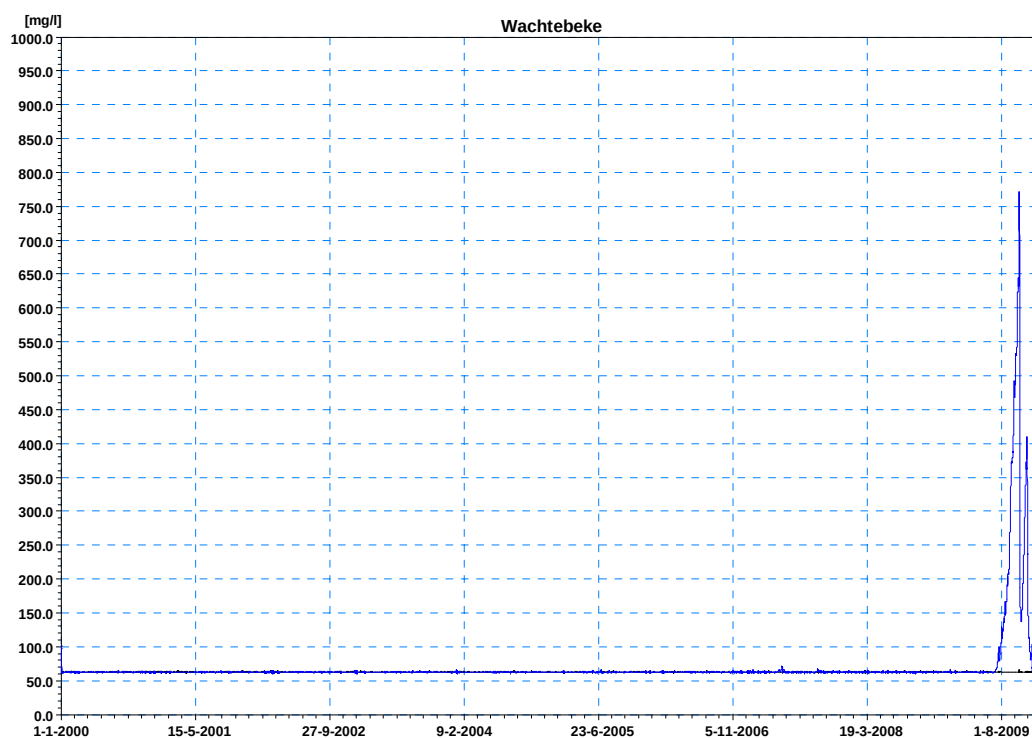
Figuur 65 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Sas-van-Gent



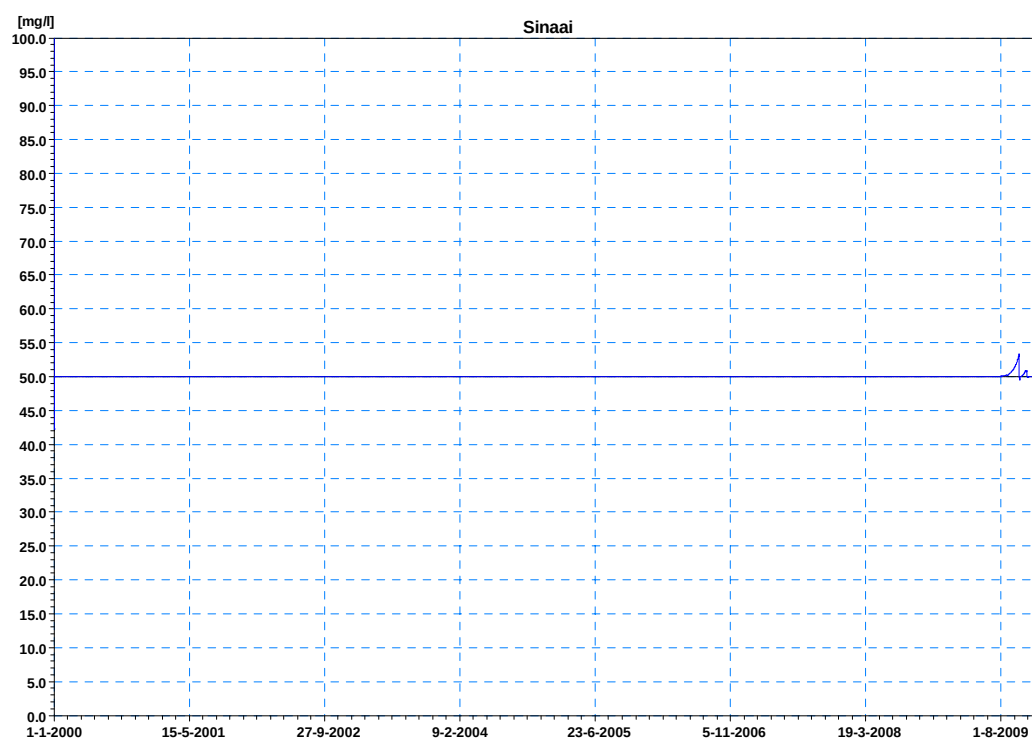
Figuur 66 – Impact bovendebiet op chloride concentratie monding Moervaart



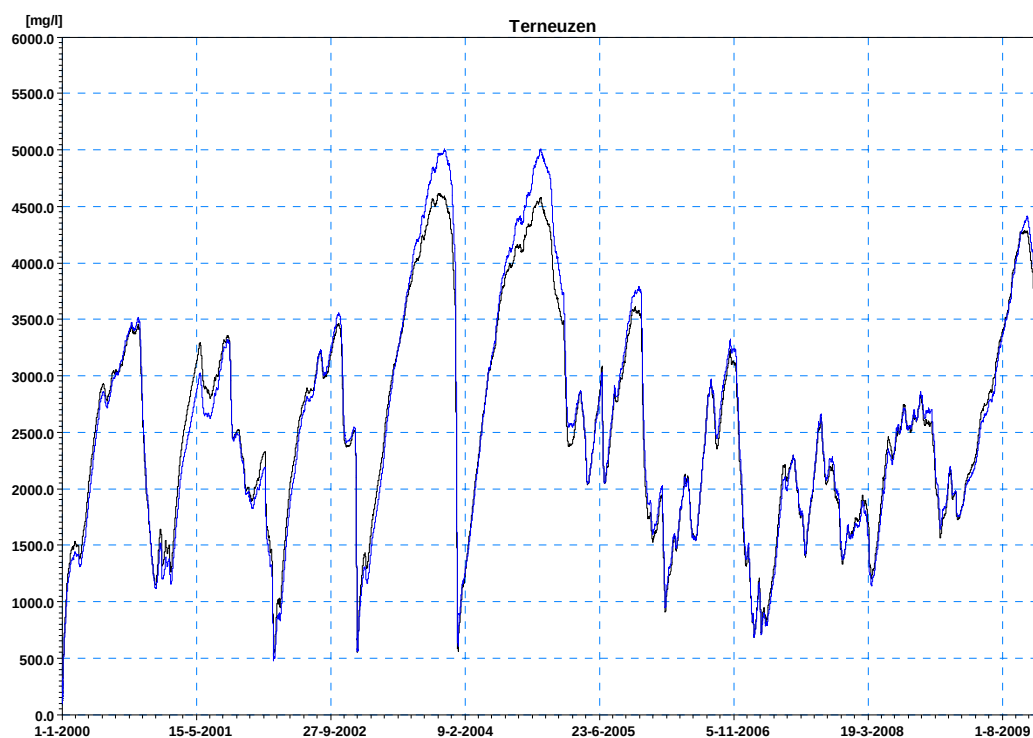
Figuur 67 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Gent



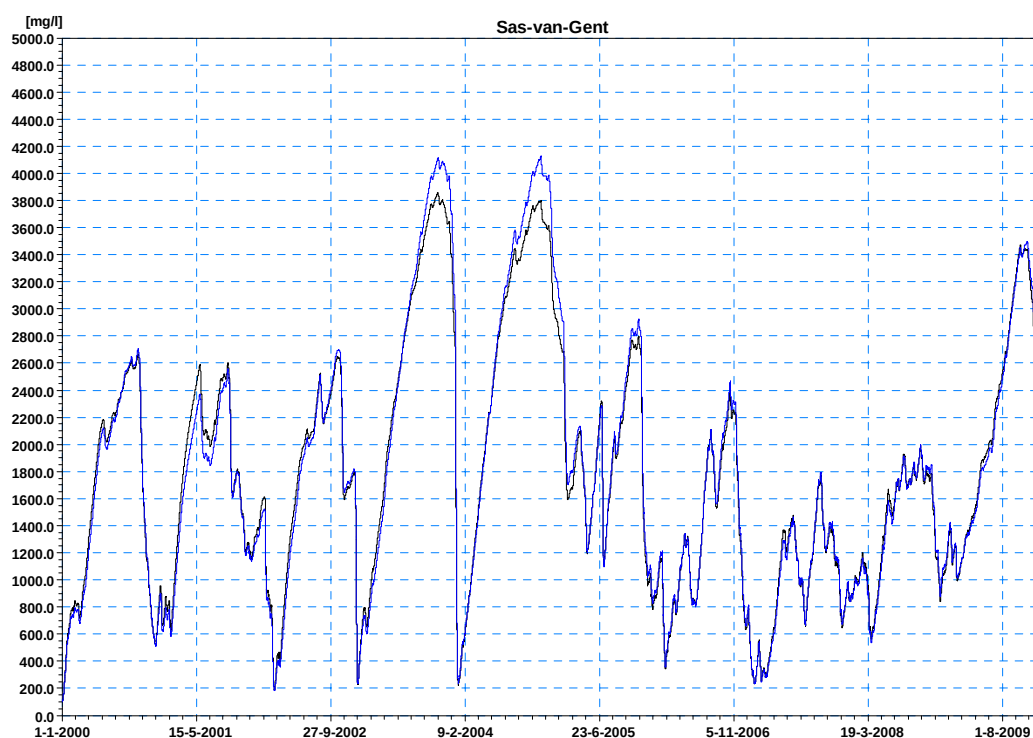
Figuur 68 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Wachtebeke



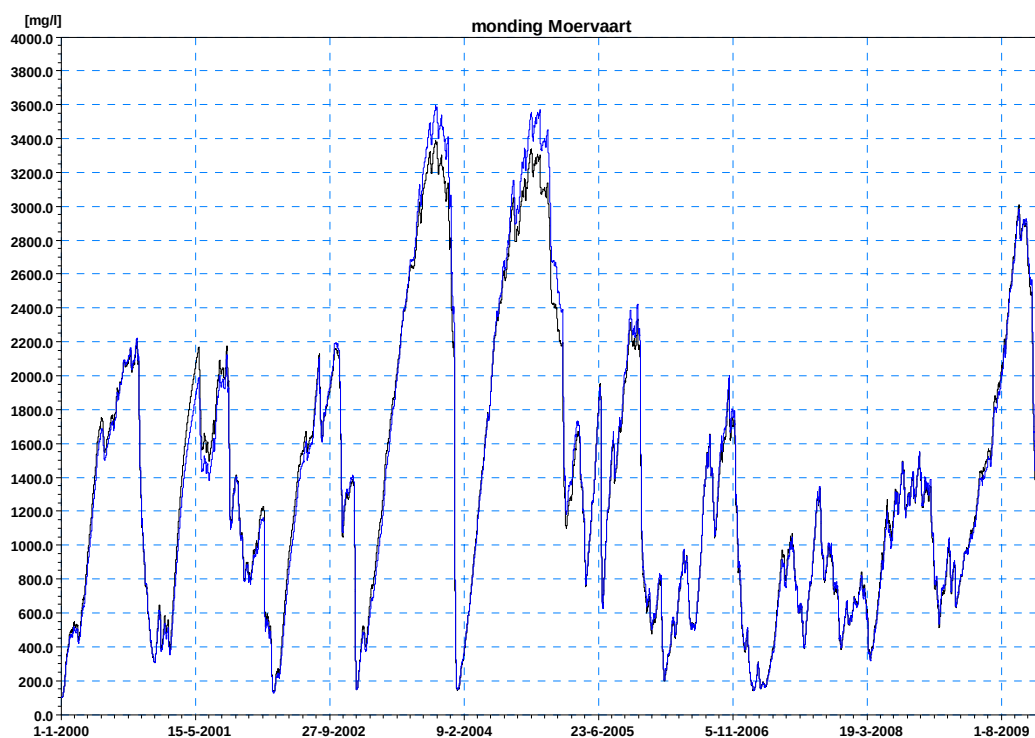
Figuur 69 – Impact bovendebiet op chloride concentratie Sinaai



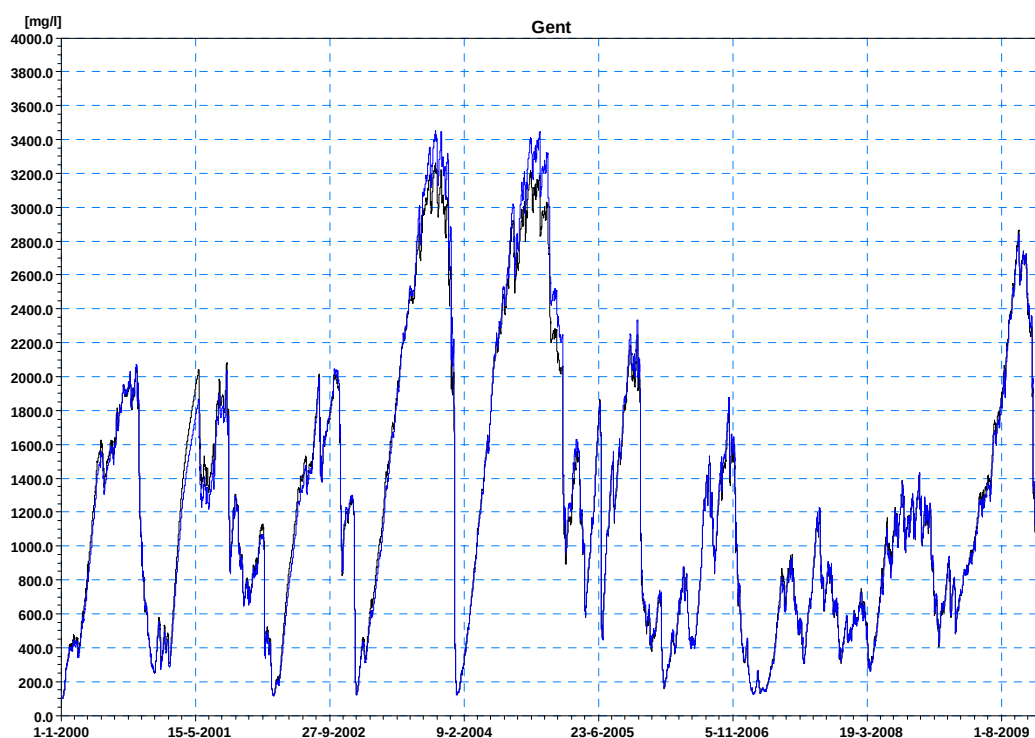
Figuur 70 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Terneuzen



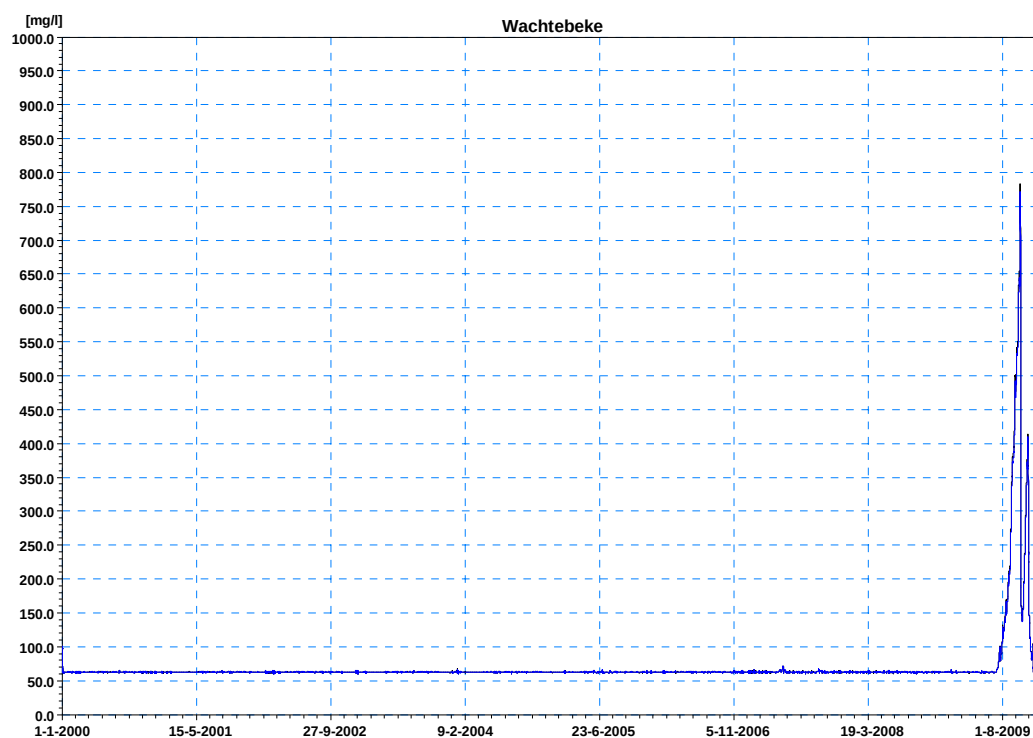
Figuur 71 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Sas-van-Gent



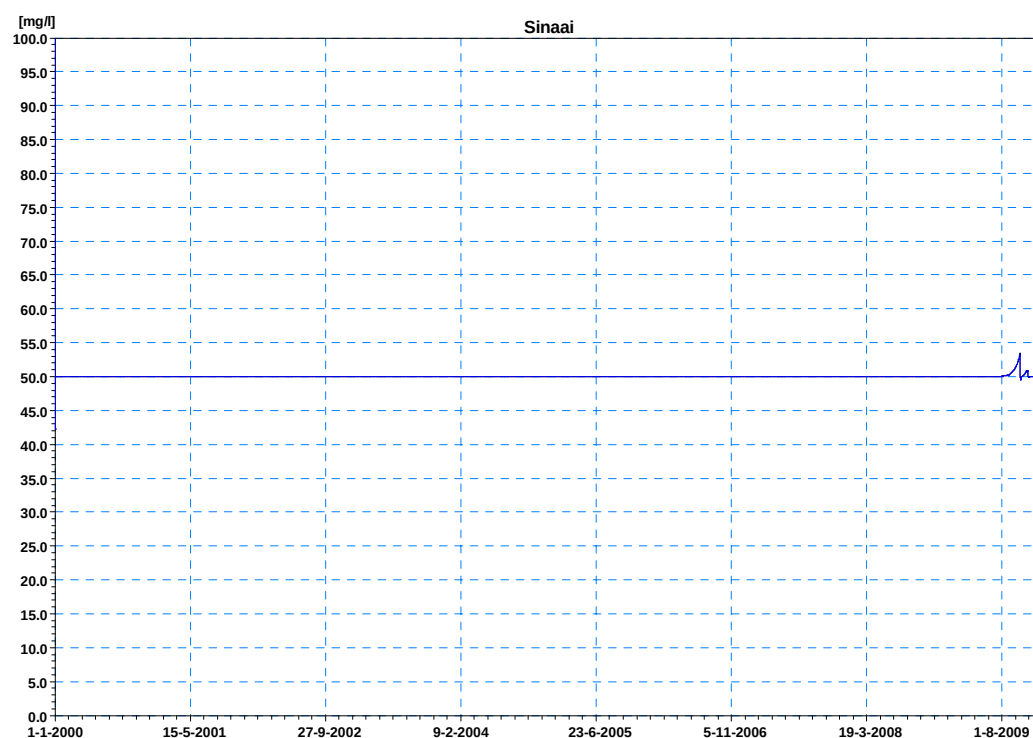
Figuur 72 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie monding Moervaart



