



Vlaanderen
is wetenschap



17_059_1
WL rapporten

Haven van Antwerpen: Kieldrechtsluis

Simulaties reduceren overvulling en overlediging

DEPARTEMENT
MOBILITEIT &
OPENBARE
WERKEN

waterbouwkundiglaboratorium.be

Haven van Antwerpen: Kioldrechtstluis

Simulaties reduceren overvulling en overlediging

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F.

Juridische kennisgeving

Het Waterbouwkundig Laboratorium is van mening dat de informatie en standpunten in dit rapport onderbouwd worden door de op het moment van schrijven beschikbare gegevens en kennis.

De standpunten in deze publicatie zijn deze van het Waterbouwkundig Laboratorium en geven niet noodzakelijk de mening weer van de Vlaamse overheid of één van haar instellingen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium noch iedere persoon of bedrijf optredend namens het Waterbouwkundig Laboratorium is aansprakelijk voor het gebruik dat gemaakt wordt van de informatie uit dit rapport of voor verlies of schade die eruit voortvloeit.

Copyright en wijze van citeren

© Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium 2017

D/2017/3241/282

Deze publicatie dient als volgt geciteerd te worden:

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2017). Haven van Antwerpen: Kieldrechtsluis: Simulaties reduceren overvulling en overlediging. Versie 7.0. WL Rapporten, 17_059_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Tot en met de datum van vrijgave, kan overname uit en verwijzen naar deze publicatie enkel mits uitdrukkelijke en schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of het Waterbouwkundig Laboratorium. Correcte bronvermelding is steeds noodzakelijk.

Documentidentificatie

Opdrachtgever:	Afdeling Maritieme Toegang	Ref.:	WL2017R17_059_1
Keywords (3-5):	Maritime lock, measurements, filling, emptying, overtravel, hawser forces		
Tekst (p.):	34	Bijlagen (p.):	79
Vertrouwelijk:	☒ Ja	Vrijgegeven vanaf:	02/05/2022
		Uitzondering:	☐ Vlaamse overheid

Auteur(s):	Vercruysse, J.
------------	----------------

Controle

	Naam	Handtekening
Revisor(en):	Verelst, K.	
Projectleider:	Vercruysse, J.	

Goedkeuring

Afdelingshoofd:	Mostaert, F.	
-----------------	--------------	--



Abstract

De Kieldrechtsluis werd in juni 2016 door het Havenbedrijf Antwerpen in gebruik genomen. Na de ingebruikname werd opgemerkt dat de roldeuren soms geopend worden bij aanwezigheid van een restverval. Het openen van de deuren met een restverval is mogelijk niet wenselijk voor de aandrijving van de deuren. Het startsignaal openen deuren wordt gegeven op het ogenblik dat het kolkpeil een eerste maal gelijk wordt aan het peil van het Waaslandkanaal of aan het peil van het Deurganckdok. Tussen het startsignaal openen deuren en het ogenblik dat de deuren werkelijk starten met openen is een zekere tijdspanne aanwezig. In deze tijdspanne doet zich door de nog aanwezige snelheid in de omloopriolen in de sluiskolk overvulling/overlediging voor. Hierdoor ontstaat een restverval op het tijdstip dat de deuren werkelijk starten met openen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium heeft in oktober 2016 metingen uitgevoerd in de Kieldrechtsluis. Van de opgemeten nivelleringsmetingen werd één vulling via het bovenhoofd en één lediging via het benedenhoofd gesimuleerd met het hydraulisch netwerkmodel dat opgesteld was in het kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis. Voor de lediging via het benedenhoofd was er een goede overeenkomst tussen de uitgevoerde simulaties en de meting, voor de vulling via het bovenhoofd was de simulatie trager dan de meting. Hierop werd besloten om eerst een kalibratie van het hydraulisch netwerkmodel uit te voeren en vervolgens simulaties uit te voeren waarbij getracht wordt de overvulling/overlediging te reduceren door het sturen van de hefschuiven.

Met het oog op het kalibreren van dit hydraulisch netwerkmodel van de Kieldrechtsluis heeft het WL aan het Havenbedrijf Antwerpen gevraagd om een aantal eenzijdige nivelleringsmetingen, i.e. met enkel de lange of de korte omloopriool in gebruik, uit te voeren. Deze eenzijdige nivelleringsmetingen maken het mogelijk om voor beide omloopriolen per hoofd in het hydraulisch netwerkmodel de verliescoëfficiënten afzonderlijk te kalibreren in de positieve (vullen) en negatieve (ledigen) stroomrichting.

Met dit gekalibreerde model zijn simulaties uitgevoerd voor vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 4.0 m. Uit de simulaties volgt dat bij vullen via het bovenhoofd de piekwaarde van de overvulling 0.16 m bedraagt en dat bij ledigen via het benedenhoofd de piekwaarde van de overlediging 0.10 m bedraagt. Deze piekwaarden van de overvulling en overlediging zijn quasi dezelfde voor de 4 gesimuleerde vervallen.

Om de piekwaarde van de overvulling/overlediging te reduceren werden in een eerste reeks simulaties de hefschuiven in de lange omloopriool gesloten bij een gegeven restverval. Uit de simulaties volgt dat het mogelijk is om bij een toename van de nivelleertijd met 12 s de piekwaarde van de overvulling te reduceren met 50 %. Bij een tweede set simulaties werden de hefschuiven van de lange en korte omloopriool gedeeltelijk gesloten bij een gegeven restverval. Uit de simulaties volgt dat het mogelijk is om bij een toename van de nivelleertijd met 76 s de piekwaarde van de overvulling te reduceren met 80 %.

Hierop volgend werd ook de invloed van een variërend peil in het Deurganckdok en het buiten dienst zijn van één hefschuif in de korte omloopriool op een lediging met het benedenhoofd gesimuleerd. Uit de simulaties volgt dat de piekwaarde van de overlediging toeneemt bij een stijgend peil in het Deurganckdok en afneemt bij een dalend peil in het Deurganckdok.

Inhoudstafel

Abstract	III
Inhoudstafel.....	V
Lijst van de tabellen.....	VI
Lijst van de figuren	VII
1 Inleiding	1
2 Gegevens	3
2.1 Geometrie Kieldrechtsluis	3
2.2 Hydraulisch netwerkmodel	4
2.3 Metingen Havenbedrijf Antwerpen.....	7
3 Kalibratie en validatie hydraulisch netwerkmodel.....	8
3.1 Kalibratie verliescoëfficiënt uitstroomconstructie	8
3.2 Validatie hydraulisch netwerkmodel.....	11
4 Simulaties voor reductie overvullen/overledigen	16
4.1 Sluiten hefschuiven lange omloopriool	16
4.2 Gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool	20
5 Bijkomende simulaties	23
5.1 Sluiten hefschuiven lange omloopriool	23
5.2 Invloed variatie peil Deurganckdok en invloed buiten dienst zijn van één schuif	26
6 Conclusies en aanbevelingen	30
6.1 Conclusies	30
6.2 Aanbevelingen	32
7 Referenties	34
Bijlage A – Kalibratie	B1
Bijlage B – Simulaties.....	B9
Bijlage C – Stijgsnelheid Scheldepeil.....	B74

Lijst van de tabellen

Tabel 1 – Door HA uitgevoerde eenzijdige en tweezijdige nivelleringen.....	7
Tabel 2 – Voor de kalibratie gebruikte metingen.....	8
Tabel 3 – Simulaties uitgevoerd ter kalibratie.....	9
Tabel 4 – Verliescoëfficiënt uitstroomconstructie bovenhoofd en benedenhoofd.....	10
Tabel 5 – Voor de validatie gebruikte metingen	11
Tabel 6 – Verhouding lengte lange omloopriool tot lengte korte omloopriool.....	16
Tabel 7 – Scenario's sluiten hefschuiven lange omloopriool	17
Tabel 8 – Simulaties vullen bovenhoofd met een verval 3.0 m – testcases sluiten hefschuiven lange omloopriool	18
Tabel 9 – Simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd - sluiten hefschuiven lange omloopriool met een snelheid 0.0455 m/s vanaf een restverval 0.50 m	19
Tabel 10 – Scenario's gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool	20
Tabel 11 – Scenario's gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool	20
Tabel 12 – Simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd - gedeeltelijk sluiten hefschuiven korte en lange omloopriool tot 50 % met een snelheid 0.0455 m/s vanaf een restverval 0.50 m	21
Tabel 13 – Scenario's sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s	24
Tabel 14 – Resultaten simulaties vullen bovenhoofd met een verval 3.0 m bij sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s	24
Tabel 15 – Resultaten simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd bij sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s vanaf een restverval 0.40 m en 0.35 m	25
Tabel 16 – Invloed variatie peil Deurganckdok bij ledigen via het benedenhoofd	27
Tabel 17 – Invloed variatie peil Deurganckdok en buiten dienst zijn van een hefschuif	28
Tabel 18 – Extrema stijgsnelheid Scheldepeil in omgeving van 2sWLH.....	B78
Tabel 19 – Stijgsnelheden Schelde weerhouden voor gevoeligheidsanalyses.....	B79

Lijst van de figuren

Figuur 1 – Illustratie nivelleersysteem Kieldrechtsluis	4
Figuur 2 – Hydraulisch netwerkmodel Benedenhoofd Kieldrechtsluis	6
Figuur 3 – Vergelijking hydraulische verliescoëfficiënt simulatie na kalibratie	9
Figuur 4 – Validatie meting nr. 1 – vullen bovenhoofd (simulatie N08)	12
Figuur 5 – Validatie meting nr. 5 – vullen bovenhoofd (simulatie N09)	13
Figuur 6 – Validatie meting nr. 8 – ledigen benedenhoofd (simulatie N10)	14
Figuur 7 – Validatie meting nr. 2 – ledigen benedenhoofd (simulatie N52)	15
Figuur 8 – Simulatie N55 – kolkpeil en peil Deurganckdok bij einde nivellering.....	28
Figuur 9 – Gemiddelde getijkrommen 1991-2000 te Liefkenshoek (Hydrometrie, WL).....	B75
Figuur 10 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van Scheldepeil te Liefkenshoek afgeleid uit gemiddelde getijkrommen 1991-2000.....	B75
Figuur 11 – Getijkromme augustus 2009 te Liefkenshoek (Hydrometrie, WL).....	B76
Figuur 12 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van peil Schelde te Liefkenshoek afgeleid uit getijkromme augustus 2009.....	B76
Figuur 13 – Getijkromme buitengewone stormvloeden van 26 februari tot 1 maart 1990 te Prosperpolder (Hydrometrie, WL).....	B77
Figuur 14 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van Scheldepeil te Prosperpolder afgeleid uit getijkromme buitengewone stormvloeden van 26 februari tot 1 maart 1990.....	B77

1 Inleiding

De Kieldrechtsluis werd in juni 2016 door het Havenbedrijf Antwerpen (HA) in gebruik genomen. Na de ingebruikname werd opgemerkt dat de roldeuren soms geopend worden bij aanwezigheid van een restverval. Het openen van de deuren bij aanwezigheid van een restverval is mogelijk niet wenselijk voor de aandrijving van de deuren. Het startsignaal openen deuren wordt gegeven op het ogenblik dat het kolkpeil een eerste maal gelijk wordt aan het peil van het Waaslandkanaal of aan het peil van het Deurganckdok. Tussen het startsignaal openen deuren en het ogenblik dat de deuren werkelijk starten met openen is een zekere tijdspanne aanwezig. In deze tijdspanne doet zich door de nog aanwezige snelheid in de omloopriolen in de sluiskolk overvulling/overlediging voor. Hierdoor ontstaat een restverval op het tijdstip dat de deuren werkelijk starten met openen.

In kader hiervan heeft het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) op vraag van de afdeling Maritieme Toegang (aMT) op 19/10/2016 en 20/10/2016 een meetcampagne uitgevoerd in de Kieldrechtsluis. Uit deze metingen volgde dat bij het merendeel van de opgemeten nivelleringsen de roldeuren geopend werden tijdens de eerste periode van overvullen respectievelijk overledigen. Een opgemeten vulling via het bovenhoofd en een lediging via het benedenhoofd werden gesimuleerd met het in het kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis opgestelde hydraulisch netwerkmodel. Uit de simulatie volgde voor ledigen een goede overeenkomst met de nivelleerkromme. Voor vullen overschat het hydraulisch netwerkmodel de werkelijke hydraulische ladingsverliezen en loopt de gesimuleerde nivelleerkromme na op de opgemeten nivelleerkromme. Deze studie werd gerapporteerd in Vercruysse *et al.* (2017).

Volgend op deze studie heeft de Afdeling Maritieme Toegang (contactpersoon Wim De Cock) aan het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd om door middel van simulaties na te gaan of de overvulling respectievelijk overlediging gereduceerd kan worden door het sluiten van de hefschuiven in de omloopriolen naar het einde van de nivellering toe.

Omwille van de minder goede overeenkomst van het hydraulisch netwerkmodel met de metingen bij vullen van de kolk wordt eerst een kalibratie uitgevoerd van het hydraulisch netwerkmodel. In het hydraulisch netwerkmodel van de Kieldrechtsluis werden de ladingsverliezen van de verschillende onderdelen bepaald op basis van literatuurwaarden. De verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie van de omloopriolen in de sluiskolk werd hierbij overgenomen van de analoge uitstroomconstructie voor de Berendrechtsluis. Een andere werkwijze om de verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie te begroten is de totale verliescoëfficiënt van de korte en de lange omloopriool afzonderlijk te bepalen aan de hand van op het terrein opgemeten eenzijdige nivelleringsen, i.e. met enkel de lange of enkel de korte omloopriool in gebruik. Rekening houdend met de ladingsverliezen van de overige onderdelen, die bepaald zijn aan de hand van literatuurwaarden, kan hieruit dan de verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie bepaald worden. Hierbij wordt opgemerkt dat in deze verliescoëfficiënt ook de fouten op de verliescoëfficiënten van de overige componenten van de omloopriool verdisconteerd zijn.

Met het oog op deze kalibratie werd aan HA (contactpersoon Matthias Lootens) gevraagd om eenzijdige nivelleringsen in de Kieldrechtsluis uit te voeren. Deze eenzijdige nivelleringsen werden uitgevoerd op 30/03/2017. Gebruik makend van deze eenzijdige nivelleringsen kan het ladingsverlies van de uitstroomconstructie van de lange en korte omloopriool afzonderlijk bepaald worden, zowel voor vullen als voor ledigen. Ook werd aan HA gevraagd om een vulling via het bovenhoofd en een lediging via het benedenhoofd uit te voeren in de Kieldrechtsluis waarbij een langere periode gewacht wordt vooraleer de deuren te openen of de schuiven in de omloopriolen te sluiten. Deze gegevens dienen als validatie van het hydraulisch netwerkmodel met betrekking tot overvullen en overledigen. Met dit bijgewerkt hydraulisch netwerkmodel worden vervolgens simulaties uitgevoerd waarbij getracht wordt om de grootte van de overvulling/overlediging te reduceren door het sluiten van de hefschuiven naar het einde van de nivellering toe.

In een eerste set simulaties wordt het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool beschouwd, in een tweede set simulaties wordt het gedeeltelijk sluiten van de hefschuiven in de korte en de lange omloopriool beschouwd. Deze resultaten werden besproken op een overleg met aMT en HA (dd. 8/09/2017). Tijdens dit overleg werd besloten om de variant waarbij de hefschuiven in de lange omloopriolen volledig gesloten worden bij een gegeven restverval te weerhouden. Op vraag van aMT en HA werden vervolgens bijkomende simulaties uitgevoerd met een gewijzigde hefschuif snelheid en simulaties voor het begroten van de invloed van een variërend peil in het Deurganckdok en/of het buiten dienst zijn van een hefschuif in de korte omloopriool.

De gebruikte gegevens worden beschreven in hoofdstuk 2. De kalibratie en validatie van het hydraulisch netwerkmodel wordt gegeven in hoofdstuk 3. Met dit bijgewerkte hydraulisch netwerkmodel werden vervolgens simulaties uitgevoerd waarbij de hefschuiven gesloten worden naar het einde van de nivellering toe, zie hoofdstuk 4. De bijkomende simulaties worden gerapporteerd in hoofdstuk 5. De conclusies en aanbevelingen worden vervolgens samengevat in hoofdstuk 6.

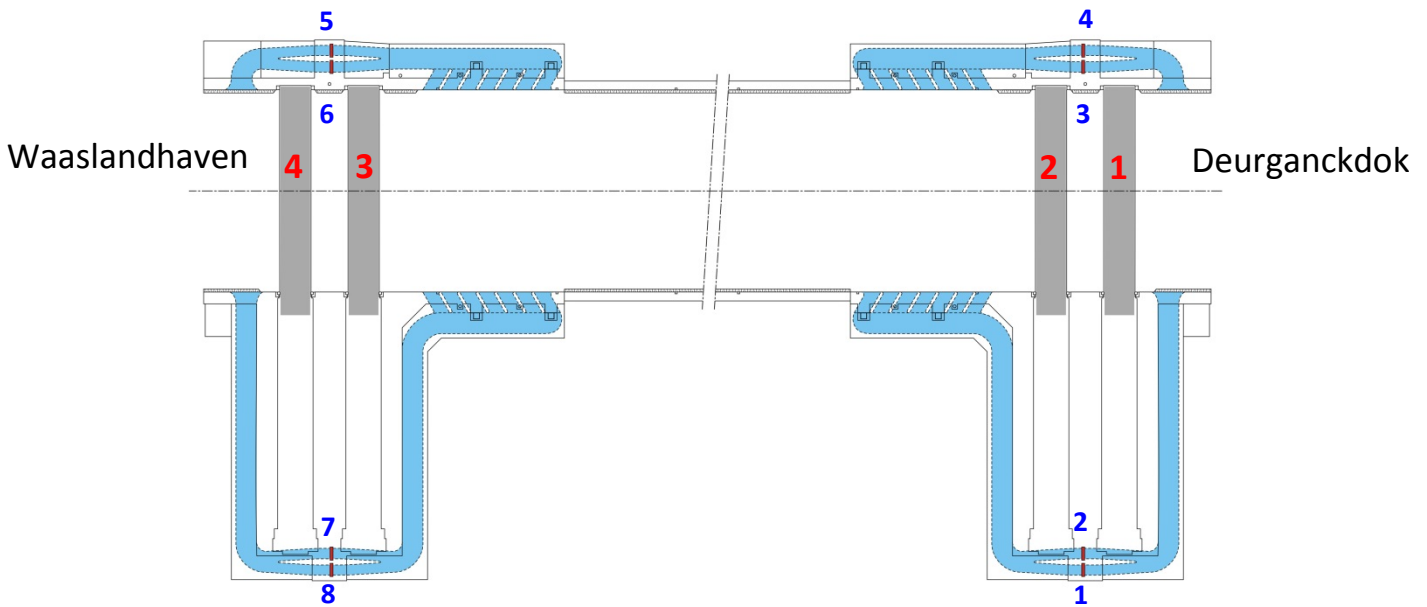
2 Gegevens

De geometrie van de Kieldrechtsluis wordt beschreven in paragraaf 2.1. In het kader van het hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem van de Kieldrechtsluis werd een hydraulisch netwerkmodel opgesteld, zie paragraaf 2.2. De door het HA uitgevoerde nivelleringen voor de kalibratie en validatie van het hydraulisch netwerkmodel worden beschreven in paragraaf 2.3.

2.1 Geometrie Kieldrechtsluis

De Kieldrechtsluis verbindt de Waaslandhaven (streefpeil +3.50 m TAW) met het Deurganckdok (peil afhankelijk van het getijde). De sluis heeft een lengte tussen de buitenste roldeuren van 500 m en een kolkbreedte van 68 m. Het bodempeil van de kolk ligt op -17.8 m TAW. Een illustratie van het nivelleersysteem van de Kieldrechtsluis wordt gegeven in Figuur 1. Het nivelleren van de sluis kolk via het bovenhoofd respectievelijk het benedenhoofd gebeurt door middel van een nivelleersysteem met korte omloopriolen (sectie 7.0 m x 7.0 m). Op een verschil in peil van de inlaat aan dok respectievelijk Deurganckdok na is het nivelleersysteem van het bovenhoofd (zijde Waaslandhaven) en het benedenhoofd (zijde Deurganckdok) identiek. Bemerkt dat aan de zijde van de roldeuren de omloopriolen omheen de deuren worden geleid waardoor de omloopriolen een verschil in lengte hebben. In het vervolg van dit rapport wordt de term lange omloopriool gebruikt voor de omloopriool die omheen de deurkamers loopt en korte omloopriool voor de omloopriool die niet omheen de deurkamers loopt. Dit is in tegenstelling met de literatuur waar de term lange omloopriool gebruikt wordt voor een nivelleersysteem waarbij de riolen van het boven- en benedenhoofd verbonden zijn. Ter hoogte van de schuiven wordt het riool gesplitst in twee. De uitstroming in de kolk gebeurt door middel van een uitstroomconstructie die als doel heeft de uitgaande stroming te spreiden en loodrecht op de kolk-as te richten. Figuur 1 bevat de door HA gehanteerde nummering van de schuiven en deuren. Deze nummering wordt overgenomen in dit rapport. Voor meer details over het nivelleersysteem wordt onder andere verwezen naar de WL-rapporten opgesteld in het kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis (De Mulder & Vercruysse, 2007; De Mulder *et al.*, 2007, 2008, 2010a; b).

Figuur 1 – Illustratie nivelleersysteem Kieldrechtsluis



Nummeringen deuren: rood, nummering hefschuiven: blauw

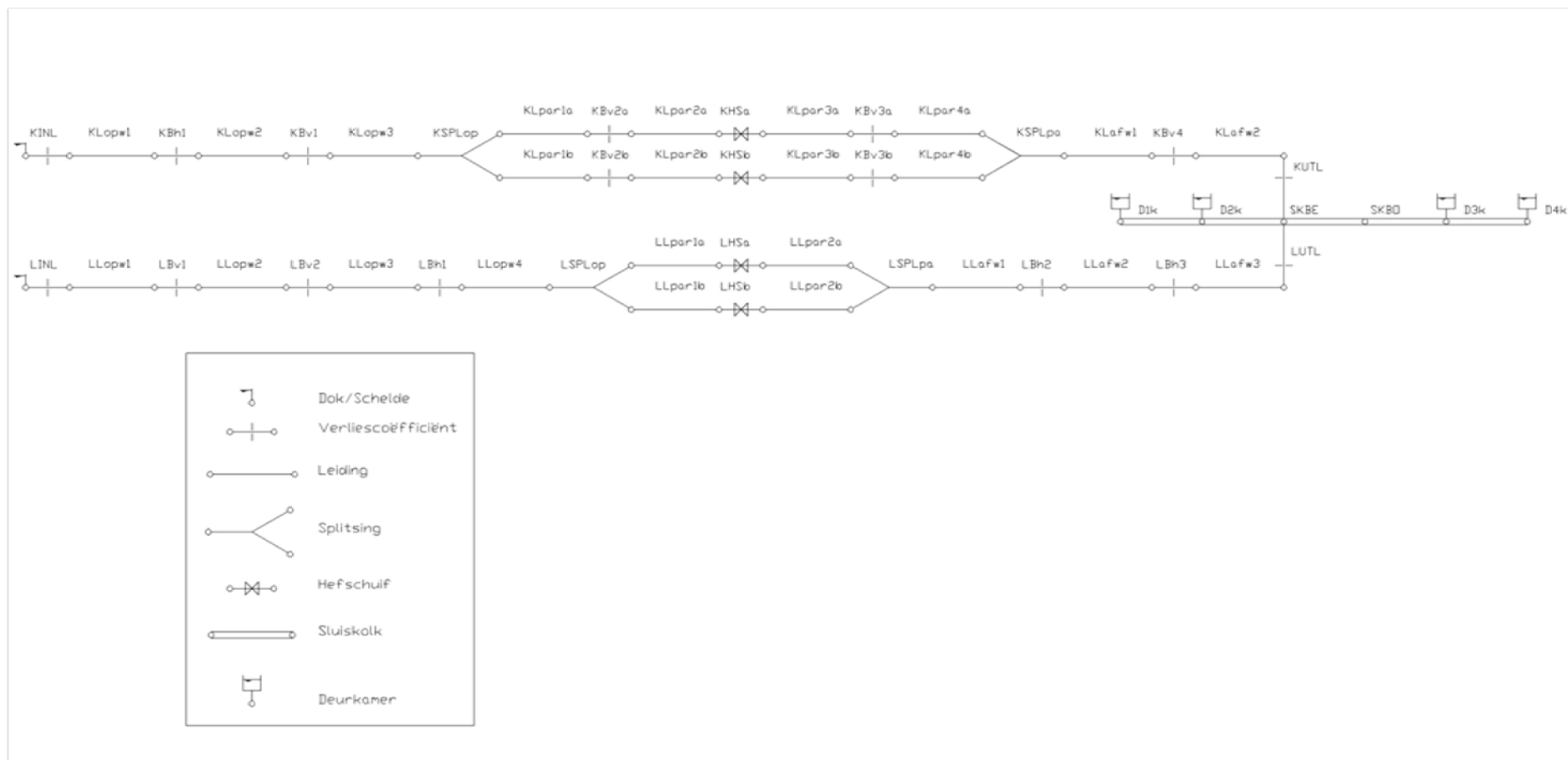
2.2 Hydraulisch netwerkmodel

In het kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis werd een hydraulisch netwerkmodel opgesteld (De Mulder *et al.*, 2007, 2010a). Het schema van dit hydraulisch netwerkmodel wordt gegeven in Figuur 2. Dit hydraulisch netwerkmodel wordt gesimuleerd met het programma LOCKSIM. Het hydraulisch netwerkmodel van de sluis bestaat uit een combinatie van leiding componenten, lokale verliescomponenten en componenten met vrij wateroppervlak. De algemene leiding componenten bevatten de verliezen ten gevolge van wandwrijving en de invloed van de massastraagheid van het water in de omloopriolen. De lokale verliescomponenten bevatten de lokale hydraulische verliezen (inlaat, hefschuif, bochten, splitsing en samenvoeging en uitstroomconstructie). Voor de ladingsverliezen van de inlaat, bochten en hefschuif zijn waarden uit de literatuur gebruikt. Voor de splitsings- en samenvoegingsverliezen zijn de default verliezen uit LOCKSIM toegepast. De verliezen ten gevolge van wandruwheid worden in LOCKSIM berekend door middel van een expliciete benadering van de White-Colebrook formulering. Door de complexiteit van de uitstroomconstructie kon hier geen waarde uit de literatuur toegepast worden. Voor het bepalen van de verliezen van de uitstroomconstructie werden metingen uitgevoerd in de Berendrechtsluis (De Mulder & Vercruysse, 2007; De Mulder *et al.*, 2008). Op een aantal bochten in het verticaal vlak na is het nivelleersysteem van de Berendrechtsluis identiek aan het nivelleersysteem aan de Kieldrechtsluis. Van de Berendrechtsluis werd een soortgelijk hydraulisch netwerkmodel opgesteld. De verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie van de Berendrechtsluis werd vervolgens gekalibreerd door middel van opgemeten éénzijdige vullingen en ledigingen. Door eenzijdige nivelleringen te gebruiken kunnen de verliezen van de uitstroomconstructie voor de lange en korte omloopriool afzonderlijk gekalibreerd worden.

¹ Het programma LOCKSIM werd ter beschikking gesteld van het WL door de ontwikkelaar Dr. G. Schohl (Tennessee Valley Authority, USA). LOCKSIM wordt courant gebruikt voor sluismodellering door de USACE (U.S. Army Corps of Engineers). Voor deze studie werd LOCKSIM v 1.21 gebruikt. Dit betreft dezelfde versie van LOCKSIM als gebruikt in De Mulder *et al.*, (2010a; b).

Door het op deze wijze kalibreren van de verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie wordt de onder- en overschatting van de overige bijzondere en de algemene ladingsverliezen verdisconteerd in de verliezen van de uitstroomconstructie. De op deze wijze bekomen verliezen van de uitstroomconstructie van de Berendrechtsluis zijn vervolgens overgenomen in het hydraulisch netwerkmodel van de Kieldrechtsluis.

Figuur 2 – Hydraulisch netwerkmodel Benedenhoofd Kieldrechtsluis



Bron: De Mulder *et al.* (2007)

2.3 Metingen Havenbedrijf Antwerpen

In 2016 is door WL een terreinmeting uitgevoerd in de Kieldrechtsluis (J. B. Vercruysse *et al.*, 2017). Hierbij werden Divers gebruikt om het waterpeil in de sluiskolk op te meten. Daarnaast werden door HA de waterpeilen in de sluiskolk, in de Waaslandhaven en in het Deurganckdok ook geregistreerd. Uit Vercruysse *et al.* (2017) volgt dat de door WL en HA opgemeten peilen samenvallen. Om deze reden werd besloten dat het voor de bijkomende nivelleringsmetingen die nodig zijn voor de kalibratie en validatie van het hydraulisch netwerkmodel niet nodig is om nieuwe metingen met Divers uit te voeren maar dat de door HA geregistreerde peilen (kolk, Waaslandhaven en Deurganckdok) voldoende zijn.

Op 30/03/2017 heeft HA in overleg met WL een aantal bijkomende eenzijdige en tweezijdige nivelleringsmetingen uitgevoerd. Deze nivelleringsmetingen worden samengevat in Tabel 1. Door HA werd een bestand overgemaakt met hierin het kolkpeil, peil Waaslandhaven en peil Deurganckdok uitgedrukt in m TAW en de vrije doorstroomhoogte onder de schuiven uitgedrukt in m. De metingen werden geregistreerd met een frequentie 2 HZ. Dit bestand bevatte niet de positie van de deuren. Hiervoor werd door HA een bestand overgemaakt (mail. dd. 6/06/2017) met hierin het aantal keer dat een deur gebruikt wordt per uur. Uit deze metingen volgde dat op 30/03/2017 in het benedenhoofd deur 2 werd gebruikt en in het bovenhoofd deur 4 werd gebruikt. De werkelijke tijdstippen dat de deuren geopend en gesloten werden zijn dus niet gekend.

Tabel 1 – Door HA uitgevoerde eenzijdige en tweezijdige nivelleringsmetingen

volg-nummer	hoofd	type	start	einde	deur-combinatie	gebruikte schuiven		begin-peil	eind-peil	verval	niveleertijd
						korte omloop riool	lange omloop riool				
[-]	[-]		[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m TAW]	[m TAW]	[m]	[s]
1	BO	V	09:57	10:03	24	5, 6	7, 8	1.62	3.50	1.88	366
2	BE	L	10:10	10:34	24	/	1	3.52	1.00	2.52	1417
3	BO	V	10:36	10:50	24	/	7, 8	0.99	3.48	2.49	849.5
4	BE	L	10:54	11:15	24	/	1, 2	3.59	0.44	3.15	1233
5	BO	V	11:20	11:28	24	5, 6	7, 8	0.32	3.46	3.14	479
6	BE	L	11:36	11:57	24	3, 4	/	3.46	-0.08	3.54	1278
7	BO	V	12:03	12:19	24	5, 6	/	-0.25	3.40	3.65	931.5
8	BE	L	12:44	12:56	24	3, 4	1, 2	3.48	-0.65	4.13	725

BO = BOvenhoofd / BE = BEnedenhoofd

V = Vullen / L = Ledigen

/ geen schuiven gebruikt in de betreffende riool

3 Kalibratie en validatie hydraulisch netwerkmodel

Gebruik makend van de door HA uitgevoerde eenzijdige nivelleringsen werd een kalibratie uitgevoerd van het hydraulisch netwerkmodel van de Kieldrechtsluis, zie paragraaf 3.1. Dit hydraulisch netwerkmodel wordt vervolgens gevalideerd met betrekking tot overvullen/overledigen gebruik makend van tweezijdige nivelleringsen, zie paragraaf 3.2.

3.1 Kalibratie verliescoëfficiënt uitstroomconstructie

De voor de kalibratie gebruikte metingen worden samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 – Voor de kalibratie gebruikte metingen

meting nr.	hoofd	type	schuiven				uitstroomconstructie	stroomrichting
			kort		lang			
3	BO	V	/	/	7	8	lange omloopriool	positieve stroomrichting +
4	BE	L	/	/	1	2	lange omloopriool	negatieve stroomrichting -
6	BE	L	3	4	/	/	korte omloopriool	positieve stroomrichting +
7	BO	V	5	6	/	/	korte omloopriool	negatieve stroomrichting -

Voor het kalibreren van het hydraulisch netwerkmodel wordt de totale hydraulische verliescoëfficiënt bepaald uit de metingen en uit de simulatie. Deze totale hydraulische verliescoëfficiënt wordt berekend door middel van onderstaande vergelijking:

$$|P_{\text{Waaslandhaven/Deurganckdok}} - P_{\text{kolk}}| = \xi_T \frac{Q^2}{2g \cdot A^2}$$

$$\text{Bepalen debiet uit meting: } Q = \frac{\delta H}{\delta T} \cdot S$$

Met:

- $P_{\text{Waaslandhaven/Deurganckdok}}$ Peil Waaslandhaven respectievelijk peil Deurganckdok [m TAW]
- P_{kolk} Kolkpeil [m TAW]
- ξ_T Totale verliescoëfficiënt [-]
- Q Debiet [m^3/s]
- A Doorstroomsectie omloopriool (eenzijdige nivellering $A = 49 \text{ m}^2$) [m^2]
- g Graviteitsconstante = 9.81 m/s^2 [m/s^2]
- $\delta H / \delta T$ Stijgsnelheid kolkpeil [m/s]
- S Te nivelleren oppervlak deurcombinatie 24 = 35999 m^2 [m^2]

Bemerk dat deze formule geldig is voor stationaire stroming en dus geen rekening houdt met inertie van water in de omloopriool. Het ware correcter geweest om een formule toe te passen die ook de inertie in rekening brengt op basis van de variatie van het debiet. Deze berekening valt echter buiten de scope van dit advies. Door het niet in rekening brengen van de inertie zal de verliescoëfficiënt overschat worden tijdens het versnellen van het water en onderschat worden tijdens het vertragen van het water in de riolen.

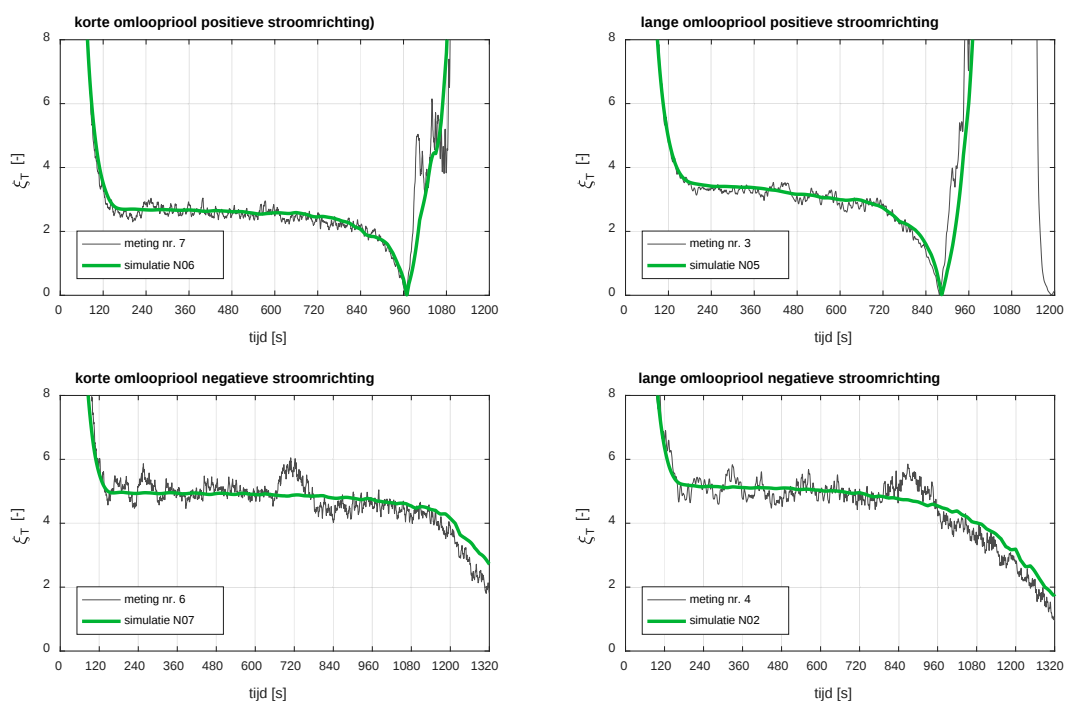
De uitgevoerde simulaties voor de kalibratie van de uitstroomconstructie worden gegeven in Tabel 3. In bijlage A wordt per simulatie een figuur gegeven met de variatie in de tijd van de peilen, het debiet door de omloopriool, de hefschuifpositie en de totale verliescoëfficiënt.

Tabel 3 – Simulaties uitgevoerd ter kalibratie

meting nr.	hoofd	type	omloopriool	stroomrichting	simulatie vòòr kalibratie	simulatie na kalibratie
3	BO	V	lang	positief	N01	N05
4	BE	L	lang	negatief	N02	
6	BE	L	kort	negatief	N03_	N07
7	BO	V	kort	positief	N04_	N06

Voor de simulaties uit Tabel 3 wordt in Figuur 3 de variatie in de tijd van de totale verliescoëfficiënt uit de metingen vergeleken met deze uit de simulaties na kalibratie. Merk hierin op dat de overeenkomst tussen de metingen en de simulatie na kalibratie goed zijn. Het eerste deel met hoge verliescoëfficiënt is te wijten aan het openen van de hefschuiven (openingstijd hefschuiven ca. 154 s). Doordat de verliescoëfficiënt berekend wordt door middel van een formule voor stationaire stroming wordt de curve beïnvloed door inertie van het water in de leidingen. Het afnemen van de verliescoëfficiënt naar het einde van de nivellering toe is te wijten aan de invloed van de massa traagheid tijdens het vertragen van het water in de omloopriolen. Merk in bijlage A ook op dat het kolkpeil en het debiet voor de simulaties na kalibratie quasi gelijk zijn met de metingen.

Figuur 3 – Vergelijking hydraulische verliescoëfficiënt simulatie na kalibratie



De nieuwe verliescoëfficiënten voor de uitstroomconstructie worden samengevat in Tabel 4. Voor de negatieve stroomrichting (ledigen) zijn de verliezen niet of beperkt gewijzigd. Voor de positieve stroomrichting (vullen) zijn de verliezen van de uitstroomconstructie gehalveerd (zowel bij de lange als bij de korte omloopriool). De oorspronkelijke verliescoëfficiënten voor de uitstroomconstructie zijn op een analoge manier afgeleid op basis van het kalibreren van een hydraulisch netwerkmodel van de Berendrechtsluis. Doordat de Berendrechtsluis en Kieldrechtsluis hydraulisch quasi identiek zijn werd een dergelijke afwijking niet verwacht. Het is ook opmerkelijk dat de overeenkomst goed tot zeer goed is voor ledigen maar minder goed voor vullen. Voor de verliezen van de uitstroming van een rechte uitlaat (zonder diffusor of dergelijke) wordt door WL standaard een waarde 1.0 gehanteerd. In het kader van het ontwerp van de renovatie van de Royerssluis en de nieuwe zeesluis voor de haven van Zeebrugge werden recent CFD simulaties uitgevoerd van soortgelijke uitstroomconstructies. Voor de Royerssluis werd een verliescoëfficiënt 1.8 berekend voor de uitstroomconstructie van de lange en korte omloopriool bij de positieve stroomrichting (J. B. Vercruysse *et al.*, 2016). Voor de nieuwe sluis te Zeebrugge wordt een verliescoëfficiënt 2.3 á 2.4 berekend voor de uitstroomconstructie van de korte en lange omloopriool bij de positieve stroomrichting (J. Vercruysse *et al.*, 2017). De gekalibreerde verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie van de Kieldrechtsluis bedraagt 0.9 voor de korte omloopriool en 1.3 voor de lange omloopriool. Bemerk dat deze waarden eveneens de onder- en overschatting van de overige ladingsverliezen disconteren.

Tabel 4 – Verliescoëfficiënt uitstroomconstructie bovenhoofd en benedenhoofd

	kort			lang		
	vòòr kalibratie	na kalibratie	Δ	vòòr kalibratie	na kalibratie	Δ
positieve stroomrichting (vullen)	1.7	0.8	0.9	2.6	1.3	1.3
negatieve stroomrichting (ledigen)	3.1	2.7	0.4	2.2	2.2	0

Voor het verklaren van het grote verschil in verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie bij vullen tussen de Berendrechtsluis en Kieldrechtsluis verdient het aanbeveling om met de Kieldrechtsluis en de Berendrechtsluis nieuwe eenzijdige nivellerings uit te voeren. Bij deze nieuwe eenzijdige nivellerings dient zowel met het bovenhoofd als met het benedenhoofd gevuld en geledigd te worden. Dit maakt het mogelijk om de rollen van het bovenhoofd en het benedenhoofd afzonderlijk te kalibreren. Een groot verschil in de verliezen tussen het bovenhoofd en het benedenhoofd is te wijten aan bijkomende verliezen, bijvoorbeeld ten gevolge van een lokale reductie van de doorstroomsectie.

3.2 Validatie hydraulisch netwerkmodel

Met het gekalibreerde model van de Kieldrechtsluis wordt een validatie uitgevoerd van de door HA opgemeten tweezijdige nivelleringen. De voor deze validatie gebruikte metingen worden samengevat in Tabel 5. Doordat bij de eenzijdige nivelleringen kort na het bereiken van het eindpeil de schuiven gesloten werden kunnen deze niet gebruikt worden voor de validatie van het hydraulisch netwerkmodel op vlak van overvullen en overledigen.