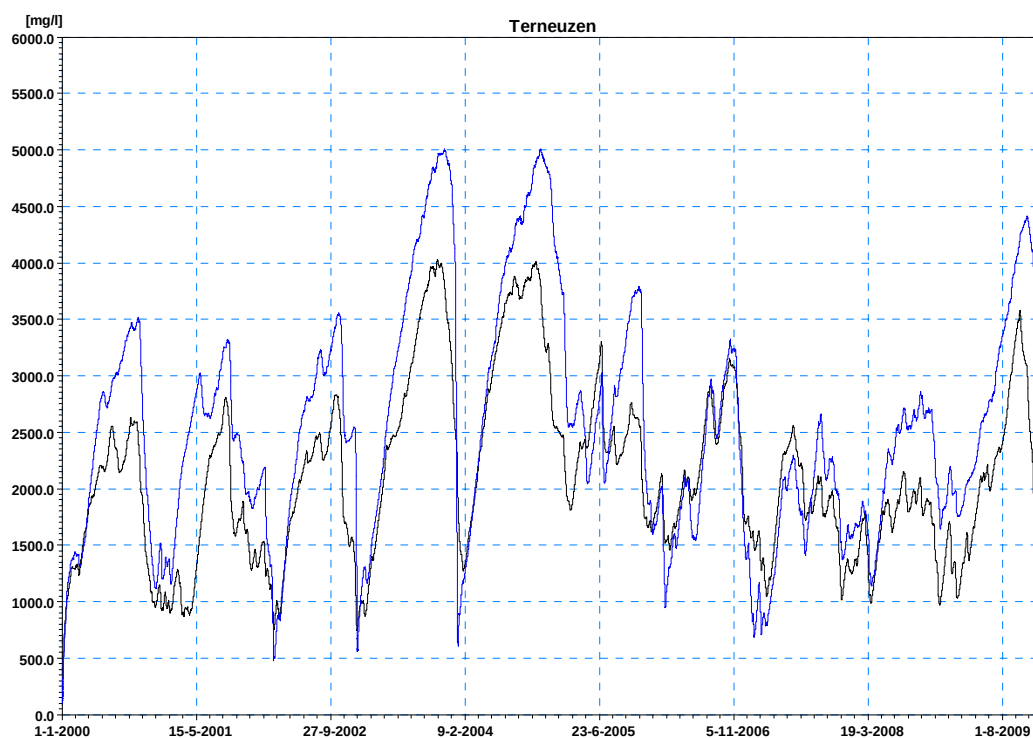
Figuur 73 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Gent



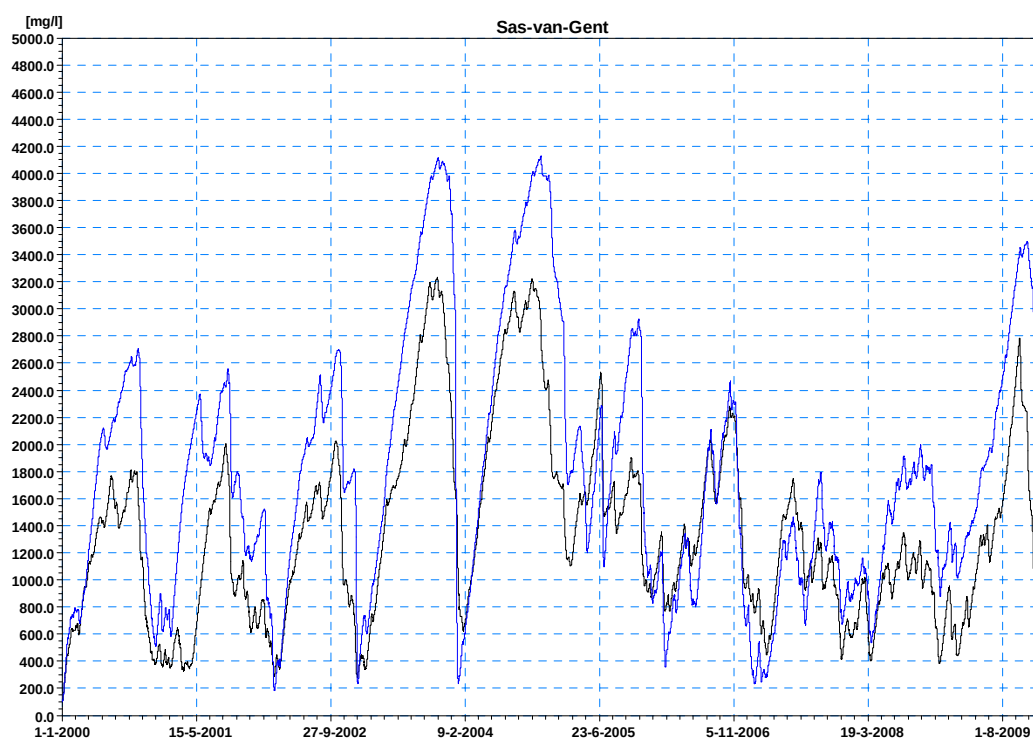
Figuur 74 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Wachtebeke



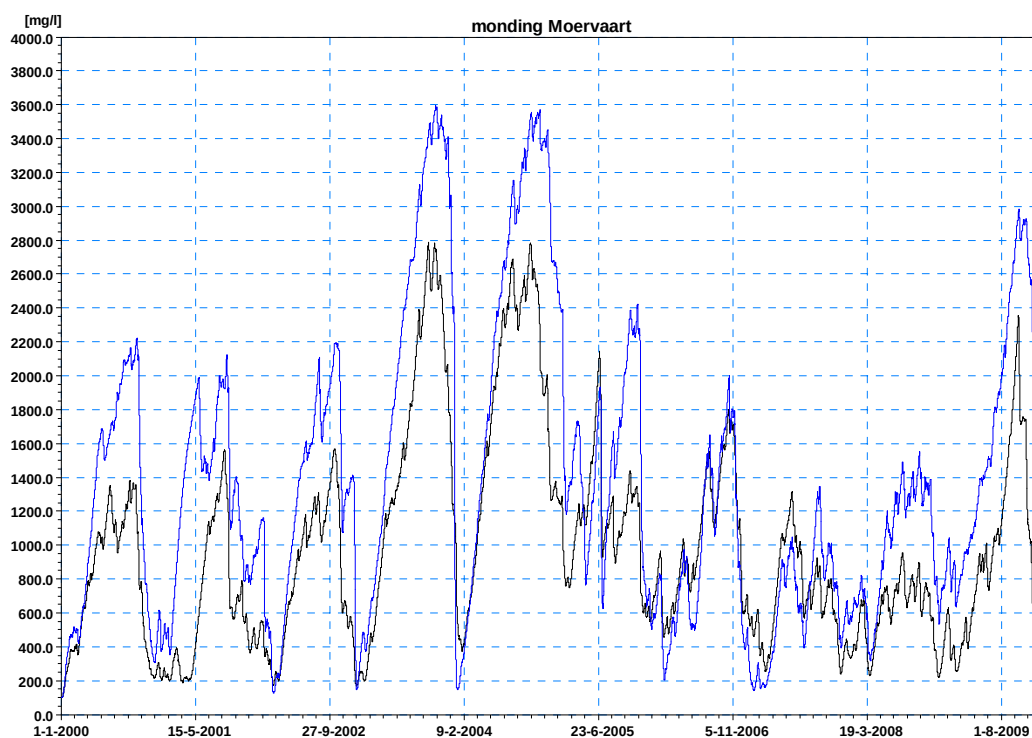
Figuur 75 – Impact zoutgehalte Westerschelde op chloride concentratie Sinaai



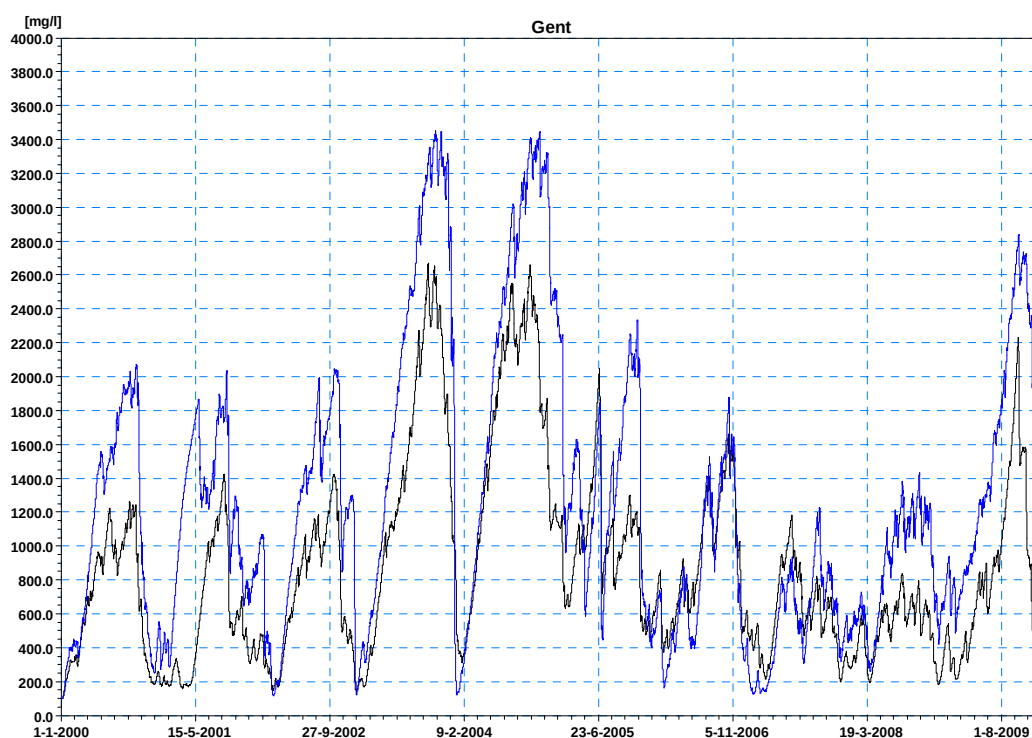
Figuur 76 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Terneuzen



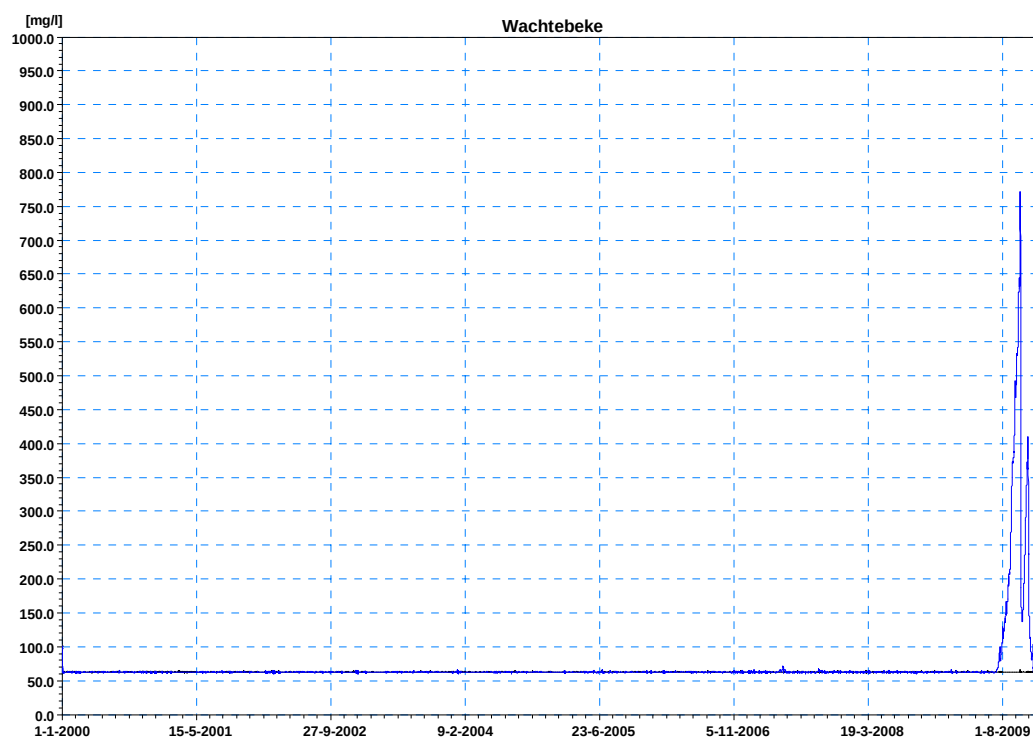
Figuur 77 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Sas-van-Gent



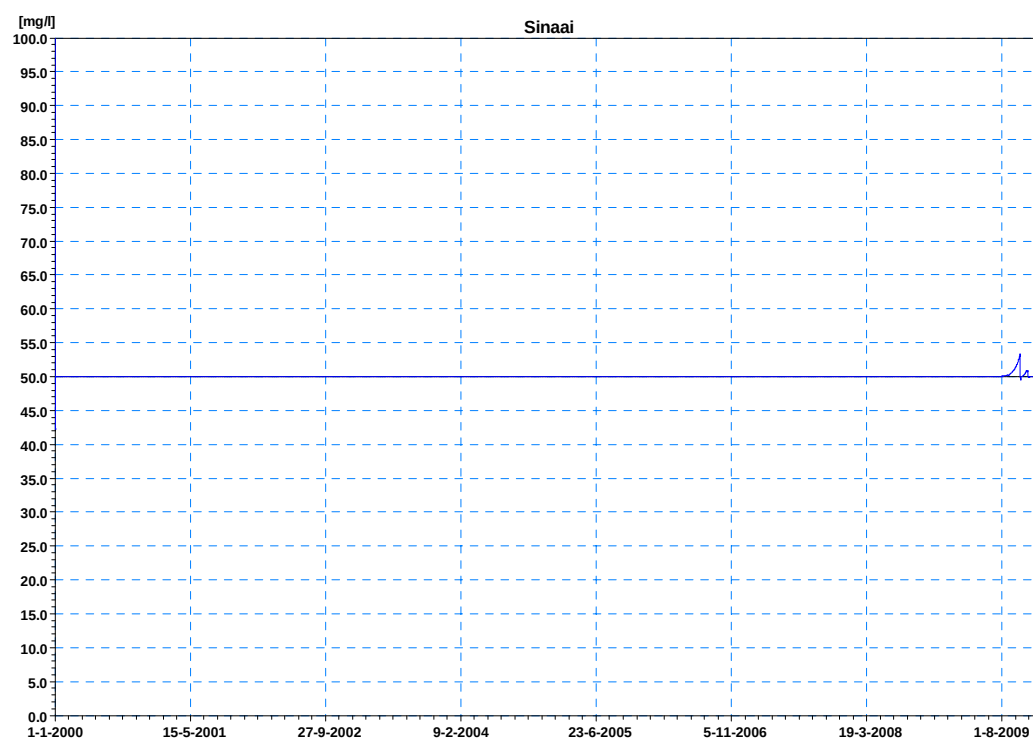
Figuur 78 – Impact randvoorwaarden op concentratie monding Moervaart



Figuur 79 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Gent



Figuur 80 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Wachtebeke



Figuur 81 – Impact randvoorwaarden op chloride concentratie Sinaai

8 Analyse bestaande toestand

De bestaande toestand werd geëvalueerd door het doorrekenen van de periode 1970 – 2009 (40 jaar). De evaluatie gebeurde voor dezelfde controlepunten als de gevoeligheidsanalyse. Ter illustratie werd de concentratie net ten zuiden van Terneuzen (KGT, chainage 25000) vergeleken met de grenswaarde uit het verdrag van 1960 (3.5 g/l).

Bij de analyse werd gebruik gemaakt van 3 types figuren. Een eerste type toont het verloop van de chloride concentratie in functie van de tijd. Een tweede type toont het verloop van de concentratie langsheen een lengteprofiel. Het derde type bevat duurlijnen. Daarbij werd nog een onderscheid gemaakt tussen twee soorten duurlijnen: de eerste curve ("cumulative time" (CT)) toont de totale duur gedurende dewelke een bepaalde chloride concentratie overschreden werd. De tweede curve ("maximum continuous period" (MCP)) geeft de duur van de langste periode gedurende dewelke een bepaalde chloride concentratie continu overschreden werd. Indien de chloride concentratiecurve uit meerdere pieken bestaat, dan geeft de eerste duurlijn de totale duur van alle pieken boven een bepaalde grenswaarde, terwijl de tweede duurlijn enkel de duur van de breedste piek weergeeft.

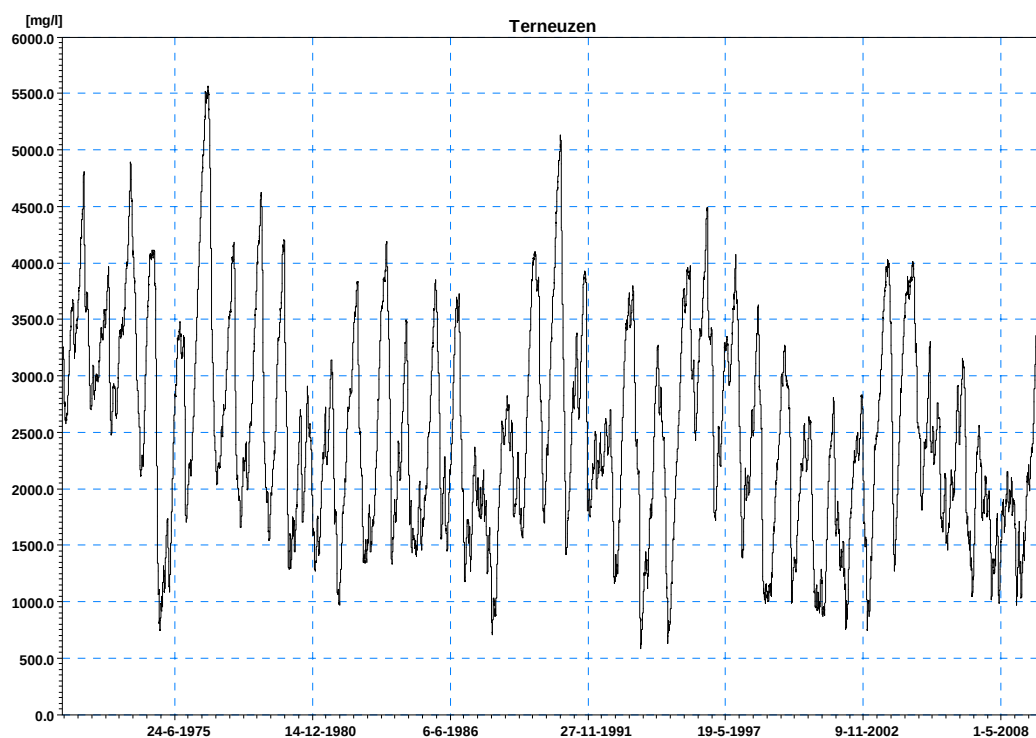
De resultaten voor het jaar 1970 worden nog sterk beïnvloed door de impact van de ruw geschatte beginvoorwaarden. In de figuren worden dan ook enkel de resultaten voor de periode 1971 – 2009 getoond.

De tijdreeksen voor de bestaande toestand worden weergegeven in Figuur 82 t.e.m. Figuur 87, de lengteprofielen in Figuur 88 en Figuur 89. De resultaten voor het controlepunt van het verdrag uit 1960 worden getoond in Figuur 90 en Figuur 91. De resultaten worden ook nog eens samengevat in Tabel 20.

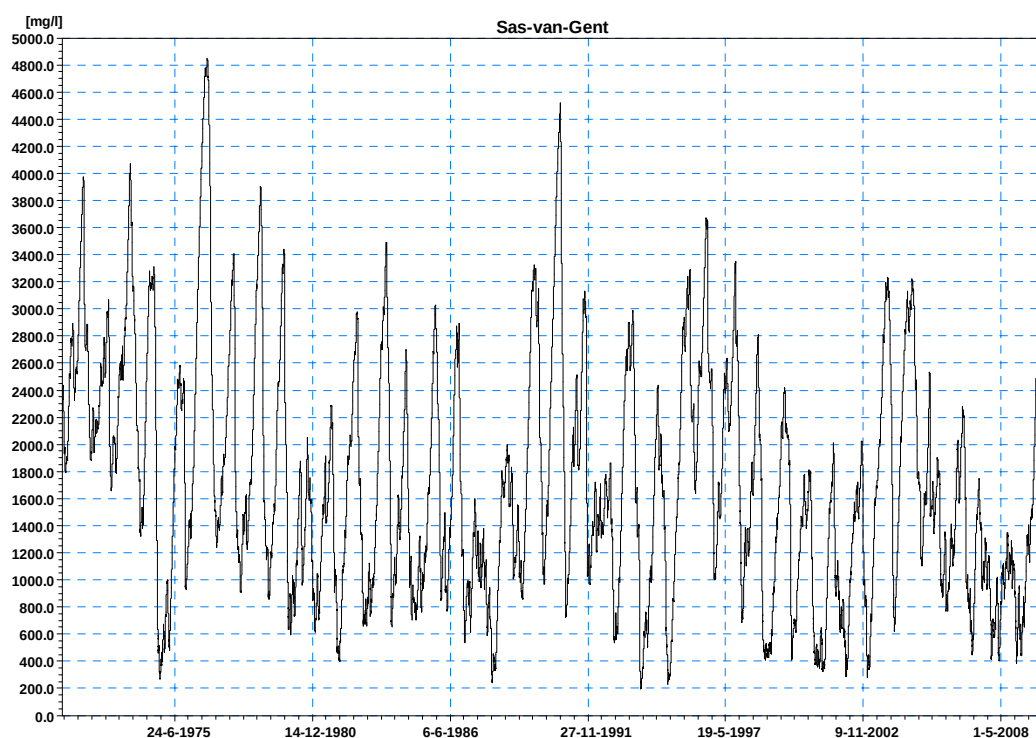
Tabel 20 – Zoutgehalte bestaande toestand

ID	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
Terneuzen	0.59	5.56	2.48	1.06	10.05	4.49
Sas-van-Gent	0.20	4.85	1.71	0.35	8.76	3.10
Monding Moervaart	0.13	4.45	1.31	0.23	8.03	2.36
Gent	0.12	4.31	1.18	0.21	7.79	2.14
Wachtebeke	0.06	0.21	0.06	0.11	0.38	0.11
Sinaai	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.09
Controlepunt verdrag	0.54	5.51	2.42	0.97	9.95	4.38

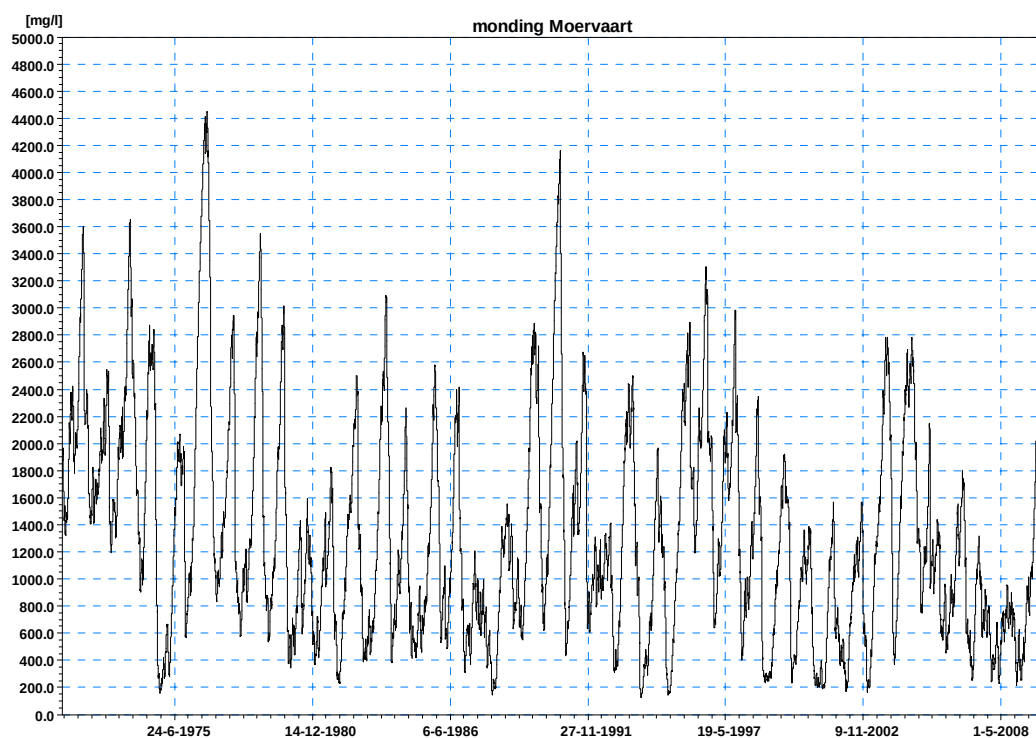
Uit de tijdreeksen in Figuur 90 blijkt dat de grenswaarde uit het verdrag van 1960 in 22 van de 39 doorgerekende jaren tijdens de zomer overschreden wordt. Uit de duurlijnen in Figuur 91 kan men afleiden dat de totale duur van de overschrijding 2081 dagen bedraagt. Dit stemt overeen met 15 % van de totale tijdsduur. De langste ononderbroken overschrijding omvat 210 dagen en is het gevolg van de hydrologische omstandigheden die zich voordeden in 1976.



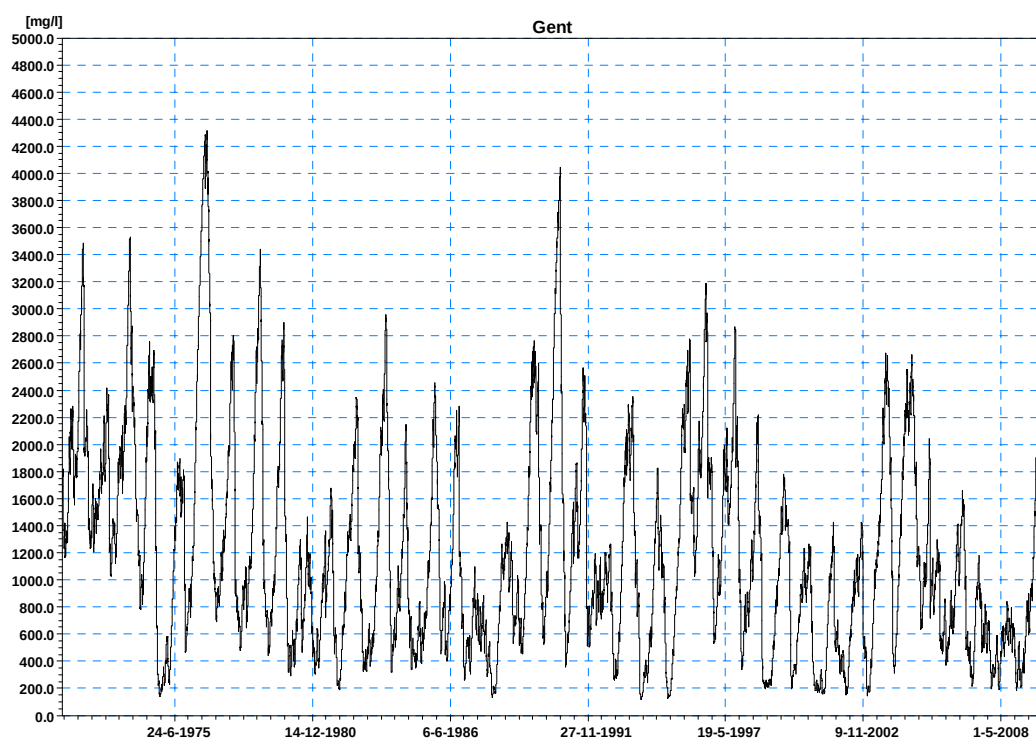
Figuur 82 – Bestaande toestand - chloride concentratie Terneuzen



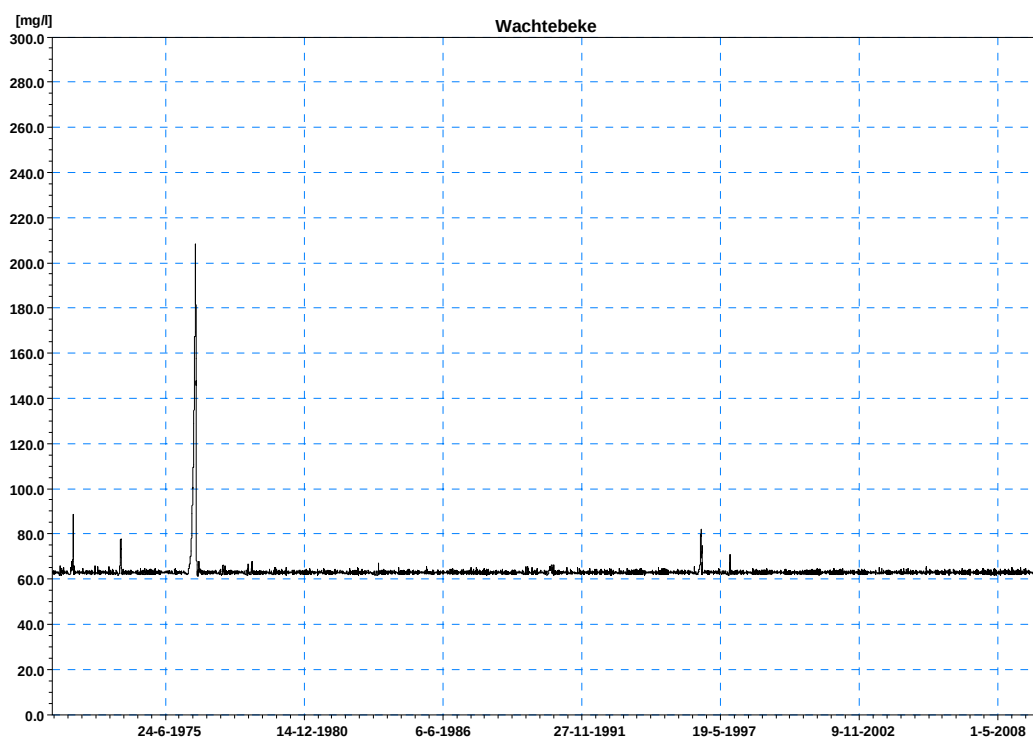
Figuur 83 – Bestaande toestand - chloride concentratie Sas-van-Gent



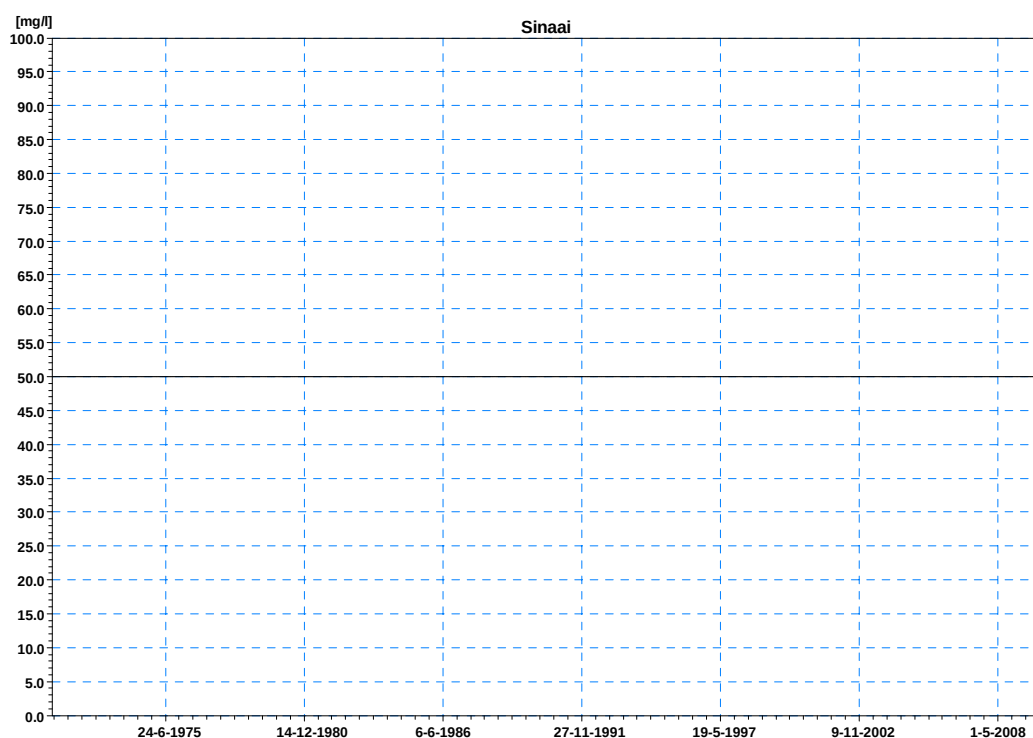
Figuur 84 – Bestaande toestand - chloride concentratie monding Moervaart



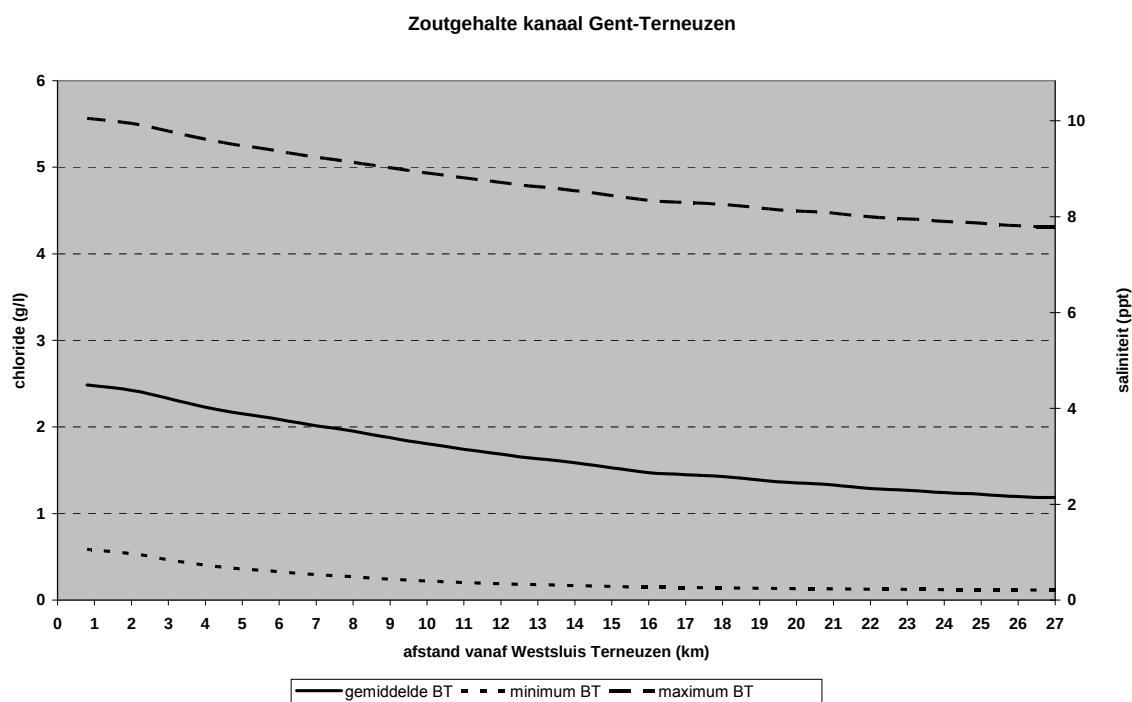
Figuur 85 – Bestaande toestand - chloride concentratie Gent



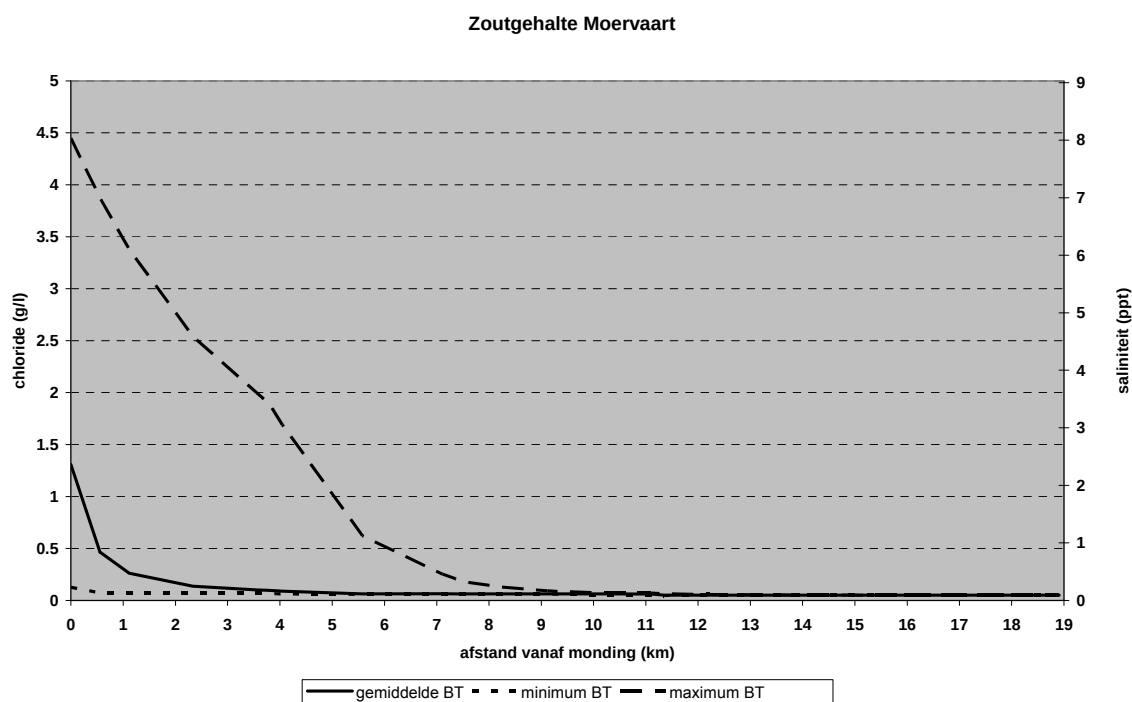
Figuur 86 – Bestaande toestand - chloride concentratie Wachtebeke



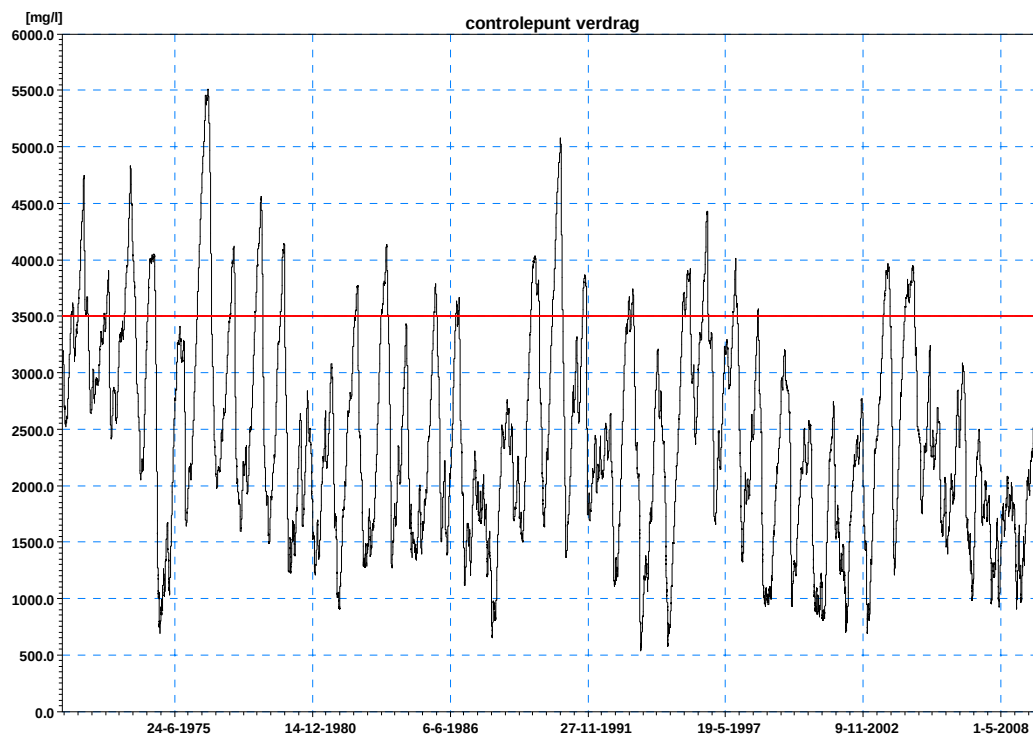
Figuur 87 – Bestaande toestand - chloride concentratie Sinaai