Tabel 5 – Voor de validatie gebruikte metingen

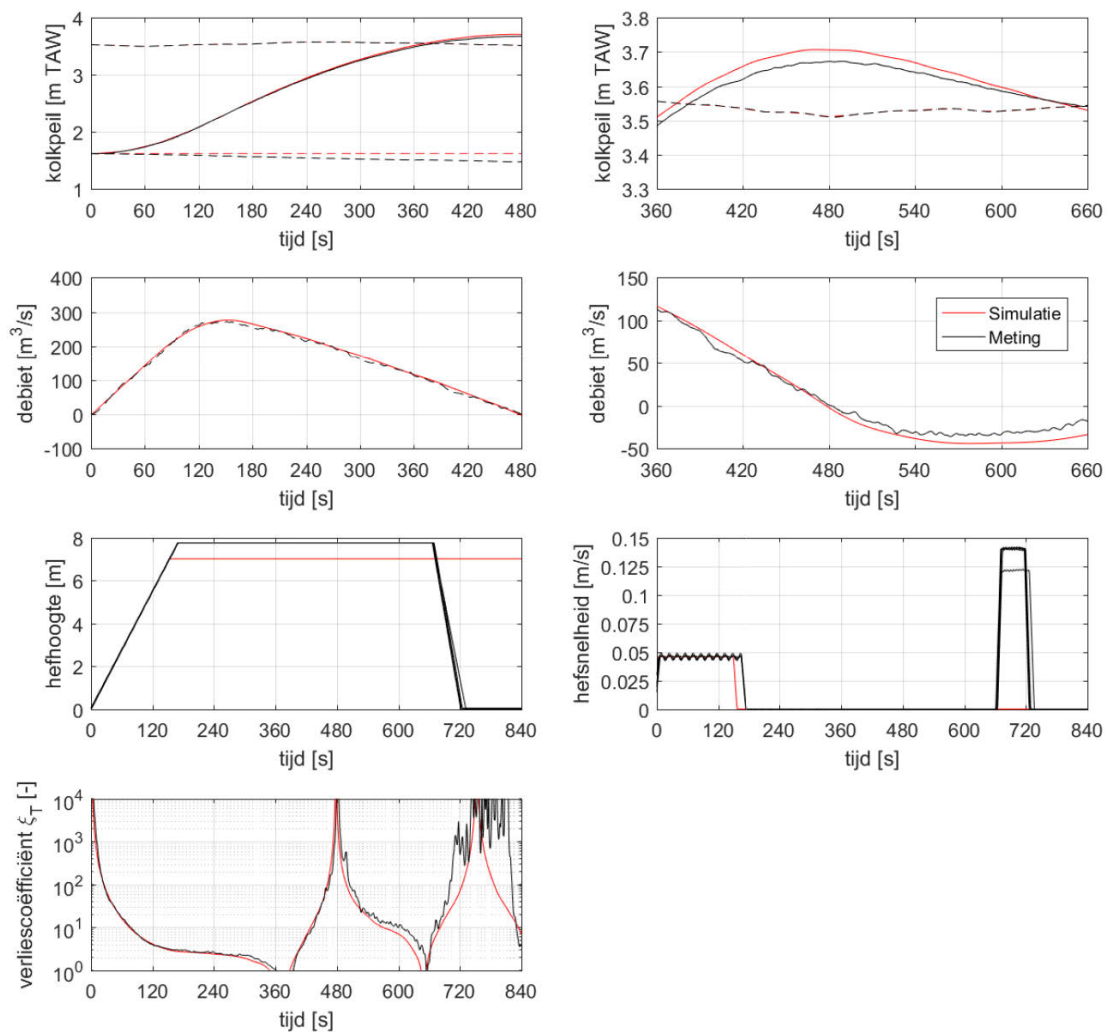
volgnummer meting	volgnummer simulatie	hoofd	type	schuiven				stroomrichting
				kort		lang		
1	N08	BO	V	5	6	7	8	positieve stroomrichting +
2	N52	BE	L			1		negatieve stroomrichting -
5	N09	BO	V	5	6	7	8	positieve stroomrichting +
8	N10	BE	L	3	4	1	2	negatieve stroomrichting -

Per uitgevoerde simulatie wordt een samengestelde figuur gegeven waarin de meting en simulatie vergeleken wordt op vlak van de variatie in de tijd van:

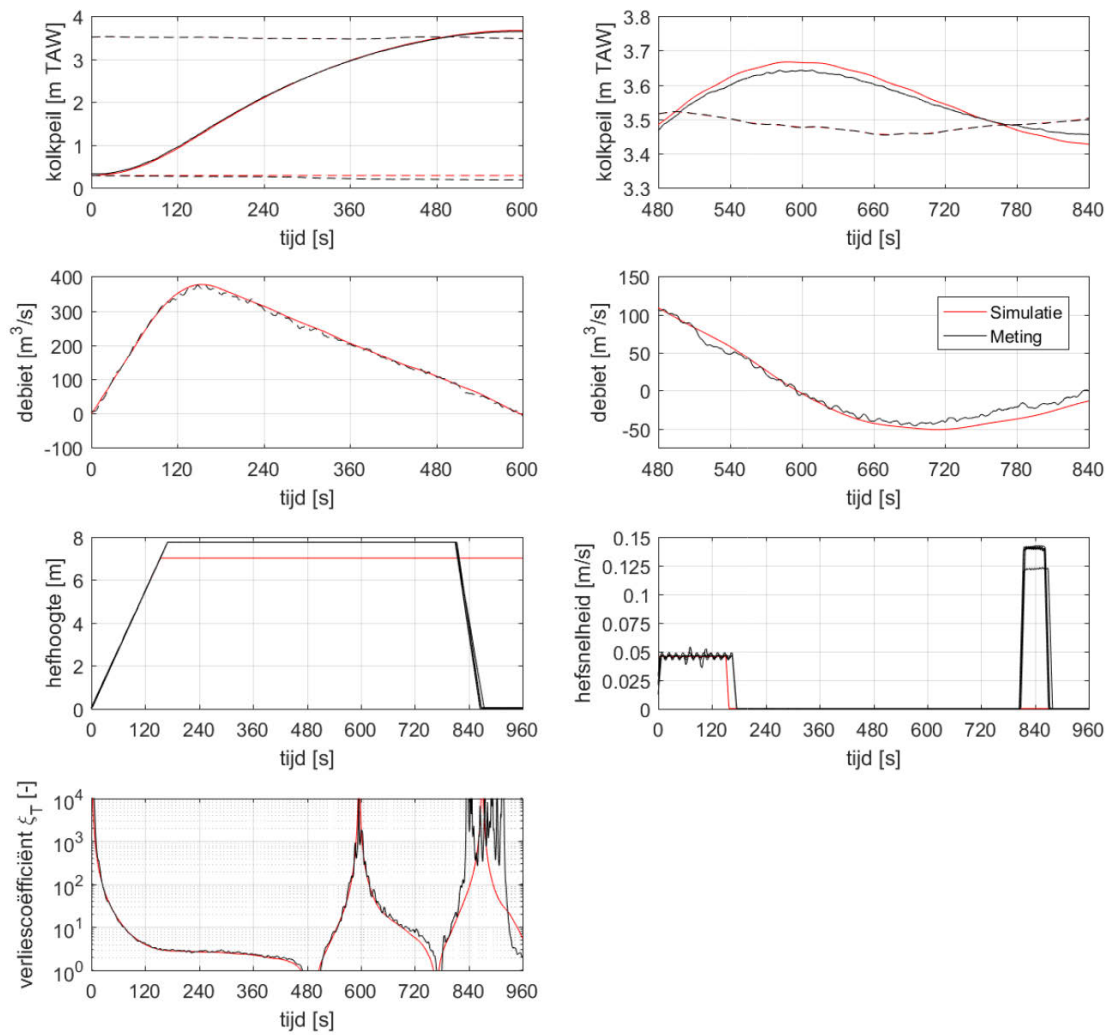
- het kolkpeil,
- het kolkpeil na bereiken eindpeil tot sluiten hefschuiven,
- het totale debiet,
- het debiet na bereiken eindpeil tot sluiten hefschuiven,
- de positie van de hefschuiven,
- de snelheid van de hefschuiven,
- de totale verliescoëfficiënt.

Zie Figuur 4, Figuur 5 en Figuur 6 voor respectievelijk meting nr. 1, meting nr. 5 en meting nr. 8. Bemerkt dat voor vullen via het bovenhoofd (Figuur 4 en Figuur 5) de meetresultaten enkel de eerste overvulling omvatten. Voor ledigen via het benedenhoofd omvatten de resultaten de eerste twee over- en onderledigingen. Merk in deze figuren op dat uit de metingen volgt dat de schuiven opgetrokken worden tot een hoogte boven 7.0 m. Omdat de schuiven niet openen vanuit een verdiepte nis en omdat de omloopriool een hoogte 7.0 m heeft is voor de simulaties de hefhoogte beperkt tot 7.0 m.

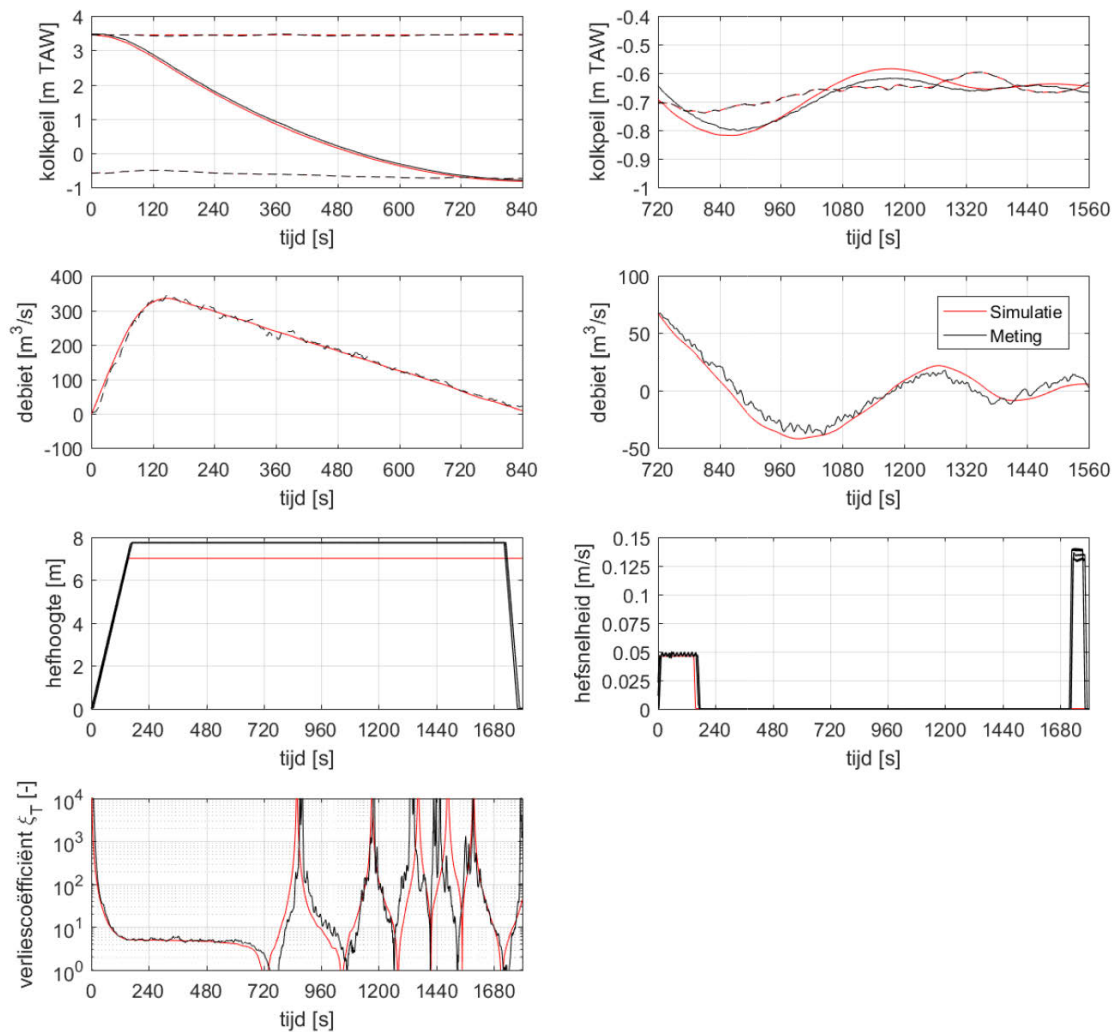
Figuur 4 – Validatie meting nr. 1 – vullen bovenhoofd (simulatie N08)



Figuur 5 – Validatie meting nr. 5 – vullen bovenhoofd (simulatie N09)



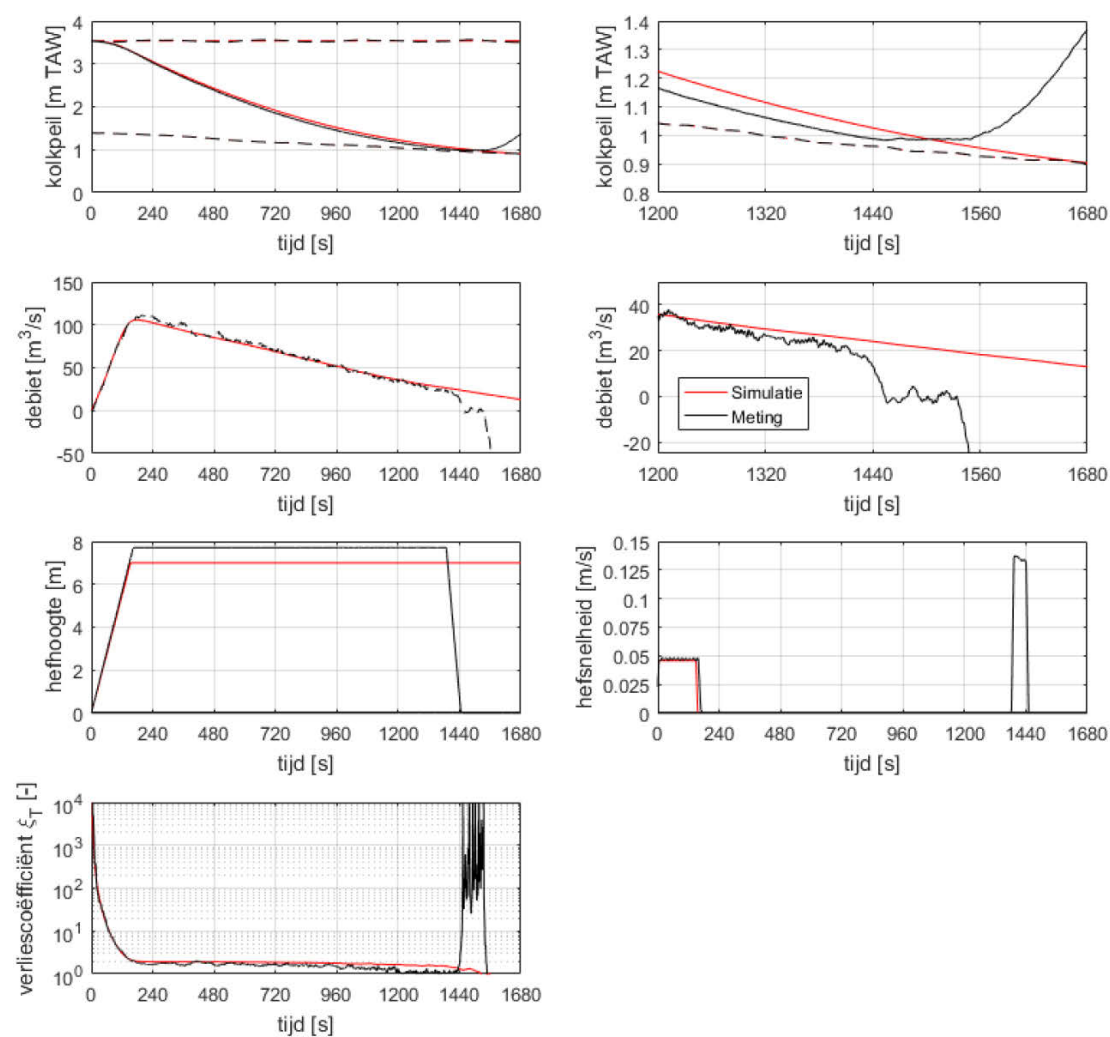
Figuur 6 – Validatie meting nr. 8 – ledigen benedenhoofd (simulatie N10)



Bemerk uit Figuur 4 tot en met Figuur 6 dat voor de variatie in de tijd van het kolkpeil en het debiet tijdens nivelleren er een goede overeenkomst is tussen de simulatie en de meting. De piekwaarde van de overvulling/overlediging volgend uit de simulatie is beperkt hoger dan deze uit meting. Het verschil tussen de piekwaarde van de eerste overvulling/overlediging uit de simulatie en deze uit de meting bedraagt $\Delta=0.04$ m bij meting nr. 1, $\Delta=0.03$ m bij meting nr. 5 en $\Delta=0.02$ m bij meting nr. 8. Voor de vullingen werden de deuren geopend op het einde van de eerste overvulling. Het is dus niet mogelijk om iets te zeggen over de periode of het uitdempen bij overvullen. Bij ledigen werd langer gemeten alvorens de schuiven te openen. Hier volgt dat er een redelijke overeenkomst is tussen het gesimuleerde en het opgemeten debiet tijdens het over- en onderledigen. Ook op vlak van periode is er een vrij goede overeenkomst tussen de meting en de simulatie.

Door de opdrachtgever werd gevraagd om bijkomende simulaties uit te voeren met één hefschuif buiten dienst. Hierom werd ook meting nr. 2 gesimuleerd, zie Figuur 7. Tijdens meting nr. 2 werd geleidigd met het benedenhoofd met enkel hefschuif 1 in dienst. Bemerk dat voor de variatie in de tijd van het kolkpeil en het debiet tijdens nivelleren er een goede overeenkomst is tussen de simulatie en de meting. Merk op dat start sluiten hefschuif gebeurt voor het bereiken van het eindpeil op 1388 s.

Figuur 7 – Validatie meting nr. 2 – ledigen benedenhoofd (simulatie N52)



4 Simulaties voor reductie overvullen/overledigen

Met het gekalibreerde model worden enkele simulaties uitgevoerd waarbij getracht wordt om de grootte van de eerste overvulling respectievelijk overlediging te reduceren door het sluiten van de hefschuiven vanaf een bepaald restverval. In een eerste set simulaties worden de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten (en deze van de korte niet), zie paragraaf 4.1. In een tweede set simulaties worden de hefschuiven van de lange en korte omloopriool gedeeltelijk gesloten, zie paragraaf 4.2.

De resultaten worden in dit hoofdstuk in tabelvorm weergegeven. In bijlage B wordt per simulatie een grafiek gegeven met de variatie in de tijd van het kolkpeil, het debiet, de hefhoogte van de hefschuiven, de langshelling, het verval over de hefschuiven, de snelheid onder de hefschuiven, en het peil opwaarts en afwaarts van de hefschuiven.

4.1 Sluiten hefschuiven lange omloopriool

De lengte van de lange en de korte omloopriool en de verhouding tussen beide wordt gegeven in Tabel 6. Doordat de doorstroomsectie van de lange en korte omloopriool gelijk zijn komt de lengteverhouding overeen met de volumeverhouding. Uit Tabel 6 volgt dat de massa water in de lange omloopriool 2.3 keer groter is dan in de korte omloopriool. Het water in de lange omloopriool zal hierdoor trager reageren en dus meer bijdragen aan de overvulling respectievelijk overlediging dan het water in de korte omloopriool. Dit werd ook opgemerkt bij de simulaties beschreven in Vercruysse *et al.* (2017).

Tabel 6 – Verhouding lengte lange omloopriool tot lengte korte omloopriool

	bovenhoofd	benedenhoofd
lange omloopriool	271	270
korte omloopriool	118	116
$\frac{\text{lange omloopriool}}{\text{korte omloopriool}}$	2.3	2.3

Bron: De Mulder *et al.* (2007)

Voor vullen via het bovenhoofd met een verval 3.0 m worden 6 simulaties uitgevoerd, zie Tabel 7. Uit de metingen volgde dat de schuiven in ca. 154 s openen tot een hefhoogte 7.0 m. De hierbij horende hefschuifsneldheid bedraagt 0.0455 m/s. Het sluiten vanaf een hefhoogte 7.0 m gaat sneller en duurt ca. 60 s. De hierbij horende snelheid bedraagt 0.117 m/s. Voor het sluiten van de schuiven in de simulaties wordt zowel een hefschuifsneldheid 0.0455 m/s beschouwd als een hefschuifsneldheid 0.117 m/s.

Voor start sluiten bij een hefschuifsnellheid 0.0455 m/s en een hefschuifsnellheid 0.117 m/s wordt een restverval 0.5 m en 1.0 m beschouwd. Voor sluiten met een hefschuifsnellheid 0.117 m/s wordt bijkomend nog een restverval 0.25 m beschouwd. De uit de simulaties volgende nivelleertijd, de piekwaarde van de overvulling zowel ten opzichte van het gemiddeld kolkpeil als ten opzichte van de te openen roldeur, het positieve en negatieve extremum van de end-to-end langshelling in de kolk en het maximale verval over de hefschuiven tijdens sluiten worden gerapporteerd in Tabel 7.

Tabel 7 – Scenario's sluiten hefschuiven lange omloopriool

scenario	start sluiten bij restverval [m]	snelheid sluiten	
		snelheid [m/s]	looptijd [s]
1	0.00	/	/
2	1.00	0.045	154
3	0.50		
4	1.00	0.117	60
5	0.50		
6	0.25		

De in Tabel 7 opgegeven scenario's voor het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool worden gesimuleerd voor een vulling via het bovenhoofd met een verval 3.0 m (peil Deurganckdok + 0.5 m TAW en peil Waaslandhaven + 3.5 m TAW) en deurcombinatie 24 (analoog als tijdens de metingen). De uit de simulaties volgende nivelleertijd, de piekwaarde van de overvulling zowel ten opzichte van het gemiddeld kolkpeil als ten opzichte van het waterpeil ter plaatse van de te openen roldeur, het positieve en negatieve extremum van de end-to-end langshelling in de kolk en het maximale verval over de hefschuiven tijdens sluiten wordt gerapporteerd in Tabel 8. Bij de tabel wordt opgemerkt dat de procentuele reductie van de piekwaarde van de overvulling als volgt berekend wordt:

$$\frac{\text{piekwaarde simulatie N11} - \text{piekwaarde simulatie N1X}}{\text{piekwaarde simulatie N11}} \cdot 100$$

De piekwaarde van de overvulling wordt zowel berekend ten opzichte van het gemiddelde kolkpeil als ten opzichte van het knooppunt in de kolk nabij de te openen deur. De langshelling uit de simulaties wordt bepaald ten opzichte van de knooppunten van de uitstroomconstructie van het boven- en het benedenhoofd (SKBO en SKBE). Dit komt overeen met de conventie gebruikt in de simulaties voor het ontwerp (De Mulder *et al.*, 2010b). Het maximale verval over de schuif wordt uit de LOCKSIM simulatie bepaald als het drukverschil in het knooppunt opwaarts en afwaarts de hefschuif. De maximale snelheid onder de schuif wordt bepaald als het debiet gedeeld door de doorstroomsectie onder de schuif. Zowel voor het bepalen van het drukverschil over de schuif als voor de snelheid onder de schuif wordt geen rekening gehouden met contractie van de stroming als gevolg van het gedeeltelijk geopend zijn van de schuif.

Tabel 8 – Simulaties vullen bovenhoofd met een verval 3.0 m – testcases sluiten hefschuiven lange omloopriool

simulatie	scenario	nivelleertijd		piekwaarde overvulling				extr. langshelling		max. verval schuif	max. snelheid onder schuif
				gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.		
[-]	[-]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [%]	[m]	Δ [%]	[%]	[%]	[m]	[m/s]
N11	1	466	/	0.164	/	0.165	/	0.244	-0.128	0.00	5.27
N12	2	574	108	0.066	60	0.074	55	0.244	-0.133	0.88	5.27
N13	3	478	12	0.084	49	0.092	44	0.244	-0.128	0.45	5.27
N14	4	639	173	0.067	59	0.079	52	0.244	-0.153	3.42	5.54
N15	5	561	95	0.069	58	0.073	55	0.244	-0.128	2.61	5.27
N16	6	495	29	0.079	52	0.098	40	0.244	-0.183	2.20	5.27

Uit Tabel 8 volgt dat in alle beproefde scenario's het sluiten van de hefschuiven zorgt voor een reductie van de piekwaarde van de overvulling op basis van het gemiddeld kolkpeil met 49 tot 60 %. Het verschil tussen de piekwaarde van de overvulling bepaald op basis van het gemiddeld kolkpeil en de piekwaarde van de overvulling bepaald ten opzichte van de te openen roldeur is 0.01 m tot 0.02 m. De toename van de nivelleertijd is het kleinste bij scenario 3 (12 s) en het grootste bij scenario 4 (173 s). Het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s (scenario 1, 2 en 3) zorgt voor een waterdrukverschil over de hefschuiven dat kleiner is dan het restverval bij start sluiten. Bij het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.117 m/s (scenario 4, 5 en 6) bedraagt het maximale waterdrukverschil over de hefschuiven in de lange omloopriool 2.20 m (bij sluiten vanaf een restverval 0.25 m) tot 3.42 m (bij sluiten vanaf een restverval 1.0 m). Bij het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.117 m/s vanaf een restverval 1.0 m neemt de maximale snelheid onder de hefschuiven beperkt toe tot 5.54 m/s. Bij de overige simulaties bedraagt de maximale snelheid onder de hefschuiven 5.27 m/s. Deze maximale snelheid treedt op tijdens het openen van de hefschuiven. Het sluiten van de hefschuiven kan zorgen voor een versterking of verzwakking van de reeds aanwezige langshelling in de kolk. Uit de tabel volgt dat bij het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.117 m/s bij een restverval 1.0 m en 0.25 m het negatieve extremum van de langshelling toeneemt. Bij een restverval 0.50 m en het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s en een snelheid 0.117 m/s is er geen invloed op het negatieve extremum van de langshelling. Bij het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s bij een restverval 1.0 m is de invloed op het negatieve extremum van de langshelling beperkt. De fase van de langshelling op het ogenblik dat de hefschuiven sluiten is hier belangrijk en ook de duurtijd van het sluiten van de hefschuiven. Bemerkt hierbij dat een hefschuifsnelheid 0.0455 m/s minder risico heeft op een versterking van de aanwezige langshelling in de kolk omdat de sluiting van de hefschuiven langer duurt dan de periode van de langshelling in de kolk.

Op basis van deze resultaten wordt besloten om scenario 3, het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s bij een restverval 0.50 m, te weerhouden. Uit de simulaties volgt dat de impact op de nivelleertijd slechts 12 s bedraagt en dat de piekwaarde van de overvulling gereduceerd wordt met 50 %. Voor scenario 3 worden vervolgens ook vullen bovenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m en 4.0 m en ledigen benedenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 4.0 m gesimuleerd. De resultaten hiervan worden gegeven in Tabel 9.

Tabel 9 – Simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd -
sluiten hefschuiven lange omloopriool met een snelheid 0.0455 m/s vanaf een restverval 0.50 m

simu- latie	type	verval	scena- rio	nivelleertijd		piekwaarde overvulling/overlediging				extr. langshelling		max. verval schuif
						gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.	
[-]	[-]	[m]	[-]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [-]	[m]	Δ [-]	[%]	[%]	[m]
N17	VBO	1	1	281	17	0.159	0.50	0.160	0.47	0.115	-0.071	0.00
N18			3	298		0.080		0.085		0.115	-0.083	0.45
N19		2	1	382	12	0.163	0.49	0.164	0.47	0.183	-0.100	0.00
N20			3	394		0.083		0.087		0.183	-0.102	0.45
N11		3	1	466	12	0.164	0.49	0.165	0.44	0.244	-0.128	0.00
N13			3	478		0.084		0.092		0.244	-0.128	0.45
N21		4	1	540	11	0.164	0.48	0.170	0.47	0.303	-0.166	0.00
N22			3	551		0.085		0.090		0.303	-0.166	0.45
N23	LBE	1	1	346	95	0.097	0.65	0.097	0.64	0.058	-0.112	0.00
N24			3	441		0.034		0.035		0.075	-0.112	0.53
N25		2	1	490	89	0.096	0.65	0.096	0.58	0.076	-0.170	0.00
N26			3	579		0.034		0.040		0.086	-0.170	0.53
N27		3	1	605	90	0.097	0.66	0.101	0.59	0.089	-0.214	0.00
N28			3	695		0.033		0.041		0.089	-0.214	0.52
N29		4	1	703	85	0.097	0.65	0.101	0.57	0.098	-0.252	0.00
N30			3	788		0.034		0.043		0.098	-0.252	0.52

VBO = Vullen BOvenhoofd / LBE = Ledigen BEnedenhoofd

Uit Tabel 9 volgt dat de piekwaarde van de overvulling en de piekwaarde van de overlediging quasi gelijk is voor de 4 beproefde vervallen. Zowel voor het scenario waarbij de schuiven open blijven (scenario 1) als het scenario waarbij de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten worden (scenario 3). Bij vullen via het bovenhoofd bedraagt bij het open blijven van de schuiven de piekwaarde van de overvulling 0.16 m, wanneer de schuiven in de lange omloopriool gesloten worden op het einde van de nivellering wordt dit gereduceerd met ca. 50 % tot 0.08 m. Bij ledigen via het benedenhoofd bedraagt bij het open blijven van de schuiven de piekwaarde van de overvulling 0.10 m, wanneer de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten worden op het einde van de nivellering wordt dit gereduceerd met ca. 65 % tot 0.03 m. De toename van de nivelleertijd bij vullen bedraagt 11 s (verval 4.0 m) tot 17 s (verval 1.0 m). Bij ledigen bedraagt de toename van de nivelleertijd 85 s (verval 4.0 m) tot 95 s (verval 1.0 m). Het verschil tussen vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd wordt verklaard door de grotere hydraulische verliezen bij ledigen. Voor ledigen benedenhoofd kan het wenselijk zijn om nog een scenario te simuleren waarbij de hefschuiven gesloten worden bij een restverval kleiner dan 0.50 m. De invloed op het extremum van de langshelling is beperkt en het maximale verval over de hefschuiven is beperkt tot 0.45 m bij vullen en 0.53 m bij ledigen.

4.2 Gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool

Als tweede variant worden 4 scenario's beschouwd waarbij zowel de schuiven van de lange als de korte omloopriool gedeeltelijk gesloten worden bij een gegeven restverval. De beschouwde scenario's worden gegeven in Tabel 11. Merk hierin op dat twee snelheden voor de hefschuiven worden beschouwd een snelheid 0.0455 m/s en een snelheid 0.117 m/s. Deze snelheden zijn analoog met de simulaties voor het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool (zie paragraaf 4.1). Met de trage hefschuifsneldheid wordt begonnen vanaf een restverval 0.50 m en met de snelle hefschuifsneldheid wordt begonnen vanaf een restverval 0.25 m. De schuiven worden gesloten tot 50 % van de totale sectie (hefhoogte 3.5 m) en tot 30 % van de totale sectie (hefhoogte 2.1 m).

Tabel 10 – Scenario's gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool

scenario	start sluiten bij restverval	snelheid sluiten schuiven	eindhefhoogte schuiven	duurtijd sluiten schuiven
	[m]	[m/s]	[m]	[s]
1	/	/	7.0	/
7	0.50	0.0455	3.5	77
8	0.50	0.0455	2.1	108
9	0.25	0.117	3.5	30
10	0.25	0.117	2.1	42

De in Tabel 10 opgegeven scenario's voor het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool worden gesimuleerd voor een vulling via het bovenhoofd met een verval 3.0 m (peil Deurganckdok + 0.5 m TAW en peil Waaslandhaven + 3.5 m TAW) en deurcombinatie 24 (analoog als tijdens de metingen). De uit de simulaties volgende nivelleertijd, de piekwaarde van de overvulling zowel ten opzichte van het gemiddeld kolkpeil als ten opzichte van de te openen roldeur, het positieve en negatieve extremum van de end-to-end langshelling in de kolk en het maximale verval over de hefschuiven tijdens sluiten worden gerapporteerd in Tabel 11.

Tabel 11 – Scenario's gedeeltelijk sluiten hefschuiven lange en korte omloopriool

simulatie	scenario	nivelleertijd		piekwaarde overvulling				extr. langshelling		max. verval schuif	max. snelheid schuif
				gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.		
[-]	[-]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [-]	[m]	Δ [-]	[‰]	[‰]	[m]	[m/s]
N11	1	466	/	0.164	/	0.165	/	0.244	-0.128	0.00	5.27
N31	7	497	31	0.081	0.51	0.091	0.45	0.244	-0.128	0.28	5.27
N32	8	538	72	0.031	0.81	0.041	0.75	0.244	-0.128	0.46	5.27
N33	9	483	17	0.088	0.46	0.102	0.38	0.244	-0.155	0.33	5.27
N34	10	530	64	0.032	0.80	0.058	0.65	0.244	-0.210	0.86	5.82

Uit Tabel 11 volgt dat het sluiten van de hefschuiven tot 50 % van de totale sectie resulteert in een toename van de nivelleertijd met 17 s (scenario 9) tot 31 s (scenario 7). Het sluiten van de hefschuiven tot 30 % resulteert in een toename van de nivelleertijd met 64 s (scenario 10) tot 72 s (scenario 8). Het sluiten van de hefschuiven tot 50 % resulteert in een reductie van de piekwaarde van de overvulling van het gemiddeld kolkpeil met ca. 50 %. Deze waarden komen overeen met de reductie die bekomen werd bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool. Het sluiten van de hefschuiven tot 30 % zorgt voor een reductie van de piekwaarde van de overvulling van het gemiddeld kolkpeil met ca. 80 %. Dit is merkkelijk beter dan de reductie die bekomen werd bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool. Het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.117 m/s zorgt voor een toename van het negatieve extremum van de langshelling. Het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s heeft geen invloed op het negatieve extremum van de langshelling. Hierbij moet opgemerkt worden dat de fase van de langshelling op het ogenblik dat de hefschuiven gesloten worden, kan zorgen voor een versterking of verzwakking van de aanwezige langshelling. Het maximale waterstandsverschil over de hefschuiven treedt op bij het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.117 m/s tot een hefhoogte 2.1 m (scenario 10) en bedraagt 0.86 m. Bij dit scenario neemt ook de maximale snelheid onder de hefschuif toe tot 5.82 m/s. Bij de overige simulaties bedraagt de maximale snelheid onder de hefschuiven 5.27 m/s. Deze maximale snelheid treedt op tijdens het openen van de hefschuiven.

Op basis van deze resultaten wordt besloten om scenario 8, het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.0455 m/s bij een restverval 0.50 m tot een hefhoogte 30 %, te weerhouden. Uit de simulaties volgt dat de impact op de nivelleertijd 72 s bedraagt maar dat de overvulling gereduceerd wordt met 80 %. Voor scenario 8 worden vervolgens ook vullen bovenhoofd met een verval van 1.0 m, 2.0 m en 4.0 m en ledigen benedenhoofd met een verval van 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 4.0 m gesimuleerd. De resultaten hiervan worden gegeven in Tabel 12.

Tabel 12 – Simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd -
gedeeltelijk sluiten hefschuiven korte en lange omloopriool tot 50 % met een snelheid 0.0455 m/s vanaf een restverval 0.50 m

simu latie	type	verval	scen- ario	nivelleertijd		piekwaarde overvulling/overlediging				extr. langshelling		max. verval schuif
						gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.	
[-]	[-]	[m]	[-]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [-]	[m]	Δ [-]	[%]	[%]	[m]
N17	VBO	1	1	281	94	0.159	0.83	0.160	0.78	0.115	-0.071	0.00
N35			7	375		0.027		0.035		0.115	-0.095	0.45
N19		2	1	382	74	0.163	0.82	0.164	0.76	0.183	-0.100	0.00
N36			7	456		0.030		0.040		0.183	-0.111	0.45
N11		3	1	466	72	0.164	0.81	0.165	0.75	0.244	-0.128	0.00
N31			7	538		0.031		0.041		0.244	-0.128	0.46
N21		4	1	540	75	0.164	0.81	0.170	0.73	0.303	-0.166	0.00
N37			7	615		0.031		0.046		0.303	-0.166	0.45
N23	LBE	1	1	346	146	0.097	0.76	0.097	0.69	0.058	-0.112	0.00
N38			7	492		0.023		0.030		0.084	-0.112	0.41
N25		2	1	490	148	0.096	0.77	0.096	0.68	0.076	-0.170	0.00
N39			7	638		0.022		0.031		0.085	-0.170	0.41
N27		3	1	605	147	0.097	0.77	0.101	0.73	0.089	-0.214	0.00
N40			7	752		0.022		0.027		0.098	-0.214	0.42
N29		4	1	703	148	0.097	0.76	0.101	0.76	0.098	-0.252	0.00
N41			7	851		0.023		0.024		0.099	-0.252	0.42

Uit Tabel 12 volgt dat de piekwaarde van de overvulling en de piekwaarde van de overlediging quasi gelijk is voor de 4 beproefde vervallen, zowel voor het scenario waarbij de schuiven open blijven (scenario 1) als voor het scenario waarbij de hefschuiven van de lange en korte omloopriool gedeeltelijk gesloten worden (scenario 8). Bij vullen via het bovenhoofd bedraagt bij het open blijven van de schuiven de piekwaarde van de overvulling 0.16 m, wanneer de schuiven gedeeltelijk gesloten worden op het einde van de nivellering wordt dit gereduceerd met ca. 82 % tot 0.03 m. Bij ledigen via het benedenhoofd bedraagt bij het openblijven van de schuiven de piekwaarde van de overlediging 0.10 m, wanneer de schuiven gedeeltelijk gesloten worden op het einde van de nivellering wordt dit gereduceerd met ca. 77 % tot 0.02 m. De toename van de nivelleertijd bij vullen bedraagt 75 s (verval 4.0 m) tot 94 s (verval 1.0 m). Bij ledigen bedraagt de toename van de nivelleertijd 146 s (verval 1.0 m) tot 148 s (verval 4.0 m). Het verschil tussen vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd wordt verklaard door de grotere hydraulische verliezen bij ledigen. Voor ledigen benedenhoofd kan het wenselijk zijn om nog een scenario te simuleren waarbij de hefschuiven gesloten worden bij een restverval kleiner dan 0.50 m. De invloed op het extremum van de langshelling is beperkt en het maximale verval over de hefschuiven is beperkt tot ca. 0.45 m.

5 Bijkomende simulaties

Op 8/09/2017 werden de resultaten van hoofdstuk 3 en hoofdstuk 4 besproken op een overleg met aMT en HA. Op dit overleg werd besloten om het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool in situ te implementeren. Het volledig sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool aan het einde van de nivellering ten opzichte van het gedeeltelijk sluiten van de hefschuiven in de korte en lange omloopriool wordt omwille van volgende redenen preferentieel beschouwd:

- Het volledig sluiten van de hefschuiven is technisch eenvoudiger implementeerbaar dan het gedeeltelijk sluiten.
- Het werken met een tussenstop is nadelig voor de duurzaamheid.

Na een testperiode zal een evaluatie uitgevoerd worden waarbij ondermeer gekeken wordt naar de reductie van de overvulling/overlediging en de invloed op de piekstroom die optreedt tijdens het aandrijven van de roldeuren. Indien uit de resultaten volgt dat de gewenste reductie van de overvulling/overlediging nog niet bekomen is wordt mogelijks overgegaan tot het verder bekijken van het gedeeltelijk sluiten van de hefschuiven in beide omloopriolen.

Op dit overleg werd gevraagd om voor het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool aan het einde van de nivellering simulaties uit te voeren met een gewijzigde snelheid voor de hefschuiven, deze worden gerapporteerd in paragraaf 5.1. Ook werd gevraagd om de invloed van het variëren van het peil in het Deurganckdok en/of het buiten dienst zijn van een hefschuif in de korte omloopriool te begroten, deze simulaties worden gerapporteerd in paragraaf 5.2.

De resultaten worden in dit hoofdstuk in tabelvorm weergegeven. In bijlage B wordt per simulatie een grafiek gegeven met de variatie in de tijd van het kolkpeil, het debiet, de hefhoogte van de hefschuiven, de langshelling, het verval over de hefschuiven, de snelheid onder de hefschuiven, en het peil opwaarts en afwaarts van de hefschuiven.

5.1 Sluiten hefschuiven lange omloopriool

In paragraaf 4.1 wordt voor het sluiten van de hefschuiven een snelheid 0.0455 m/s en 0.117 m/s beschouwd. Uit de simulaties volgde dat een tragere snelheid voordeliger is. Met het huidige systeem bedraagt de minimale snelheid tijdens sluiten 0.066 m/s. Door de opdrachtgever werd gevraagd om nieuwe simulaties uit te voeren met deze snelheid. Analoog als bij paragraaf 4.1 wordt initieel een vulling via het bovenhoofd gesimuleerd met een verval 3.0 m en verschillende restvervallen waarbij gestart wordt met het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool. Hiervoor werd een restverval 0.50 m, 0.40 m en 0.30 m beschouwd. Op vraag van aMT werd bijkomend nog een restverval 0.35 m beschouwd. Een overzicht van de beschouwde scenario's wordt gegeven in Tabel 13. De uit de simulaties volgende nivelleertijd, de piekwaarde van de overvulling zowel ten opzichte van het gemiddeld kolkpeil als ten opzichte van de te openen roldeur, het positieve en negatieve extremum van de end-to-end langshelling in de kolk en het maximale verval over de hefschuiven tijdens sluiten wordt gerapporteerd in Tabel 14.

Tabel 13 – Scenario's sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s

simulatie	scenario	start sluiten bij restverval	snelheid sluiten schuiven
[-]	[-]	[m]	[m/s]
N11	1	/ ^[1]	/ ^[1]
N42	11	0.50	0.066
N43	12	0.40	0.066
N60	14	0.35	0.066
N44	13	0.30	0.066

^[1] In dit scenario worden de schuiven niet gesloten naar het einde van de nivellering toe.

Tabel 14 – Resultaten simulaties vullen bovenhoofd met een verval 3.0 m bij sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s

simulatie	scenario	nivelleertijd		piekwaarde overvulling				extr. langshelling		max. verval schuif	max. snelheid onder schuif
				gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.		
[-]	[-]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [%]	[m]	Δ [%]	[‰]	[‰]	[m]	[m/s]
N11	1	466	/	0.164	/	0.165	/	0.244	-0.128	0.00	5.27
N42	11	511	45	0.072	0.56	0.088	0.47	0.244	-0.143	0.95	5.27
N43	12	490	24	0.075	0.54	0.087	0.47	0.244	-0.136	0.84	5.27
N62	14	477	11	0.083	0.49	0.081	0.51	0.244	-0.128	0.76	5.27
N44	13	471	5	0.089	0.46	0.092	0.44	0.244	-0.128	0.68	5.27

Uit Tabel 14 volgt dat het sluiten van de hefschuiven van de lange omloopriool aan het einde van de nivellering met een snelheid 0.066 m/s zorgt voor een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 44 tot 56 %. Het verschil tussen de piekwaarde van de overvulling bepaald op basis van het gemiddeld kolkpeil en de piekwaarde van de overvulling bepaald ten opzichte van de te openen roldeur is 0.01 m tot 0.02 m. De toename van de nivelleertijd bedraagt 45 s bij een restverval 0.5 m, 24 s bij een restverval 0.40 m, 11 s bij een restverval 0.35 m en 5 s bij een restverval 0.30 m. Het sluiten van de hefschuiven bij een restverval 0.50 m en 0.40 m zorgt voor een beperkte toename van het negatieve extremum van de langshelling. Bij het sluiten van de hefschuiven bedraagt het maximale waterdrukverschil over de hefschuiven in de lange omloopriool 0.68 m (bij sluiten vanaf een restverval 0.3 m) tot 0.95 m (bij sluiten vanaf een restverval 0.5 m). Uit de simulaties volgt dat de maximale snelheid onder de hefschuiven 5.27 m/s bedraagt. Deze maximale snelheid treedt op tijdens het openen van de hefschuiven.

Op basis van deze resultaten werd besloten om scenario 12, het sluiten van de hefschuiven met een snelheid 0.066 m/s bij een restverval 0.40 m, te weerhouden. Uit de simulaties volgt dat de impact op de nivelleertijd slechts 24 s bedraagt en dat de piekwaarde van de overvulling gereduceerd wordt met ca. 50 %. Op vraag van aMT werd vervolgens bijkomend nog scenario 14 gesimuleerd waarbij de hefschuiven gesloten worden vanaf een restverval 0.35 m. Dit scenario zorgt voor een toename van de nivelleertijd met slechts 11 s en reduceert de piekwaarde van de overvulling eveneens met ca. 50 % tot ca. 0.08 m.

Voor scenario 12 en scenario 14 wordt vervolgens ook vullen bovenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m en 4.0 m en ledigen benedenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 4.0 m gesimuleerd. De uit de simulaties volgende nivelleertijd, de piekwaarde van de overvulling zowel ten opzichte van het gemiddeld kolkpeil als ten opzichte van de te openen roldeur, het positieve en negatieve extremum van de end-to-end langshelling in de kolk en het maximale verval over de hefschuiven tijdens sluiten worden gerapporteerd in Tabel 15.

Tabel 15 – Resultaten simulaties vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd
bij sluiten hefschuiven lange omloopriool met snelheid 0.066 m/s vanaf een restverval 0.40 m en 0.35 m

simu latie	type [1]	verval	scenario	nivelleertijd		piekwaarde overvulling/overlediging				extr. langshelling		max. verval schuif
						gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur		pos.	neg.	
[-]	[-]	[m]	[-]	[s]	$\Delta^{[2]}$ [s]	[m]	[m]	[m]	Δ [-]	[%]	[%]	[m]
N17	VBO	1	1	281	/	0.159	/	0.160	/	0.115	-0.071	0.00
N45			12	307	26	0.074	0.53	0.084	0.48	0.115	-0.093	0.83
N60			14	297	16	0.080	0.50	0.089	0.44	0.115	-0.104	0.77
N19		2	1	382	/	0.163	/	0.164	/	0.183	-0.100	0.00
N46			12	405	23	0.076	0.53	0.086	0.48	0.183	-0.122	0.83
N61			14	393	11	0.081	0.50	0.084	0.49	0.183	-0.115	0.76
N11		3	1	466	/	0.164	/	0.165	/	0.244	-0.128	0.00
N43			12	490	24	0.075	0.54	0.087	0.47	0.244	-0.136	0.84
N62			14	477	11	0.083	0.49	0.081	0.51	0.244	-0.128	0.76
N21		4	1	540	/	0.164	/	0.170	/	0.303	-0.166	0.00
N47			12	560	20	0.077	0.53	0.092	0.46	0.303	-0.166	0.84
N63			14	551	11	0.080	0.51	0.089	0.48	0.303	-0.166	0.77
N23	LBE	1	1	346	/	0.097	/	0.097	/	0.058	-0.112	0.00
N48			12	453	107	0.034	0.65	0.043	0.56	0.096	-0.112	0.94
N64			14	427	81	0.035	0.64	0.039	0.60	0.081	-0.112	0.86
N25		2	1	490	/	0.096	/	0.096	/	0.076	-0.170	0.00
N49			12	594	104	0.035	0.64	0.048	0.50	0.113	-0.170	0.94
N65			14	572	82	0.034	0.65	0.044	0.54	0.099	-0.170	0.87
N27		3	1	605	/	0.097	/	0.101	/	0.089	-0.214	0.00
N50			12	700	95	0.035	0.64	0.035	0.65	0.092	-0.214	0.91
N66			14	687	82	0.035	0.64	0.043	0.57	0.089	-0.214	0.85
N29		4	1	703	/	0.097	/	0.101	/	0.098	-0.252	0.00
N51			12	799	96	0.034	0.65	0.043	0.57	0.098	-0.252	0.91
N67			14	777	74	0.035	0.64	0.049	0.51	0.108	-0.252	0.85

[1] VBO = Vullen BovenHoofd / LBE = Ledigen BenedenHoofd

[2] Toename van nivelleertijd ten opzichte van scenario 1.

Uit Tabel 15 volgt dat de piekwaarde van de overvulling en de piekwaarde van de overlediging quasi onafhankelijk zijn van het verval. Zowel voor het scenario waarbij de schuiven open blijven (scenario 1) als de scenario's waarbij de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten worden (scenario 12 en scenario 14). Bij vullen via het bovenhoofd bedraagt bij het open blijven van de schuiven de piekwaarde van de overvulling 0.16 m. Wanneer de schuiven in de lange omloopriool gesloten worden aan het einde van de nivellering volgens scenario 12 of scenario 14 wordt dit gereduceerd met ca. 50 % tot 0.08 m. Bij ledigen via het benedenhoofd bedraagt bij het open blijven van de schuiven de piekwaarde van de overvulling 0.10 m, wanneer de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten worden op het einde van de nivellering wordt dit gereduceerd met ca. 65 % tot 0.03 m. Het verschil in de piekwaarde van de overvulling is beperkt tussen scenario 12 en scenario 14. De toename van de nivelleertijd bedraagt 10 s tot 26 s bij vullen en 74 s tot 107 s bij ledigen. In het geval van scenario 14 waar de hefschuiven in de lange omloopriool gesloten worden bij een restverval 0.35 m is de nivelleertijd ca. 10 s korter bij vullen en ca. 20 s korter bij ledigen ten opzichte van scenario 12 waar de hefschuiven in de lange omloopriool gesloten worden bij een restverval 0.40 m. Uit de simulaties volgt dat er geen toename is van het extremum van de langskracht. Het maximale verval over de hefschuif varieert tussen 0.76 m en 0.94 m afhankelijk van het type nivellering en het gekozen scenario.

5.2 Invloed variatie peil Deurganckdok en invloed buiten dienst zijn van één schuif

Bijkomend werd gevraagd naar de invloed van een variërend peil in het Deurganckdok en de invloed van het buiten dienst zijn van één schuif. Hiervoor werden bijkomende simulaties uitgevoerd voor ledigen via het benedenhoofd met een verval 3 m. Voor de simulaties werden een dalend, een constant en een stijgend peil in het Deurganckdok beschouwd. Deze simulaties worden uitgevoerd voor de situatie met alle hefschuiven in dienst en de situatie met 1 hefschuif in de korte omloopriool buiten dienst. Voor de openingswet van de hefschuiven werd scenario 1 (open blijven schuiven), scenario 12 (sluiten hefschuiven lange omloopriool met een snelheid 0.066 m/s bij een restverval 0.40 m) en scenario 14 (sluiten hefschuiven lange omloopriool met een snelheid 0.066 m/s bij een restverval 0.35 m) beschouwd.

Een representatieve snelheid voor het dalen en stijgen van het peil in het Deurganckdok werd afgeleid uit de analyses van de stijgsnelheid van het waterpeil in het Deurganckdok uitgevoerd in het kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis (De Mulder *et al.*, 2010b). Deze analyse is overgenomen in bijlage C. Op basis van de grafieken in bijlage C wordt een ondergrens voor de stijgsnelheid van -0.35 mm/s beschouwd en een bovengrens voor de stijgsnelheid van 0.60 m/s beschouwd.

De resultaten van de simulaties met alle hefschuiven in dienst en dalend, een constant en een stijgend peil in het Deurganckdok worden gegeven in Tabel 16.

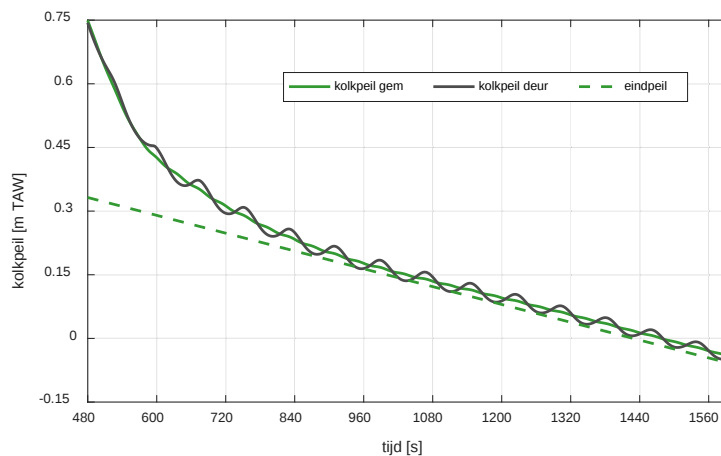
Tabel 16 – Invloed variatie peil Deurganckdok bij ledigen via het benedenhoofd

simulatie	scenario	schuif buiten dienst	stijgsnelheid peil Deurganckdok	nivelleertijd		piekwaarde overlediging			
						gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur	
[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [-]	[m]	Δ [-]
N27	1	/	0	605	/	0.097	/	0.101	/
N50	12	/		700	95	0.035	0.64	0.035	0.65
N66	14	/		687	82	0.035	0.64	0.043	0.57
N54	1	/	-0.35	661	/	0.061	/	0.063	/
N55	12	/		917*	256	/	/	/	/
N68	14	/		860*	199	/	/	/	/
N57	1	/	0.60	534	/	0.156	/	0.156	/
N58	12	/		536	2	0.115	0.26	0.113	0.28
N69	14	/		534	0	0.125	0.20	0.133	0.15

^[1] Op basis van een restverval 0.017 m

Uit Tabel 16 volgde dat het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool volgens scenario 12 respectievelijk scenario 14 bij ledigen via het benedenhoofd met een verval 3.0 m en een constant peil in het Deurganckdok resulteert in een toename van de nivelleertijd met 95 s respectievelijk 82 s. Bij een stijging van het peil in het Deurganckdok met 0.60 mm/s is er zowel voor scenario 12 als voor scenario 14 geen invloed op de nivelleertijd. Bij een daling van het peil in het Deurganckdok met 0.35 mm/s onderschrijdt het kolkpeil op het einde van de nivellering het peil in het Deurganckdok niet. In Figuur 8 wordt voor simulatie N55 (ledigen benedenhoofd met een dalend Scheldepeil en scenario 12) het kolkpeil en het peil in het Deurganckdok gegeven op het einde van de nivellering. Merk hierin op dat het gemiddeld kolkpeil het peil in het Deurganckdok niet onderschrijdt maar dat er een geleidelijke overgang is naar een constant restverval. Door het open blijven van de korte omloopriool zal de kolk blijven nivelleren met het dalend peil in het Deurganckdok. Dit nivelleren resulteert in een debiet en dus een verval. Bij een met 0.35 mm/s dalend peil in het Deurganckdok en de korte omloopriool met beide schuiven in dienst bedraagt dit restverval 0.017 m. De nivelleertijd gegeven in de tabel betreft het eerste tijdstip waarop dit restverval van 0.017 m onderschreden wordt. De toename van de op deze wijze berekende nivelleertijd bedraagt 256 s bij scenario 12 en 199 s bij scenario 14. Bemerk dat bij een afname van het peil in het Deurganckdok met 0.35 mm/s en het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool volgens scenario 12 of scenario 14 er geen overlediging optreedt. Bij een toename van het peil in het Deurganckdok met 0.60 mm/s neemt de piekwaarde van de overlediging toe van 0.10 m naar 0.16 m bij scenario 1. Bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool volgens scenario 12 respectievelijk scenario 14 bij een met 0.60 mm/s stijgend peil in het Deurganckdok neemt de overlediging af met 20 à 26 % (0.16 m naar 0.12 m).

Figuur 8 – Simulatie N55 – kolkpeil en peil Deurganckdok bij einde nivellering



Vervolgens werd nagegaan wat de invloed is van het buiten dienst zijn van één hefschuif in de korte omloopriool wanneer de hefschuiven van de lange omloopriool op het einde van de nivellering gesloten worden volgens scenario 12 en scenario 14. De resultaten hiervan worden gegeven in Tabel 17.

Tabel 17 – Invloed variatie peil Deurganckdok en buiten dienst zijn van een hefschuif

simulatie	scenario	schuif buiten dienst	stijgsnelheid peil Deurganckdok	nivelleertijd		piekwaarde overlediging			
						gemiddeld kolkpeil		ten opzichte van deur	
[-]	[-]	[-]	[mm/s]	[s]	Δ [s]	[m]	Δ [-]	[m]	Δ [-]
N70	1	3	0	689	/	0.089	/	0.09	/
N53	12	3		873	184	0.025	0.72	0.032	0.64
N71	14	3		843	154	0.026	0.71	0.028	0.69
N72	1	3	-0.35	767	/	0.05	/	0.053	/
N56	12	3		1351*	584	/	/	/	/
N73	14	3		1287*	520	/	/	/	/
N74	1	3	0.60	598	/	0.154	/	0.153	/
N59	12	3		643	45	0.104	0.32	0.111	0.27
N75	14	3		630	32	0.105	0.32	0.115	0.25

^[1] Op basis van een restverval 0.029 m

Uit Tabel 17 volgt dat bij een constant peil in het Deurganckdok en het buiten dienst zijn van één hefschuif in de korte omloopriool de nivelleertijd met 184 s toeneemt bij het toepassen van scenario 12 en met 154 s toeneemt bij het toepassen van scenario 14. Merk op dat deze toename ca. het dubbele bedraagt van de toename van de nivelleertijd bij het in dienst zijn van alle hefschuiven (zie Tabel 16). Bij een stijging van het peil in het Deurganckdok met 0.60 mm/s is de toename van de nivelleertijd beperkt namelijk 45 s bij scenario 12 en 32 s bij scenario 14. Bij een daling van het peil in het Deurganckdok met 0.35 mm/s onderschrijdt het kolkpeil het peil in het Deurganckdok niet. Na uitdempen van de fluctuaties bedraagt het restverval 0.029 m. Merk op dat door het gesloten zijn van één hefschuif in de korte omloopriool de hydraulische weerstand hoger is waardoor ook het restverval hoger is ten opzichte van de simulatie waarbij alle schuiven in dienst zijn (0.029 m t.o.v. 0.017 m). De nivelleertijd gegeven in de tabel betreft het eerste tijdstip waarop dit restverval van 0.029 m onderschreden wordt. De toename van de op deze wijze berekende nivelleertijd bedraagt 584 s bij scenario 12 en 520 s bij scenario 14.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In kader van het ontwerp van de Kieldrechtsluis werd door het Waterbouwkundig Laboratorium (WL) een hydraulisch netwerkmodel opgesteld van het nivelleersysteem en de sluisolk. Hierbij werden de richtingsafhankelijke verliezen van de uitstroomconstructie in de sluisolk initieel overgenomen van een analoge uitstroomconstructie voor de Berendrechtsluis. Deze verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie voor de Berendrechtsluis was hierbij bepaald aan de hand van de kalibratie van een analoog hydraulisch netwerkmodel voor de Berendrechtsluis gebruik makend van waterstandsmetingen.

Door het Havenbedrijf Antwerpen (HA) zijn in de Kieldrechtsluis eenzijdige nivelleringen uitgevoerd, i.e. nivelleringen met enkel de korte of de lange omloopriool in gebruik. Deze eenzijdige nivelleringen maken het mogelijk om zowel de verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie van de korte als van de lange omloopriool te bepalen in zowel de positieve (vullen) als de negatieve (ledigen) stroomrichting. Bij ledigen is er een goede overeenkomst tussen het model en de metingen. Om voor vullen een goede overeenkomst tussen het model en de metingen te bekomen moeten de hydraulische verliezen van de uitstroomconstructie gehalveerd worden (zowel bij de lange als bij de korte omloopriool). Aangezien de hydraulische verschillen tussen de Kieldrechtsluis en Berendrechtsluis beperkt zijn heeft WL hiervoor geen verklaring. Het is ook opmerkelijk dat de overeenkomst goed tot zeer goed is voor ledigen maar minder goed voor vullen.

Na deze kalibratie van het hydraulisch netwerkmodel werd een validatie uitgevoerd met de opgemeten tweezijdige nivelleringen. Uit de validatie volgt dat het aangepast hydraulisch netwerkmodel een goede overeenkomst vertoont met de metingen op vlak van nivelleerkromme en debietskromme. Ook voor de overvulling en overlediging is de overeenkomst op vlak van kolkpeil en debiet behoorlijk. De gesimuleerde piekwaarde van de overvulling/overlediging zijn 0.02 m tot 0.05 m hoger dan de opgemeten waarden.

Met dit gekalibreerde model werden simulaties uitgevoerd voor vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd met een verval 1.0 m, 2.0 m, 3.0 m en 4.0 m. Het peil in de Waaslandhaven bedroeg hierbij +3.50 m TAW. Analoog als bij de metingen uitgevoerd op 30/3/2017 werd deurcombinatie 24 toegepast en er bevond zich geen schip in de kolk. Uit de metingen volgt dat de piekwaarde van de overvulling bij vullen via het bovenhoofd 0.16 m bedraagt en de piekwaarde van de overlediging bij ledigen via het benedenhoofd 0.10 m bedraagt. Deze piekwaarden van overvulling/overlediging zijn quasi gelijk voor de 4 gesimuleerde vervallen.

Door middel van simulaties wordt getracht om de overvulling te reduceren door het sluiten van de hefschuiven bij een gegeven restverval. Voor de hefschuifsnelheid werd de snelheid bepaald uit de metingen. Bij openen van de schuiven werd een hefschuifsnelheid 0.0455 m/s afgeleid uit de metingen en bij sluiten van de schuiven werd een hefschuifsnelheid 0.117 m/s afgeleid uit de metingen. Het sluiten van de hefschuiven terwijl het water nog stroomt kan ongewenste krachten op de hefschuif en een toename van de waterspiegelhellingen in de kolk veroorzaken. Om dit te reduceren kan het aanbevolen zijn om de schuiven te sluiten met een tragere snelheid dan de huidige.

Voor het reduceren van de overvulling/overlediging door het sluiten van de hefschuiven zijn een eerste set simulaties uitgevoerd waarbij de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten werden bij een gegeven restverval. Bij deze simulaties werd een restverval 1.0 m, 0.5 m en 0.25 m bij het begin van sluiten van de schuiven beschouwd en de snelle en trage hefschuifsnelheid. Deze scenario's werden gesimuleerd voor een vulling via het bovenhoofd met een verval 3.0 m. Uit deze simulaties volgt dat door het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool de piekwaarde van de overvulling gereduceerd kan worden met 50 % tot 60 %. De toename van de nivelleertijd bedraagt 12 s tot 173 s.

Op basis van de resultaten werd besloten om een scenario waarbij de hefschuiven van de lange omloopriool gesloten worden bij een restverval 0.50 m met een hefschuifsnelheid 0.0455 m/s te beschouwen voor het simuleren van de overige scenario's voor vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd. Met dit scenario volgt voor vullen bovenhoofd een toename van de nivelleertijd met 12 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 50 % (0.16 m naar 0.08 m) voor de 4 gesimuleerde vervallen. Voor ledigen benedenhoofd volgt een toename van de nivelleertijd met 90 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 65 % (0.10 m naar 0.03 m) voor de 4 gesimuleerde vervallen.

Voor de tweede set simulaties werd getracht om de overvulling/overlediging te reduceren door het gedeeltelijk sluiten van de hefschuiven in de korte en de lange omloopriool bij een gegeven restverval. Voor de hefschuifsnelheid 0.0455 m/s werd een restverval 0.50 m beschouwd en voor de hefschuifsnelheid 0.117 m/s werd een restverval 0.25 m beschouwd. Voor beide hefschuifsnelheden werd een sluiting van de hefschuiven tot een hefhoogte 50 % (3.5 m) en 30 % (2.1 m) van de rioolhoogte (7.0 m) beschouwd. Deze scenario's werden gesimuleerd voor een vulling via het bovenhoofd met een verval 3.0 m. Uit de simulaties volgt dat bij het sluiten van de hefschuiven tot een hoogte 50 % de nivelleertijd toeneemt met 17 s tot 30 s en de piekwaarde van de overvulling gereduceerd wordt met ca. 50 %. Bij het sluiten van de hefschuiven tot 30 % neemt de nivelleertijd toe met ca. 70 s en reduceert de piekwaarde van de overvulling met 80 %. Op basis van de resultaten werd besloten om een scenario waarbij de hefschuiven van de korte en de lange omloopriool gesloten worden bij een restverval 0.50 m met een hefschuifsnelheid 0.0455 m/s tot een hefhoogte 30 % te beschouwen voor het simuleren van de overige scenario's voor vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd.. Voor vullen bovenhoofd volgt voor de 4 gesimuleerde vervallen een toename van de nivelleertijd met 72 s tot 94 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 80 % (0.16 m naar 0.03 m). Voor ledigen benedenhoofd volgt voor de 4 gesimuleerde vervallen een toename van de nivelleertijd met 146 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 76 % (0.10 m naar 0.02 m).

Beide set simulaties werden besproken op een overleg met aMT en HA. Op dit overleg werd besloten om de eerste set simulaties waarbij de hefschuiven in de lange omloopriolen volledig gesloten worden naar het einde van de nivellering te weerhouden. Gevraagd werd om bijkomende simulaties uit te voeren met een gewijzigde snelheid van de hefschuiven gelijk aan 0.066 m/s. Voor de hefschuifsnelheid 0.066 m/s werd een restverval bij sluiten van de hefschuiven gelijk aan 0.50 m, 0.40 m, 0.35 m en 0.30 m beschouwd. Deze scenario's werden gesimuleerd voor een vulling via het bovenhoofd met een verval 3.0 m. Uit de simulaties volgt dat bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool de nivelleertijd toeneemt met 5 s tot 45 s en de piekwaarde van de overvulling gereduceerd wordt met 44 % tot 56 %. Op basis van de resultaten werd besloten om de scenario's waarbij de hefschuiven in de lange omloopriool gesloten worden bij een restverval 0.40 m en 0.35 m te beschouwen voor het simuleren van de overige vervallen voor vullen bovenhoofd en ledigen benedenhoofd. Voor vullen bovenhoofd volgt voor de 4 gesimuleerde vervallen een toename van de nivelleertijd met 11 s tot 26 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met ca 50 % (0.16 m naar 0.08 m). Voor ledigen benedenhoofd volgt voor de 4 gesimuleerde vervallen een toename van de nivelleertijd met 82 s tot 107 s en een reductie van de piekwaarde van de overvulling met 65 % (0.10 m naar 0.03 m). De nivellering is bij vullen ca 10 s sneller en bij ledigen ca. 20 s sneller wanneer de hefschuiven gesloten worden bij een restverval 0.35 m in plaats van 0.40 m. Het verschil op de piekwaarde van de overvulling is beperkt.

Vervolgens werden nog simulaties uitgevoerd met een variërend peil in het Deurganckdok en/of het buiten dienst zijn van één hefschuif in de korte omloopriool. De simulaties werden uitgevoerd voor een lediging met het benedenhoofd met een verval 3.0 m. Voor de variatie van het peil in het Deurganckdok werd een daalsnelheid van 0.35 mm/s en een stijgsnelheid van 0.60 mm/s beschouwd. Uit de simulaties volgt dat de piekwaarde van de overvulling toeneemt bij een stijgend peil in het Deurganckdok en afneemt bij een dalend peil in het Deurganckdok. Bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool met een restverval en een dalend peil in het Deurganckdok onderschrijdt het kolkpeil op het einde van de nivellering het peil in het Deurganckdok niet.

Doordat het kolkpeil doorheen de korte omloopriool blijft nivelleren met het dalend peil in het Deurganckdok evolueert het peilverschil tussen kolk en Deurganckdok naar een constante waarde. Het restverval horende bij een met 0.35 mm/s dalend peil in het Deurganckdok bedraagt 0.017 m. De nivelleertijd voor ledigen benedenhoofd met het sluiten van de hefschuiven naar het einde van de nivellering wordt vervolgens berekend op basis van dit restverval. Hieruit volgt dat de nivelleertijd met 256 s toeneemt bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool bij een restverval 0.40 m en met 199 s toeneemt bij het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool bij een restverval 0.35 m. Bij een stijgend peil in het Deurganckdok heeft het sluiten van de hefschuiven in de lange omloopriool bij een restverval 0.35 m en 0.40 m geen invloed op de nivelleertijd. Wanneer één hefschuif in de korte omloopriool buiten dienst is en het peil in het Deurganckdok constant blijft neemt de nivelleertijd met 184 s (154 s) toe bij het sluiten van de hefschuiven bij een restverval 0.40 m (restverval 0.35 m). Indien het peil in het Deurganckdok met 0.35 mm/s daalt en één hefschuif in de korte omloopriool buiten dienst is onderschrijdt het kolkpeil het peil van het Deurganckdok niet. Het restverval evolueert naar een constante waarde van 0.029 m. Wanneer de nivelleertijd berekend wordt ten opzichte van dit restverval neemt de nivelleertijd toe met 584 s (520 s) bij het sluiten van de hefschuiven bij een restverval 0.40 m (restverval 0.35 m). Indien het peil in het Deurganckdok met 0.60 mm/s stijgt en één hefschuif in de korte omloopriool buiten dienst is bedraagt de toename van de nivelleertijd 32 s (45 s) bij het sluiten van de hefschuiven bij een restverval 0.40 m (restverval 0.35 m).

6.2 Aanbevelingen

Voor het verklaren van het grote verschil in verliescoëfficiënt van de uitstroomconstructie bij ledigen tussen de Berendrechtsluis en Kieldrechtsluis verdient het aanbeveling om met de Kieldrechtsluis en de Berendrechtsluis nieuwe eenzijdige nivelleringen uit te voeren. Bij deze nieuwe eenzijdige nivelleringen dient zowel met het bovenhoofd als met het benedenhoofd gevuld en geledigd te worden. Dit maakt het mogelijk om de riolen van het bovenhoofd en het benedenhoofd afzonderlijk te kalibreren. Een groot verschil in de verliezen tussen het bovenhoofd en het benedenhoofd is te wijten aan bijkomende verliezen, bijvoorbeeld ten gevolge van een lokale reductie van de doorstroomsectie.

Indien een verdere validatie van het model naar overvullen en overledigen gewenst is verdient het de aanbeveling om de eenzijdige nivelleren op nieuw uit te voeren en hierbij een voldoende lange periode (minimum de periode van 1 overvulling en ondervulling respectievelijk 1 overlediging en onderlediging) te wachten alvorens de hefschuiven te sluiten of de deuren te openen. Dit maakt het mogelijk om het gedrag van de lange en korte omloopriool afzonderlijk te valideren. Ook ware het wenselijk om een vulling en lediging met beide omloopriolen uit te voeren waarbij langer gewacht wordt tot het openen van de deuren of sluiten van de schuiven (minimaal twee keer de periode van een overvulling en ondervulling respectievelijk een overlediging en onderlediging).

De beproefde scenario's werden geoptimaliseerd voor een vulling via het bovenhoofd. Het toepassen van deze scenario bij ledigen zorgt voor een grotere toename van de nivelleertijd. Het kan voordelig zijn om een verschillend scenario voor vullen en ledigen toe passen.

Het waterpeil in de Waaslandhaven/ het Deurganckdok ter plaatse van de deuren zal onderhevig zijn aan fluctuaties. Deze fluctuaties worden o.a. veroorzaakt door de schutgolven ten gevolge van het nivelleren en door scheepsvaart. Deze fluctuaties hebben niet alleen een invloed op het verval bij openen deuren maar ook op het kolkpeil. Bemerkt dat in de LOCKSIM simulaties hier geen rekening mee gehouden wordt. Indien na implementatie van de aangepaste sturing van de hefschuiven blijkt dat bij sommige nivelleringen nog hoge restvervallen optreden wordt aanbevolen om de optredende golfverschijnselen verder te bestuderen.

Het sluiten van de hefschuiven heeft een invloed op de langse waterspiegelhellingen in de kolk. Een aandachtspunt is dat de fase van de langse waterspiegelhelling op het ogenblik dat gestart wordt met het sluiten van de hefschuiven kan zorgen voor een versterking of verzwakking van de reeds aanwezige langse waterspiegelhelling in de kolk. Het verdient aanbeveling, om nadat een voorkeur scenario gekozen wordt, een gevoeligheidsstudie uit te voeren. De simulaties uitgevoerd in dit rapport zijn zonder schip in de kolk. Hierbij dient dan ook rekening gehouden te worden in deze bijkomende simulaties.

Indien in situ testmetingen uitgevoerd worden waarbij de schuiven gesloten worden bij een restverval kan het interessant zijn om terug de peilen op te meten op meerdere plaatsen in de kolk, analoog met de in oktober 2016 door WL uitgevoerde metingen. Hiermee kan dan de invloed van het sluiten van de hefschuiven op de langse waterspiegelhellingen in de kolk geanalyseerd worden. Door het opmeten van het peil in de noodspooningen opwaarts en afwaarts de hefschuiven en de stroomsnelheid afwaarts de hefschuiven kan de hydraulische kracht op de hefschuiven begroot worden.

7 Referenties

De Mulder, T.; Vercruysse, J.B. (2007). Tweede sluis Waaslandhaven: verslag van de meetcampagnes Berendrecht- en zandvlietsluis. *WL Rapporten*, 760/03A. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Mulder, T.; Vercruysse, J.B.; Cui, J.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2008). Tweede sluis Waaslandhaven: deelrapport 3. Verslag van bijkomende meetcampagne Berendrechtsluis. *WL Rapporten*, 760_03A. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Mulder, T.; Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2007). Tweede sluis Waaslandhaven: opmaak numeriek modelinstrumentarium voor vul- en ledigingssysteem. *WL Rapporten*, 760/03A-2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Mulder, T.; Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2010a). Tweede sluis Waaslandhaven: deelrapport 4. Aanpassing numeriek modelinstrumentarium voor vul- en ledigingssysteem. *WL Rapporten*, 760_03a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

De Mulder, T.; Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Mostaert, F. (2010b). Tweede sluis Waaslandhaven: deelrapport 5. Evaluatie van hydraulische performantie ontwerp vul- en ledigingssysteem. *WL Rapporten*, 760_03a. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Schohl G.A. (1998). User's Manual for LOCKSIM – Hydraulic simulation of navigation lock filling and emptying systems

Vercruysse, J.; Verelst, K.; Van Hoydonck, W.; Mostaert, F. (2017). Strategisch haveninfrastructuur project Zeebrugge: Hydraulisch ontwerp nivelleersysteem sluis met korte omloopriolen. Versie 3.0 *WL Rapporten*, 15_035_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; De Mulder, T.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2016). Haven van Antwerpen - Royerssluis: deelrapport 2. Hydraulisch ontwerp nivelleersysteem met omloopriolen in sluishoofden voor vernieuwde Royerssluis Versie 3.0. *WL Rapporten*, 12_131_2. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen. Versie 3.0., XI, 104 + 35 p. appendices pp.

Vercruysse, J.B.; Verelst, K.; Peeters, P.; Mostaert, F. (2017). Haven Antwerpen - Kieldrechtsluis: meting overvulling en overlediging Versie 4.0. *WL Rapporten*, 16_106_1. Waterbouwkundig Laboratorium: Antwerpen.

Bijlage A – Kalibratie

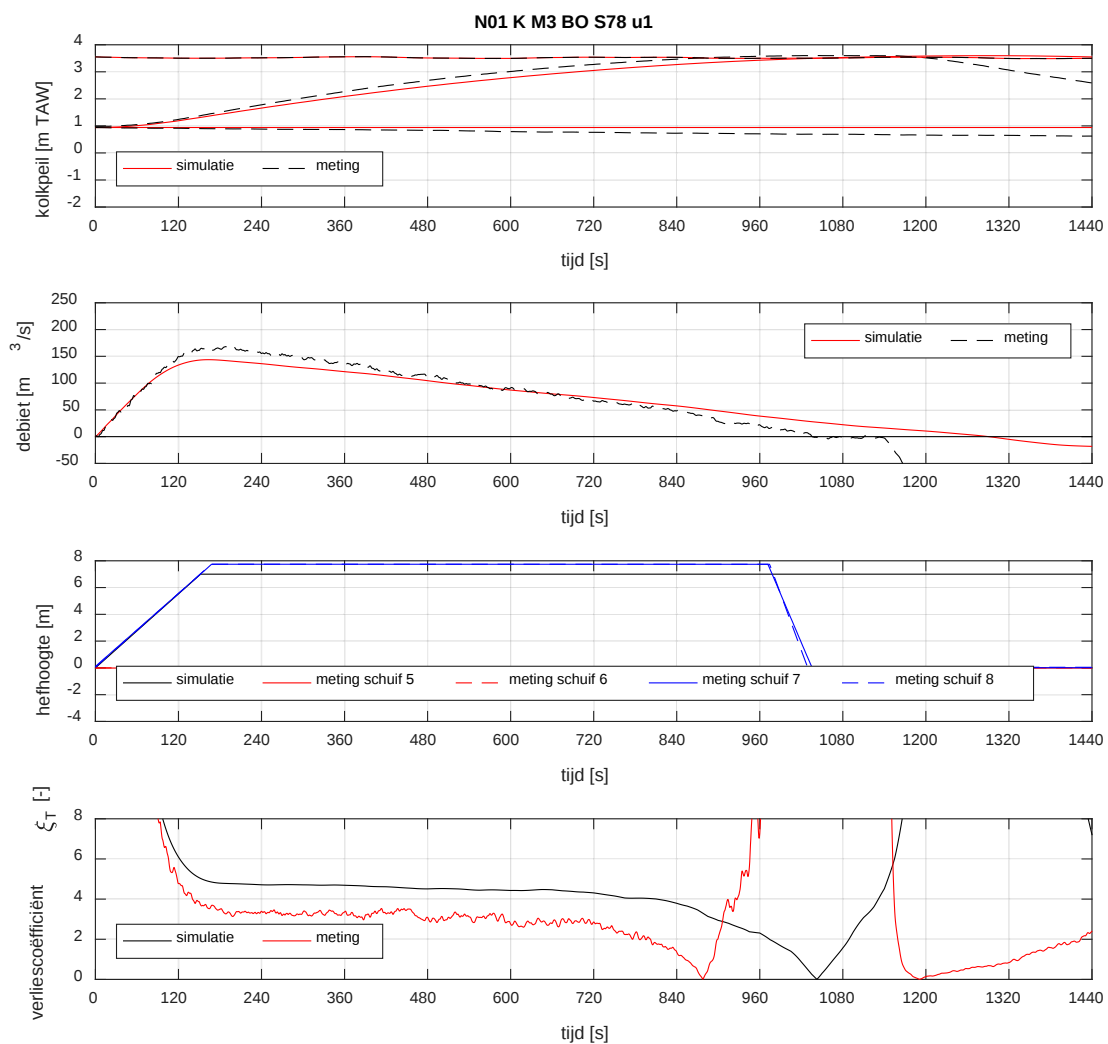
Voor de kalibratie worden simulaties uitgevoerd van de eenzijdige nivellering. Per uitgevoerde simulatie wordt in deze bijlage een figuur gegeven waarin de meting en simulatie vergeleken wordt op vlak van de variatie in de tijd van:

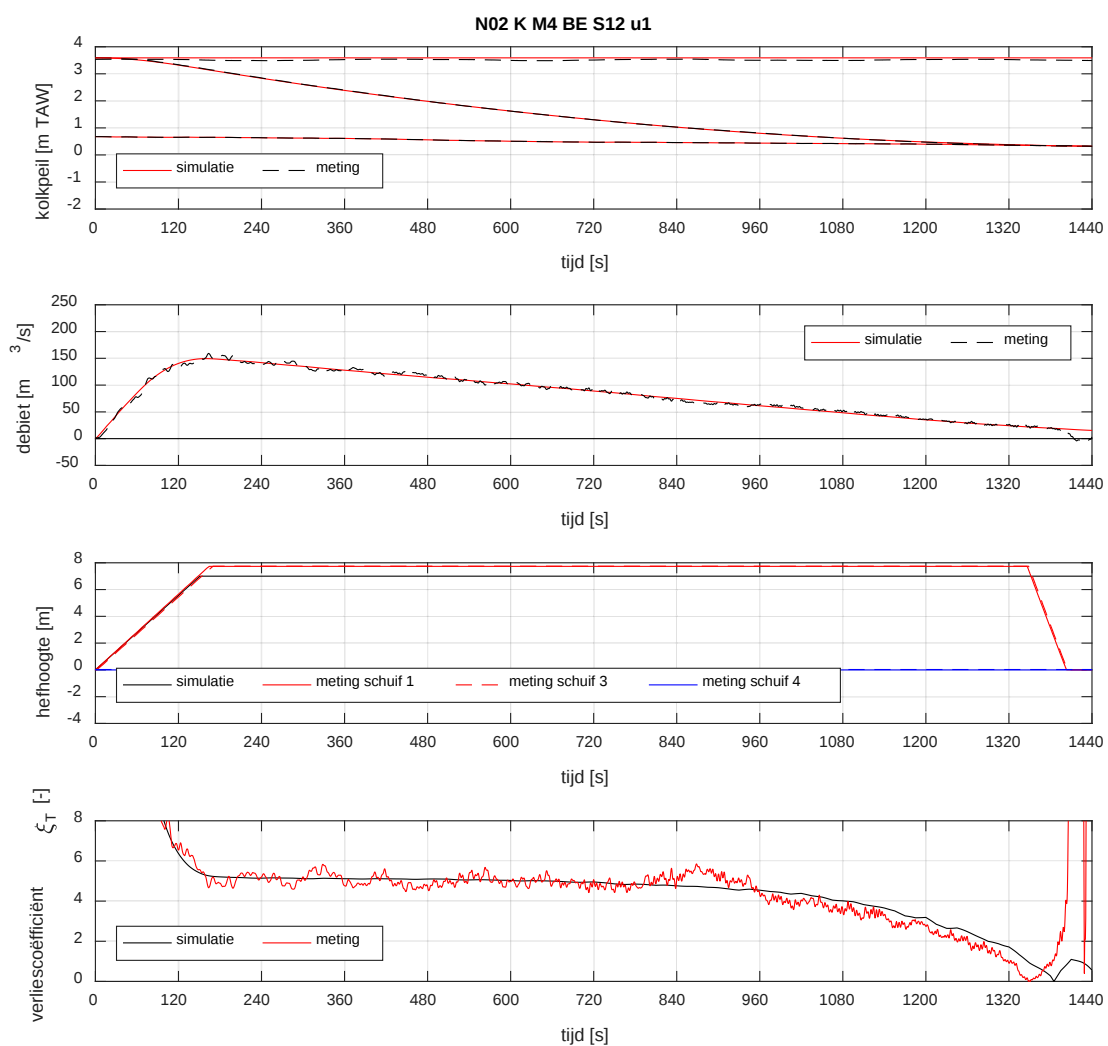
- het kolkpeil,
- het totale debiet,
- de positie van de hefschuiven,
- de totale verliescoëfficiënt.

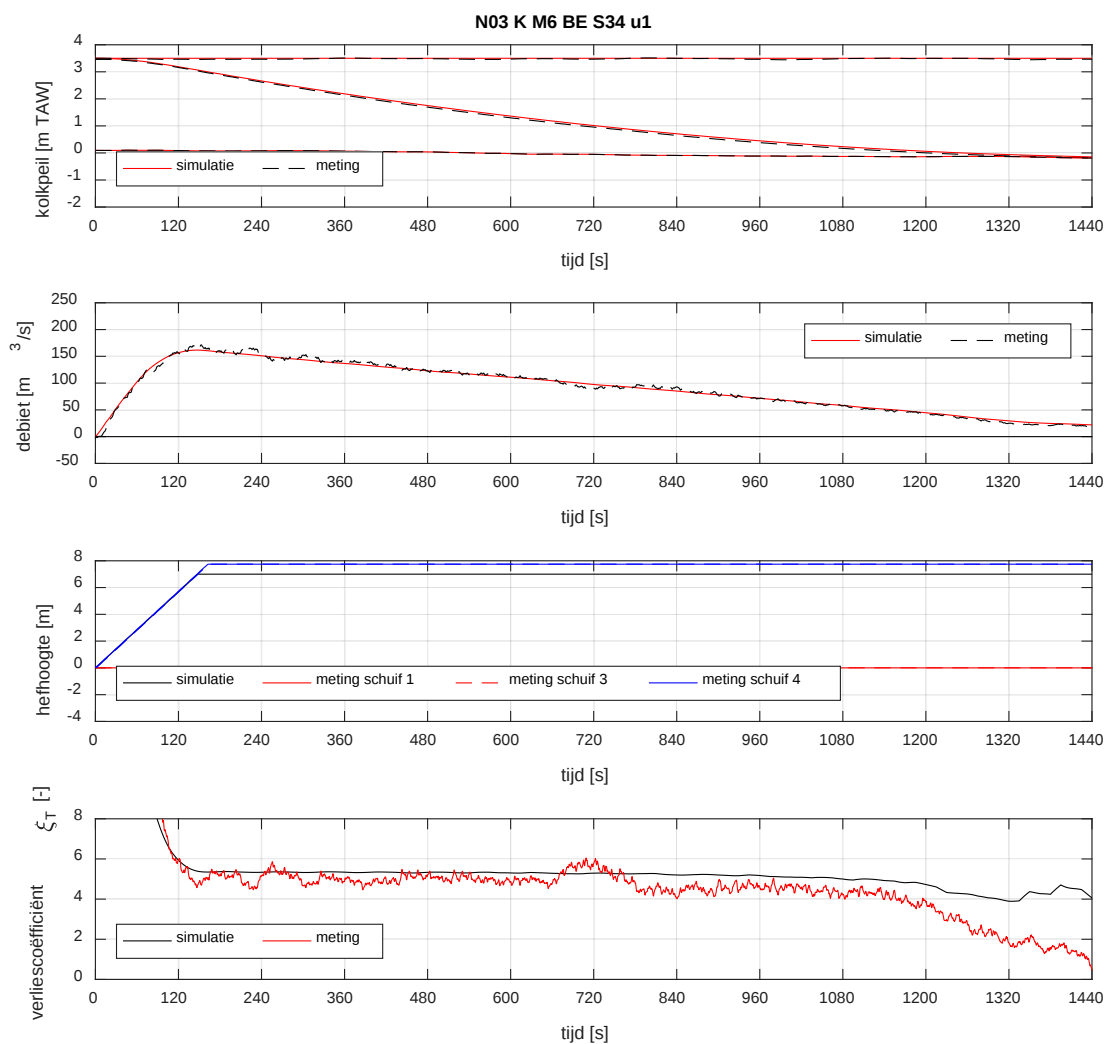
De simulaties worden aangeduid met volgende code:

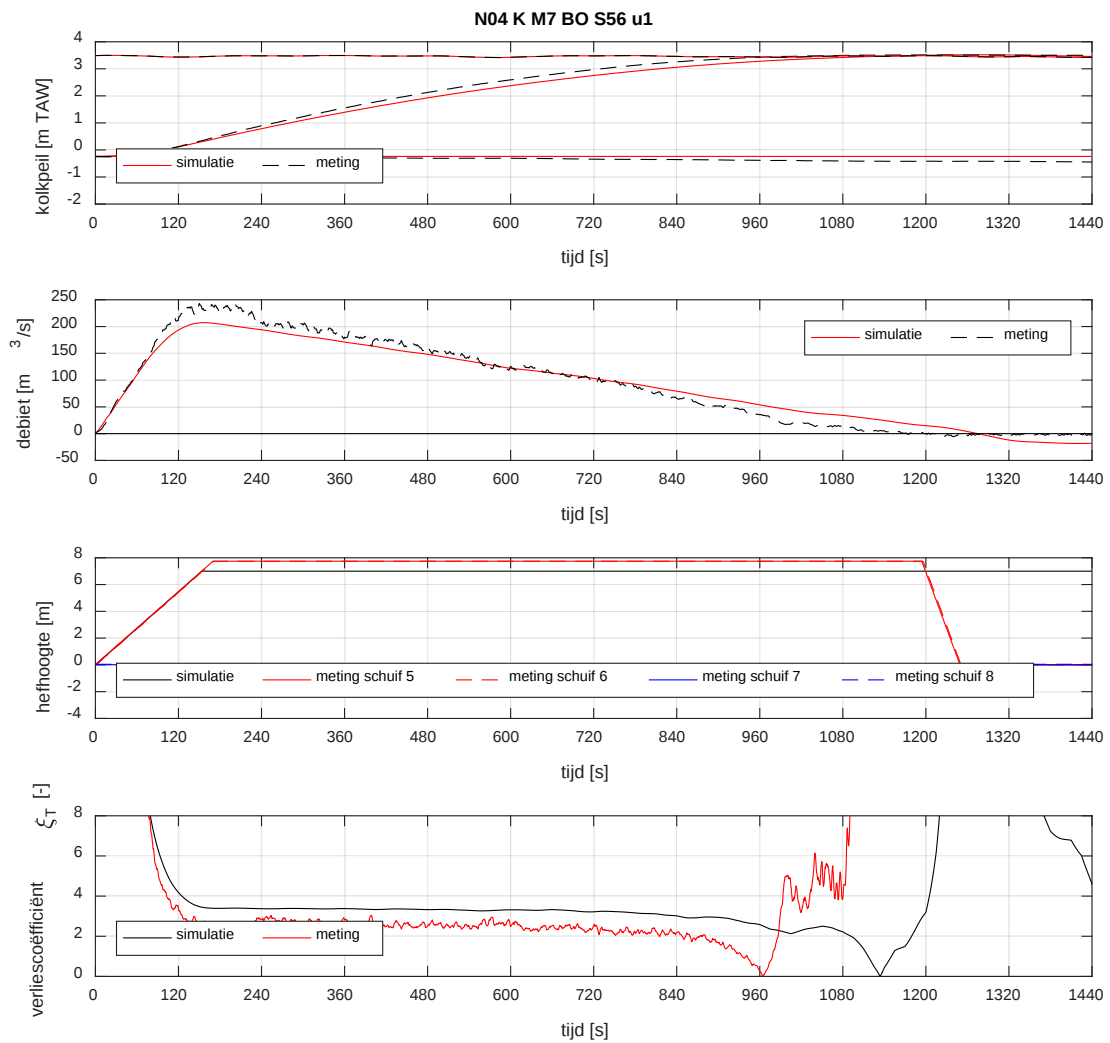
“N01 K M3 BO S78 u1”