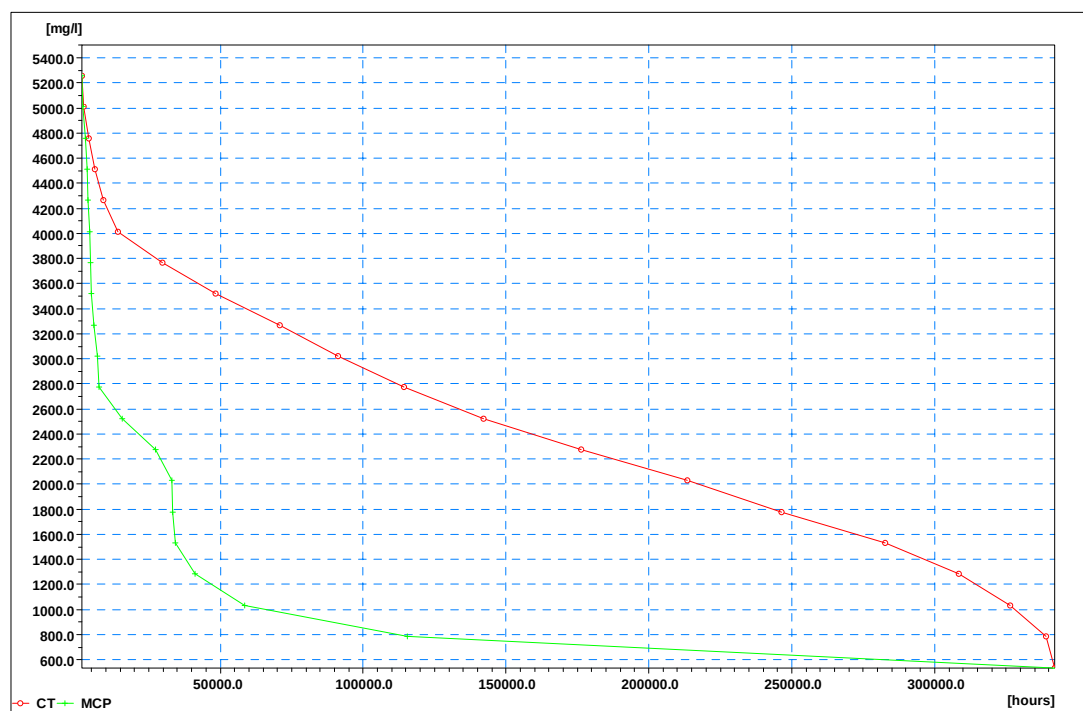
Figuur 88 – Bestaande toestand - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen



Figuur 89 – Bestaande toestand - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart



Figuur 90 – Bestaande toestand - chloride concentratie controlepunt verdrag



Figuur 91 – Bestaande toestand – duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag

9 Scenario-analyse

9.1 Scenario 1 – gehalveerde bovendebieten

Om de impact van het bovendebiet op de zoutintrusie te evalueren, werd een verkennende simulatie uitgevoerd waarbij alle bovendebieten (kanaal Gent-Terneuzen en Moervaart) gehalveerd werden. Dit **fictieve** scenario heeft als doel het effect te analyseren van een ingrijpende verandering in het systeem. Het kan niet rechtstreeks geïnterpreteerd worden als het effect van klimaatsverandering of het effect van een infrastructuraanpassing zoals een nieuwe Zeesluis. Voor deze berekening werd opnieuw de periode 1970 – 2009 gesimuleerd.

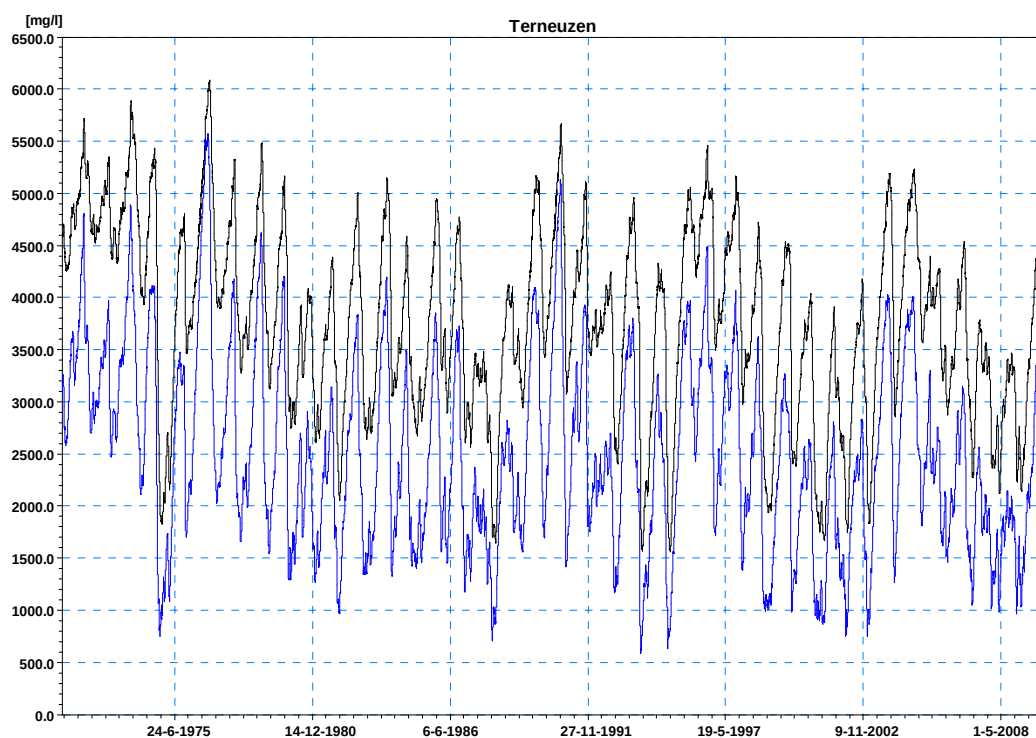
Het fictieve scenario werd geanalyseerd door middel van dezelfde figuurtypes als de bestaande toestand. De tijdreeksen worden getoond in Figuur 92 t.e.m. Figuur 97 (zwart = scenario, blauw = bestaande toestand) en de lengteprofielen in Figuur 98 en Figuur 99. De tijdreeksen en duurlijnen voor het controlepunt van het verdrag van 1960 worden getoond in Figuur 100 en Figuur 101. De resultaten worden samengevat in Tabel 21.

Tabel 21 – Zoutgehalte scenario 1

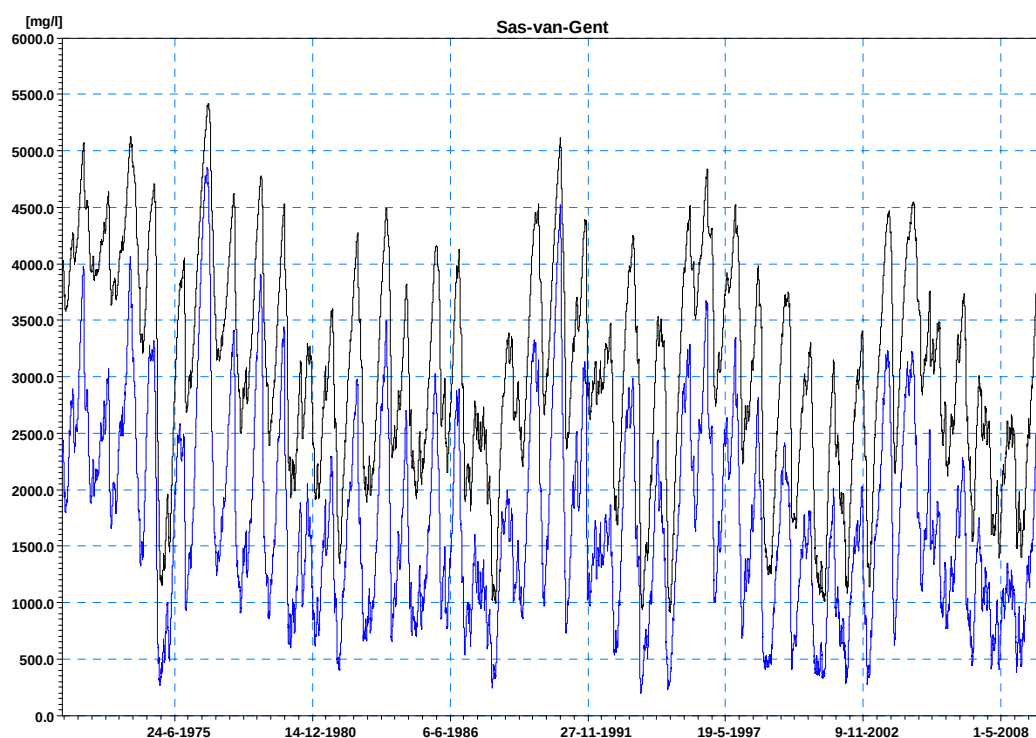
ID	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
Terneuzen	1.56	6.08	3.78	2.82	10.99	6.82
Sas-van-Gent	0.92	5.42	3.06	1.66	9.79	5.53
Monding Moervaart	0.61	5.13	2.61	1.11	9.26	4.71
Gent	0.53	5.04	2.46	0.95	9.11	4.44
Wachtebeke	0.06	0.63	0.07	0.11	1.13	0.12
Sinaai	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.09
Controlepunt verdrag	1.51	6.03	3.72	2.73	10.90	6.73

De halvering van de bovendebieten leidt tot een nieuw evenwicht waarbij zowel de gemiddelde, minimale als maximale zoutconcentraties hoger zijn dan voor de bestaande toestand. Het nieuwe evenwicht wordt op zeer korte termijn (1 jaar) bereikt. Daarna doet zich geen verdere toename van de zoutconcentratie meer voor.

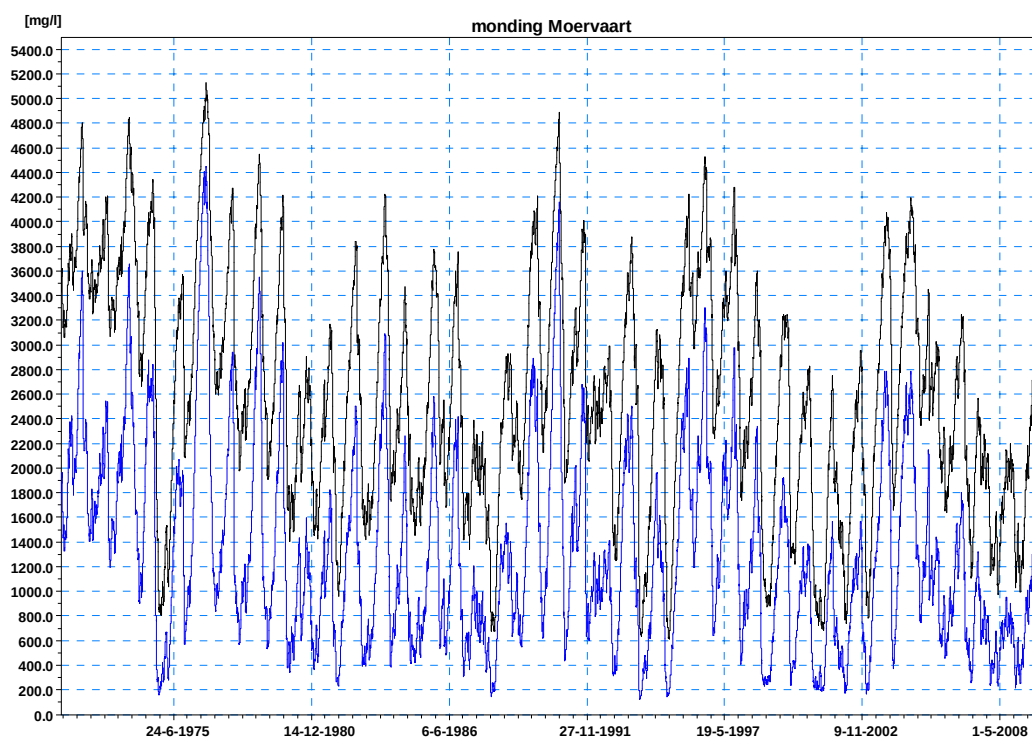
Uit de tijdreeksen in Figuur 100 blijkt dat de grenswaarde uit het verdrag van 1960 nu in 37 van de 39 doorgerekende jaren overschreden zou worden. Uit de duurlijnen in Figuur 101 kan men afleiden dat de totale duur van de overschrijding zou oplopen tot 8578 dagen (60 % van de totale tijdsduur). De langste ononderbroken overschrijding zou kunnen oplopen tot 1391 dagen (bij lage afvoeren vergelijkbaar met die uit het begin van de jaren 70).



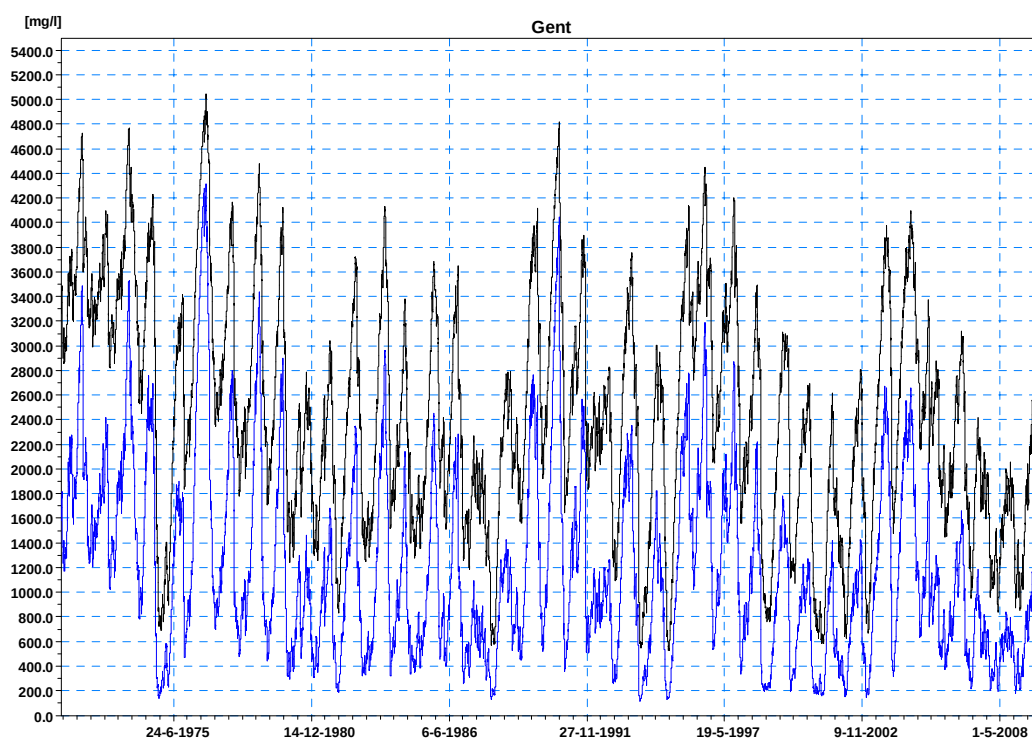
Figuur 92 – Scenario 1 - chloride concentratie Terneuzen



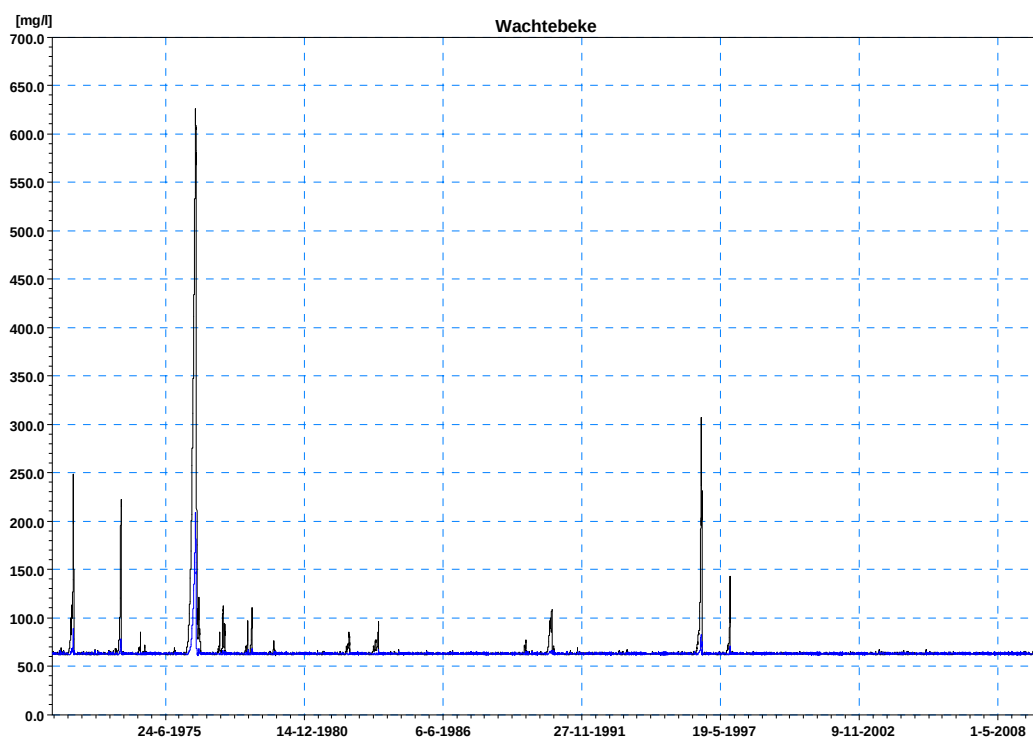
Figuur 93 – Scenario 1 - chloride concentratie Sas-van-Gent



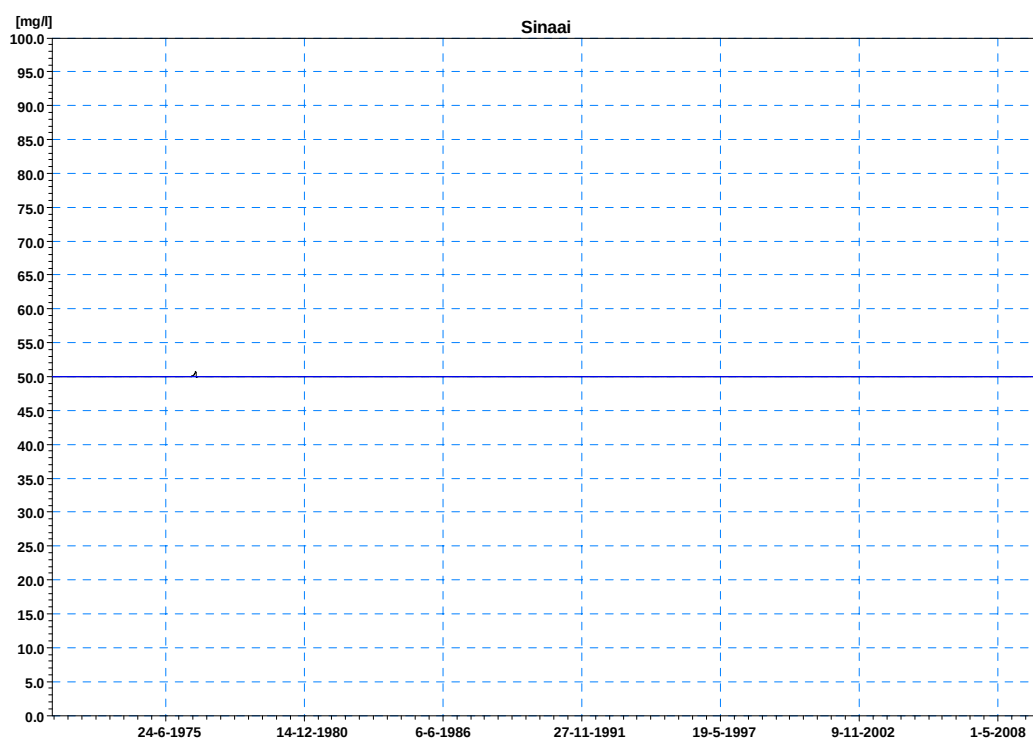
Figuur 94 – Scenario 1 - chloride concentratie monding Moervaart