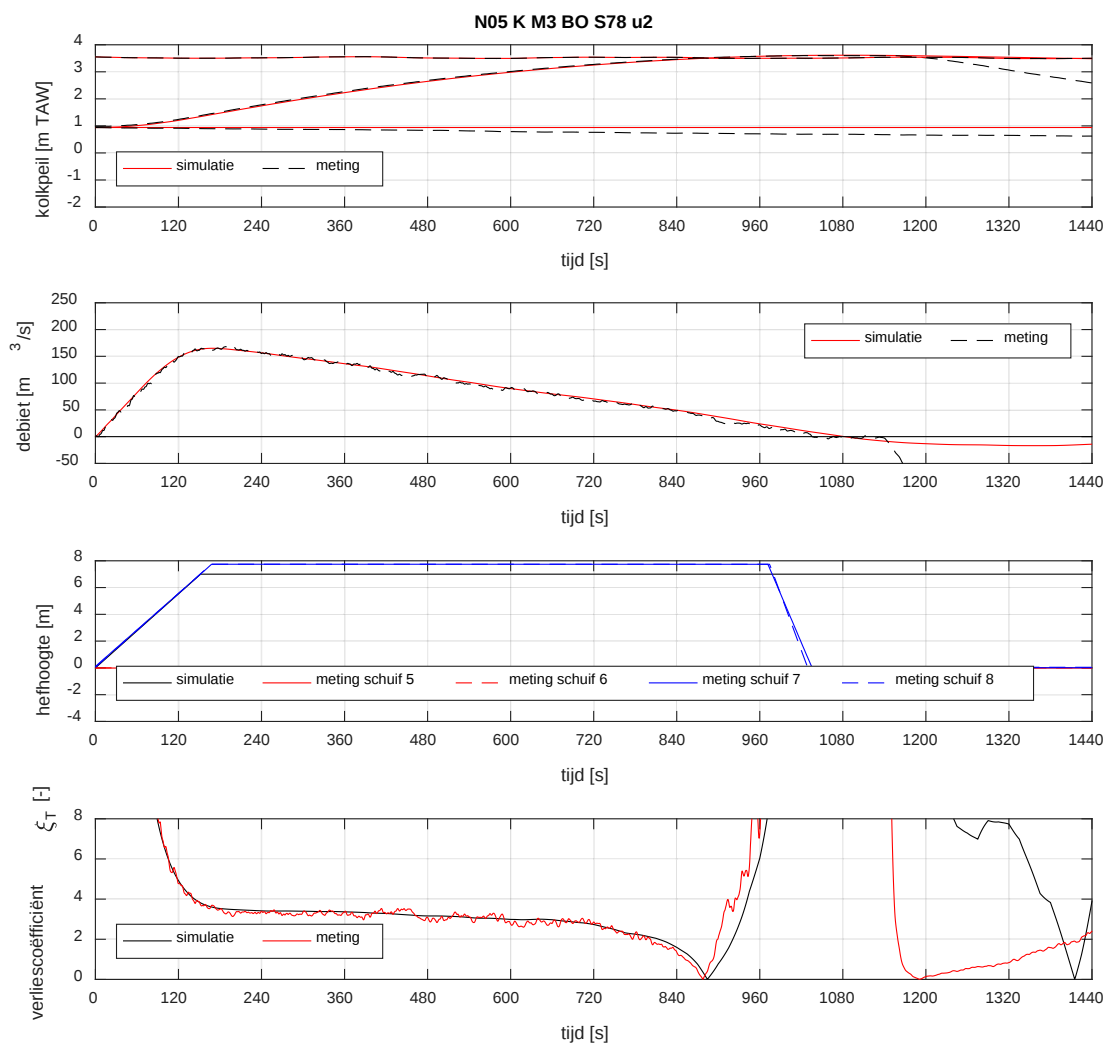
- N01 tot en met N07: Volgnummer van de simulatie.
- K Kalibratie
- M1 tot en met M8 Meting HA, zie Tabel 1.
- BO/BE Hoofd BO= BOvenhoofd / BE= BEnedenhoofd
- S12345678 Gebruikte hefschuiven, zie Figuur 1
- u1 Verliescoëfficiënt uitstroomconstructie u1 ontwerp / u2 na kalibratie

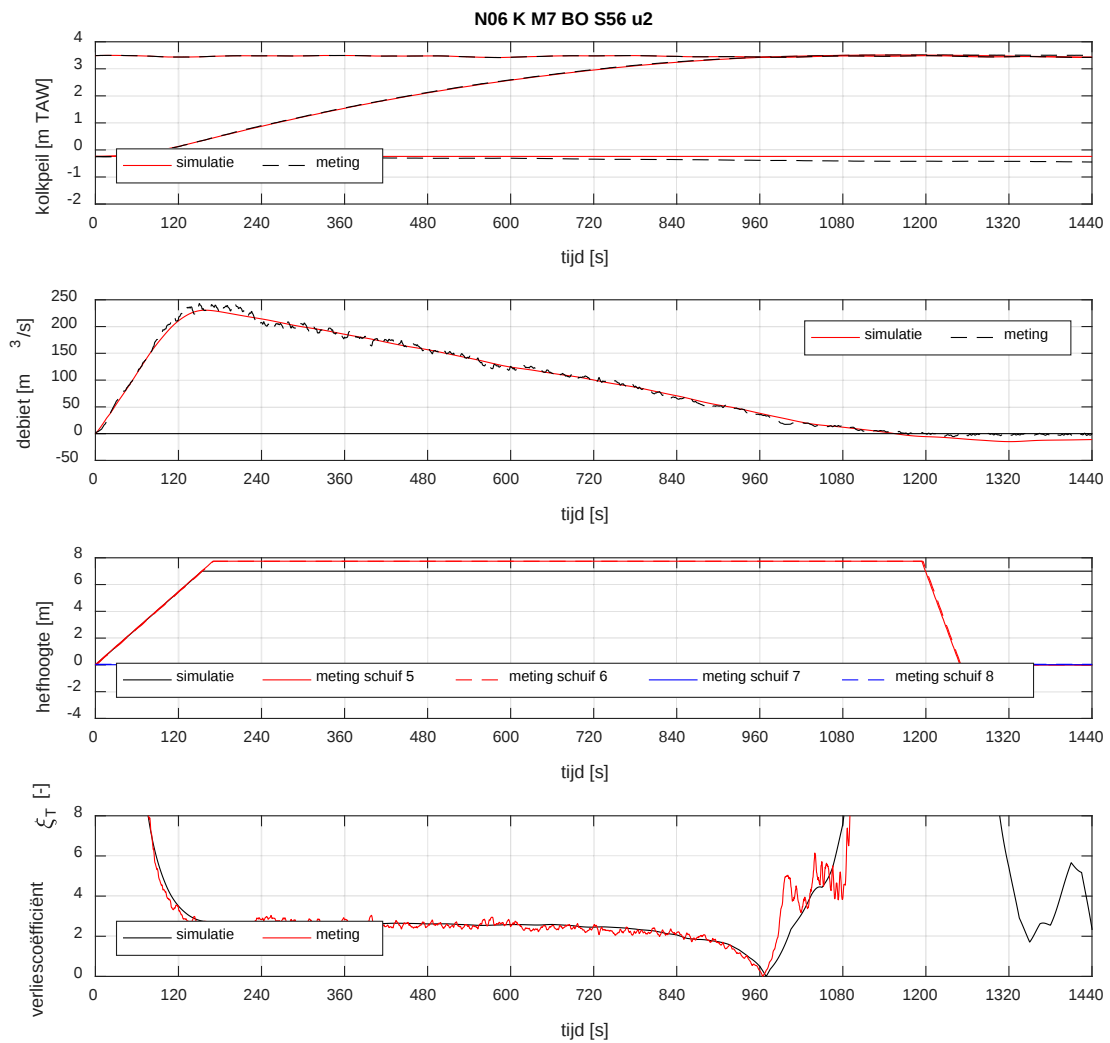


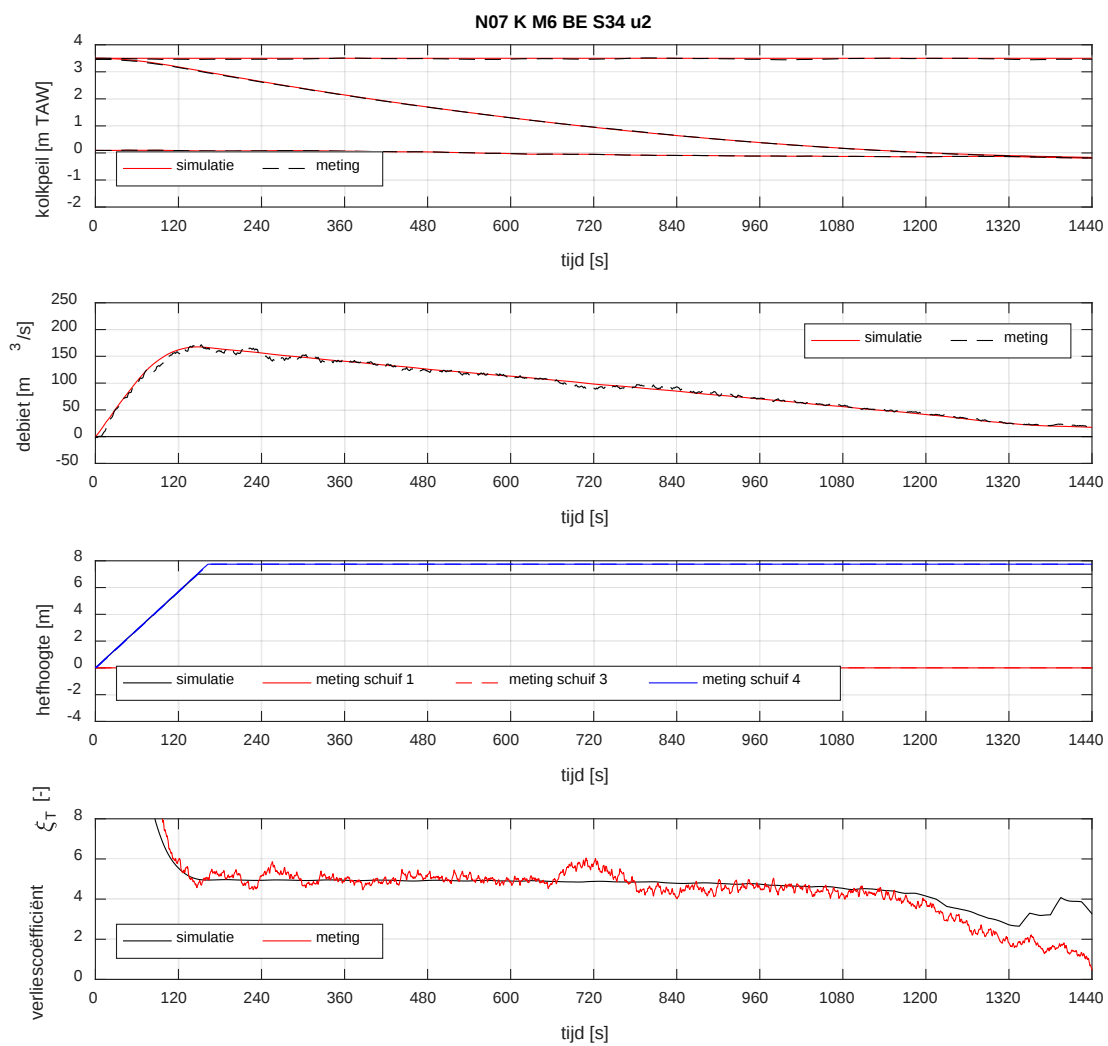












Bijlage B – Simulaties

In deze bijlage wordt per simulatie een figuur gegeven met de variatie in de tijd van:

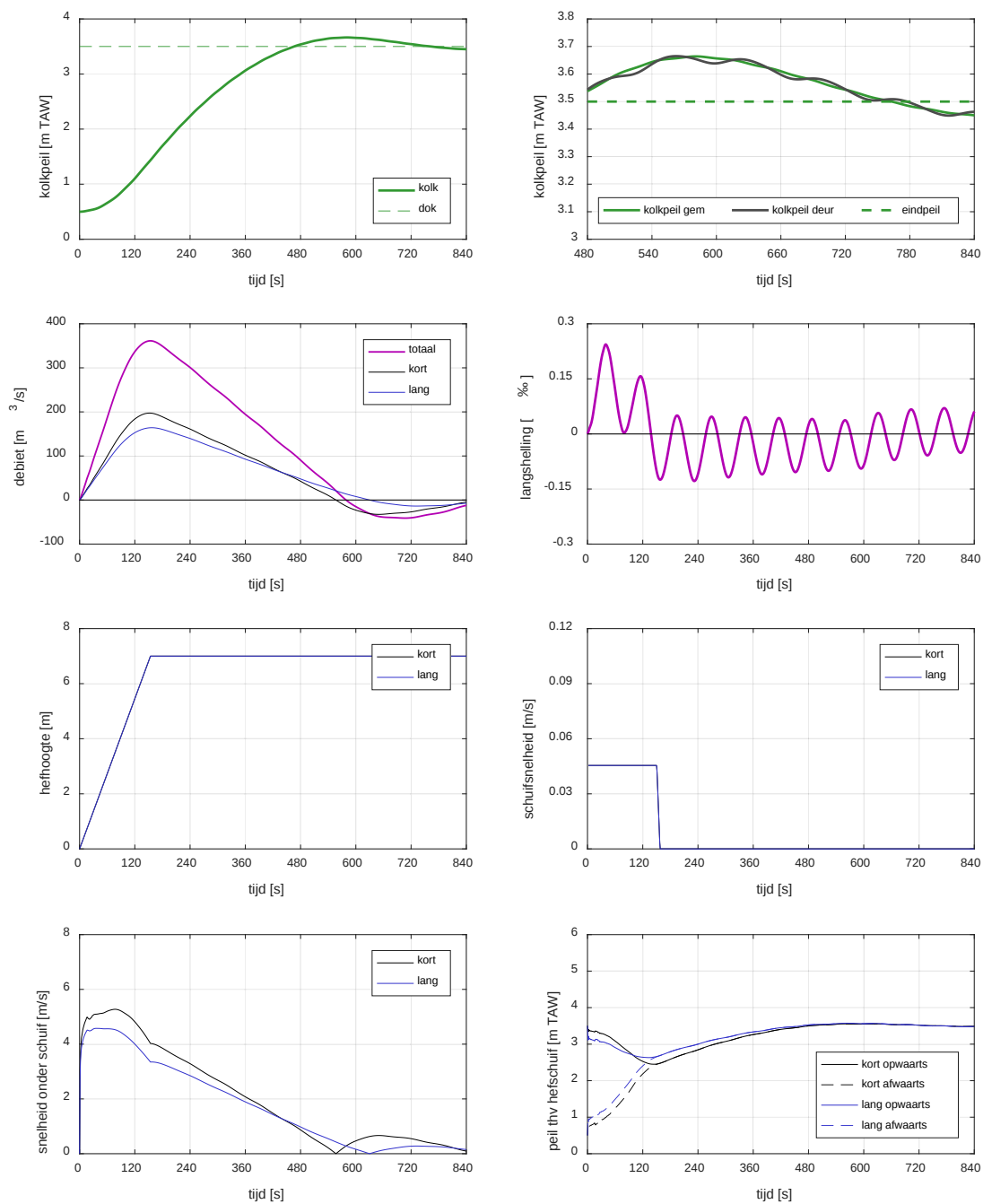
- het kolkpeil tijdens nivelleren,
- het kolkpeil na bereiken eindpeil tot openen hefschuiven,
- het debiet tijdens nivelleren,
- de positieve van de hefschuiven,
- de langse waterspiegelhelling,
- het verval over de hefschuiven,
- de snelheid onder de hefschuiven,
- het peil op- en afwaarts de hefschuiven.

De simulaties worden aangeduid met volgende code:

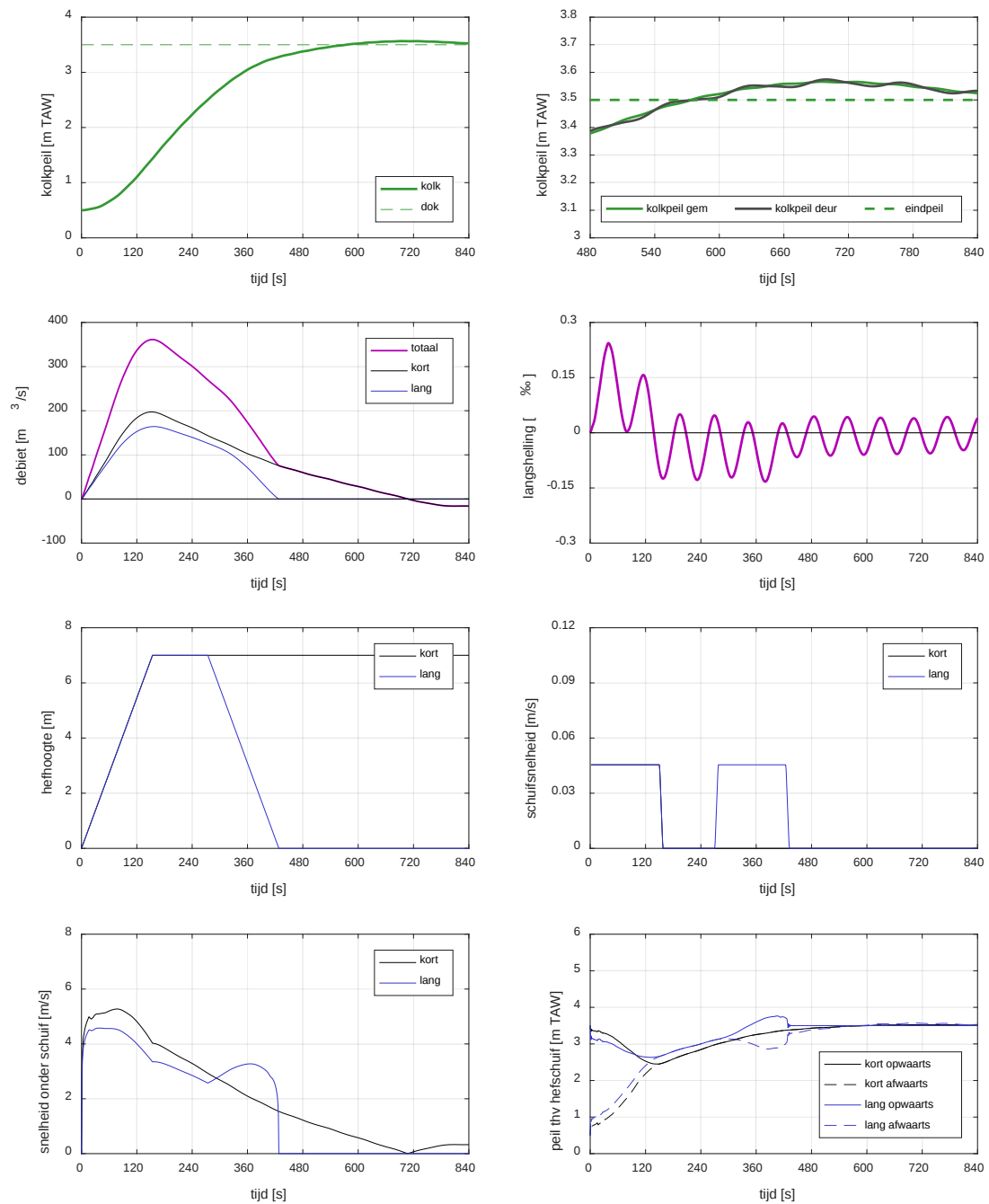
“N11 S VBO H3 Sc01”

- | | |
|-----------------------|---|
| • N11 tot en met N75: | Volgnummer van de simulatie |
| • S | Simulatie |
| • VBO/LBE | Type VBO=Vullen BOvenhoofd / LBE=Ledigen BEnedenhoofd |
| • H1 t.e.m. H4 | Verval H1= 1 m / H2 = 2 m / H3 = 3 m / H4 = 4 m |
| • Sc01 t.e.m. 14 | Scenario nummer |

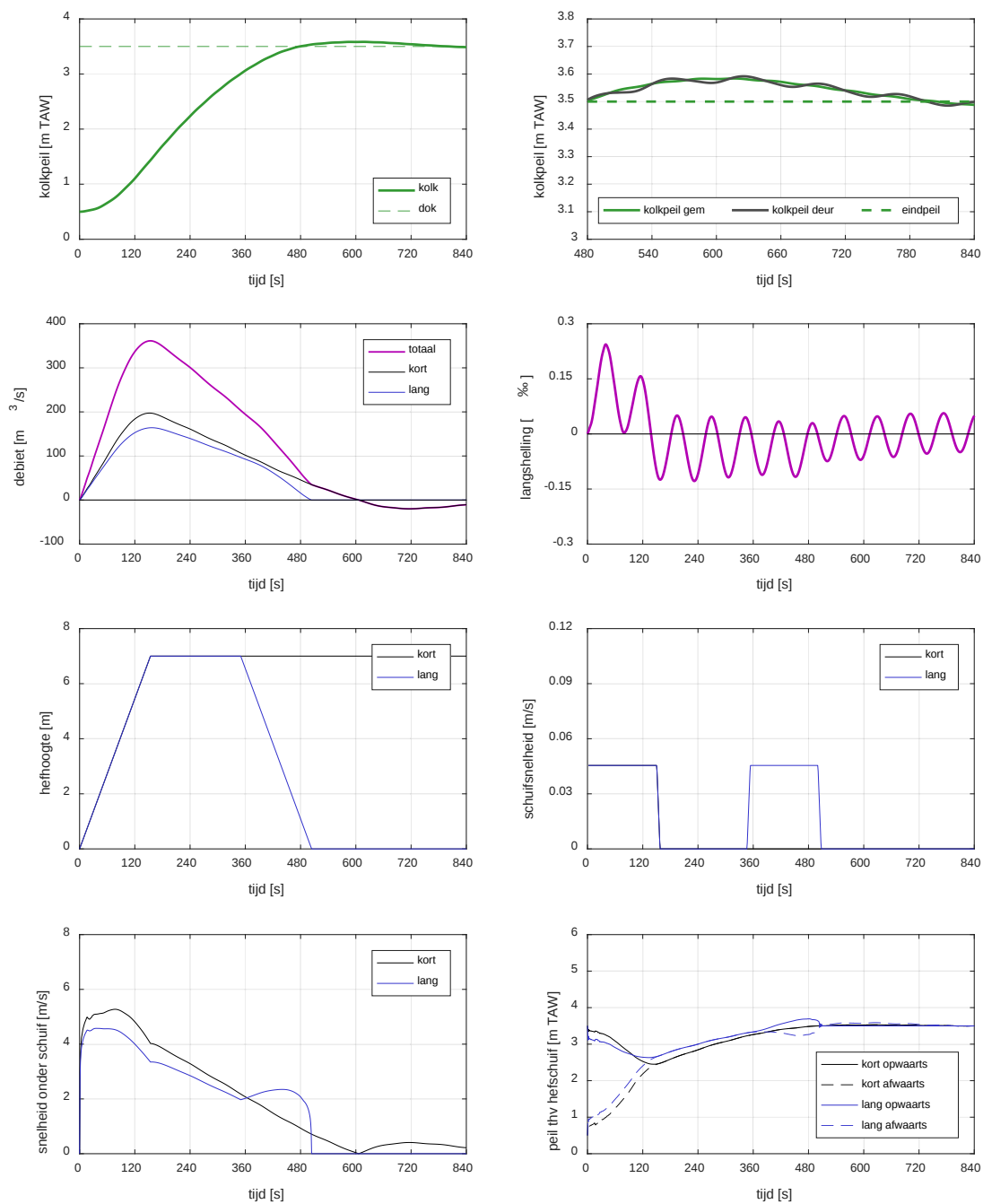
N11 S VBO H3 Sc01



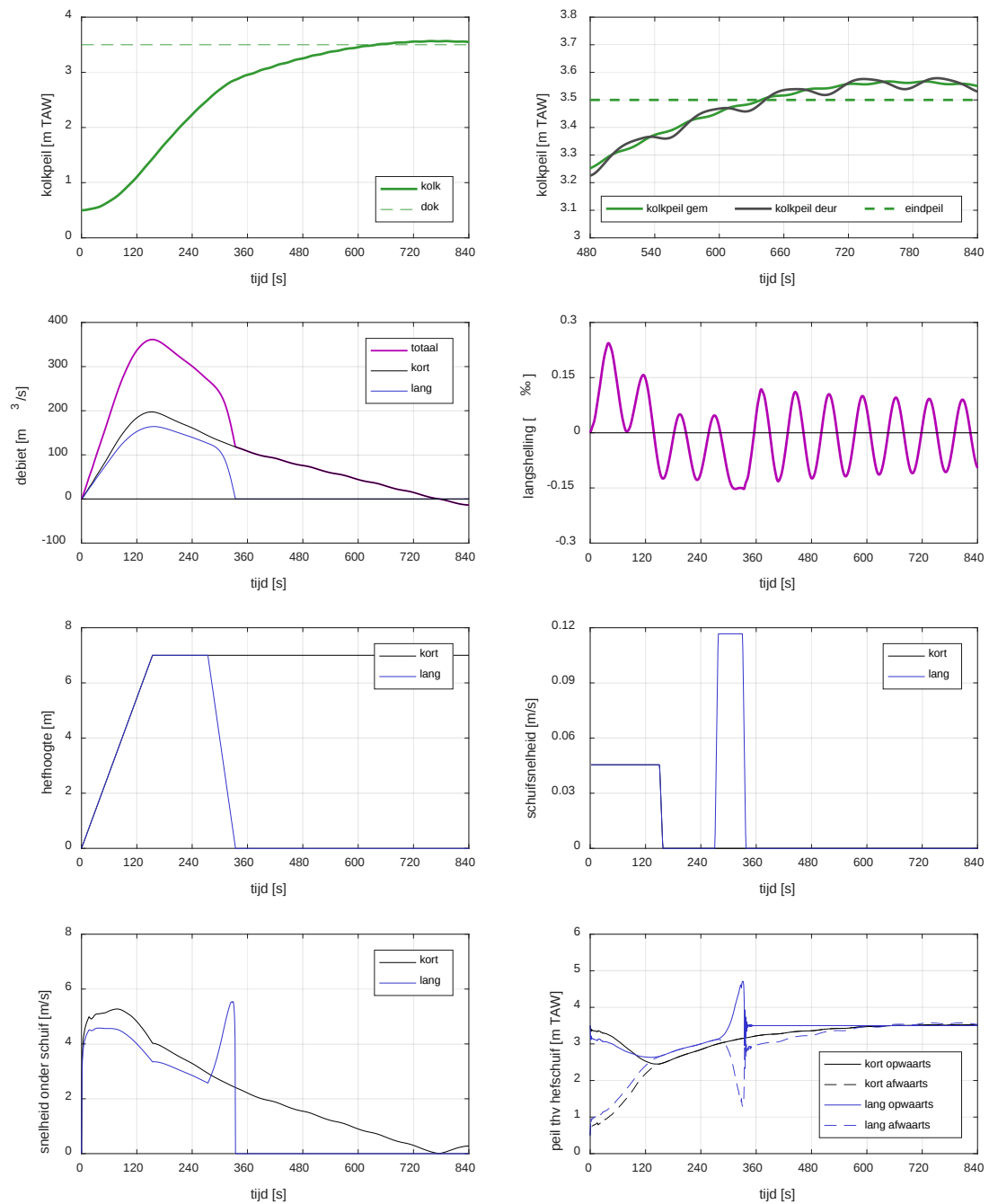
N12 S VBO H3 Sc02



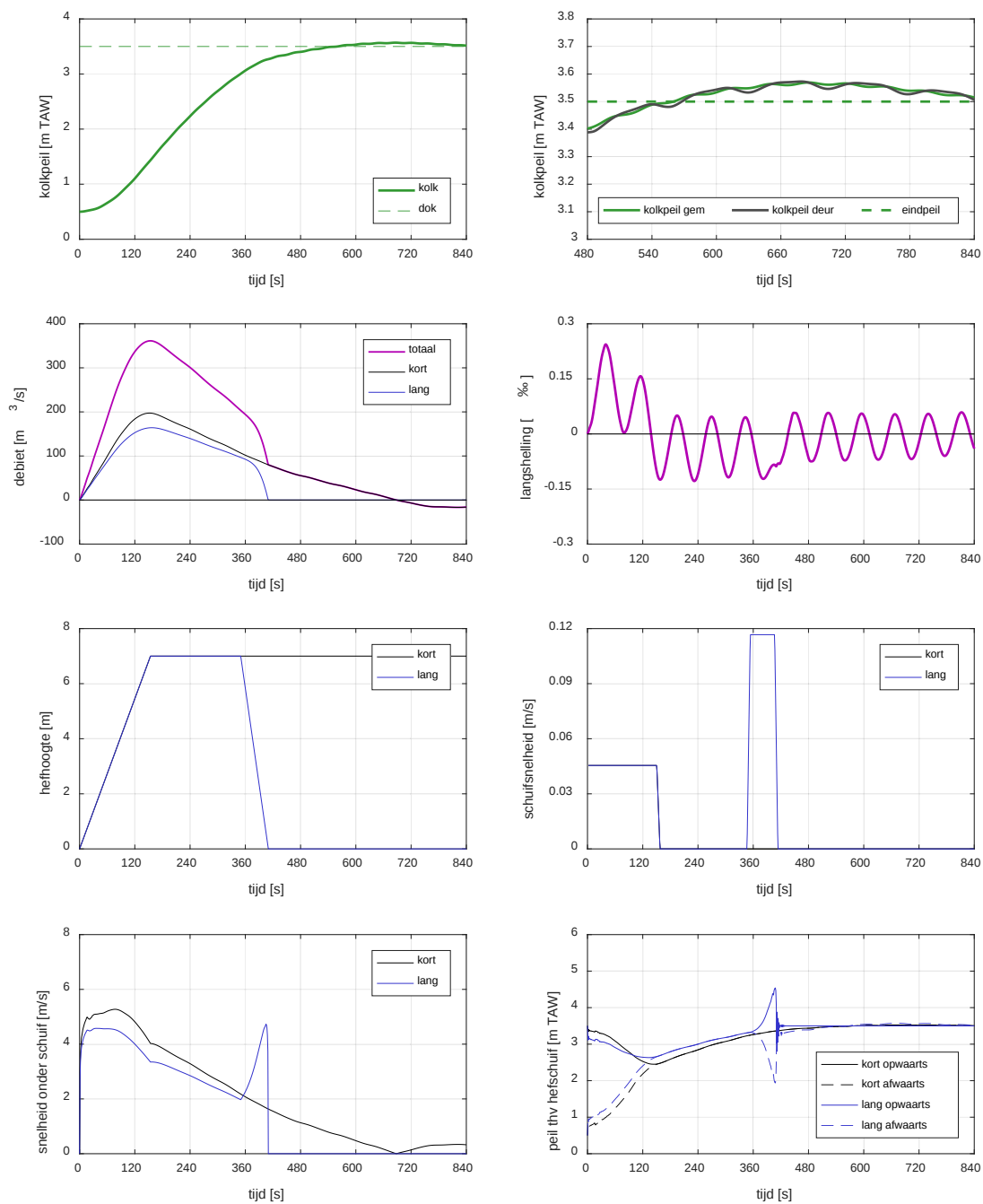
N13 S VBO H3 Sc03



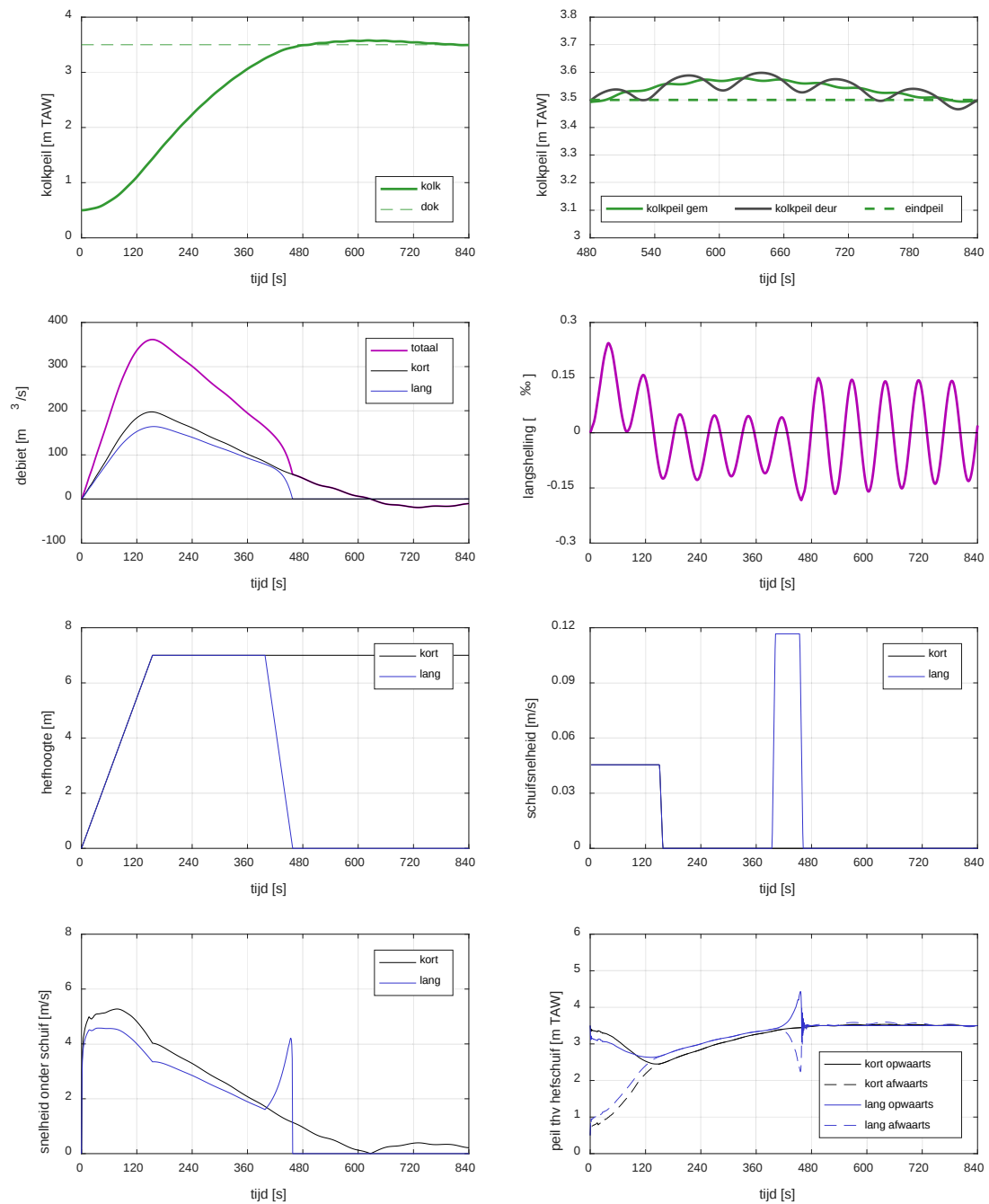
N14 S VBO H3 Sc04



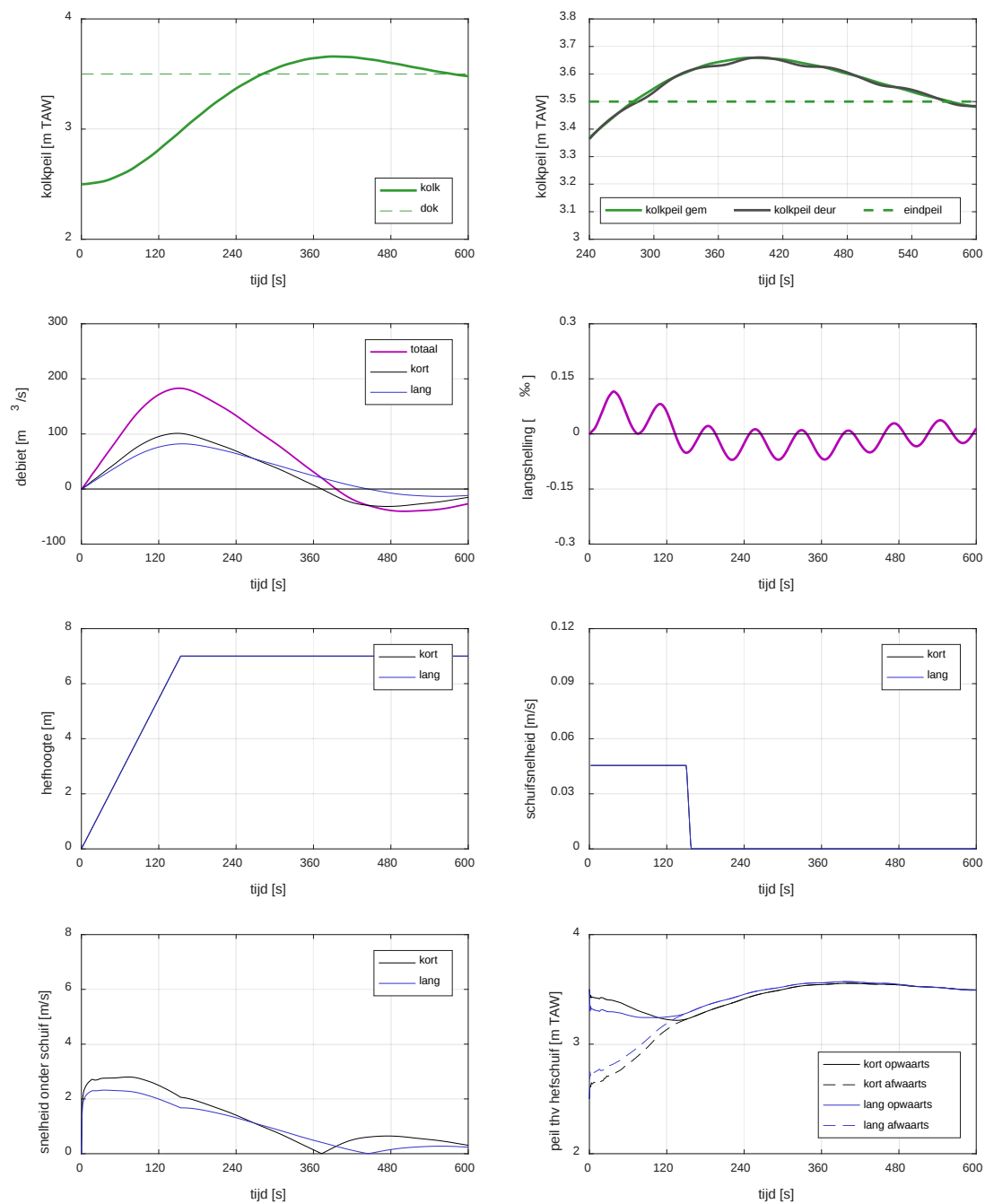
N15 S VBO H3 Sc05



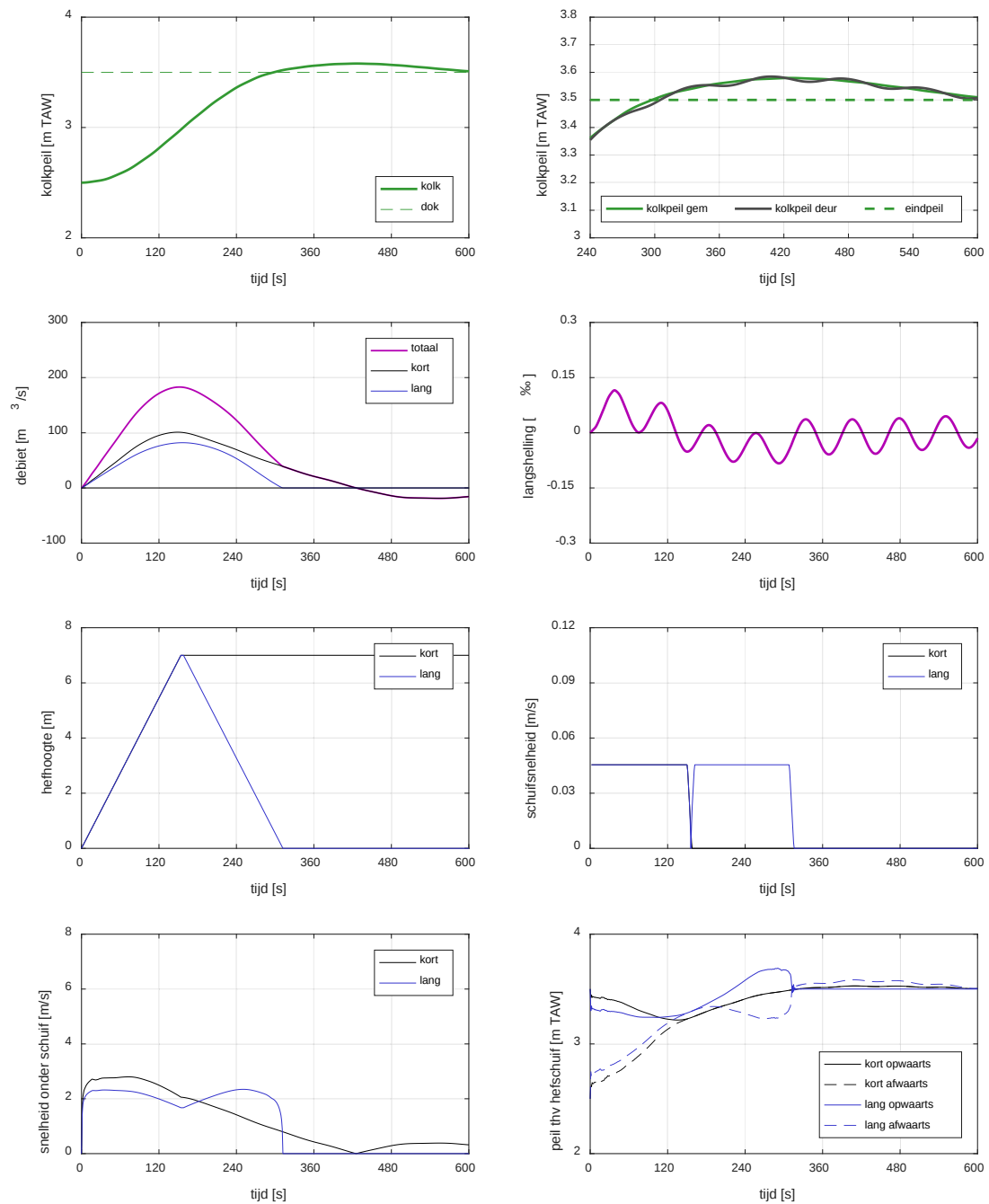
N16 S VBO H3 Sc06



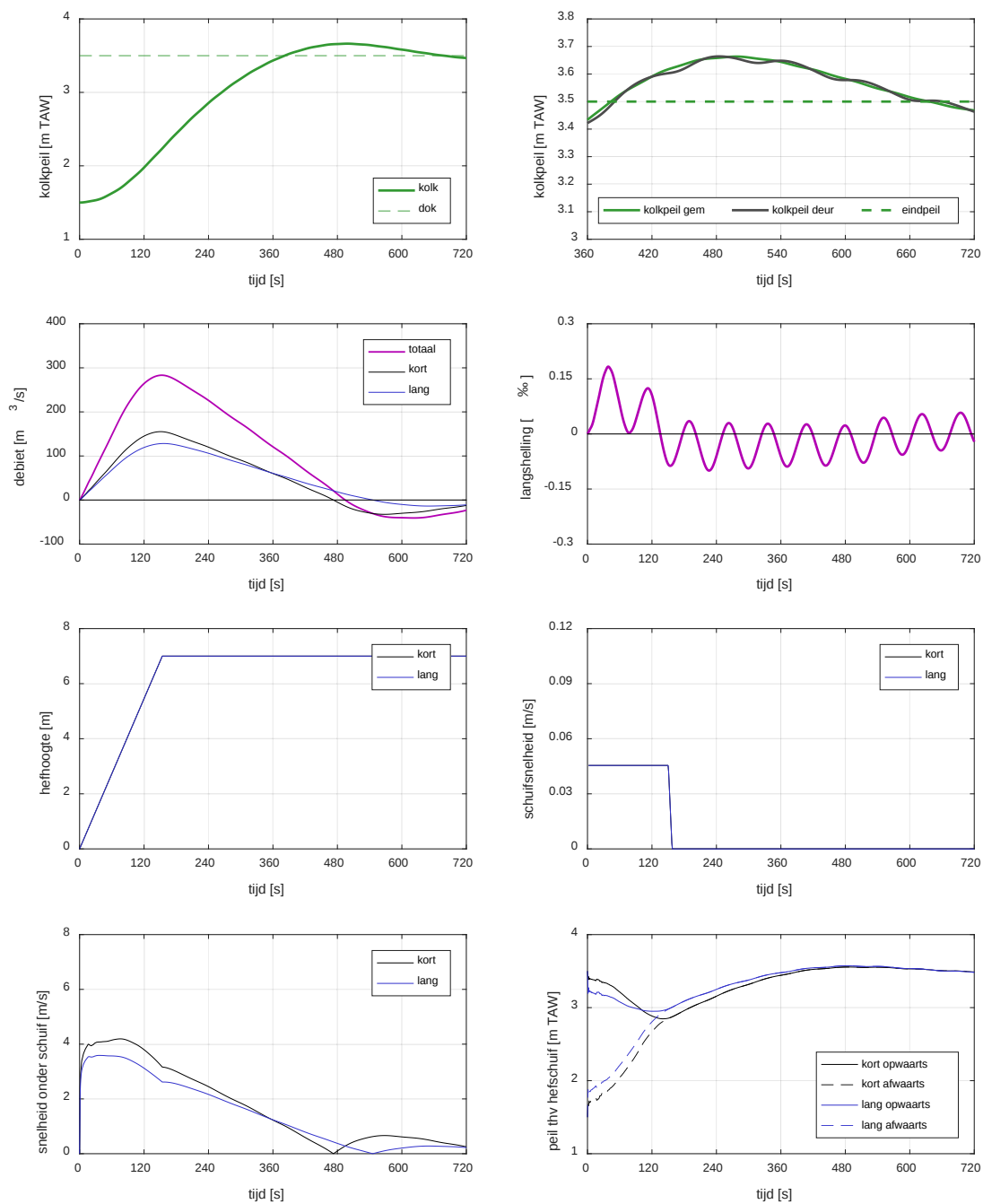
N17 S VBO H1 Sc01



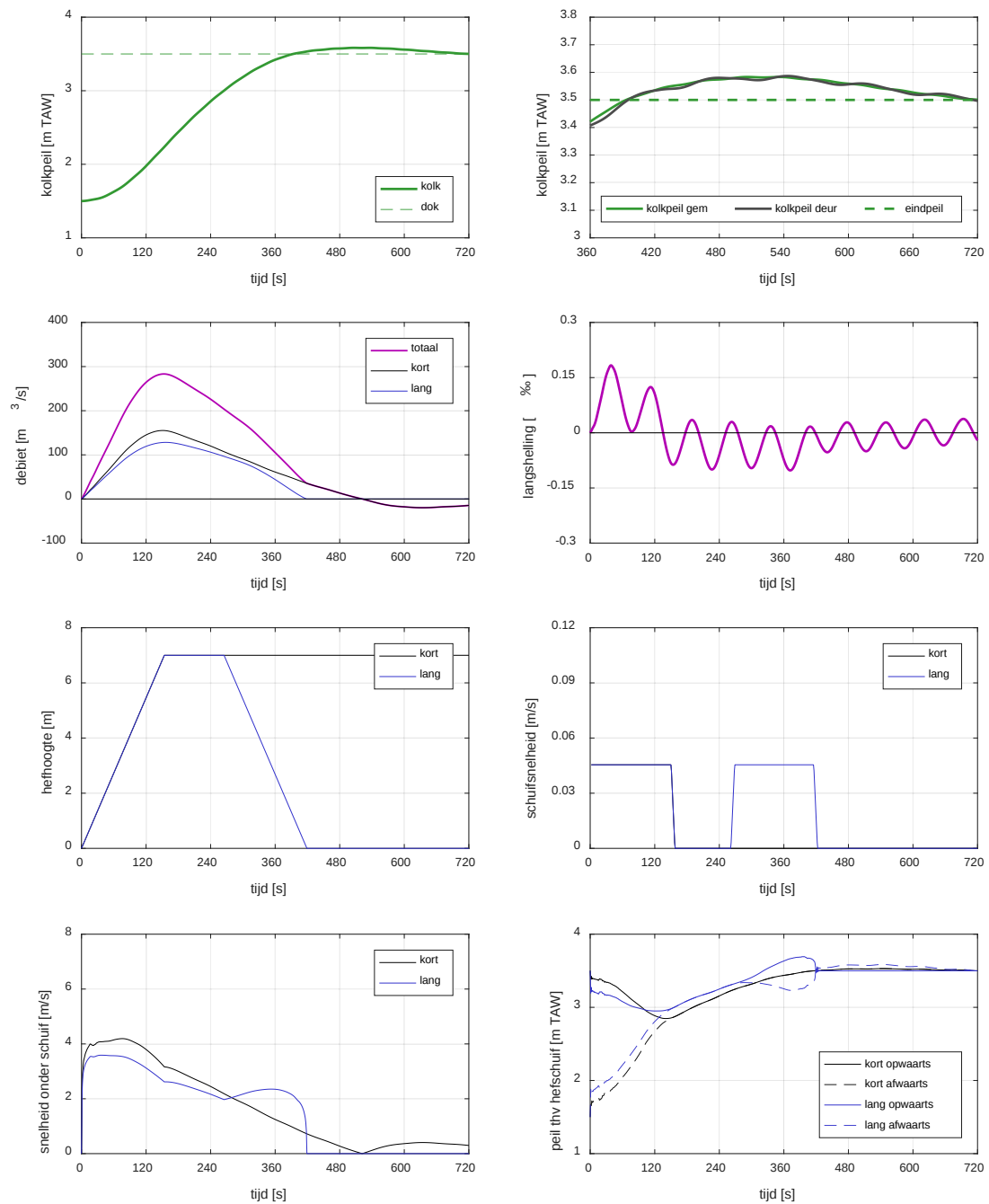
N18 S VBO H1 Sc03



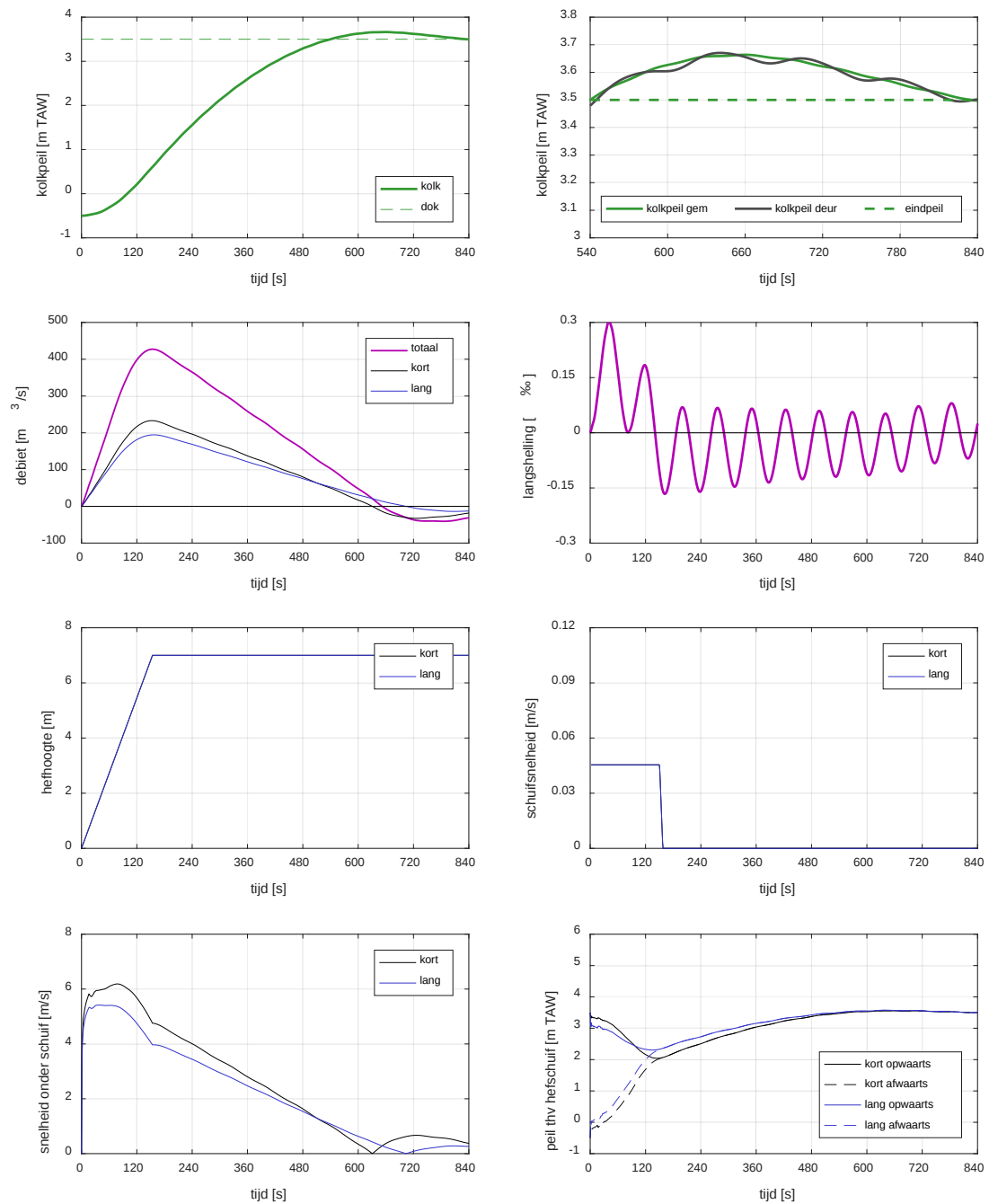
N19 S VBO H2 Sc01



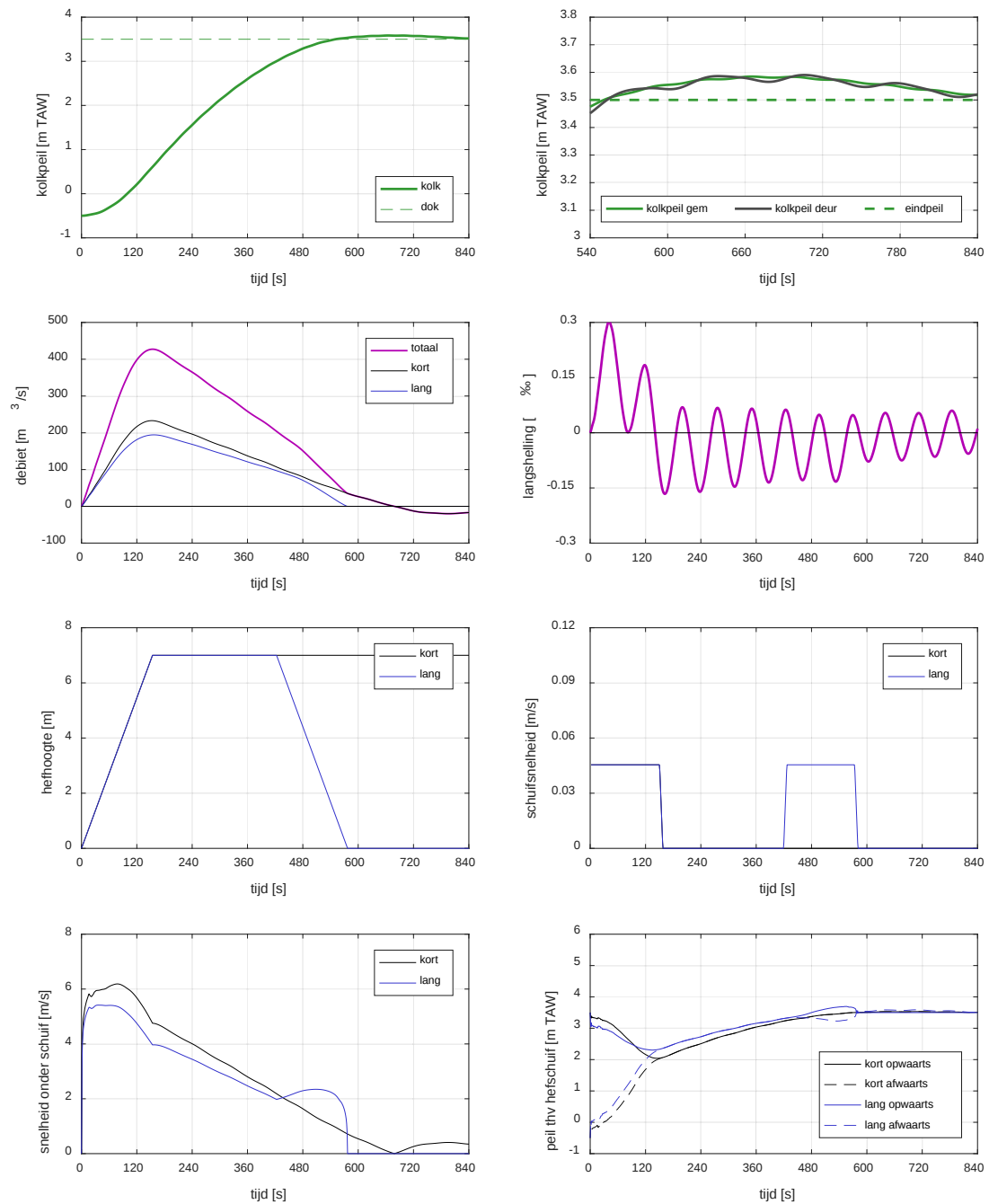
N20 S VBO H2 Sc03



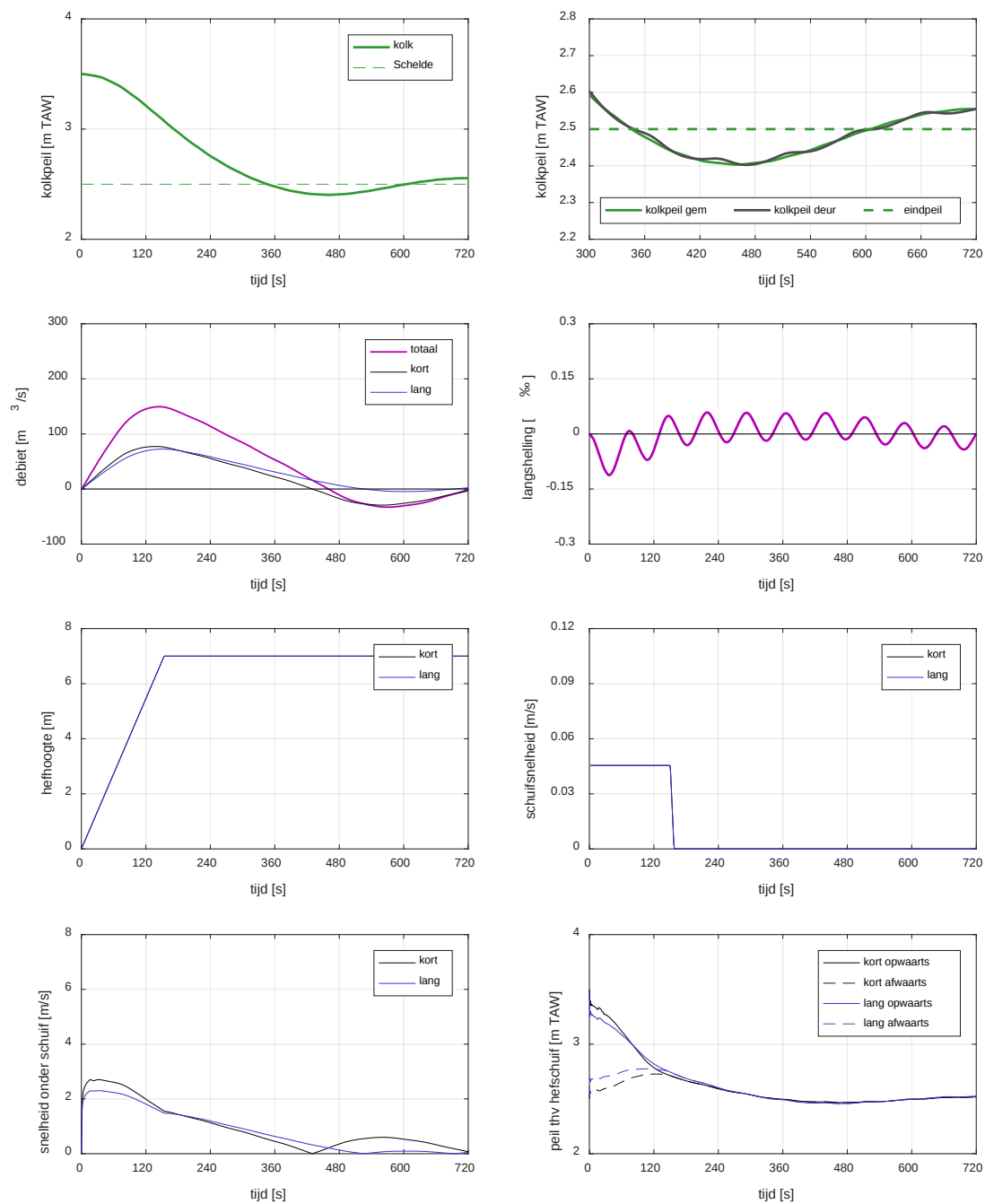
N21 S VBO H4 Sc01



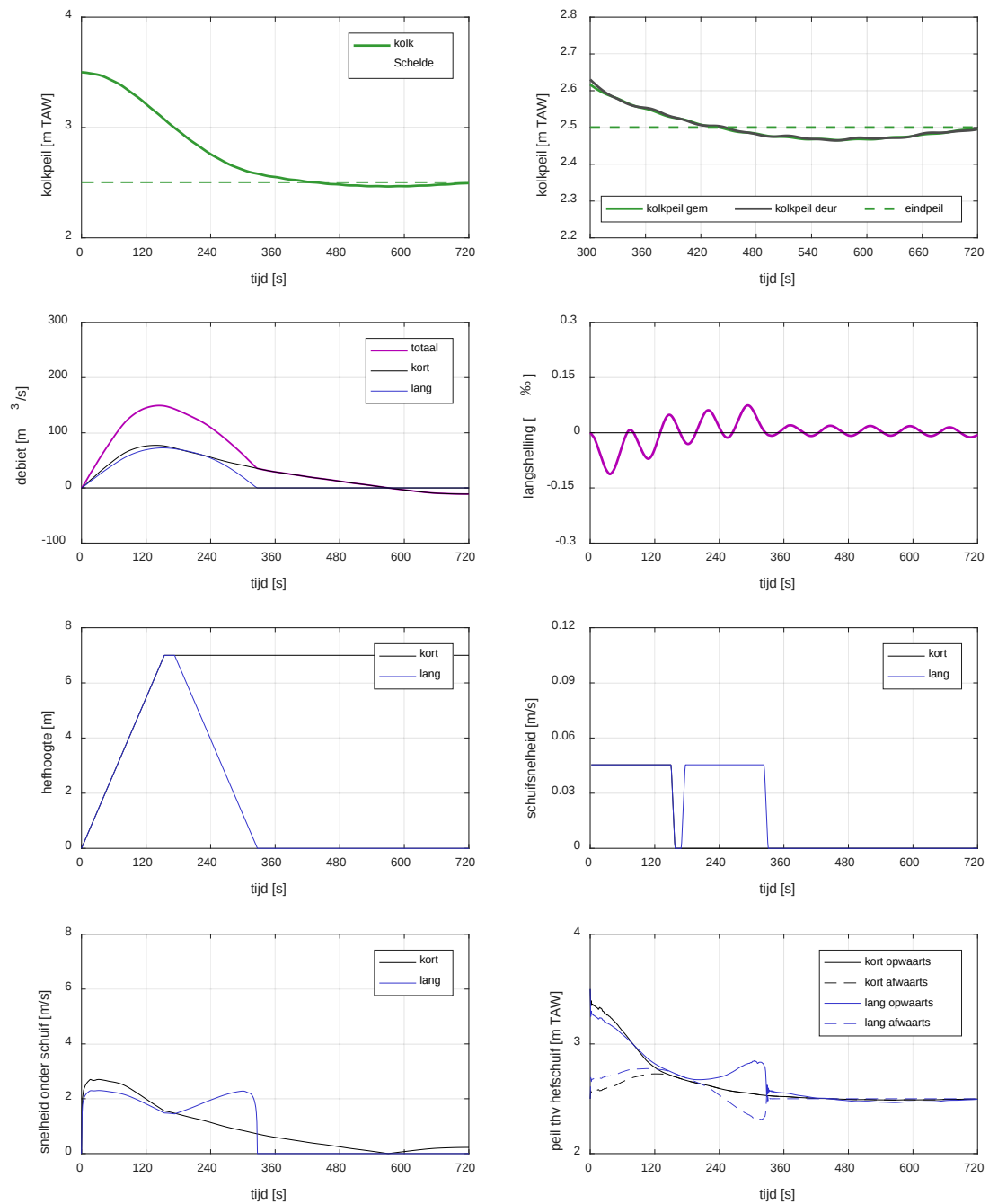
N22 S VBO H4 Sc03



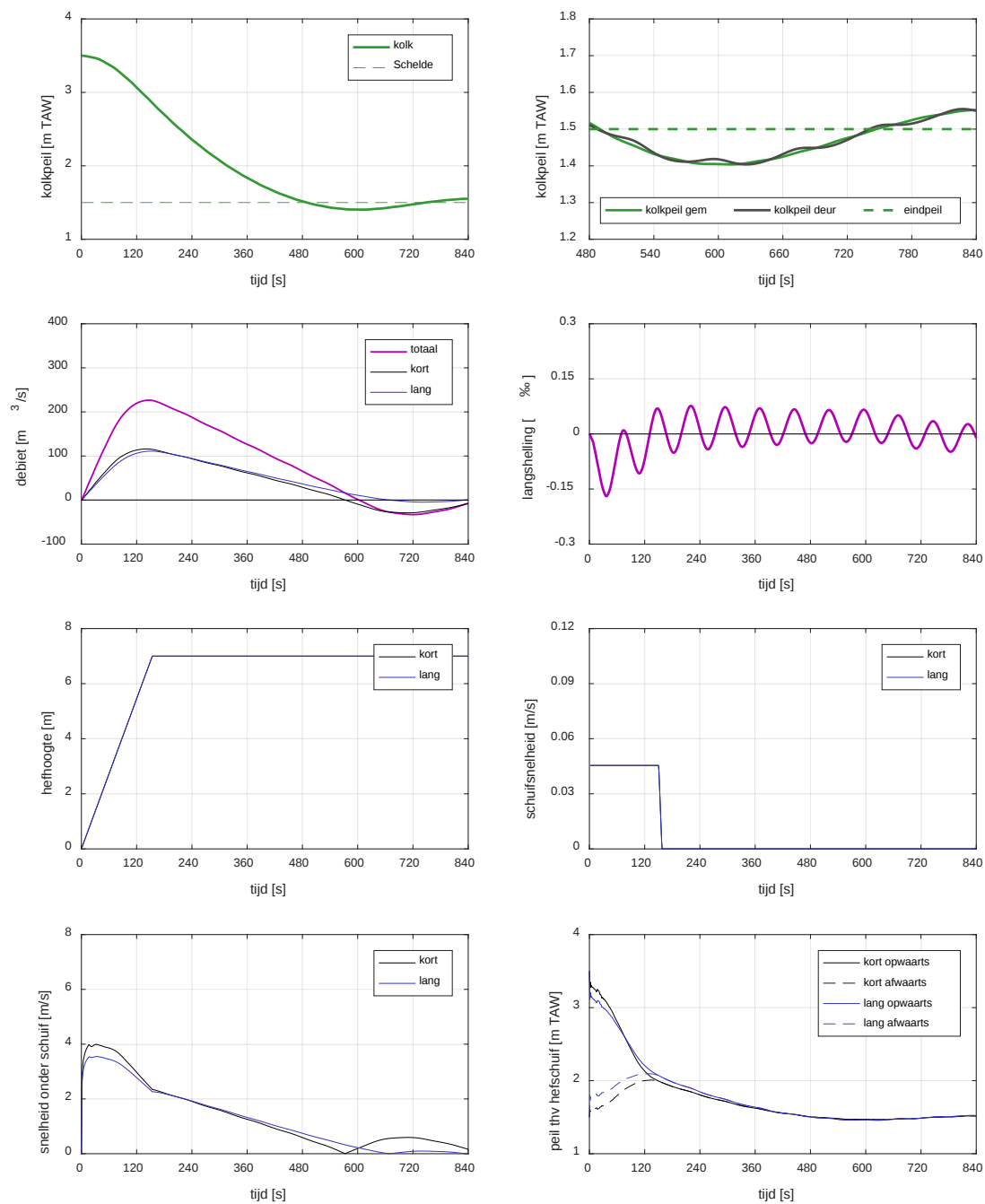
N23 S LBE H1 Sc01