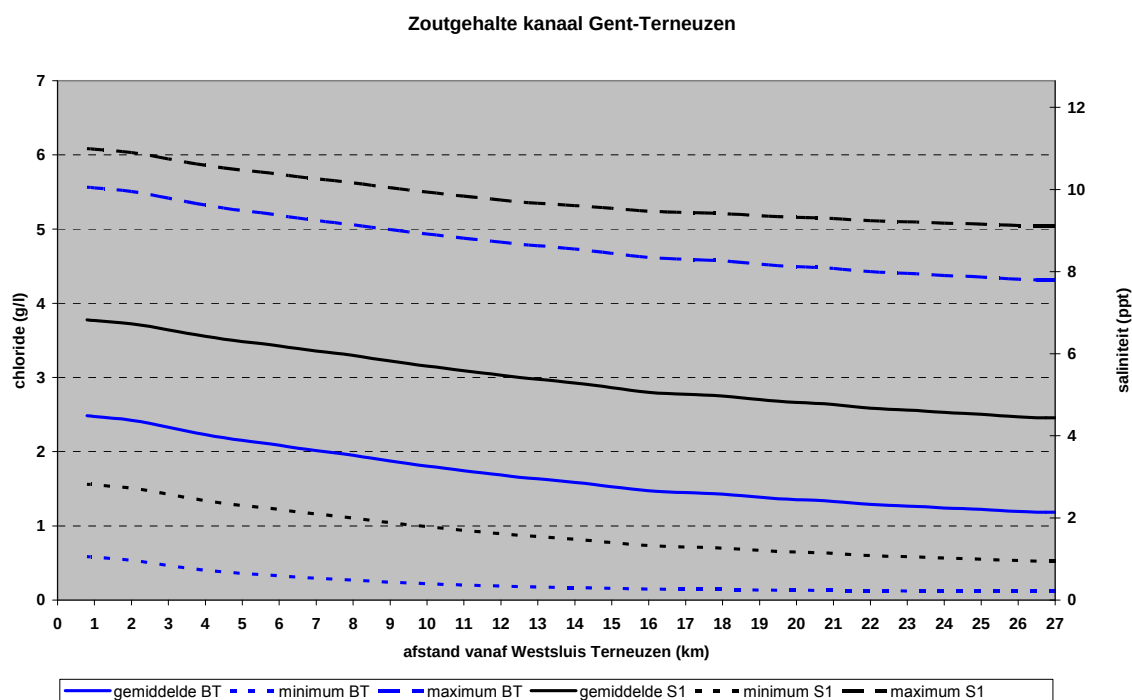
Figuur 95 – Scenario 1 - chloride concentratie Gent



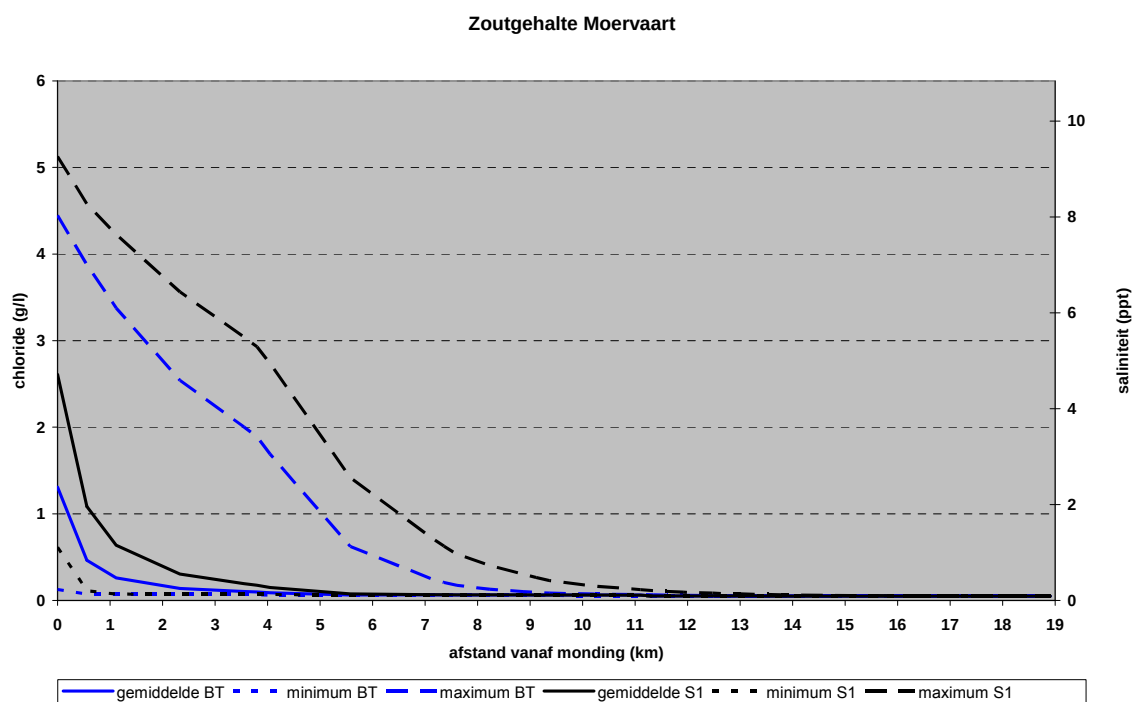
Figuur 96 – Scenario 1 - chloride concentratie Wachtebeke



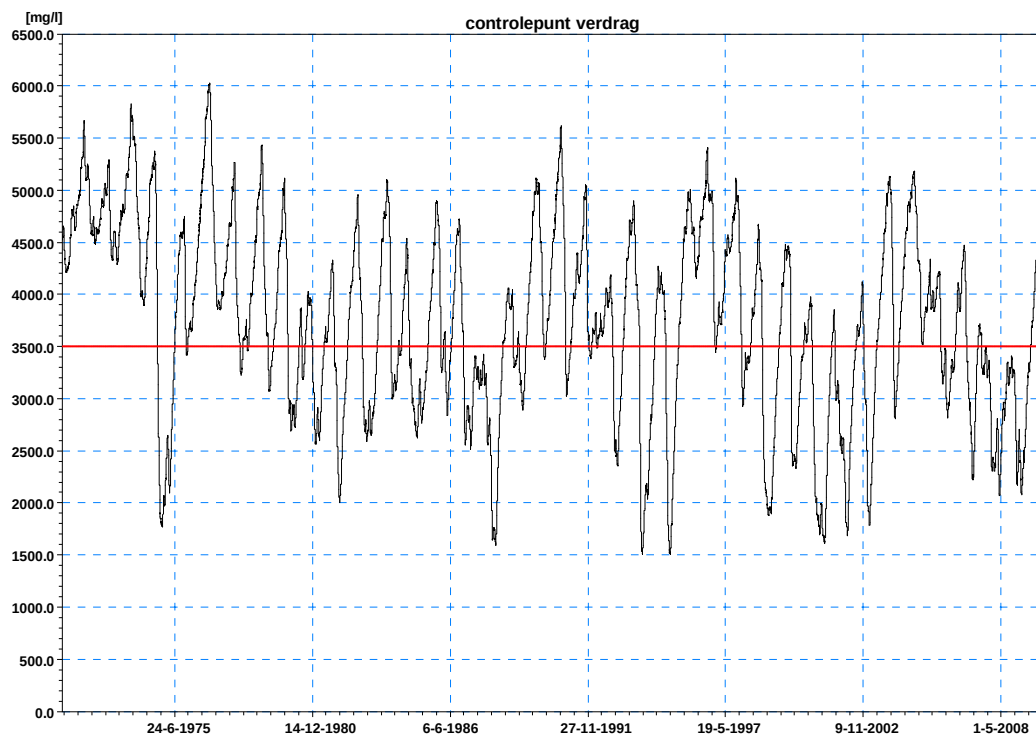
Figuur 97 – Scenario 1 - chloride concentratie Sinaai



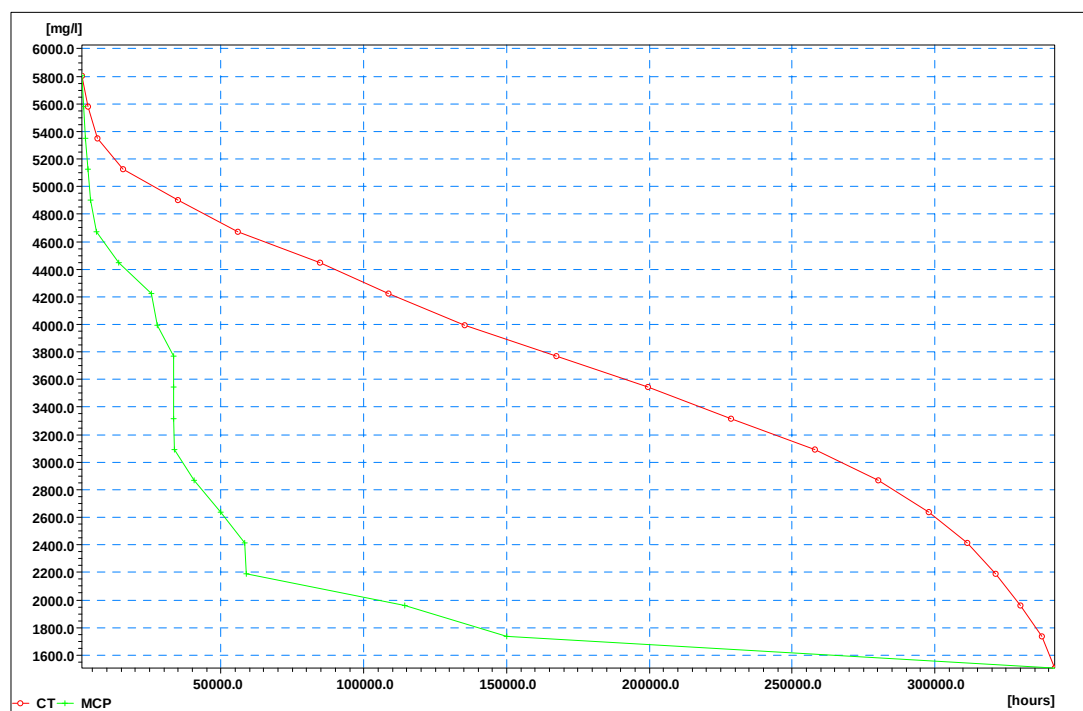
Figuur 98 – Scenario 1 - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen



Figuur 99 – Scenario 1 - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart



Figuur 100 – Scenario 1 - chloride concentratie controlepunt verdrag



Figuur 101 – Scenario 1 - duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag

9.2 Scenario 2 – constant bovendebiet

Het verdrag met Nederland “..betreffende de verbetering van het kanaal van Terneuzen naar Gent en de regeling van de enige daarmede verband houdende aangelegenheden” dateert van juni 1960 en werd 1985 gewijzigd. In die wijziging werd bepaald dat:

De Belgische regering zal ervoor zorg dragen dat de door het Belgische aan het Nederlandse gedeelte van het kanaal gebruikelijke minimaal toegevoegde hoeveelheid zoet water niet wordt onderschreden, tenzij een eventuele overschrijding van deze voeding ondervangen wordt door andere maatregelen die een zelfde effect hebben op de beperking van het zoutbezwaar.

De gebruikelijke minimale hoeveelheid zoet voedingswater bedraagt 13 m³/s, gemeten over een tijdsbestek van twee maanden. De hoeveelheid wordt berekend aan de hand van de bij de Tolhuisstuw of het later vervangend kunstwerk te Gent.....”

In een tweede scenario werd onderzocht wat het gevolg zou zijn indien het bovendebiet op het kanaal Gent-Terneuzen altijd constant gehouden zou worden op 13 m³/s, terwijl het bovendebiet op de Moervaart ongewijzigd blijft. Ook dit scenario werd doorgerekend voor de periode 1970 – 2009.

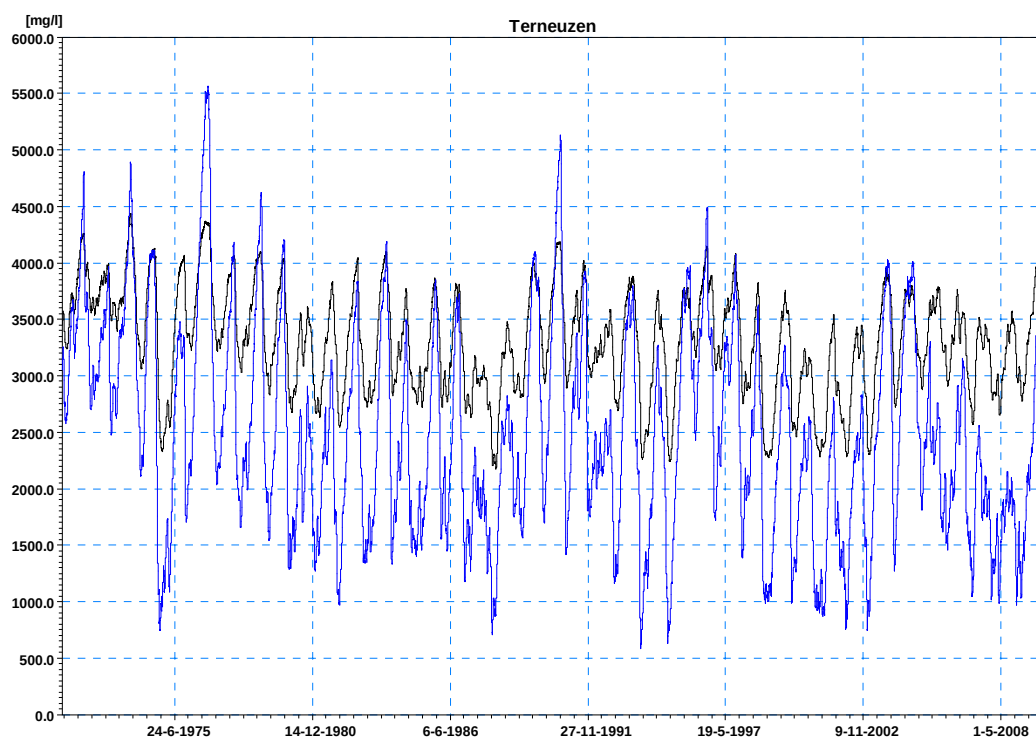
Het tweede scenario werd eveneens geanalyseerd door middel van dezelfde figuurtypes als de bestaande toestand. De tijdreeksen worden getoond in Figuur 102 t.e.m. Figuur 107 (zwart = scenario, blauw = bestaande toestand) en de lengteprofielen in Figuur 108 en Figuur 109. De tijdreeksen en duurlijnen voor het controlepunt van het verdrag van 1960 worden getoond in Figuur 110 en Figuur 111. De resultaten worden samengevat in Tabel 22.

Tabel 22 – Zoutgehalte scenario 2

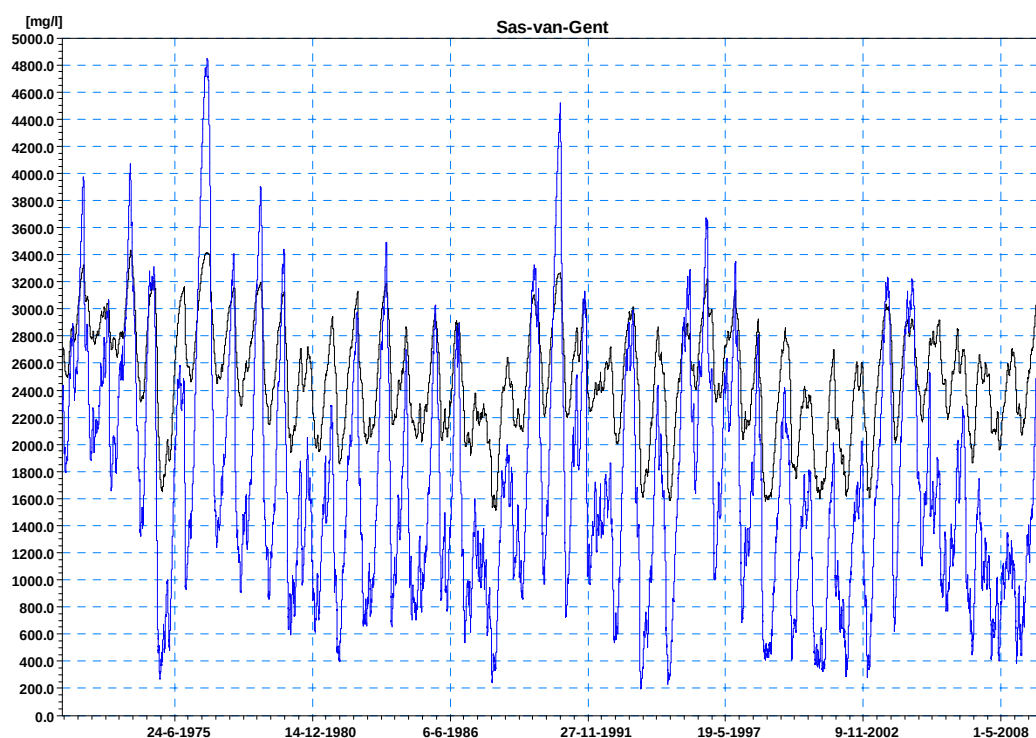
ID	Cl ⁻ min (g/l)	Cl ⁻ max (g/l)	Cl ⁻ gem (g/l)	S min (ppt)	S max (ppt)	S gem (ppt)
Terneuzen	2.18	4.44	3.30	3.93	8.01	5.96
Sas-van-Gent	1.52	3.43	2.49	2.74	6.21	4.50
Monding Moervaart	1.14	2.82	2.00	2.05	5.09	3.62
Gent	1.05	2.60	1.85	1.90	4.69	3.34
Wachtebeke	0.06	0.18	0.06	0.11	0.32	0.11
Sinaai	0.05	0.05	0.05	0.09	0.09	0.09
Controlepunt verdrag	2.13	4.36	3.24	3.84	7.88	5.86

Het constante bovendebiet leidt eveneens op zeer korte termijn tot een nieuw evenwicht. In de nieuwe situatie ligt de gemiddelde zoutconcentratie hoger dan voor de bestaande toestand, maar de extrema zijn minder uitgesproken. Door het wegvallen van de hoge debieten in de winter liggen de minima hoger, maar door het wegvallen van de tekorten in droge zomers liggen de maxima ook lager.

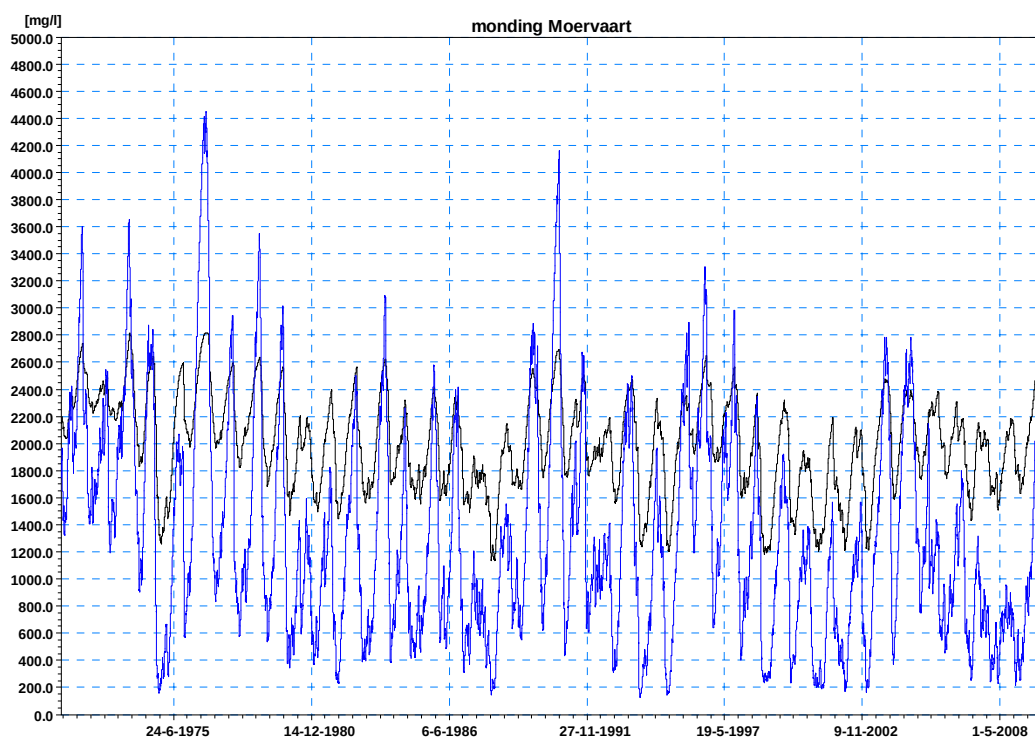
Uit de tijdreeksen in Figuur 110 blijkt dat de grenswaarde uit het verdrag van 1960 nu in 32 van de 39 doorgerekende jaren overschreden zou worden. Uit de duurlijnen in Figuur 111 kan men afleiden dat de totale duur van de overschrijding zou oplopen tot 4537 dagen (32 % van de totale tijdsduur). De langste ononderbroken overschrijding zou lichtjes kunnen oplopen tot 242 dagen.