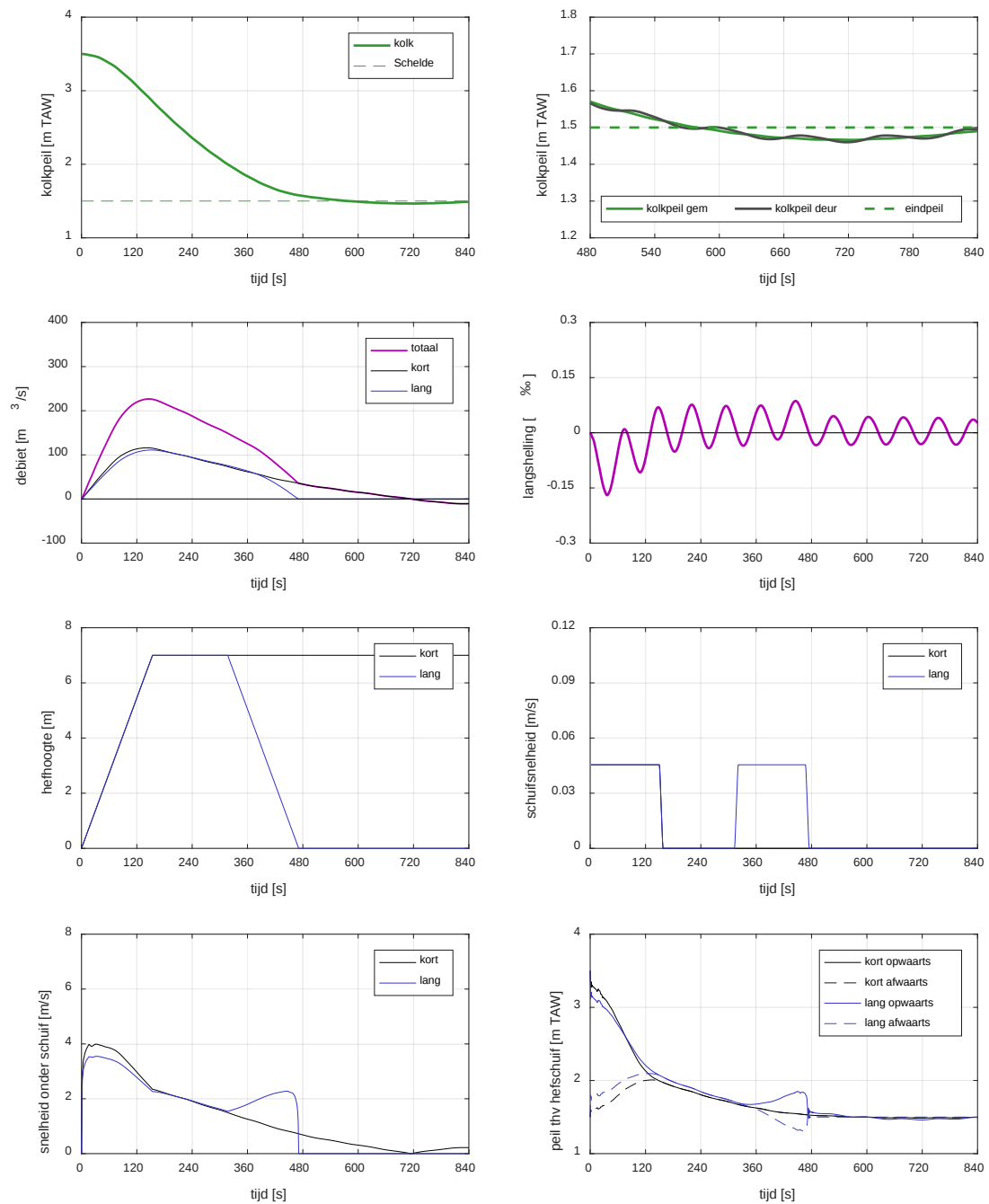
N24 S LBE H1 Sc03



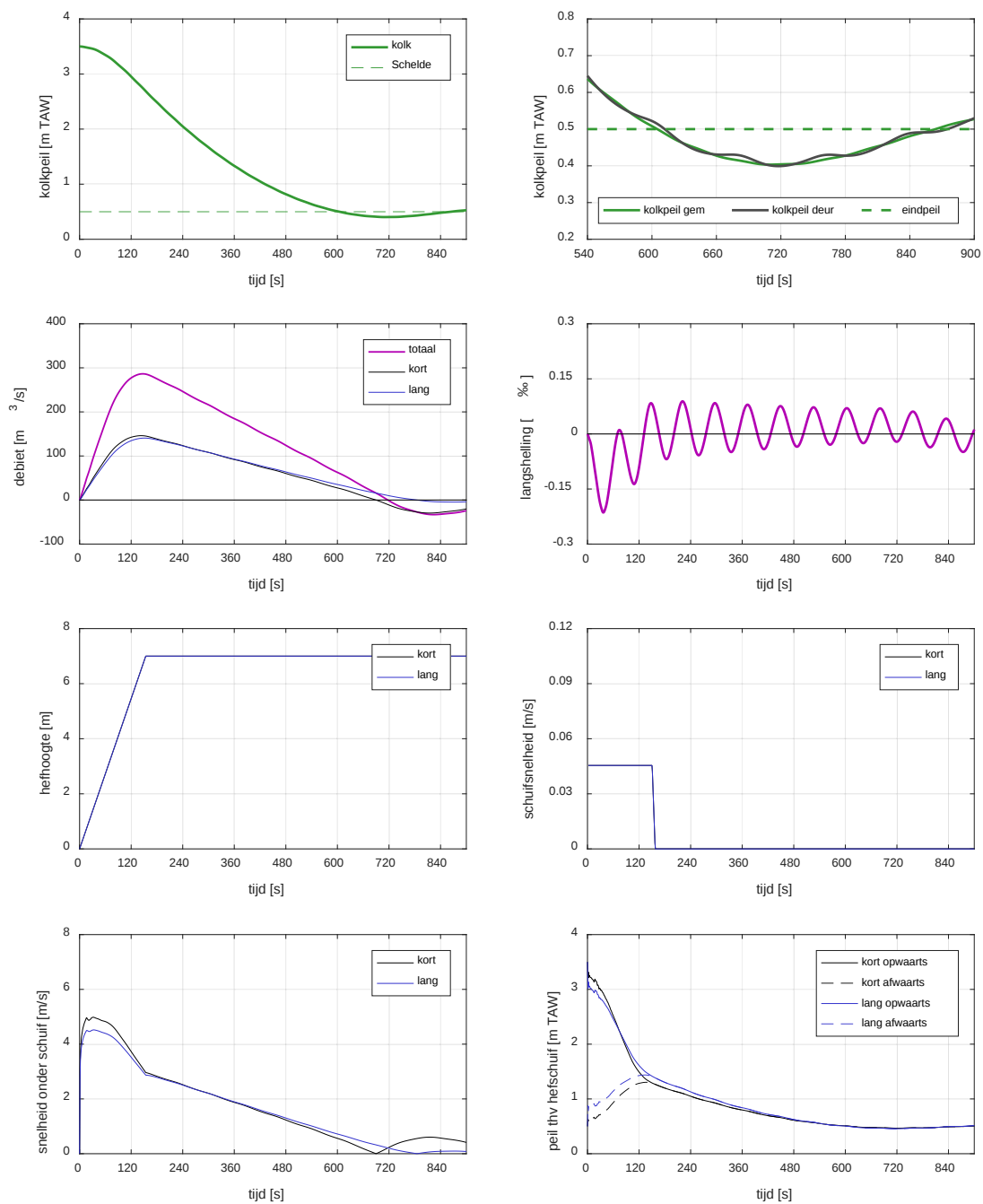
N25 S LBE H2 Sc01



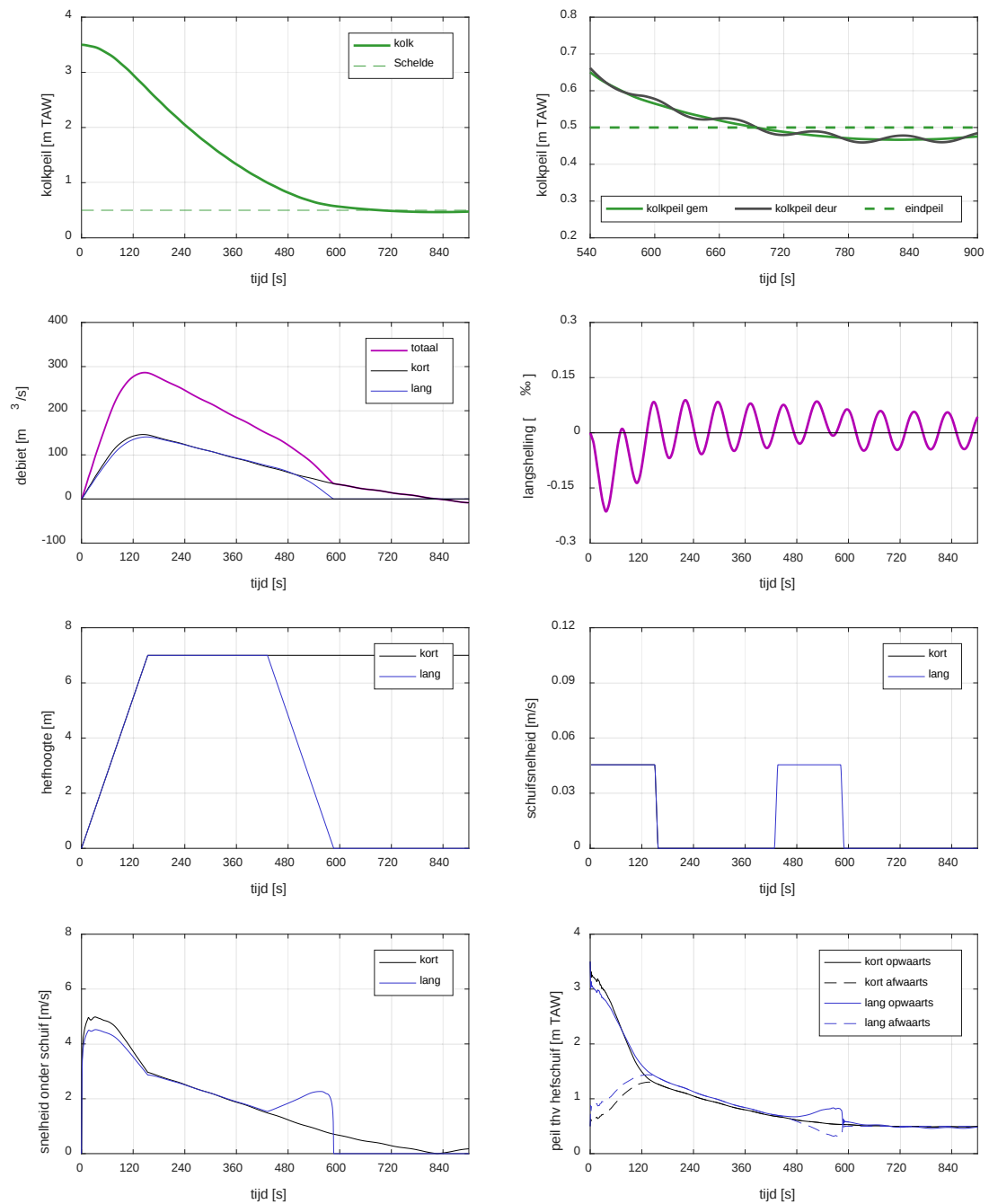
N26 S LBE H2 Sc03



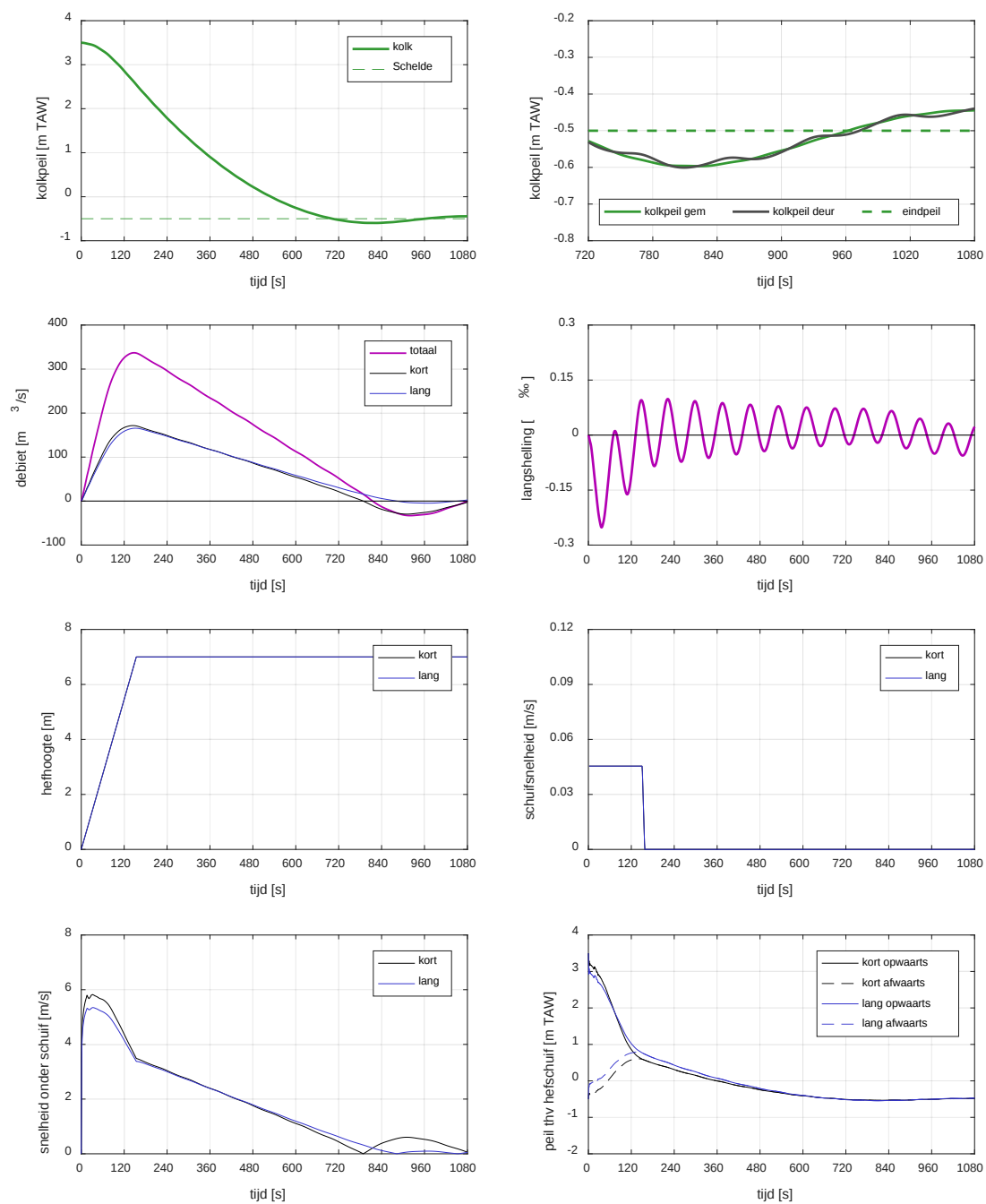
N27 S LBE H3 Sc01



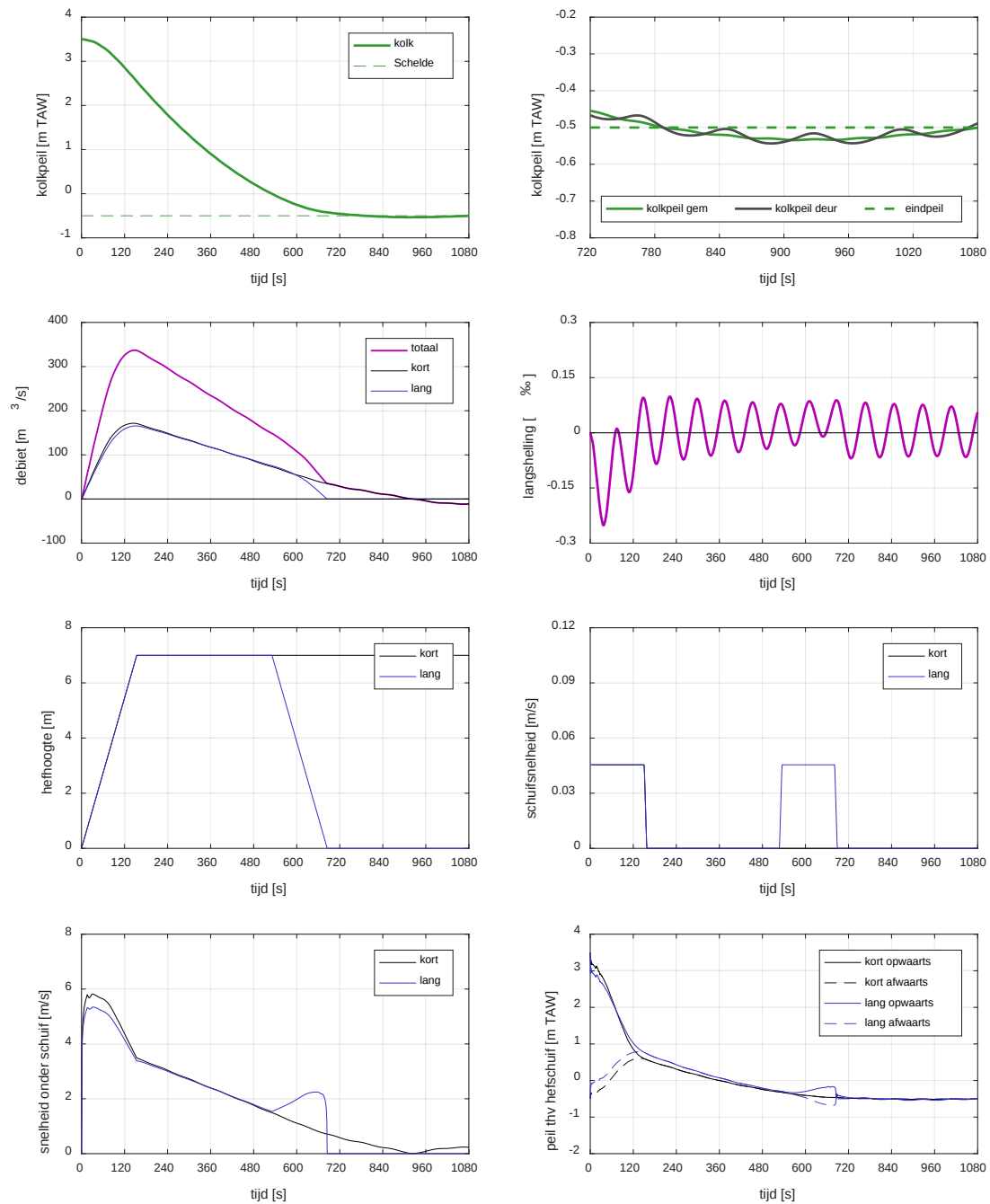
N28 S LBE H3 Sc03



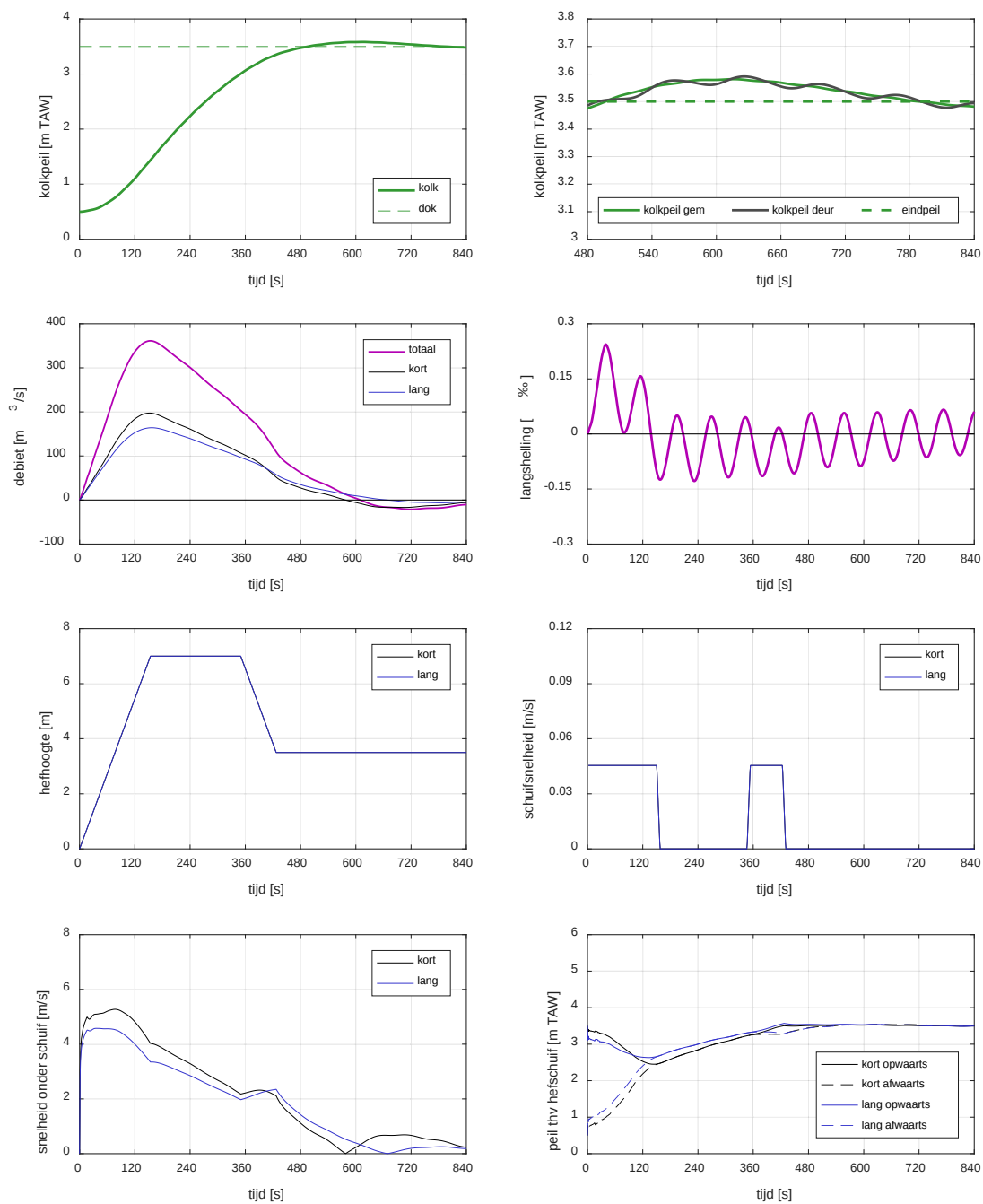
N29 S LBE H4 Sc01



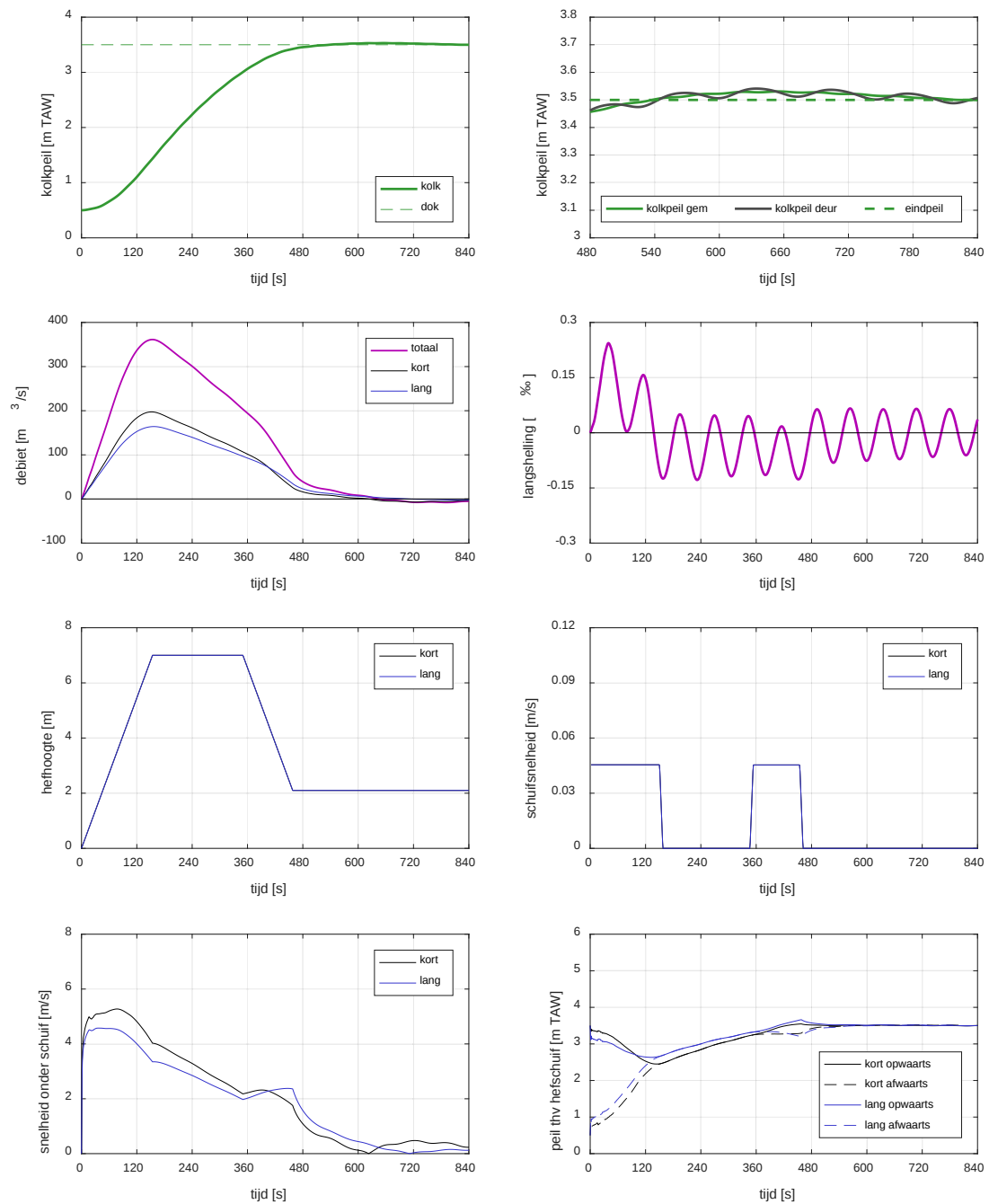
N30 S LBE H4 Sc03



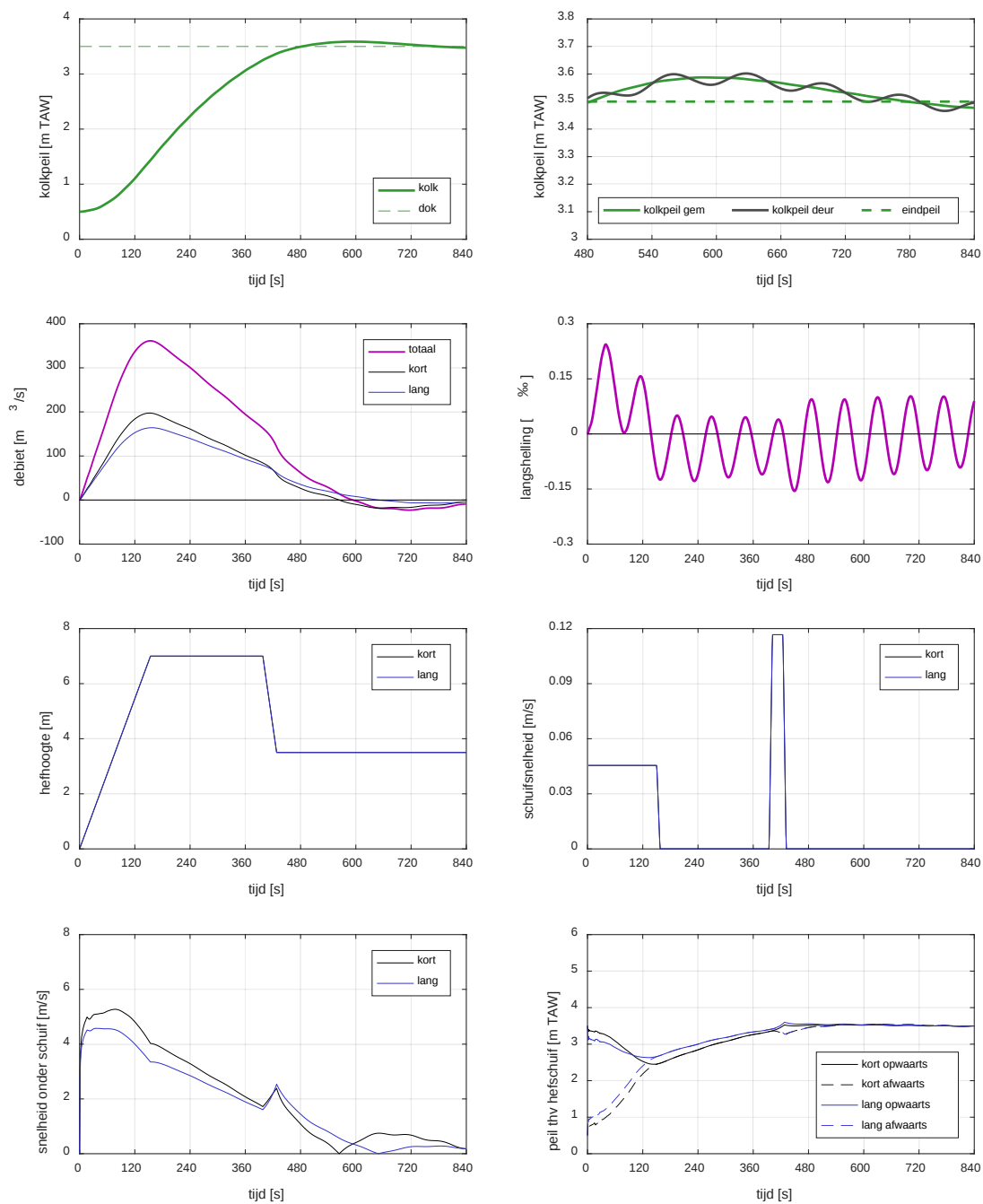
N31 S VBO H3 Sc07



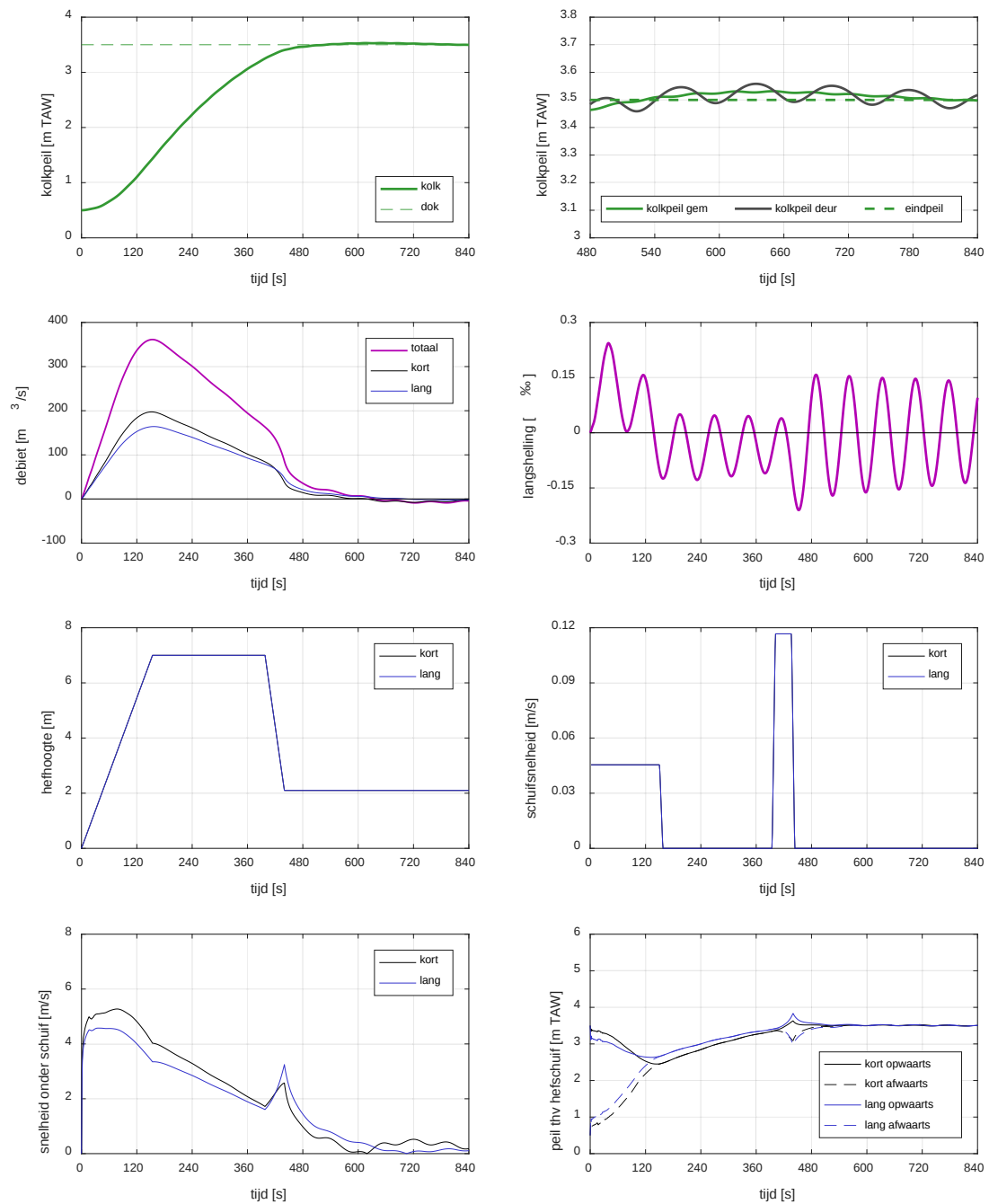
N32 S VBO H3 Sc08



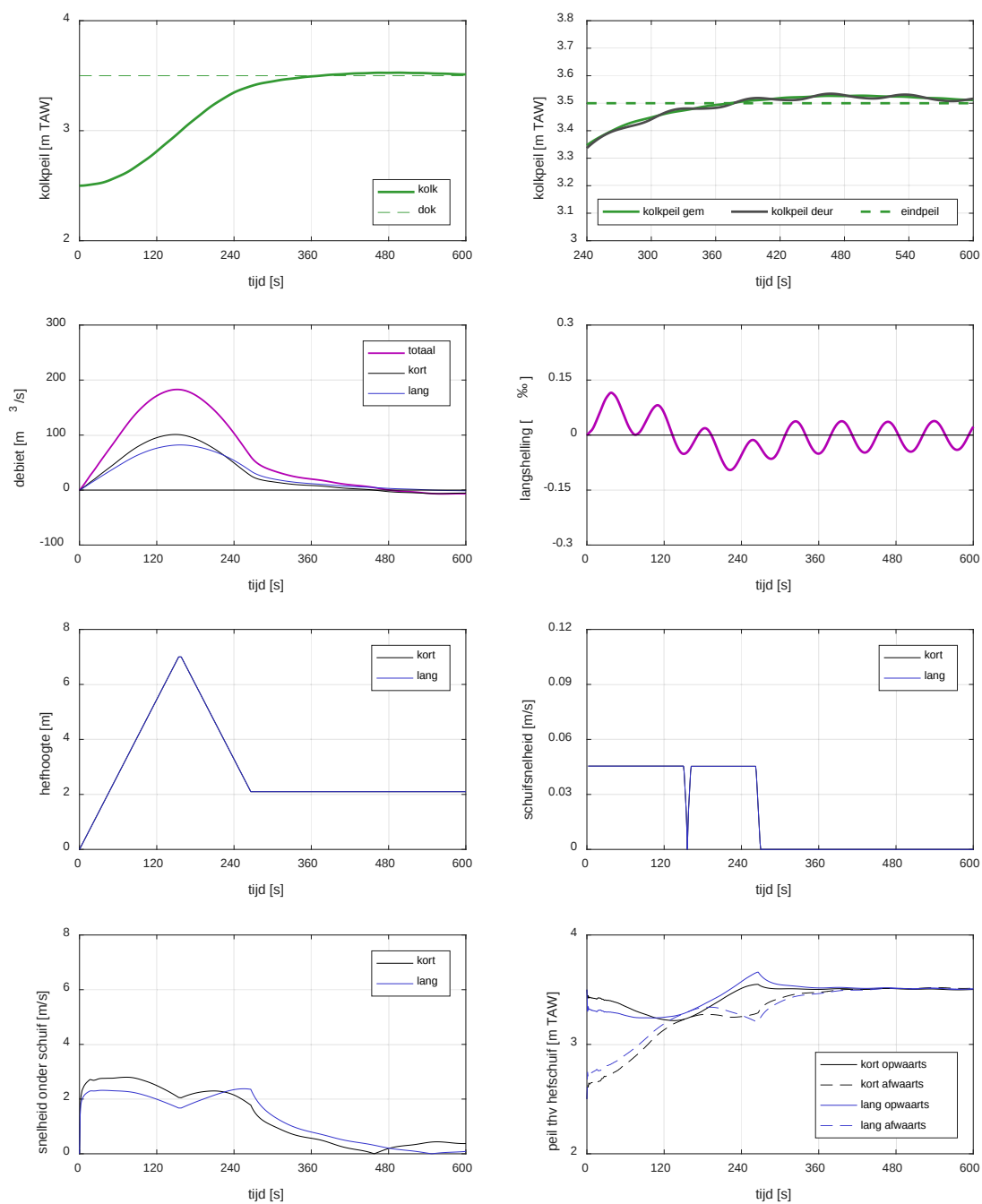
N33 S VBO H3 Sc09



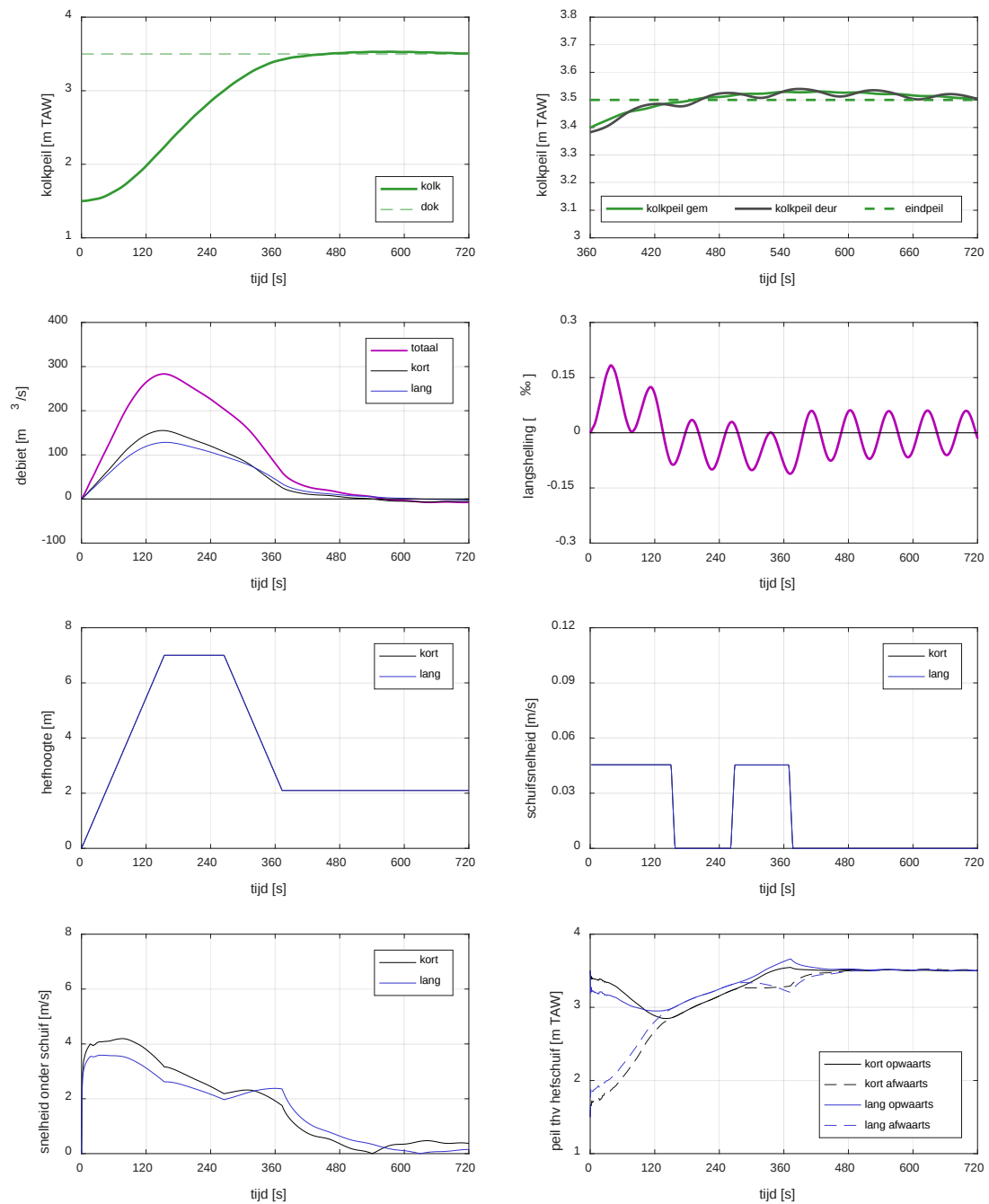
N34 S VBO H3 Sc10



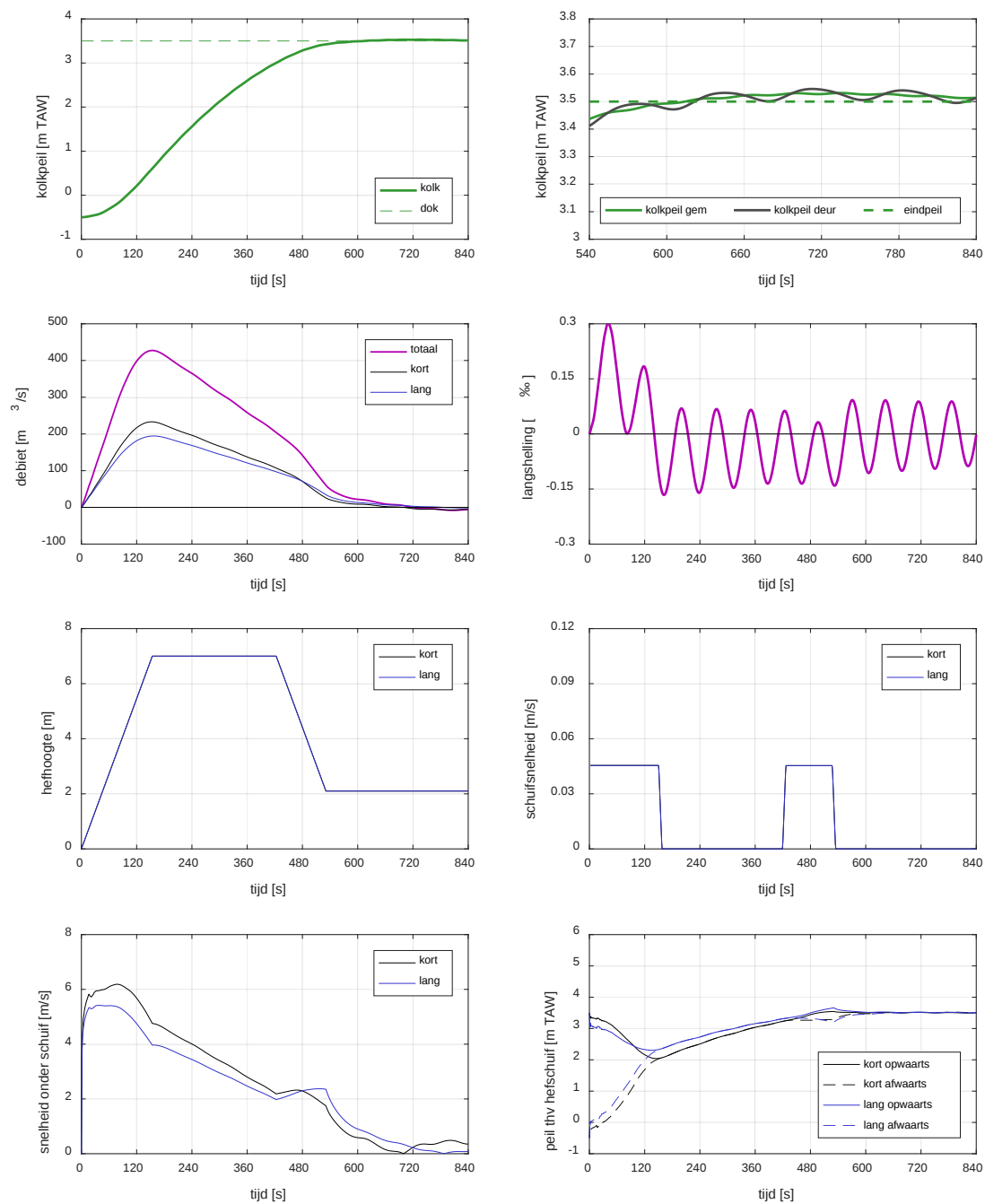
N35 S VBO H1 Sc08



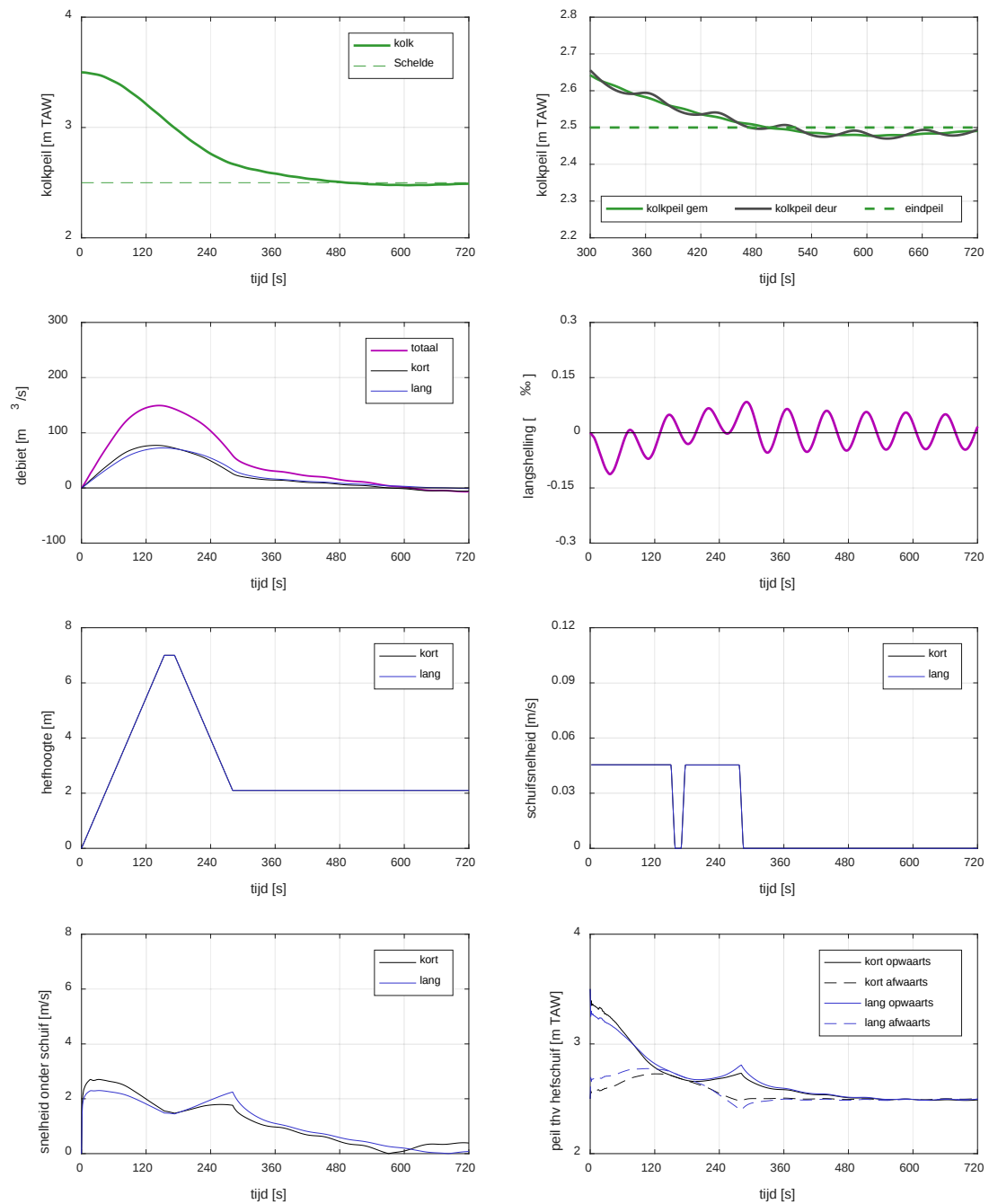
N36 S VBO H2 Sc08



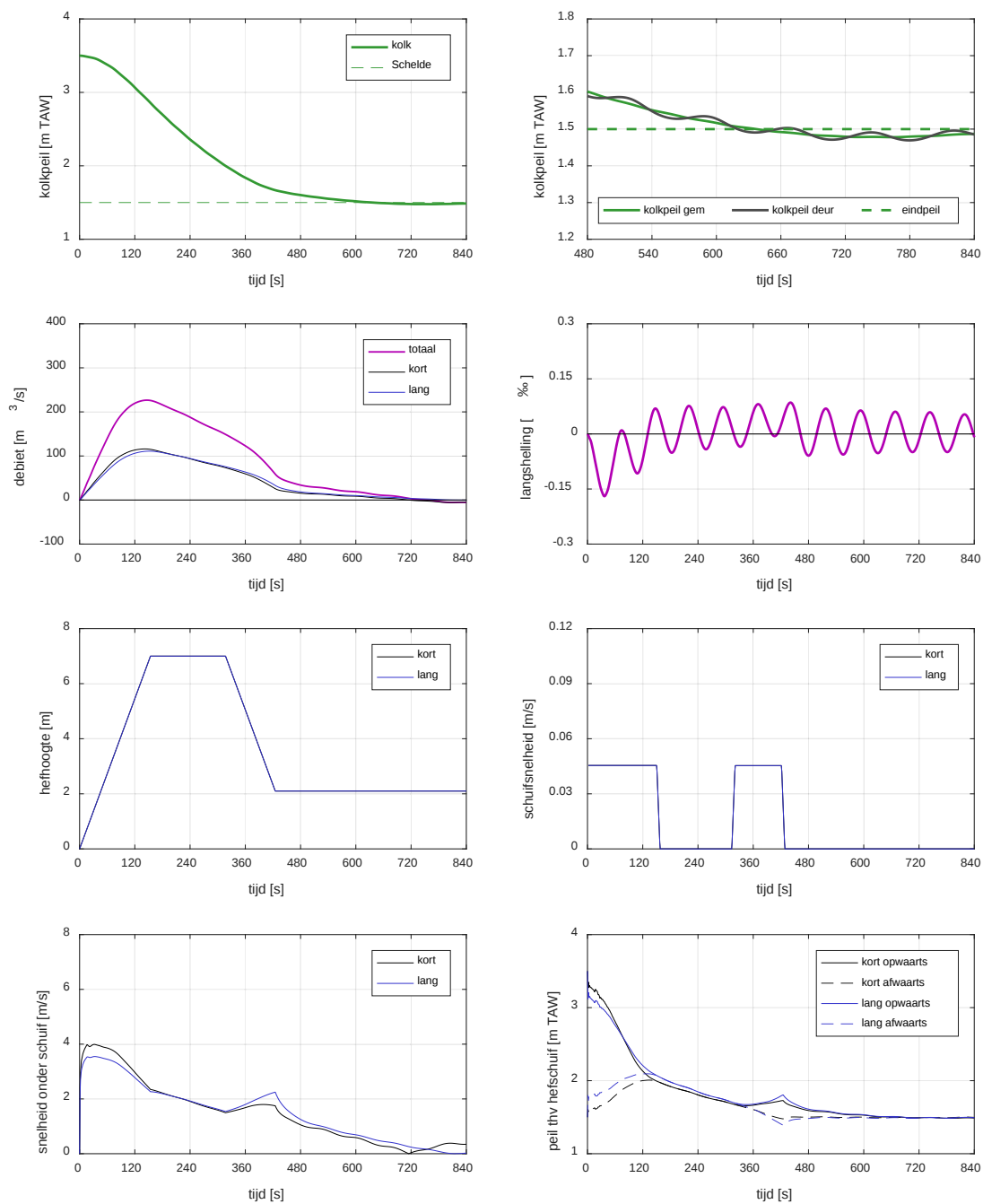