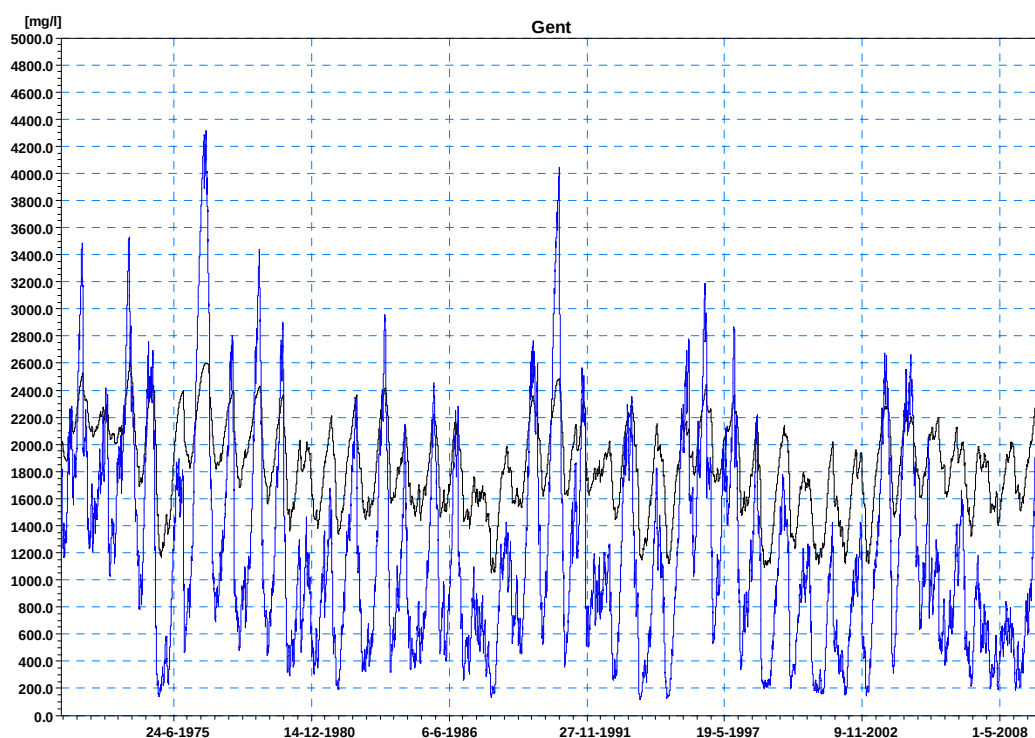
Figuur 102 – Scenario 2 - chloride concentratie Terneuzen



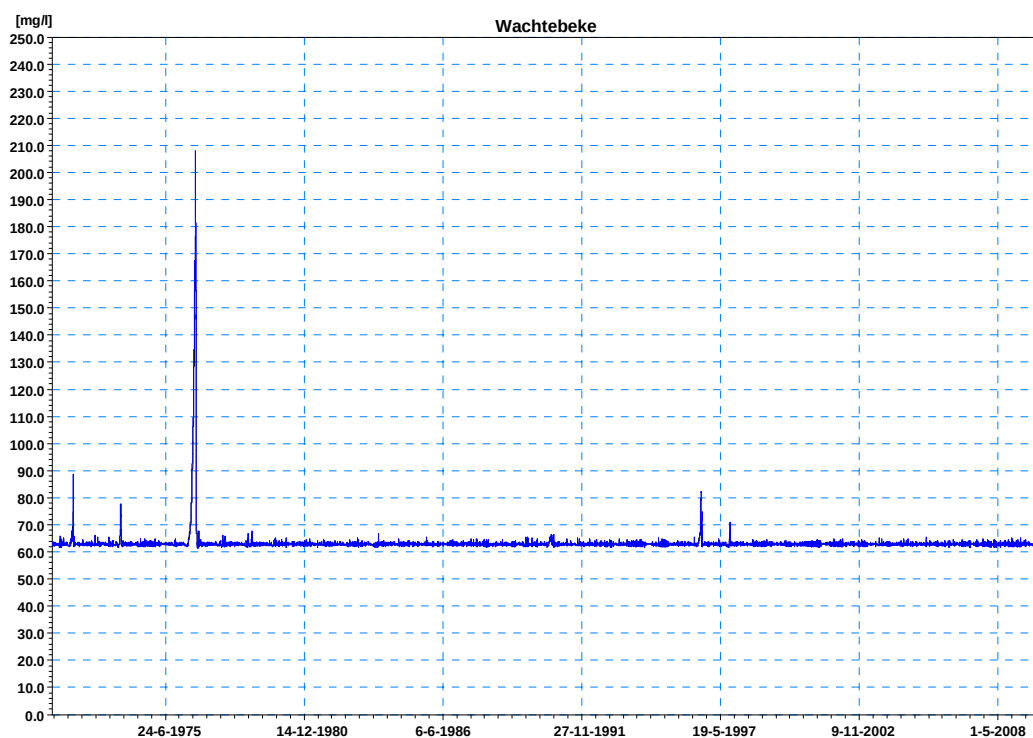
Figuur 103 – Scenario 2 - chloride concentratie Sas-van-Gent



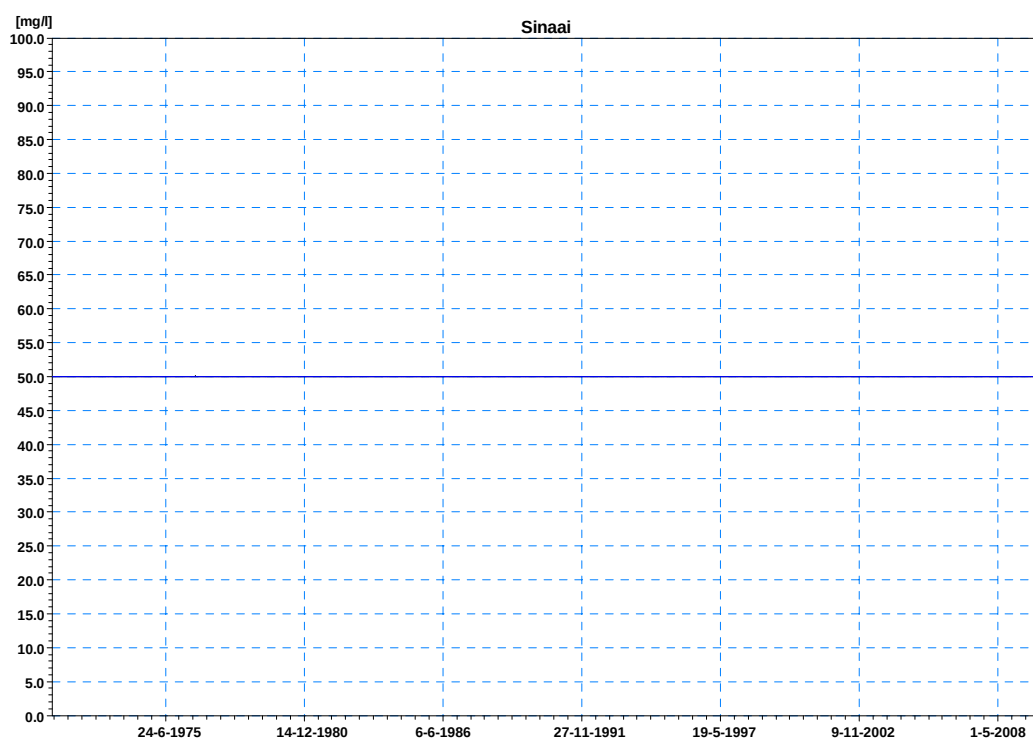
Figuur 104 – Scenario 2 - chloride concentratie monding Moervaart



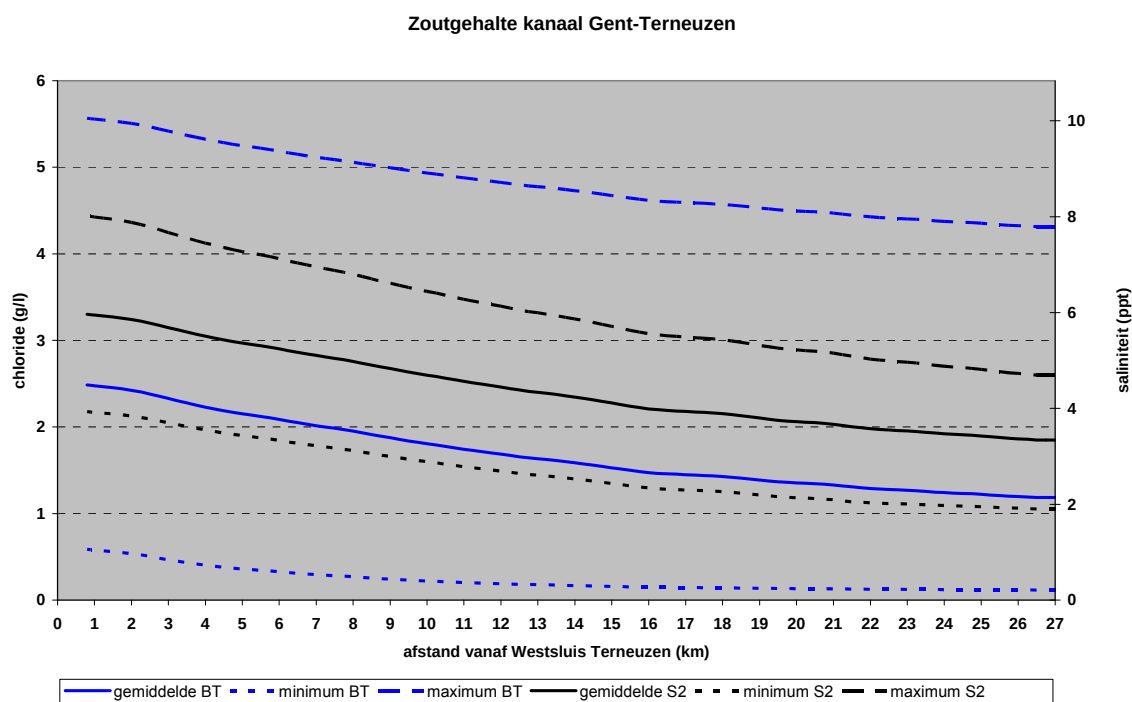
Figuur 105 – Scenario 2 - chloride concentratie Gent



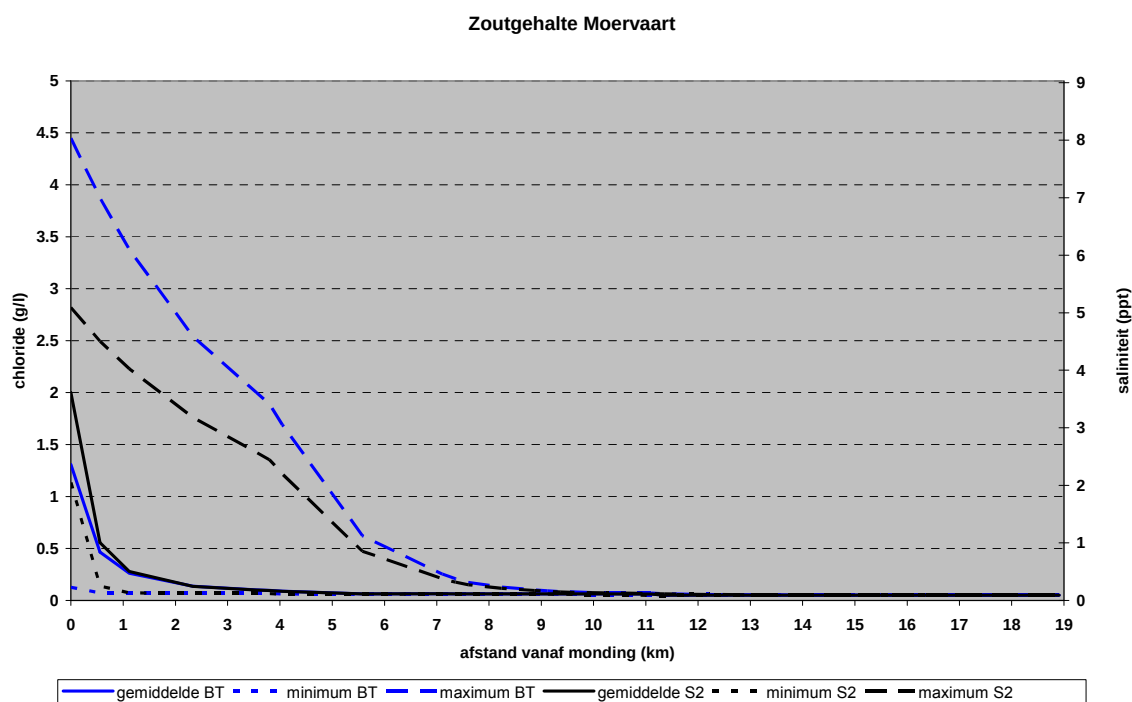
Figuur 106 – Scenario 2 - chloride concentratie Wachtebeke



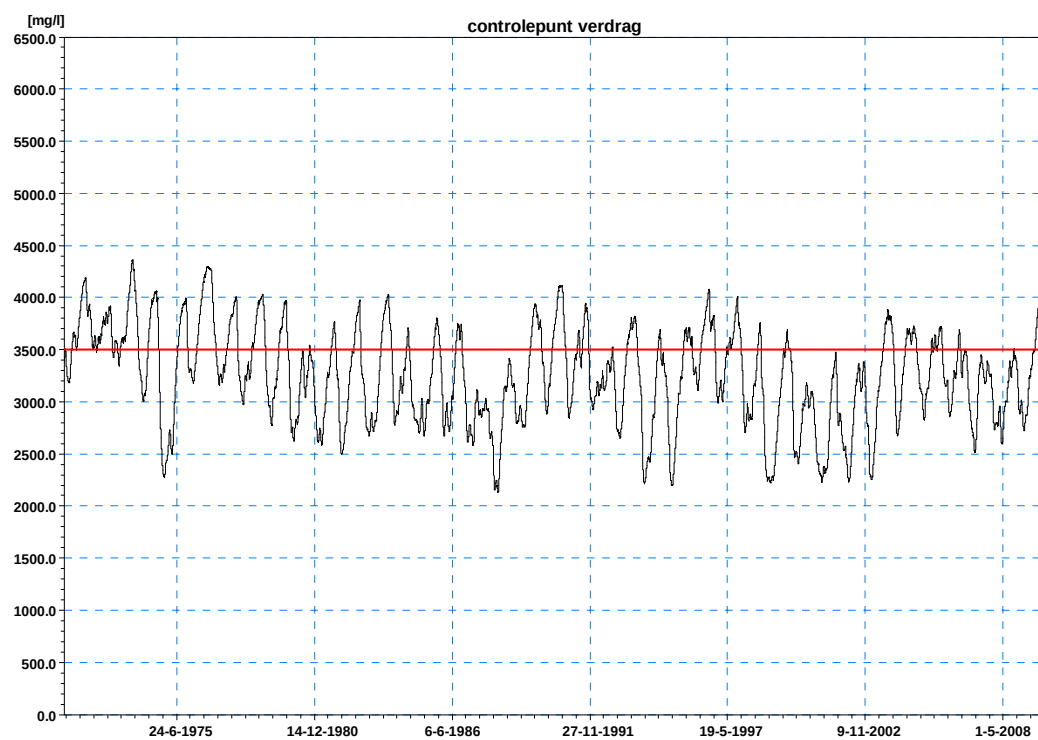
Figuur 107 – Scenario 2 - chloride concentratie Sinaai



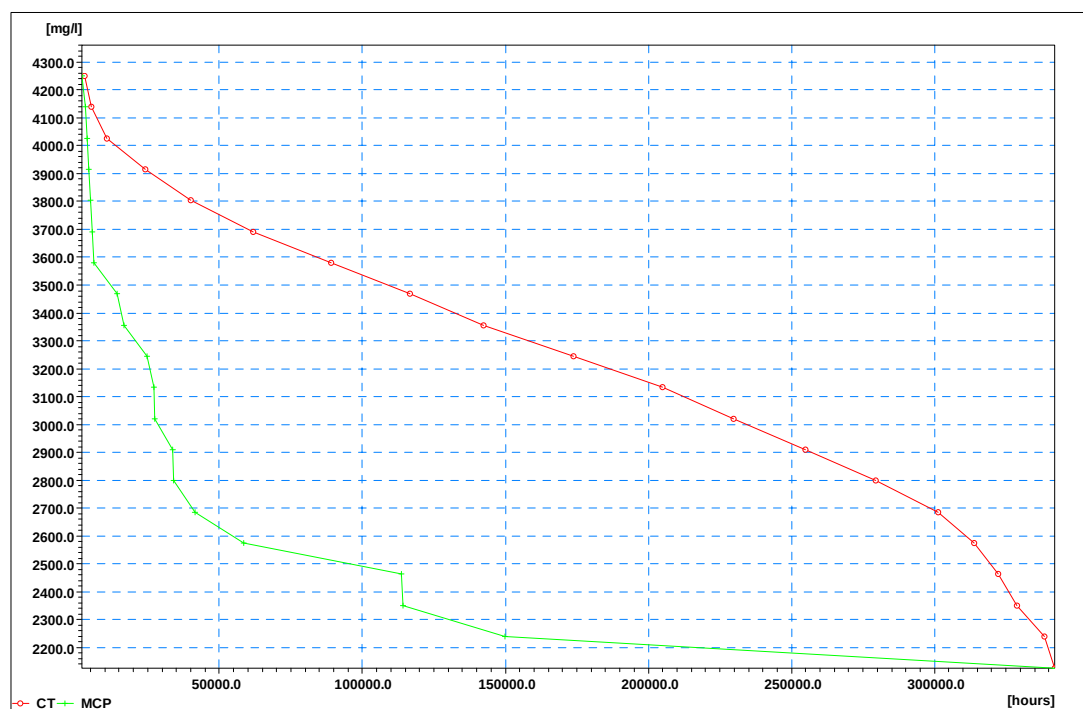
Figuur 108 – Scenario 2 - lengteprofiel chloride concentratie kanaal Gent-Terneuzen



Figuur 109 – Scenario 2 - lengteprofiel chloride concentratie Moervaart



Figuur 110 – Scenario 2 - chloride concentratie controlepunt verdrag



Figuur 111 – Scenario 2 - duurlijnen chloride concentratie controlepunt verdrag

10 Conclusies en aanbevelingen

De voorliggende studie toont aan dat het mogelijk is om de variatie van de dieptegemiddelde zoutconcentratie in het kanaal Gent-Terneuzen te bestuderen door middel van een eenvoudig ééndimensionaal advection-dispersiemodel. Voor dit doel is er een model van het kanaal Gent-Terneuzen opgebouwd, gekalibreerd en gevalideerd.

De huidige toestand van het kanaal werd geëvalueerd aan de hand van een langdurige (40 jaar) simulatie met historische randvoorwaarden. Deze randvoorwaarden blijken geen aanleiding te geven tot een geleidelijke verzilting van het kanaal. Gedurende de zomerperiode verhoogt de zoutconcentratie in het kanaal, maar gedurende de daaropvolgende winter wordt dit zout weer volledig weggespoeld. De piekconcentraties tijdens de zomer zijn afhankelijk van de hydrologische omstandigheden. Voor de huidige situatie is het gemiddelde chloride gehalte in het controlepunt 2.42 g/l chloride. Gedurende droge jaren is de zoutopbouw duidelijk hoger dan gedurende natte jaren.

Om de gevoeligheid van het systeem te evalueren werd een significante vermindering (tot 50 %) van het bovendebiet in het kanaal Gent-Terneuzen geanalyseerd. Deze vermindering is louter fictief en niet rechtstreeks te associëren met klimaatverandering of andere oorzaken. Deze fictieve vermindering leidt op zeer korte termijn tot een nieuw evenwicht waarbij zowel het gemiddelde, minimale als maximale zoutconcentraties hoger zijn dan voor de bestaande toestand. Van een geleidelijke verzilting van het kanaal is er geen sprake.