N37 S VBO H4 Sc08



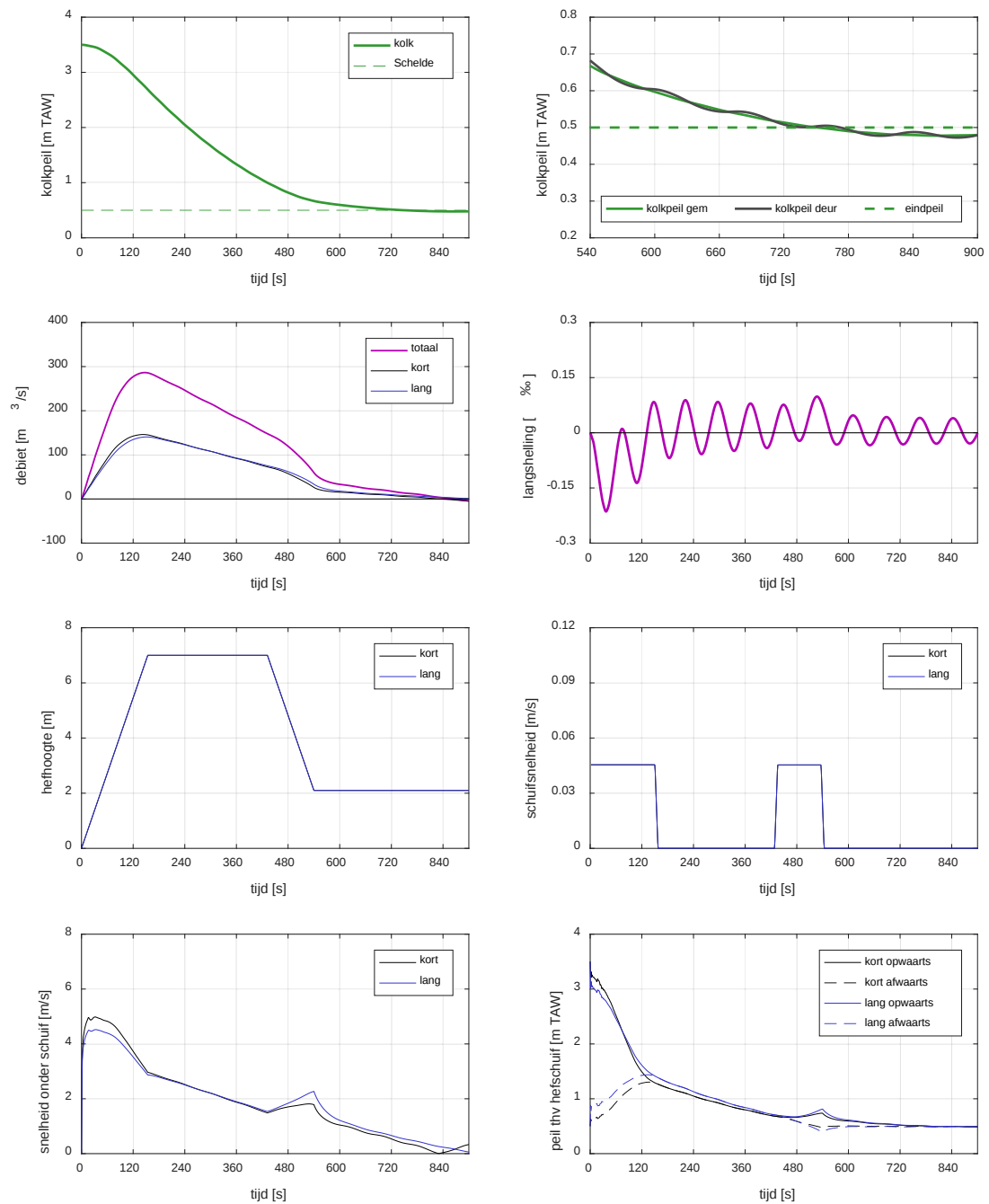
N38 S LBE H1 Sc08



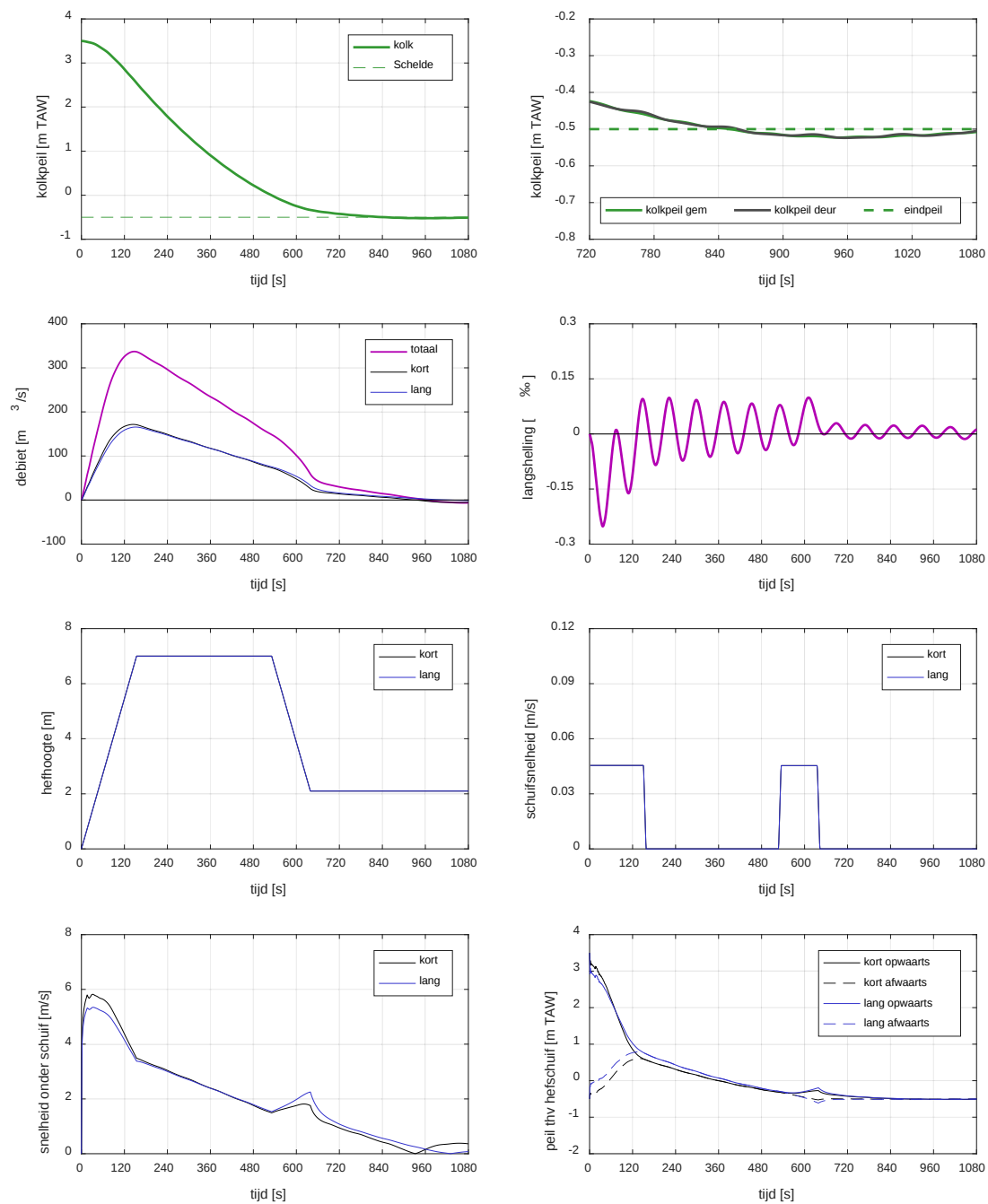
N39 S LBE H2 Sc08



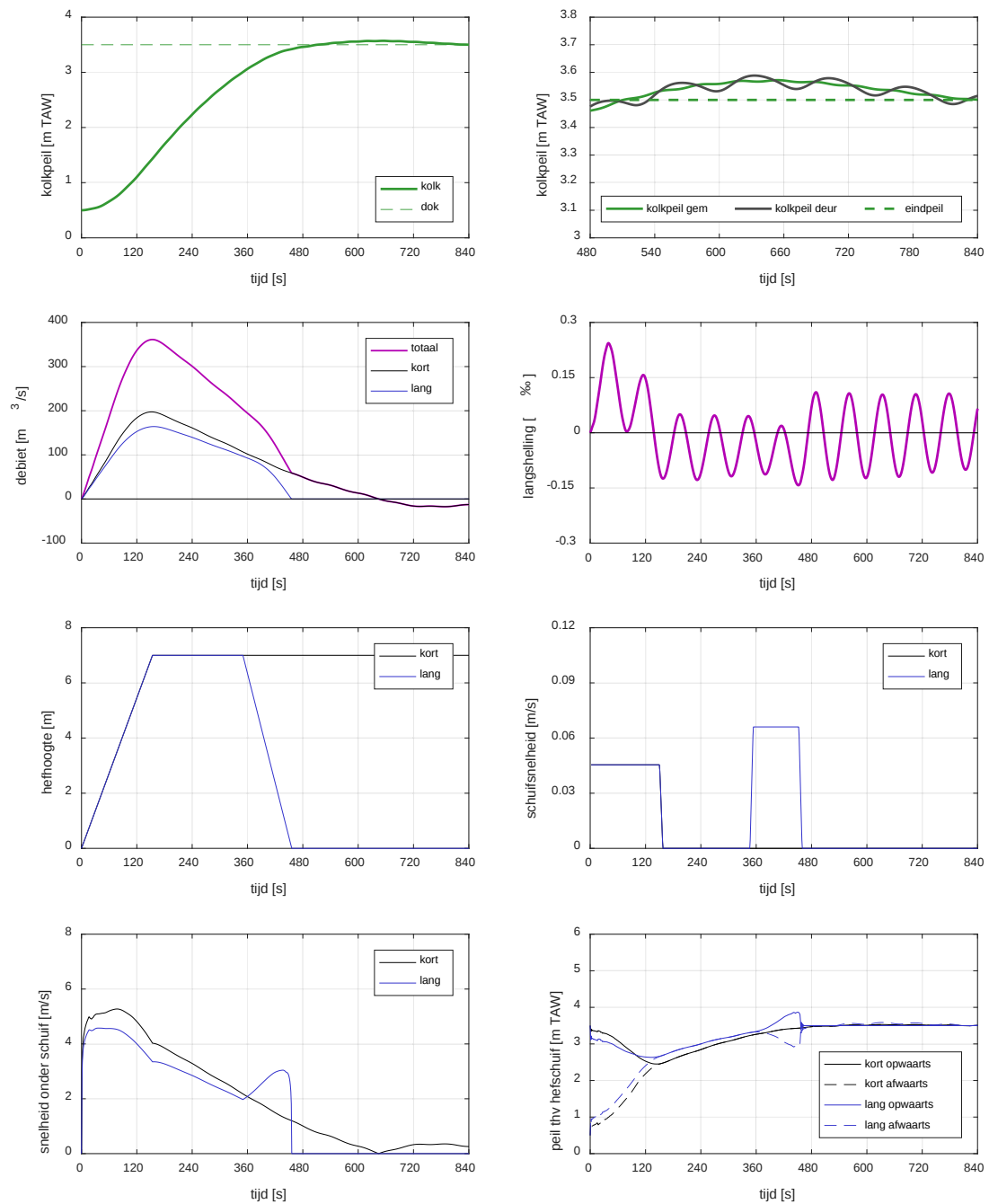
N40 S LBE H3 Sc08



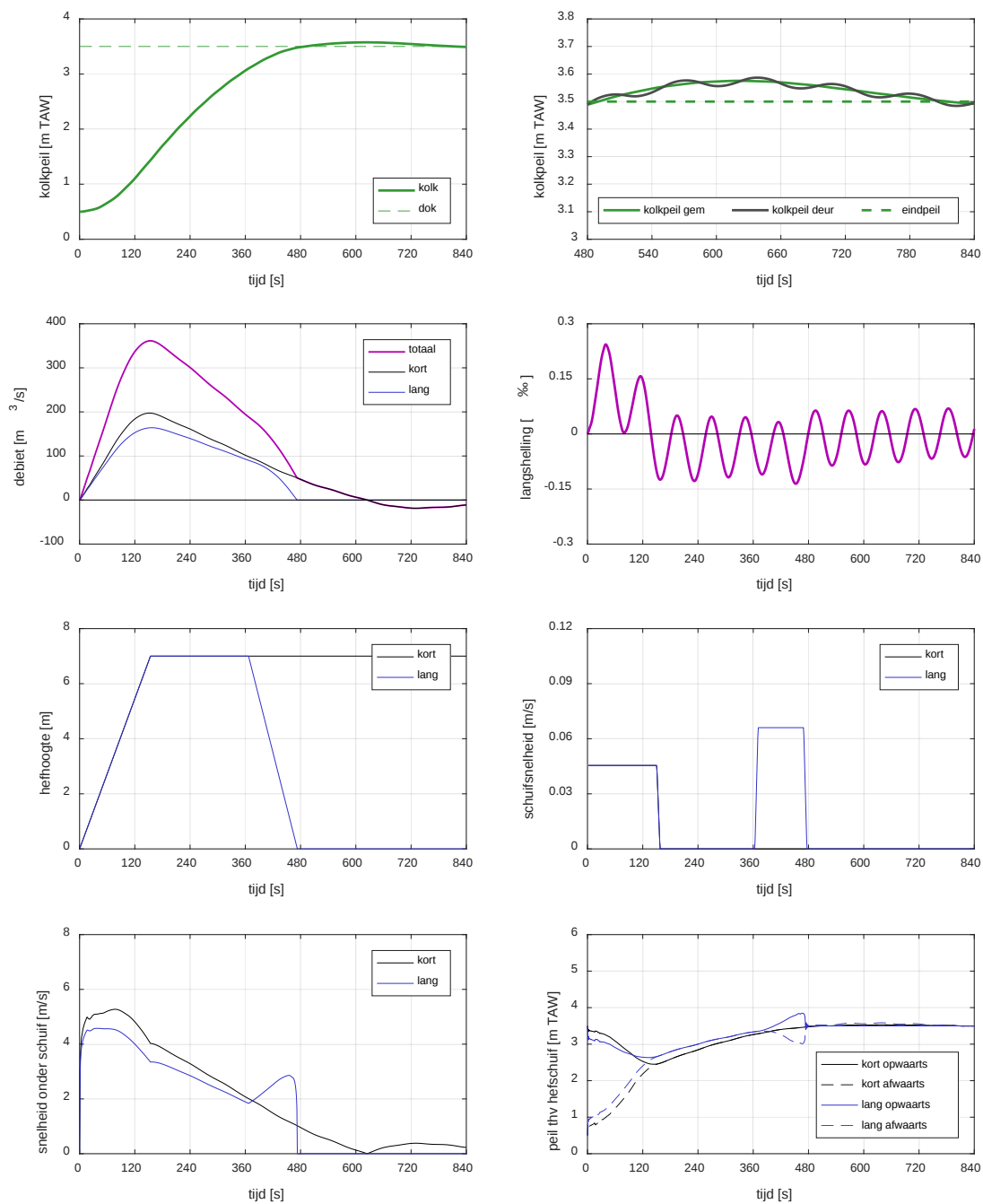
N41 S LBE H4 Sc08



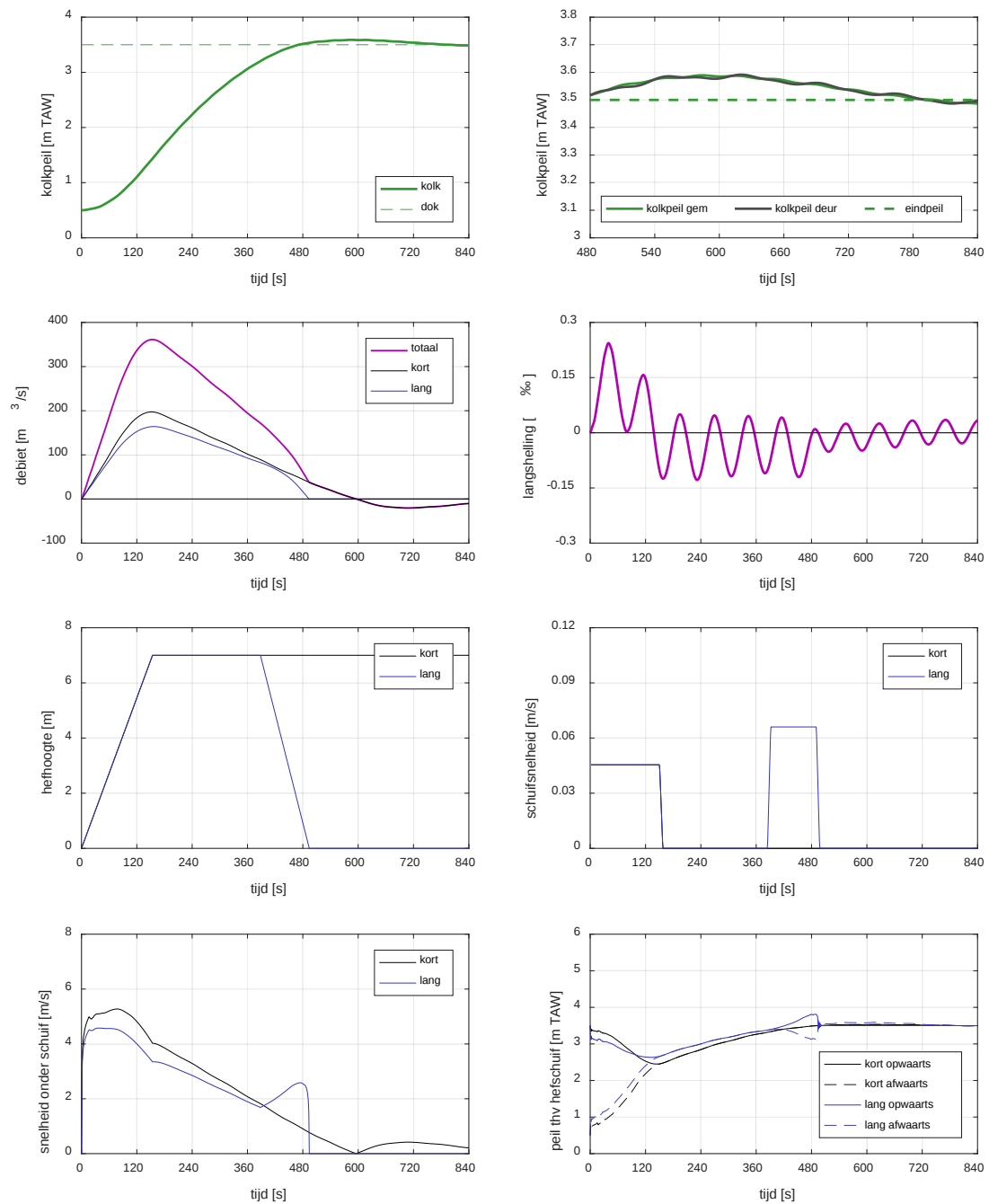
N42 S VBO H3 Sc11



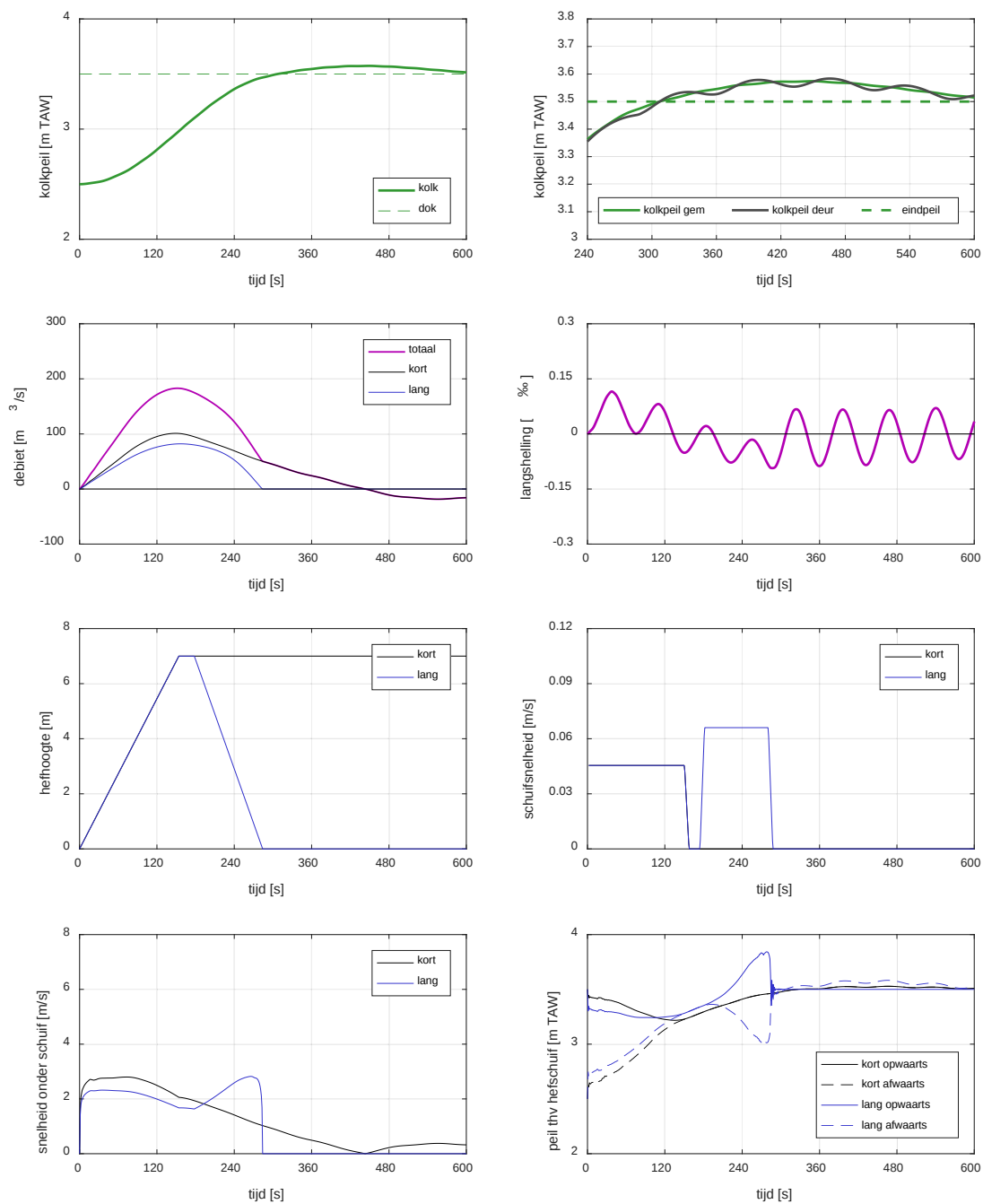
N43 S VBO H3 Sc12



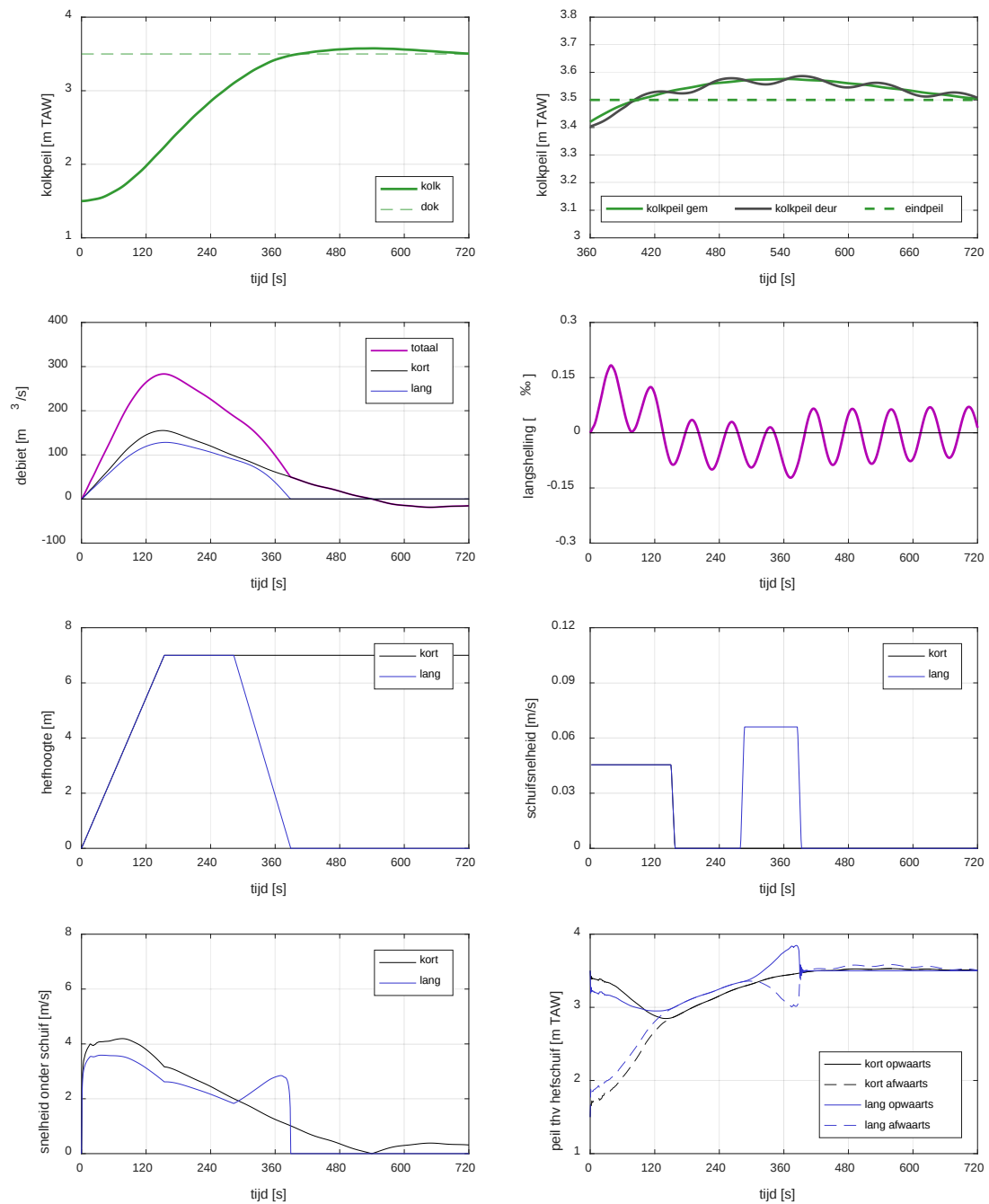
N44 S VBO H3 Sc13



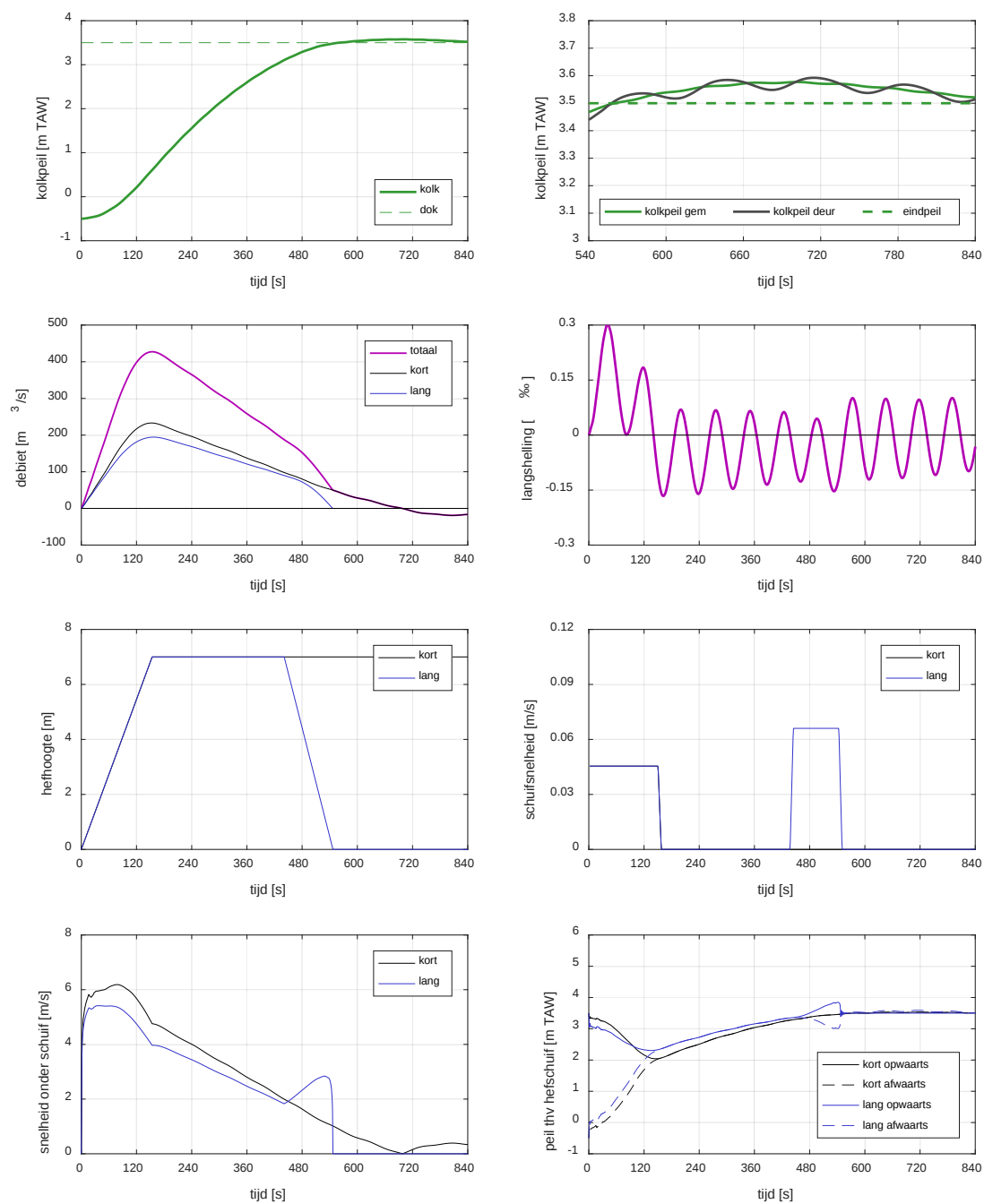
N45 S VBO H1 Sc12



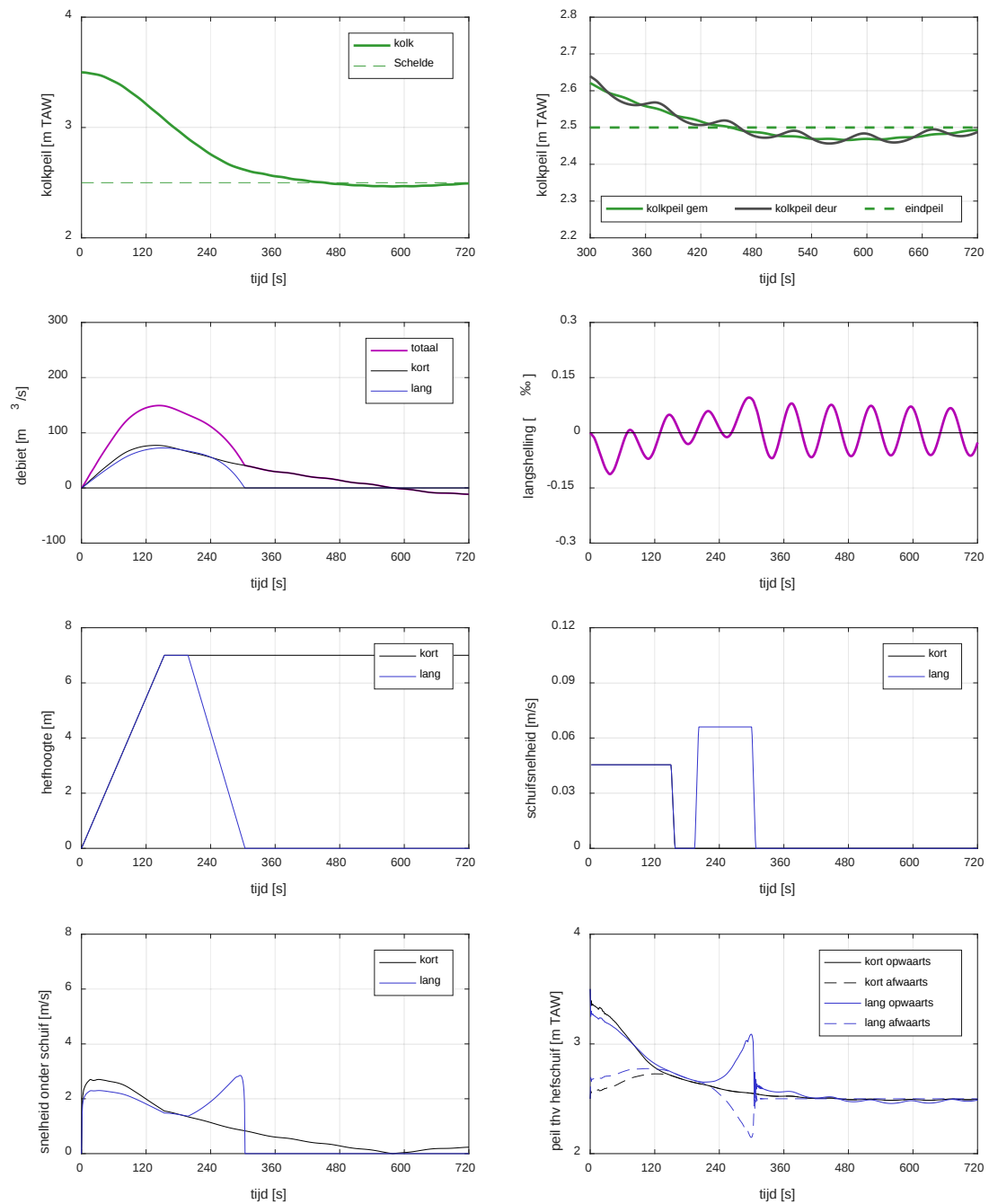
N46 S VBO H2 Sc12



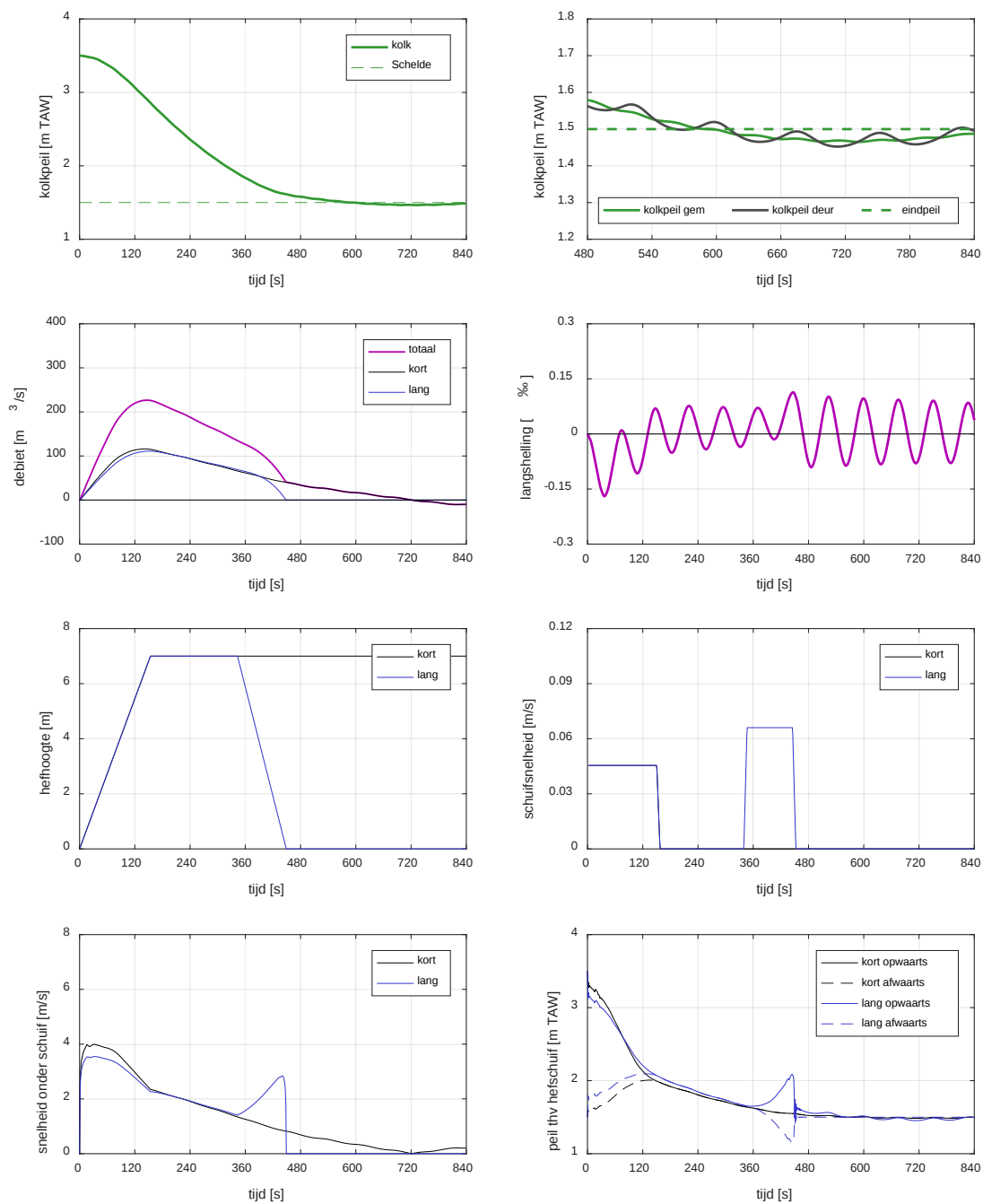
N47 S VBO H4 Sc12



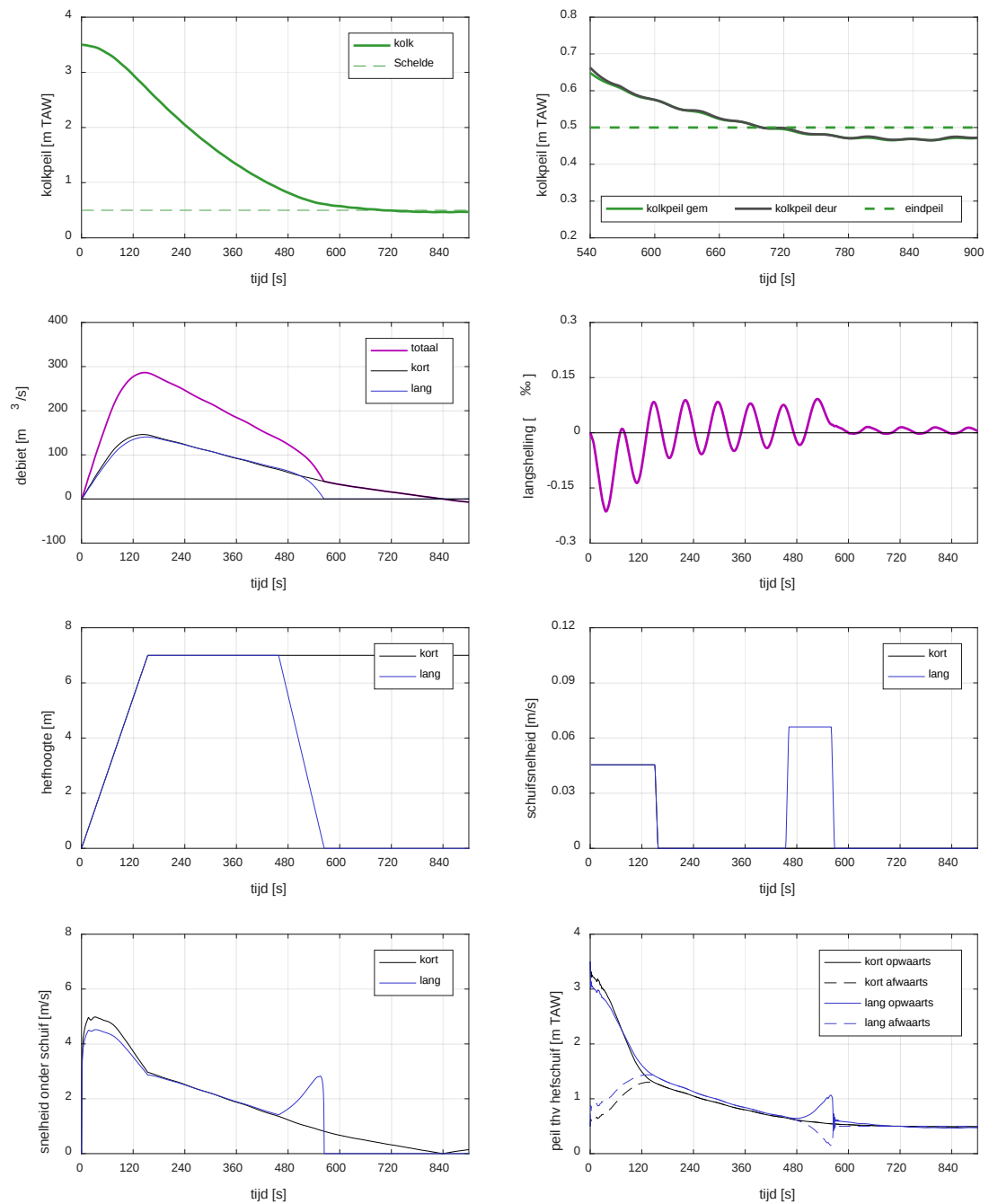
N48 S LBE H1 Sc12



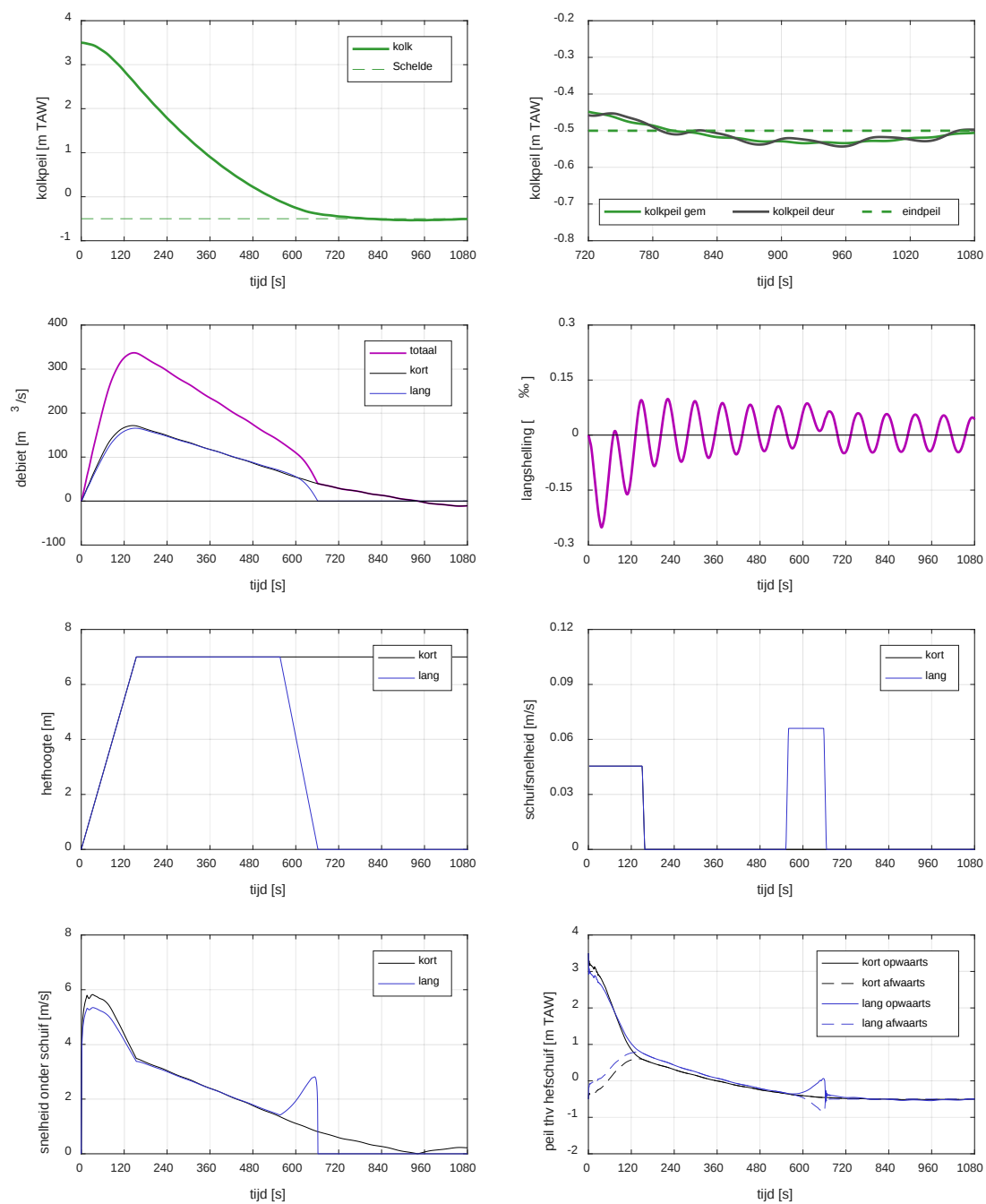
N49 S LBE H2 Sc12



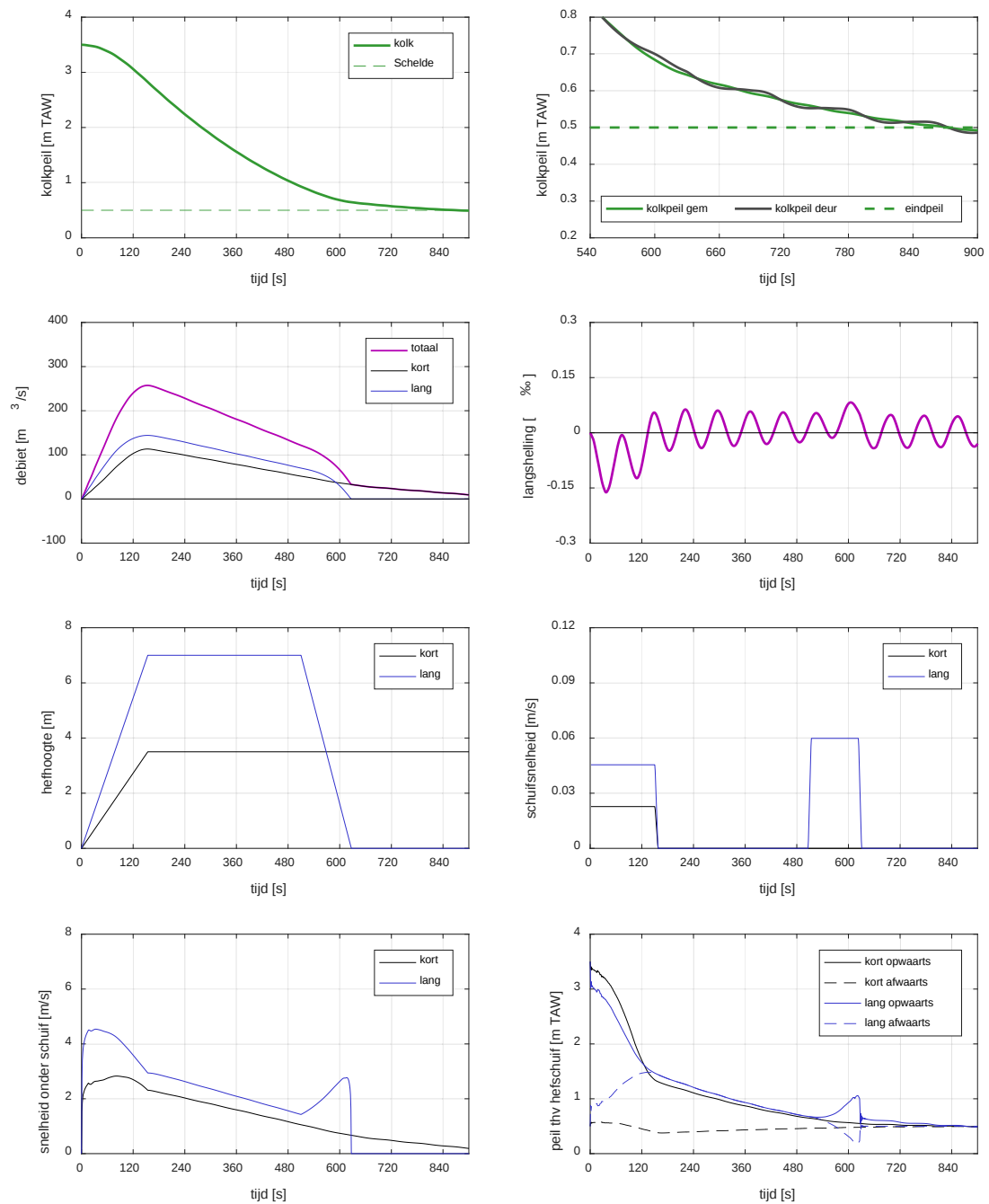