Een tweede scenario waarbij het bovendebiet in het kanaal Gent-Terneuzen constant gehouden wordt op 13 m³/s en het bovendebiet in de Moervaart ongewijzigd blijft, leidt eveneens op zeer korte termijn tot een nieuw evenwicht. In de nieuwe situatie ligt de gemiddelde zoutconcentratie hoger dan voor de bestaande toestand, maar de extremen zijn minder uitgesproken.

11 Referentielijst

Anonymus (1960). Verdrag tussen het koninkrijk België en het koninkrijk de Nederlanden betreffende de verbetering van het kanaal van Terneuzen naar Gent en de regeling van enige daarmede verband houdende aangelegenheden.

Anonymus (1985). Overeenkomst tussen het koninkrijk België en het koninkrijk der Nederlanden tot wijziging van het op 20 juni 1960 te Brussel gesloten verdrag betreffende de verbetering van het kanaal van Terneuzen naar Gent en de regeling van enige daarmede verband houdende aangelegenheden en tot regeling van de terbeschikkingstelling van zoetwater door België aan Nederland naar aanleiding van deze wijziging.

De Boeck K.; Pereira F.; Van Eerdenbrugh K.; Mostaert F. (2012). Modelleren van waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën: Deelrapport 3 - Analyse van het huidige wateraanbod. Versie 3_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

De Boeck, K.; Michielsen, S.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2012). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 4 - Modelleren van de huidige toestand op regionaal niveau. Versie 3_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

IAL-IUBS (1959). Venice system. The final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. Archo Oceanogr. Limnol., 11 (suppl): 243–248.

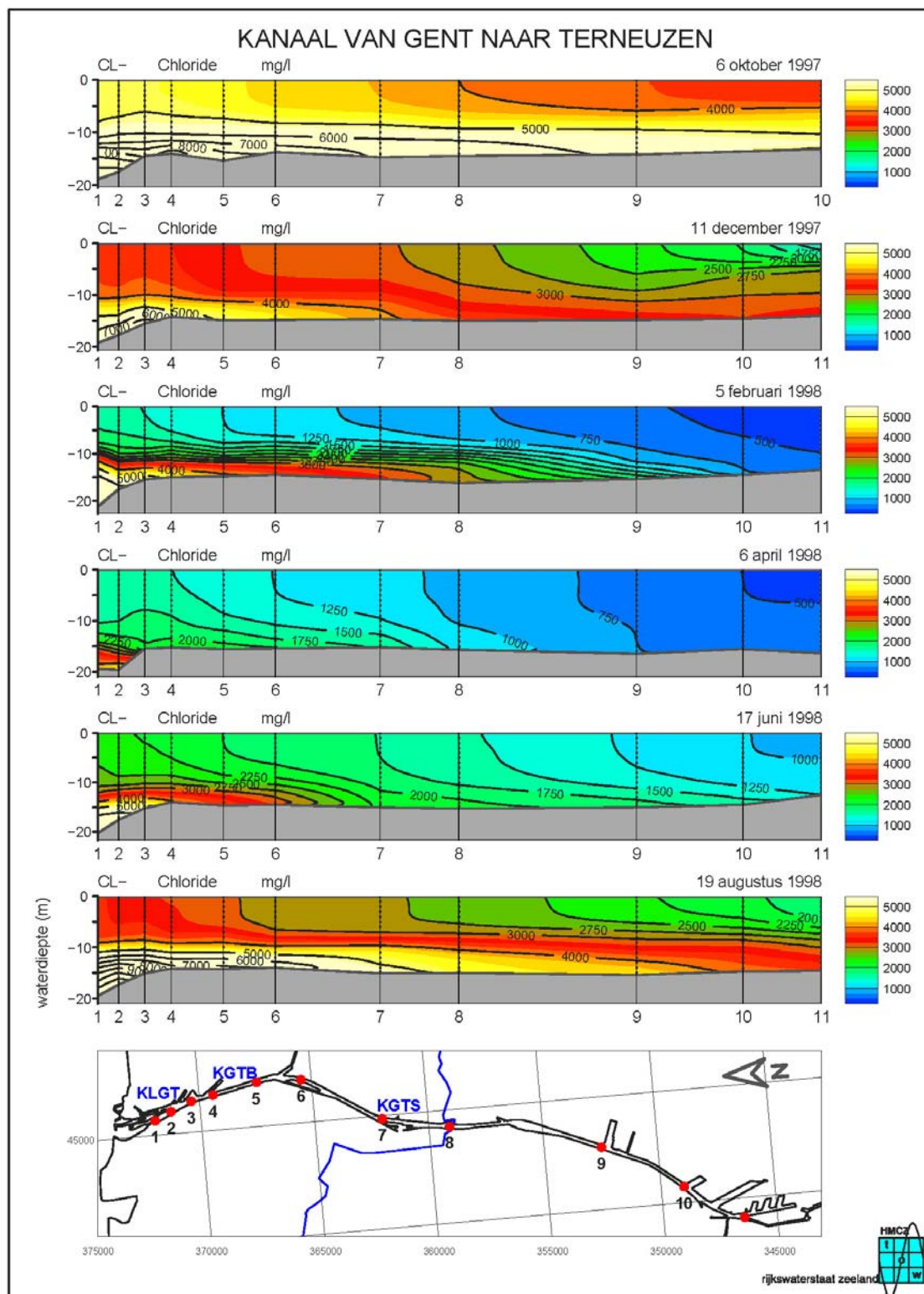
Michielsen, S.; Pereira, F.; Van Eerdenbrugh, K.; Mostaert, F. (2012). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 1 - Inventarisatie. Versie 3_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

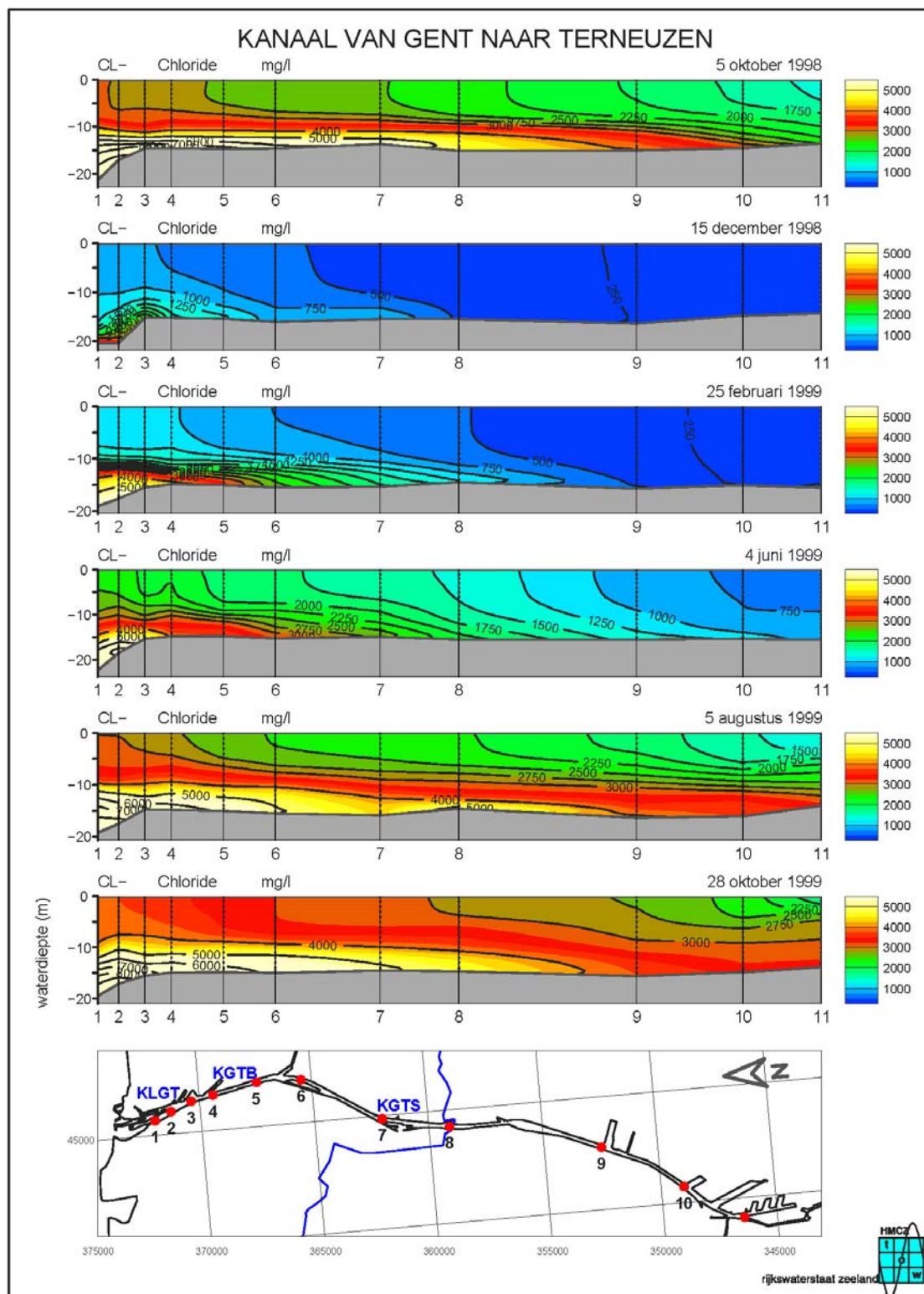
Michielsen S.; Pereira F.; Van Eerdenbrugh K.; Mostaert F. (2012). Opmaak van modellen voor onderzoek naar waterbeschikbaarheid en -allocatiestrategieën in het Scheldestroomgebied: Deelrapport 2 - Analyse van het huidige watergebruik. Versie 3_0. WL Rapporten, 724_04. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen, België

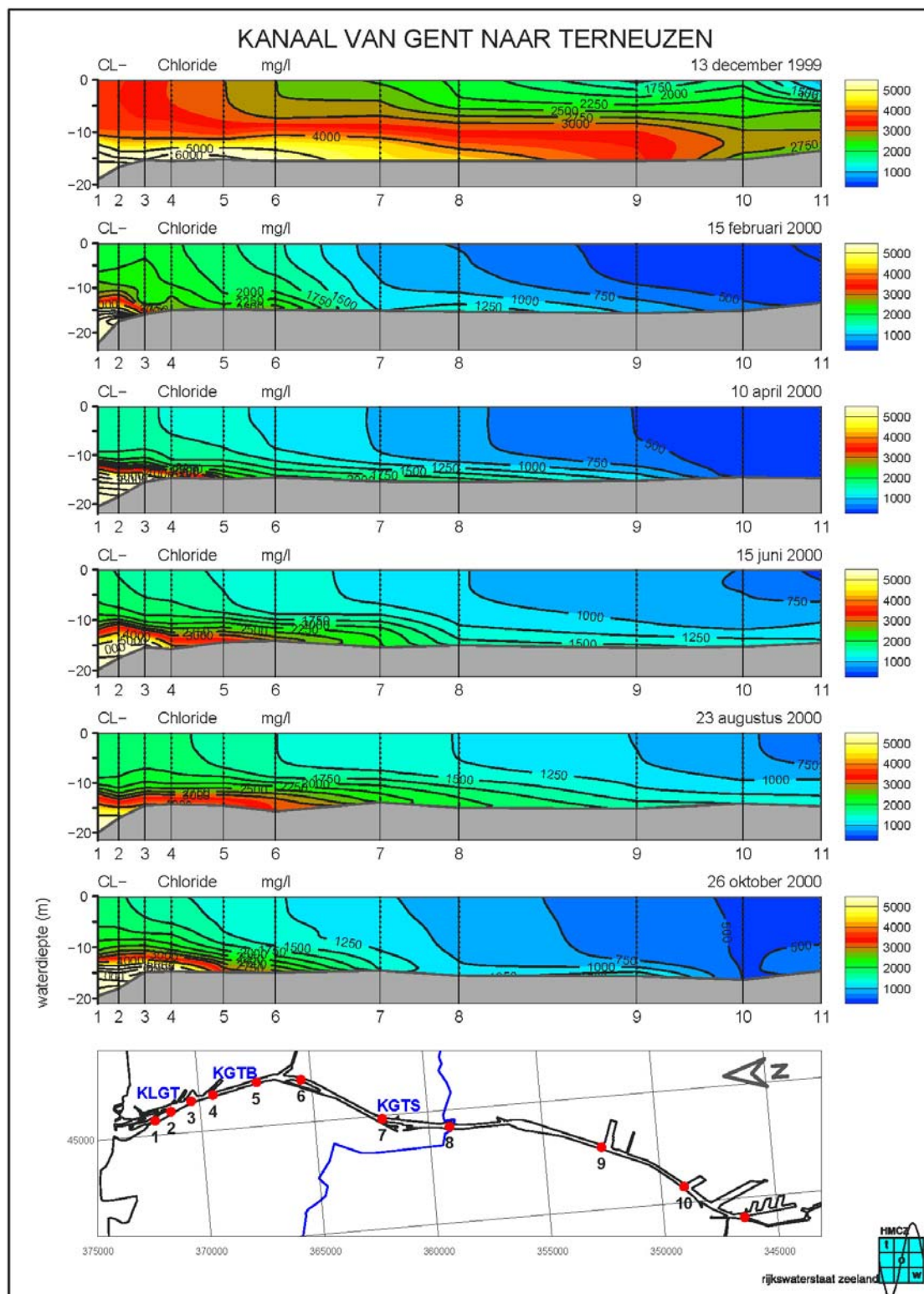
Royal Haskoning & Svasek (2010). Verkenning maritieme toegankelijkheid Kanaal Gent-Terneuzen – aanvullend oppervlaktewateronderzoek.

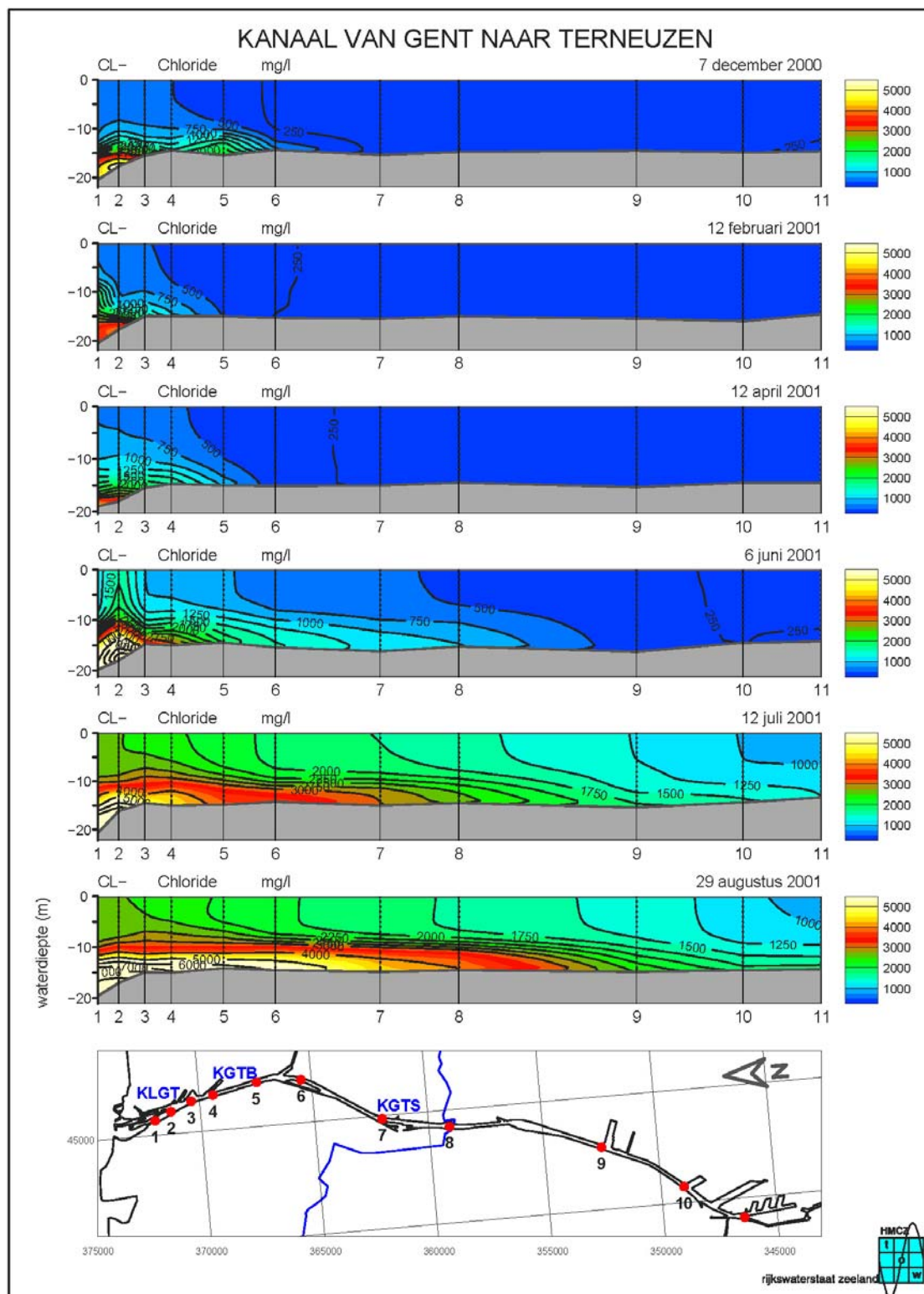
UNESCO (1996). Joint panel on Oceanographic tables and standards.

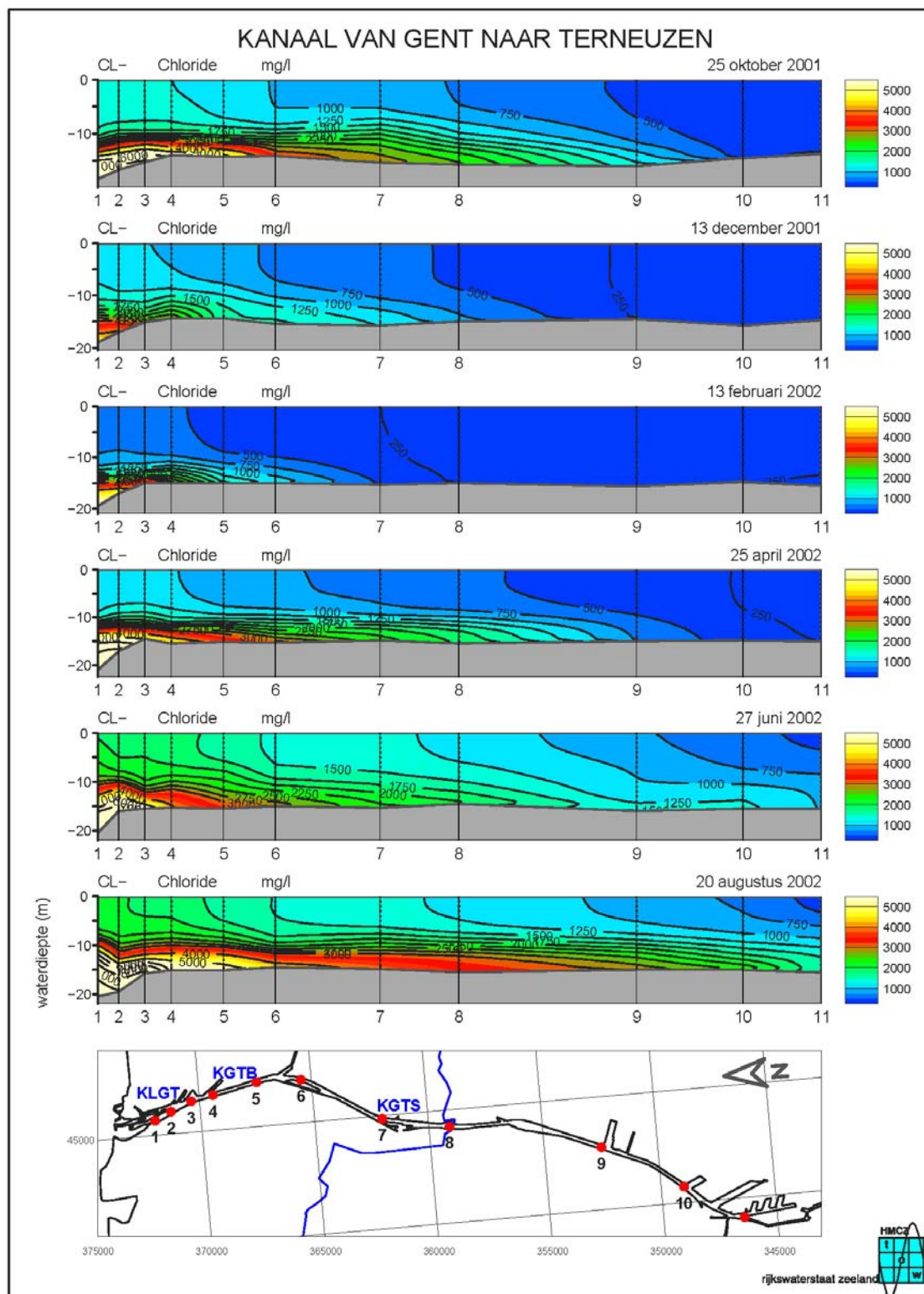
Bijlage 1: Metingen HMCZ

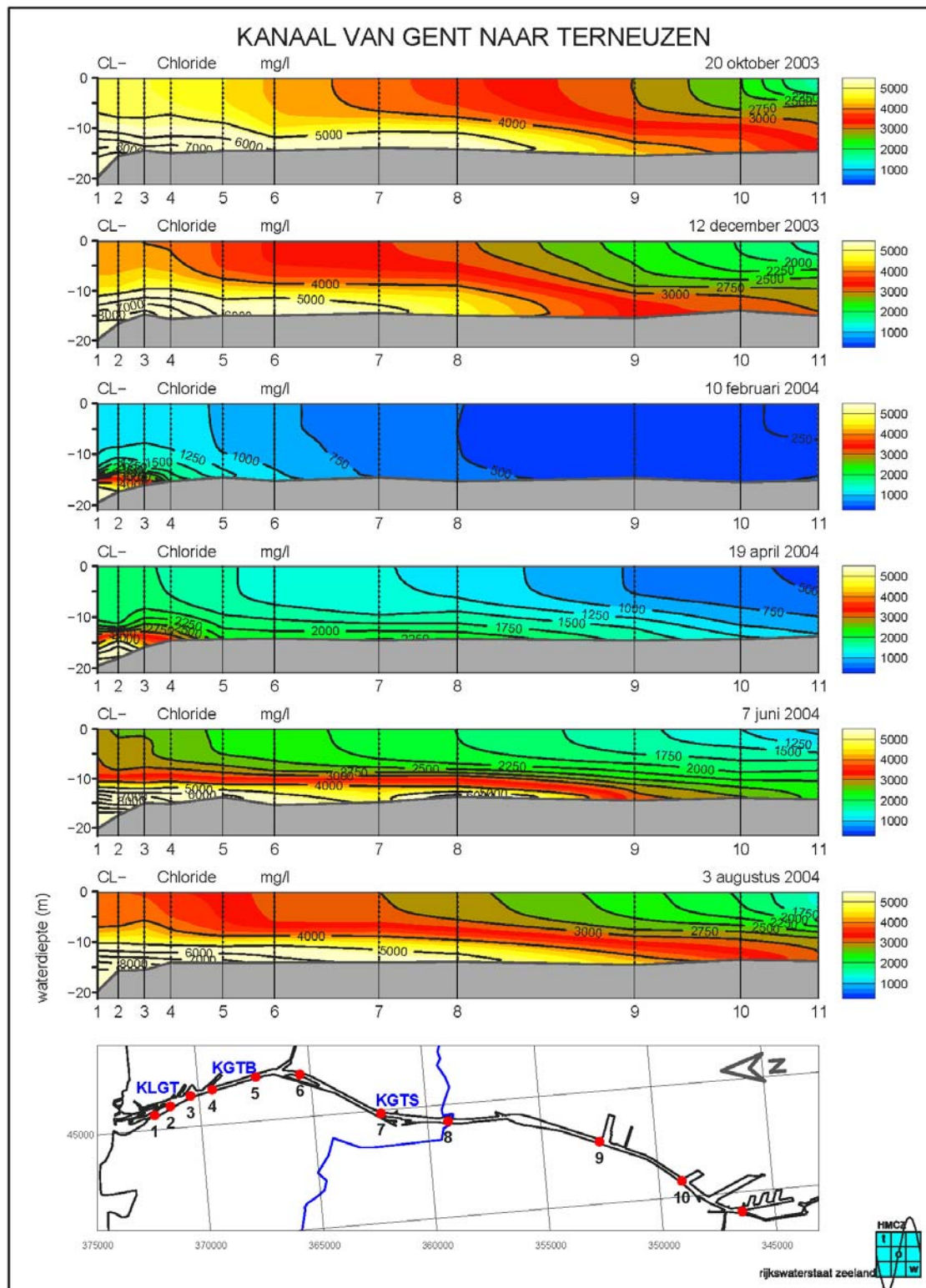


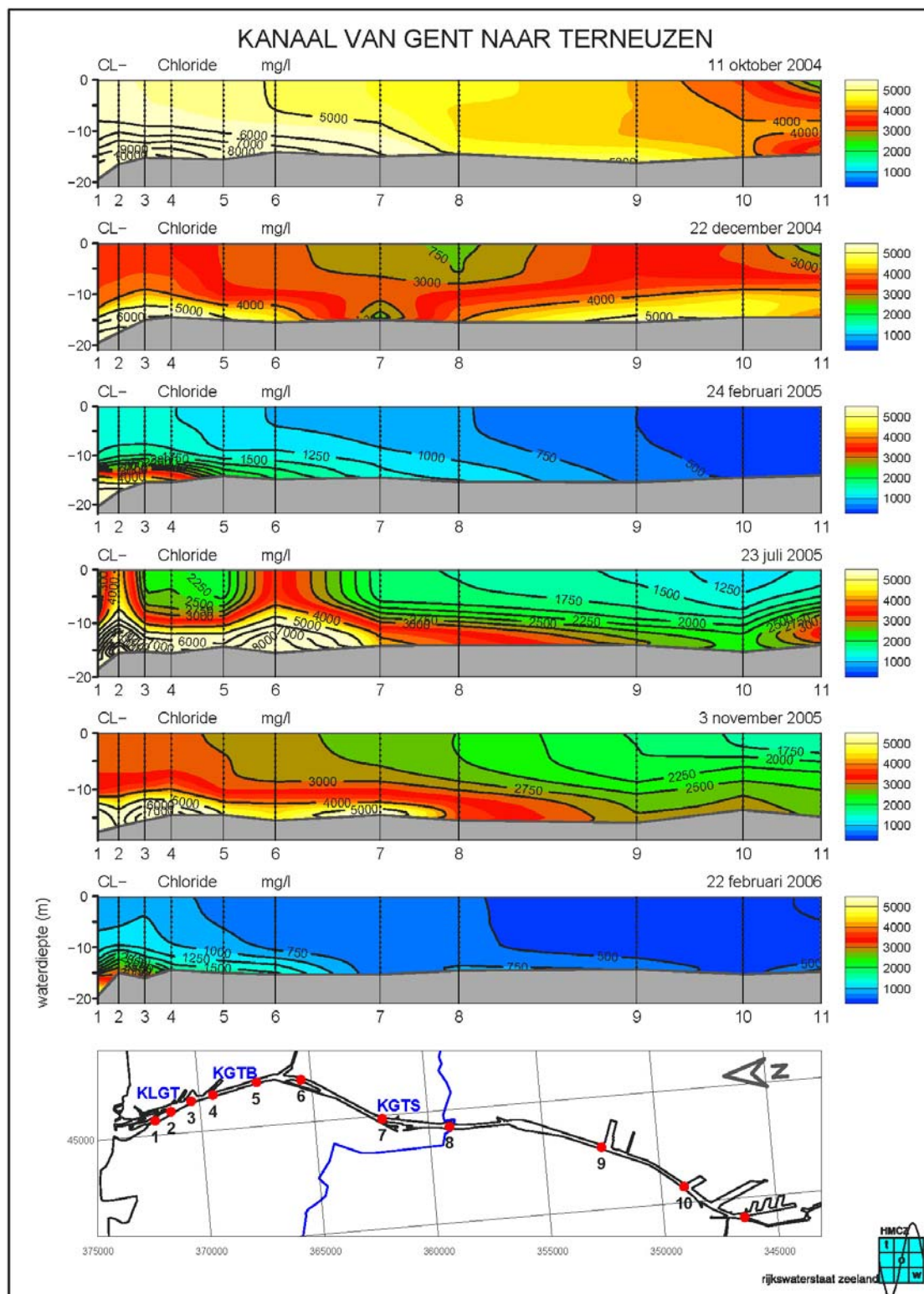


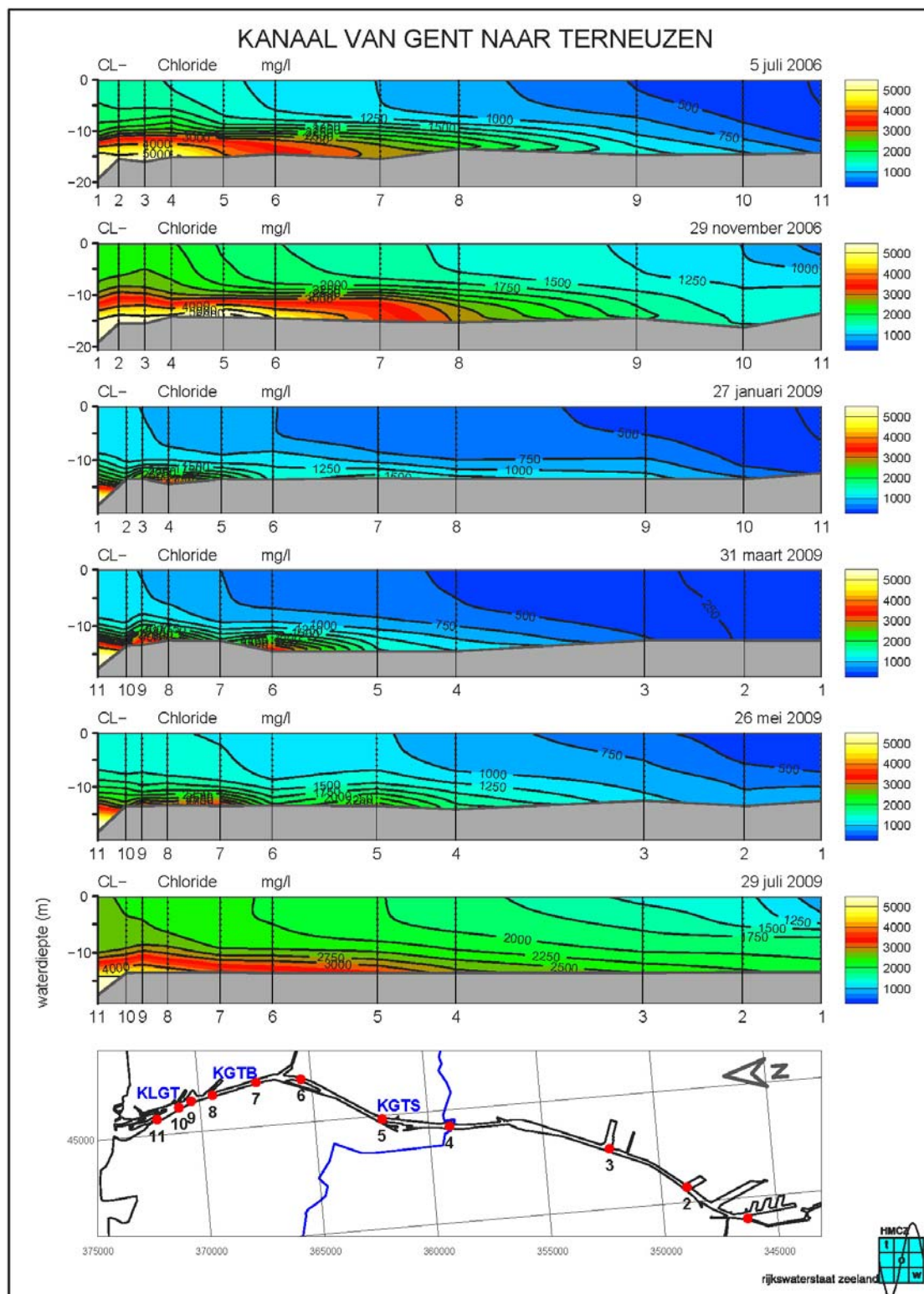


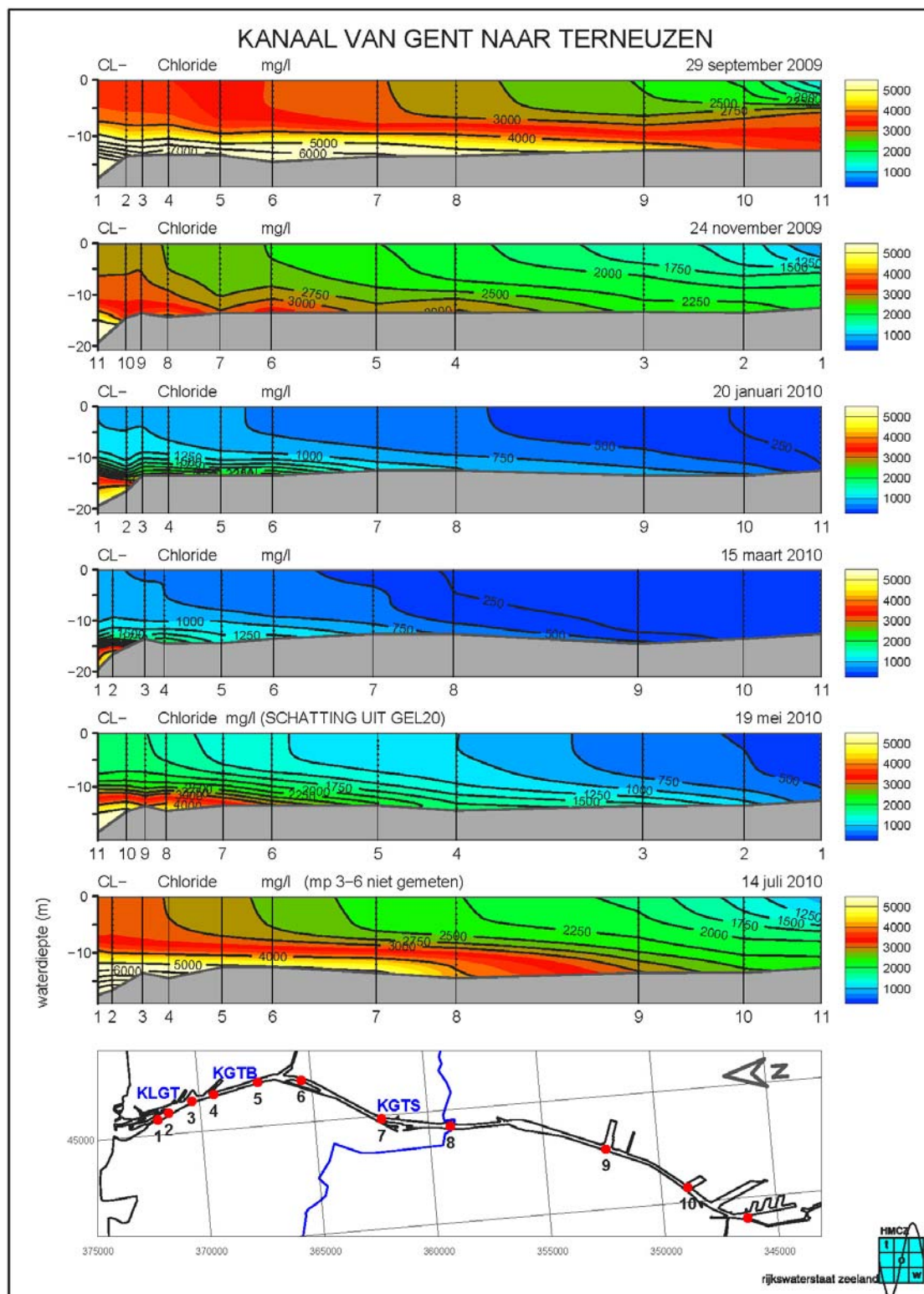


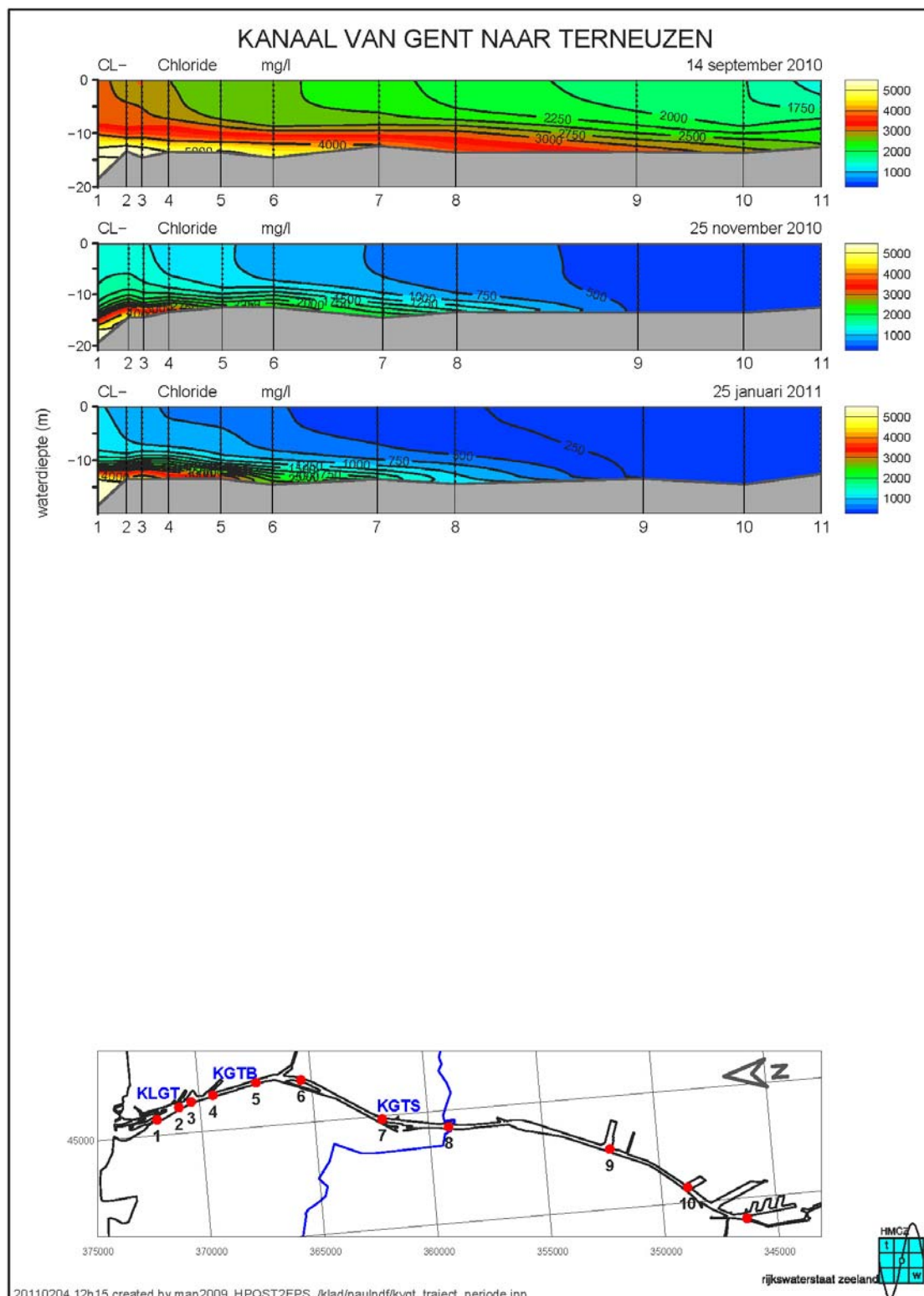














Waterbouwkundig Laboratorium

Flanders Hydraulics Research

Berchemlei 115

B-2140 Antwerpen

Tel. +32 (0)3 224 60 35

Fax +32 (0)3 224 60 36

E-mail: waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.watlab.be