N50 S LBE H3 Sc12



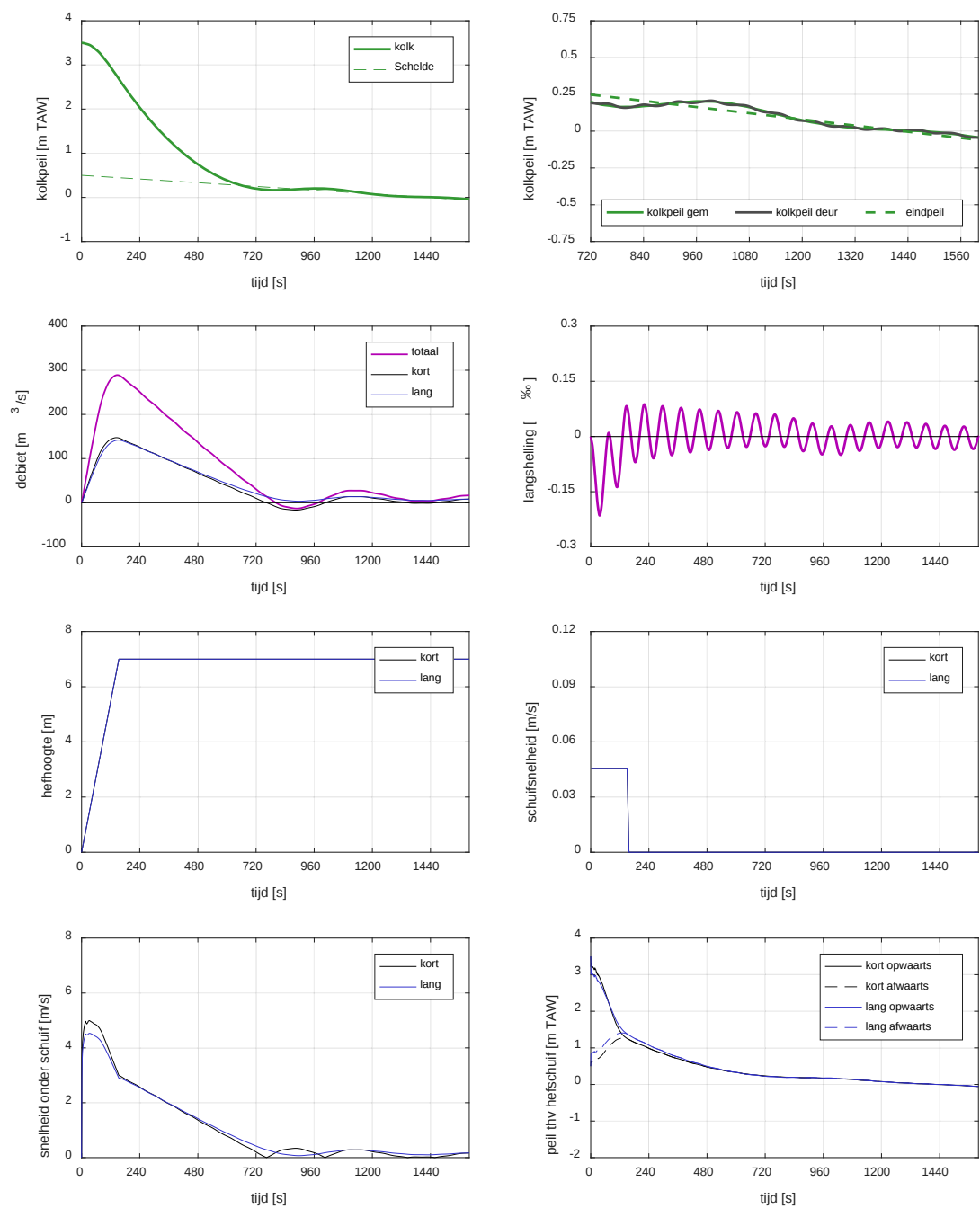
N51 S LBE H4 Sc12



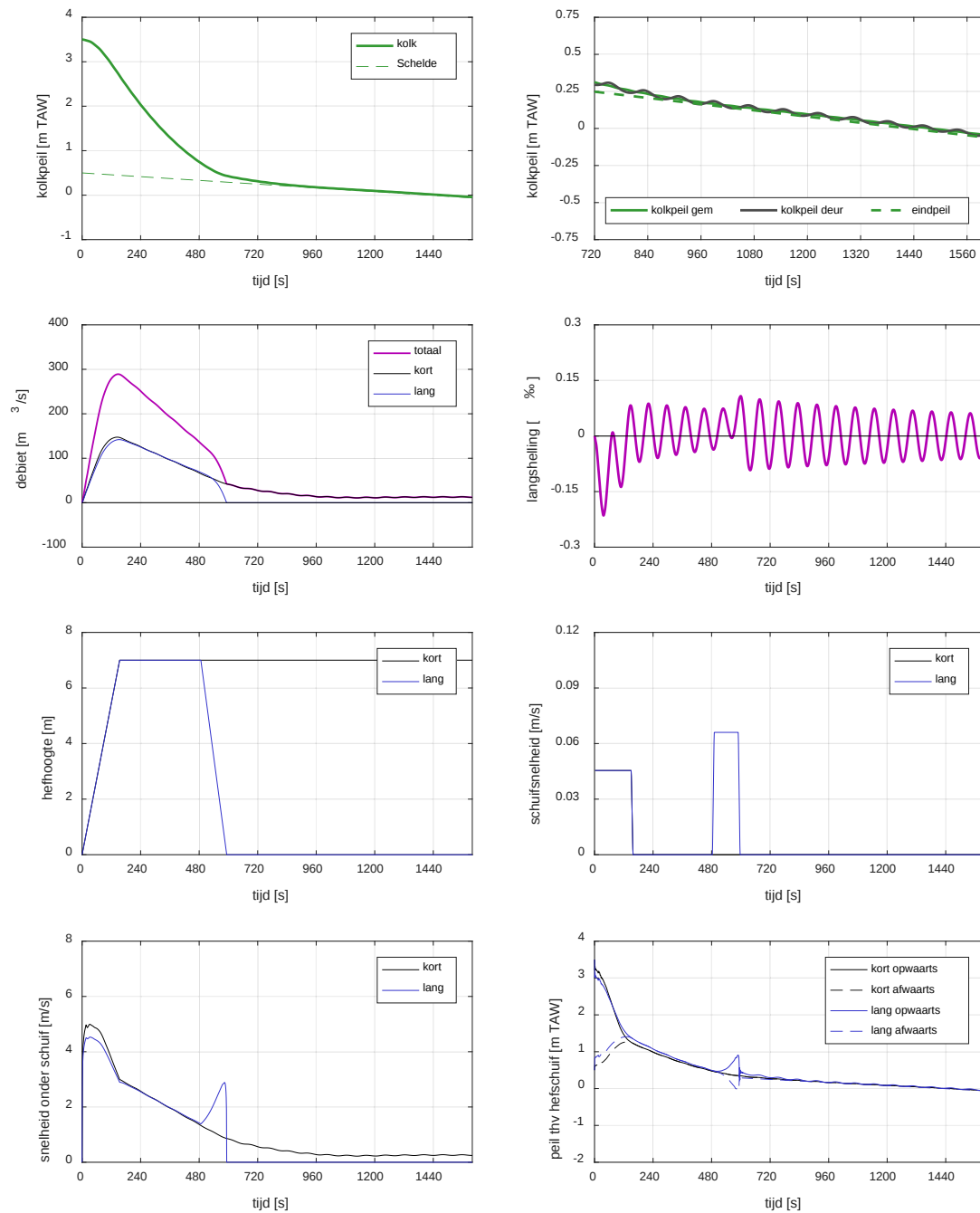
N53 S LBE H3 Sc12



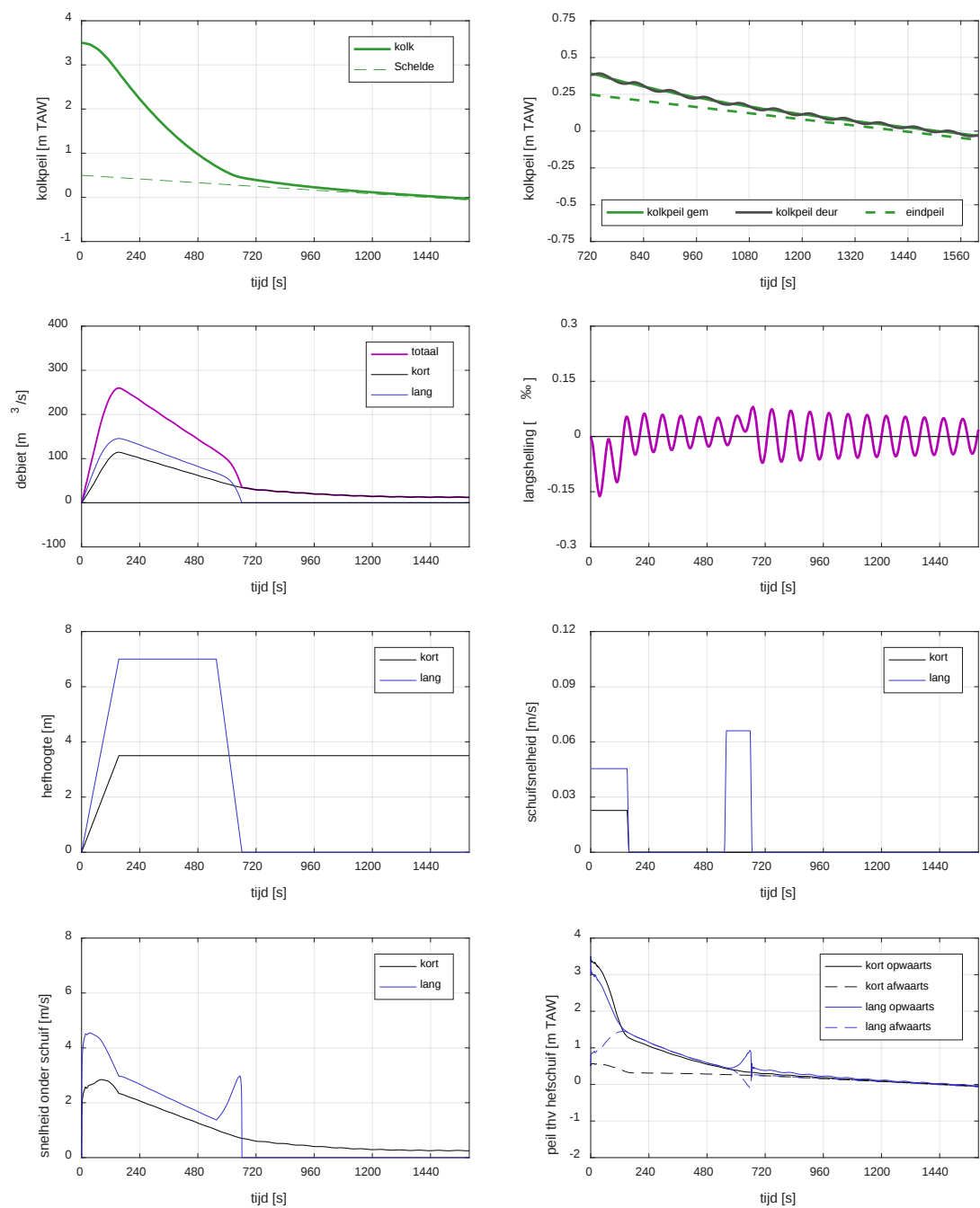
N54 S LBE H3 Sc01



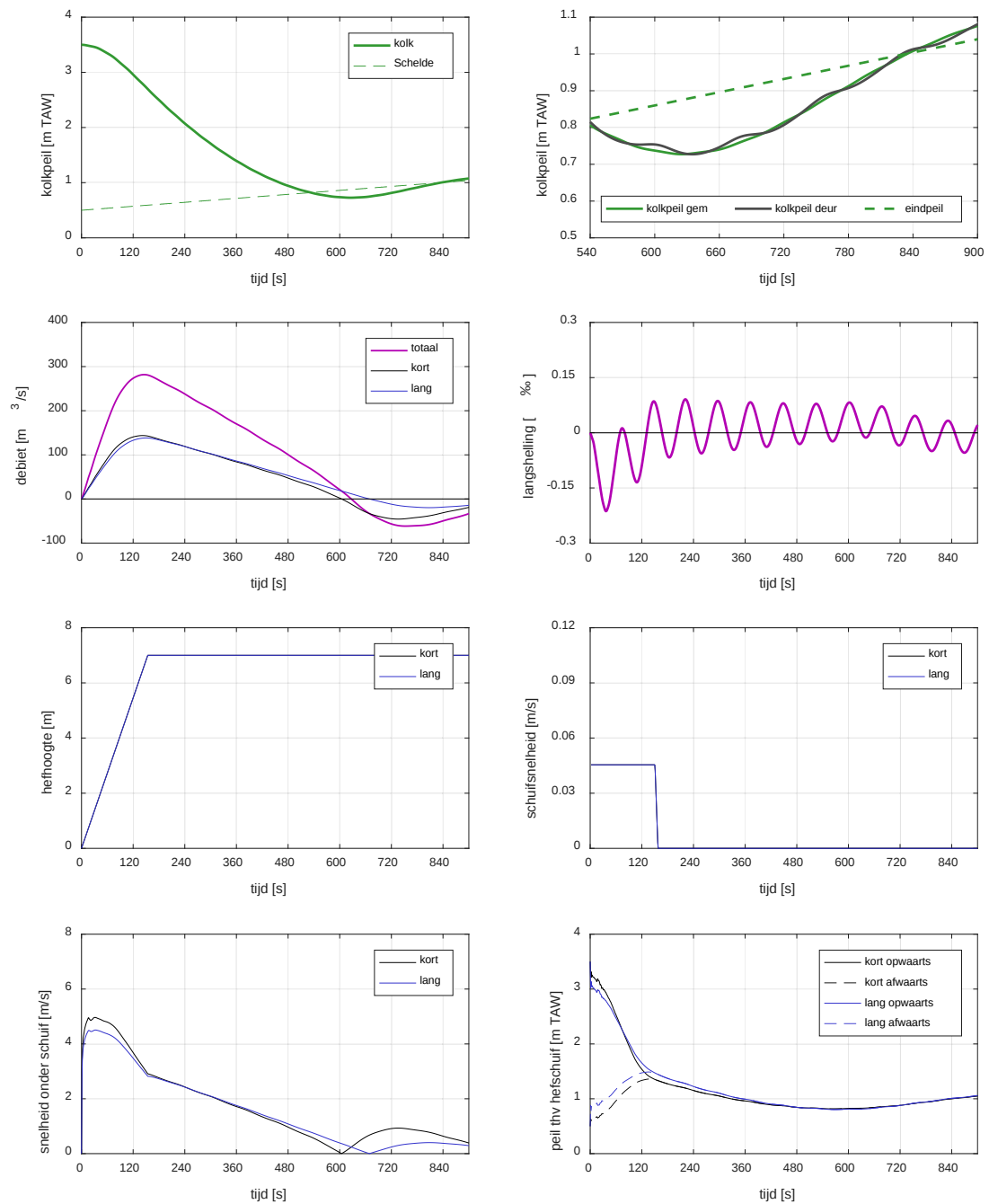
N55 S LBE H3 Sc12



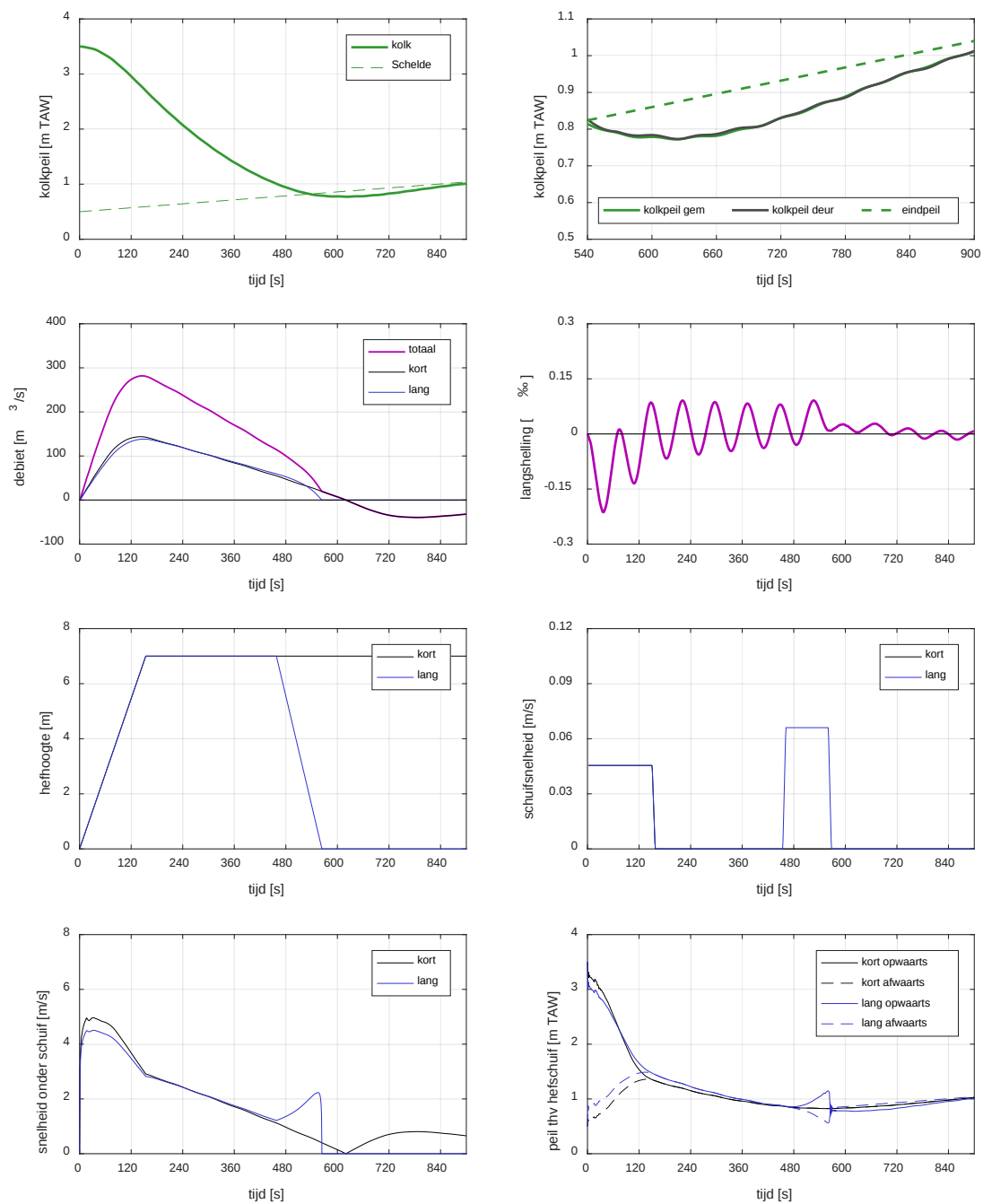
N56 S LBE H3 Sc12



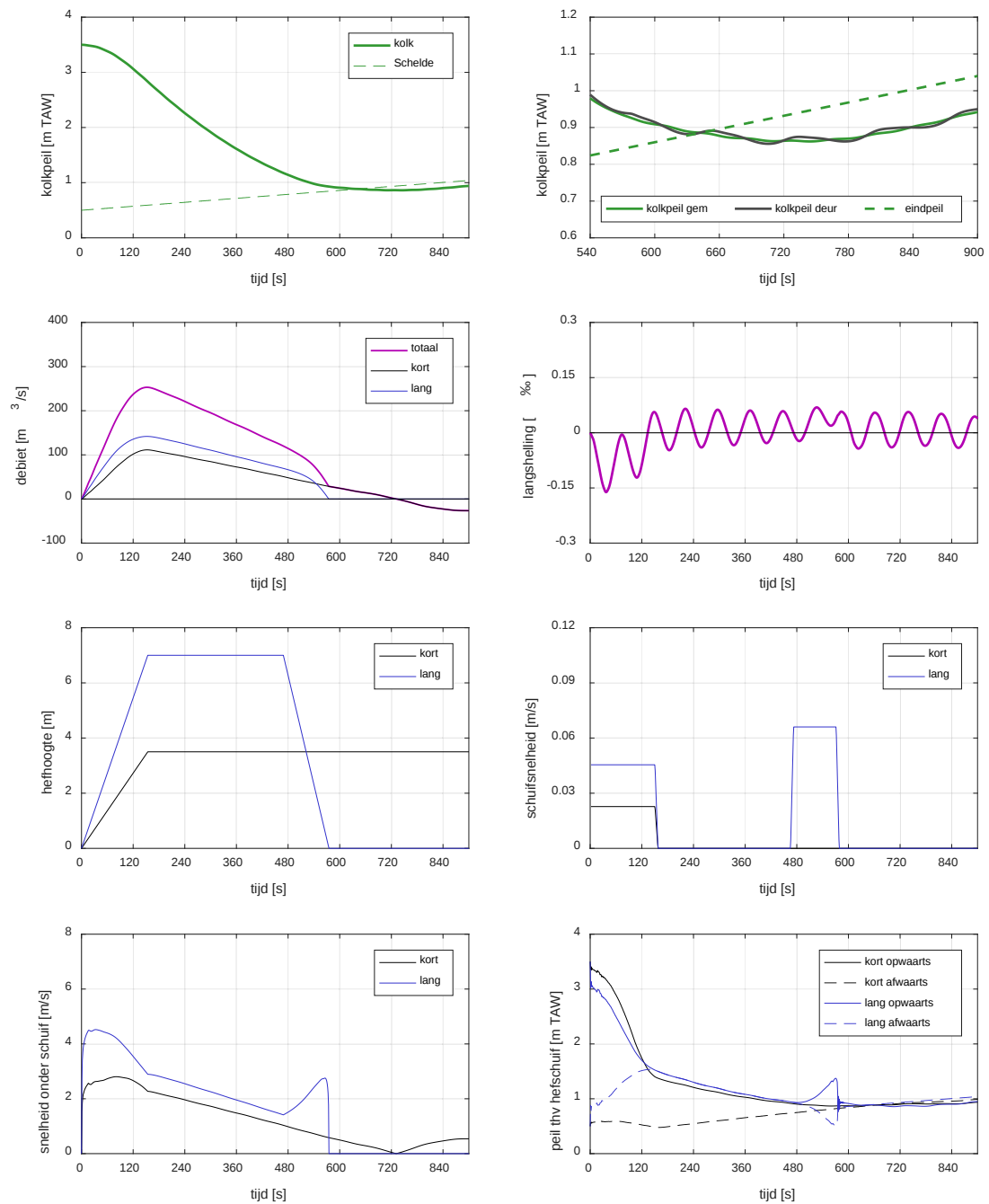
N57 S LBE H3 Sc01



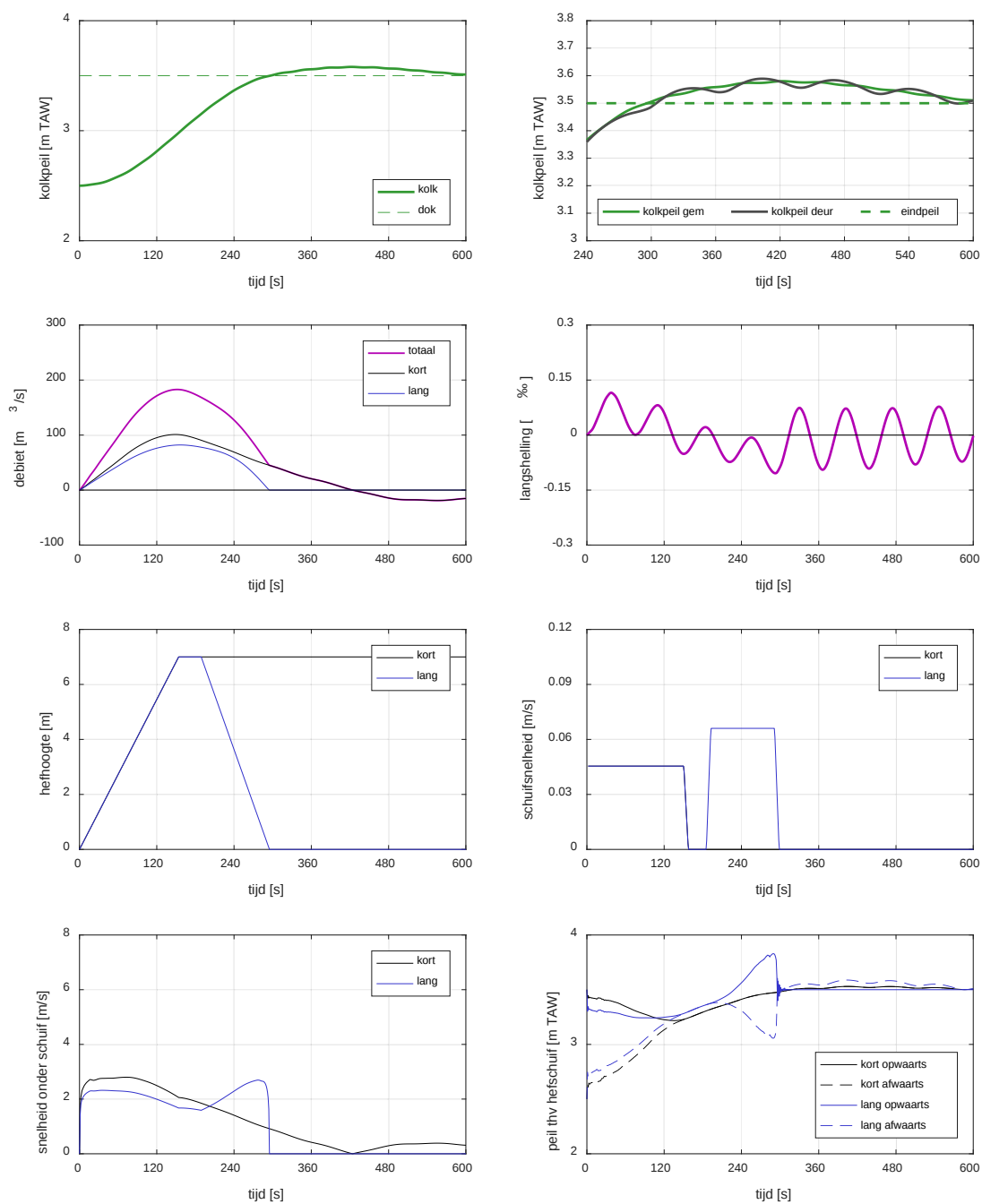
N58 S LBE H3 Sc12



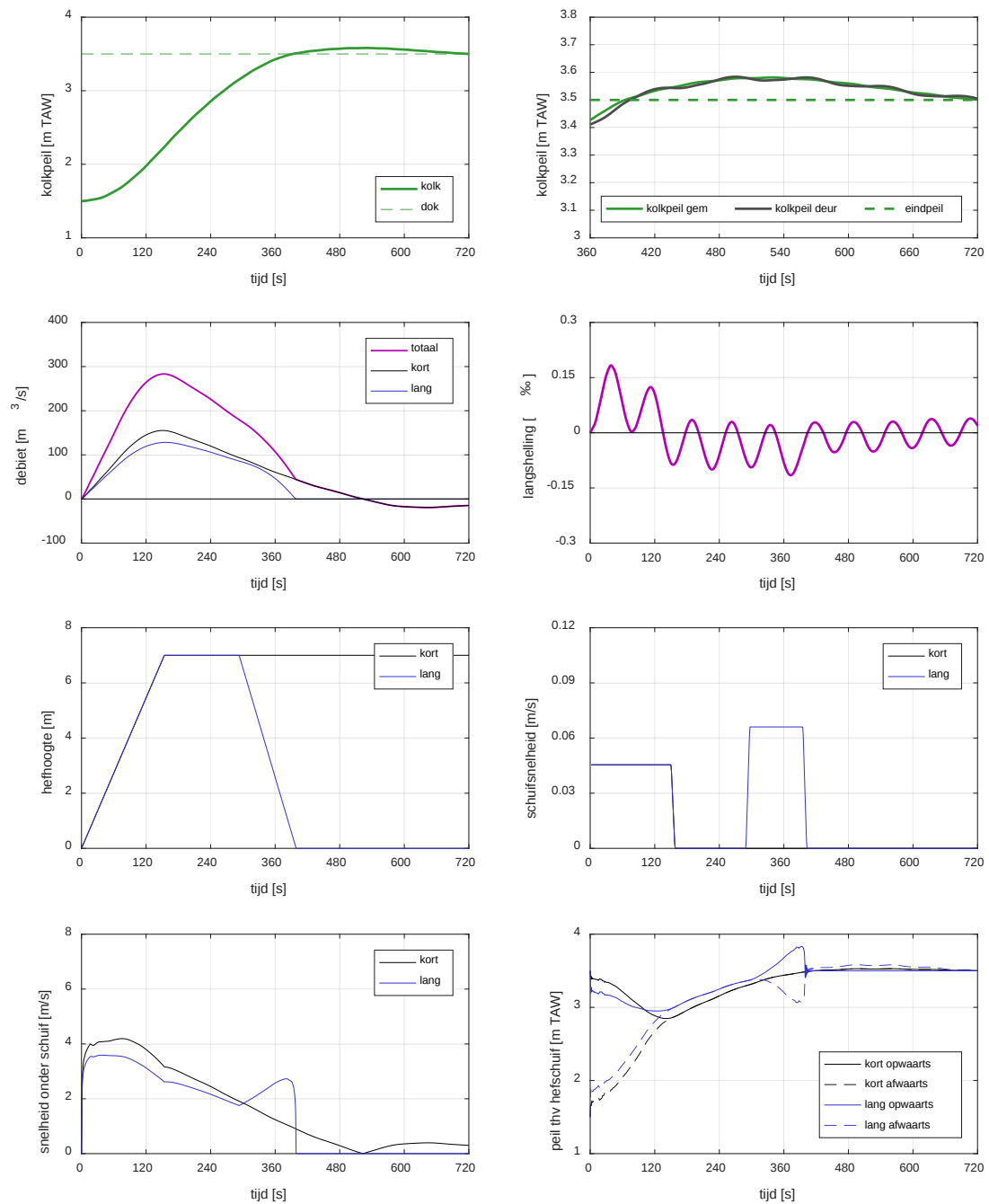
N59 S LBE H3 Sc12



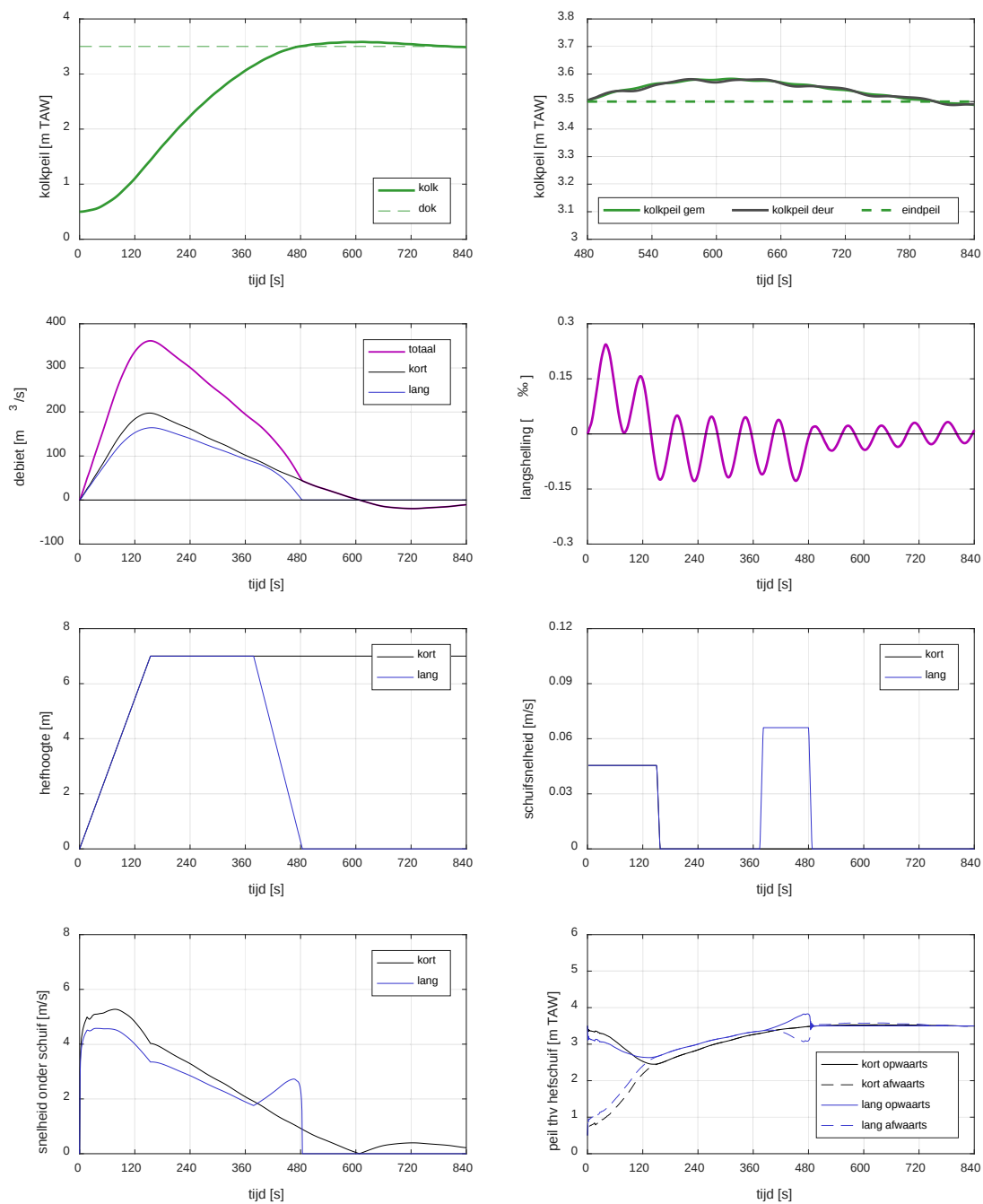
N60 S VBO H1 Sc14



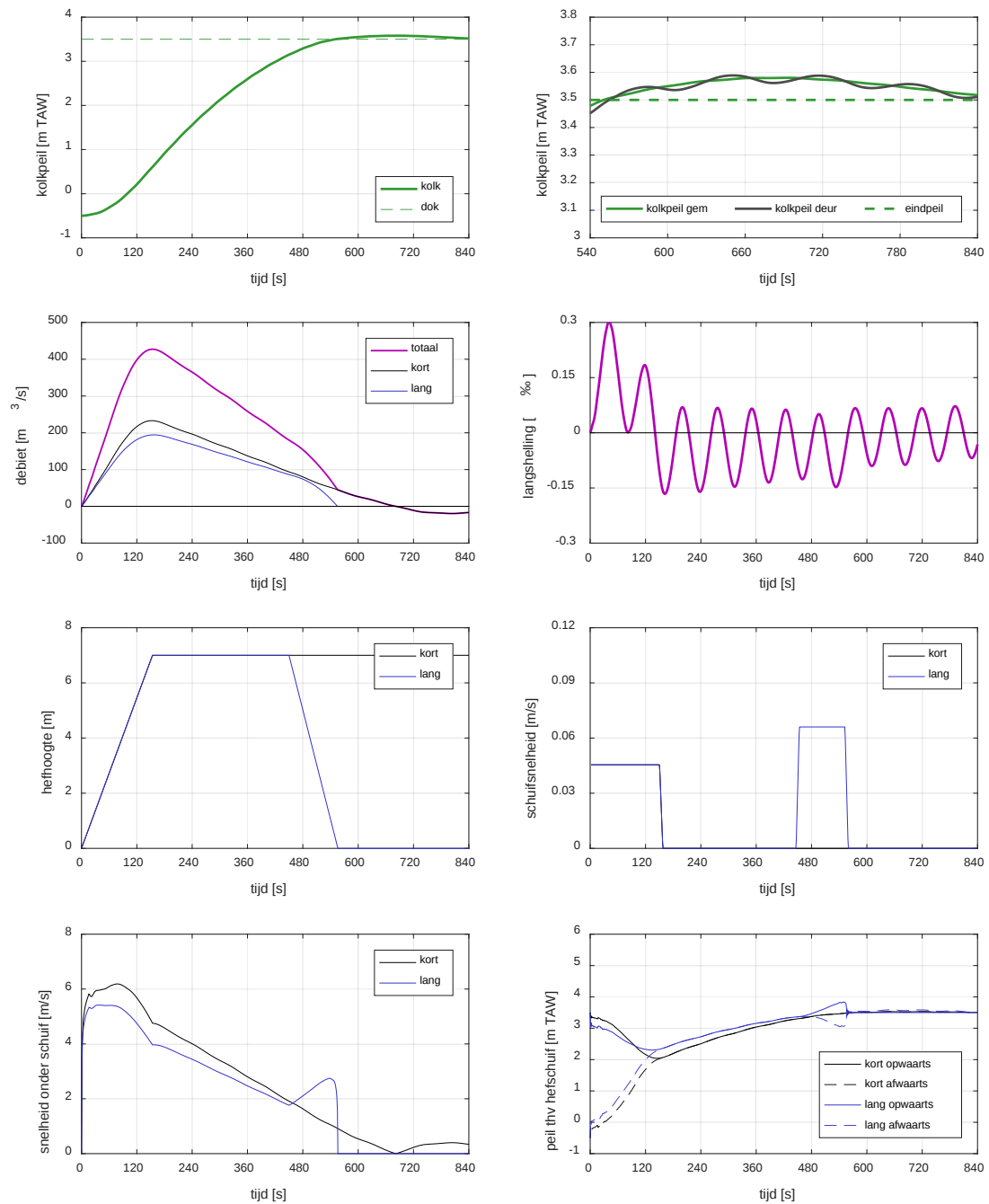
N61 S VBO H2 Sc14



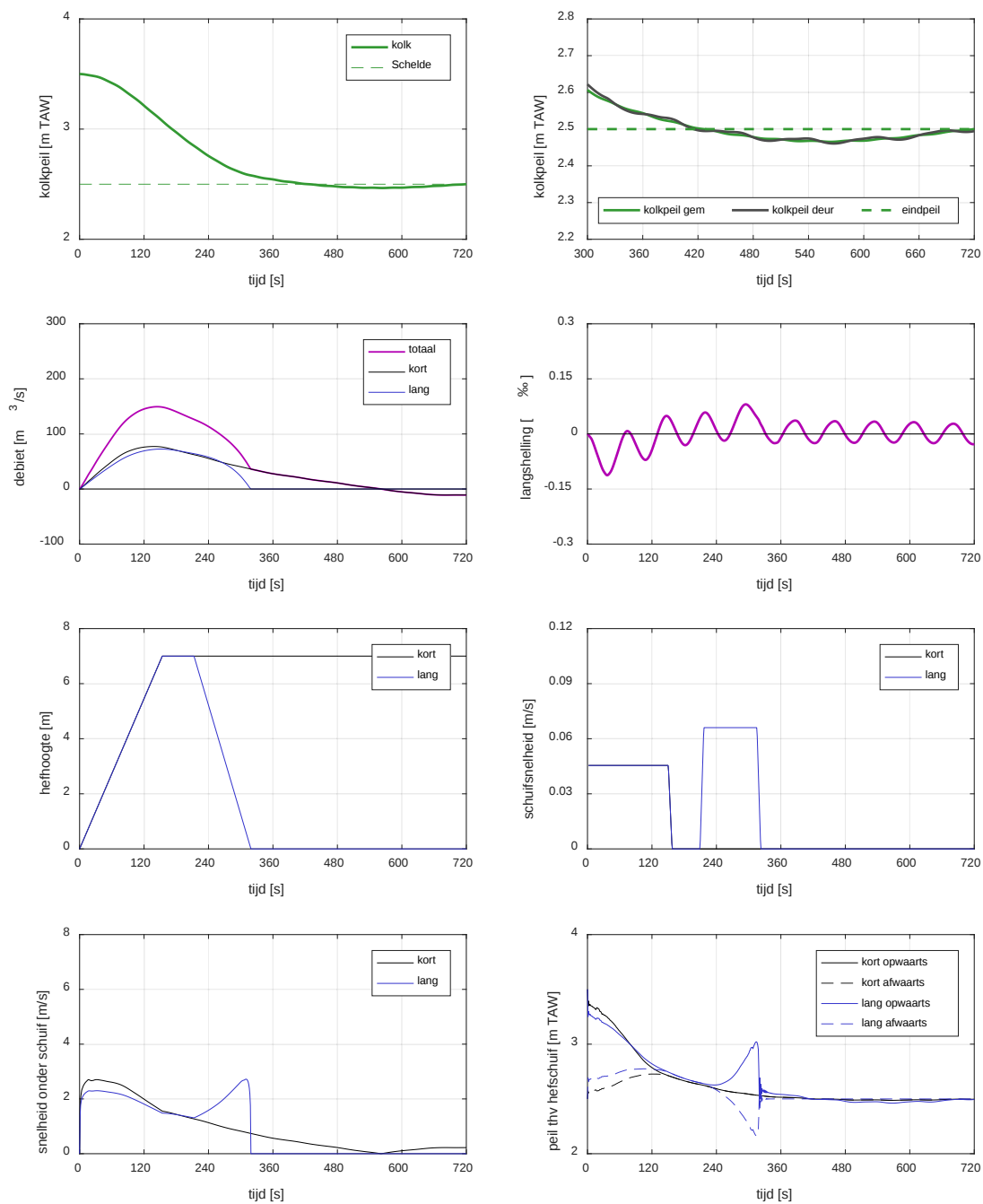
N62 S VBO H3 Sc14



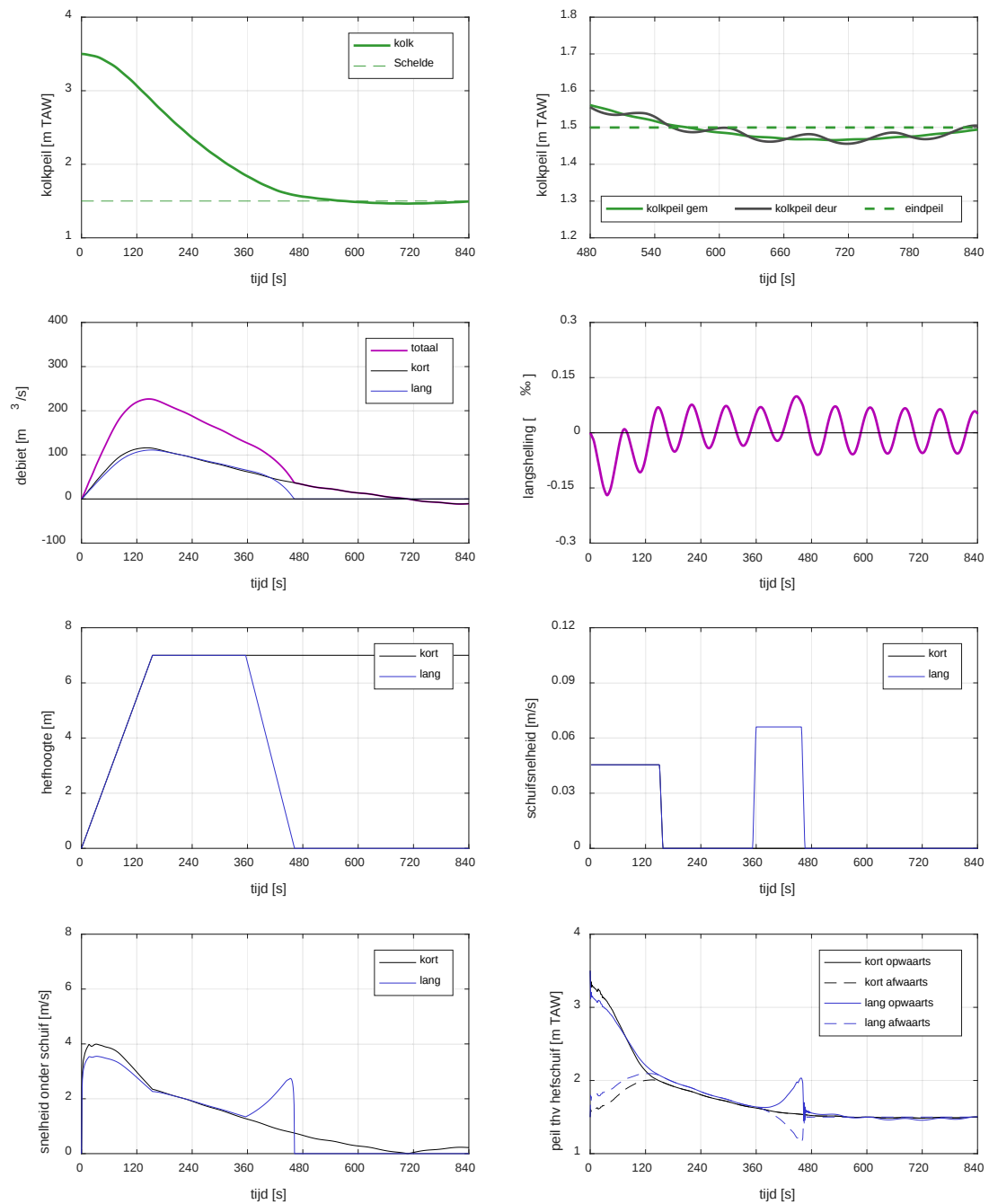
N63 S VBO H4 Sc14



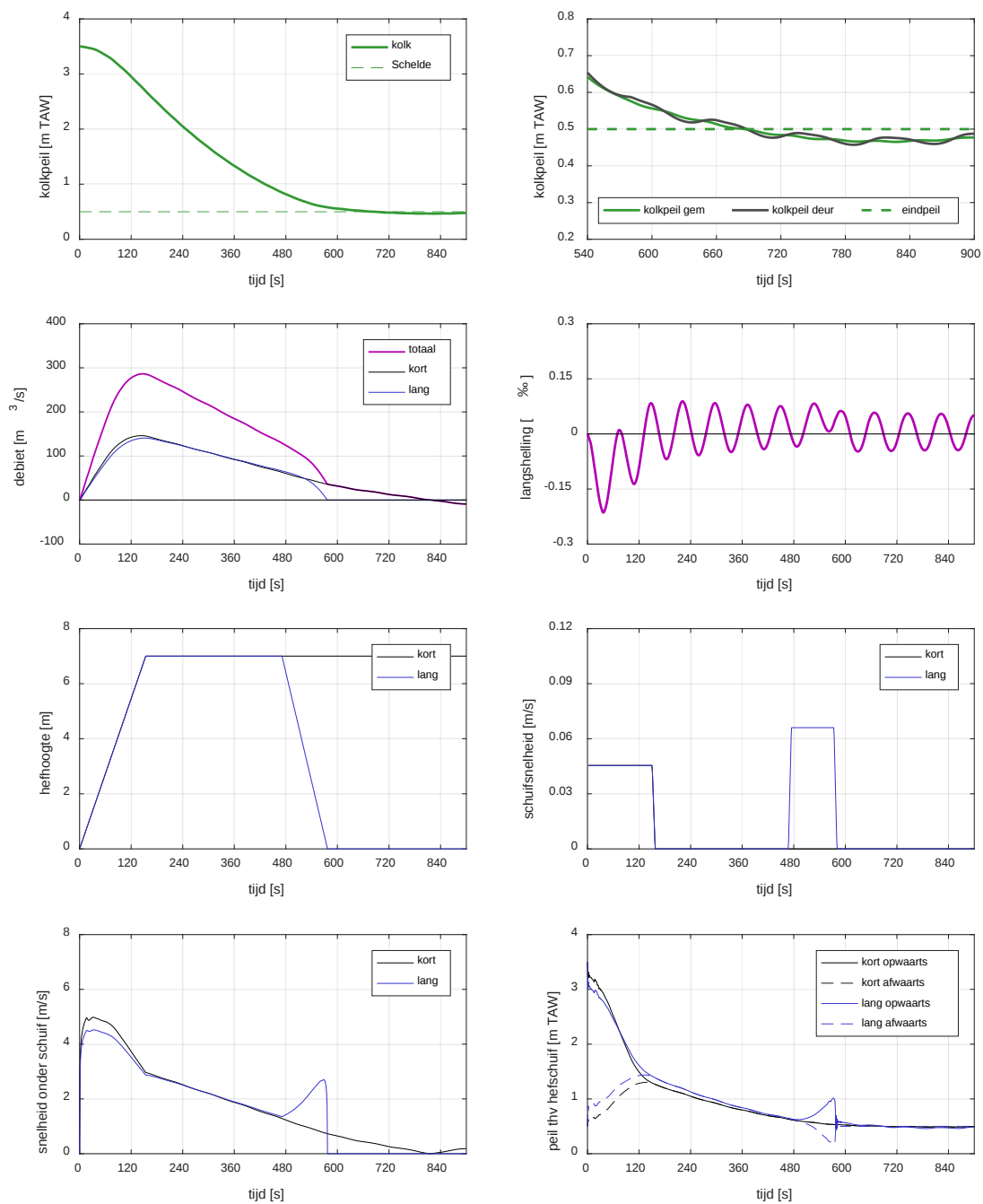
N64 S LBE H1 Sc14



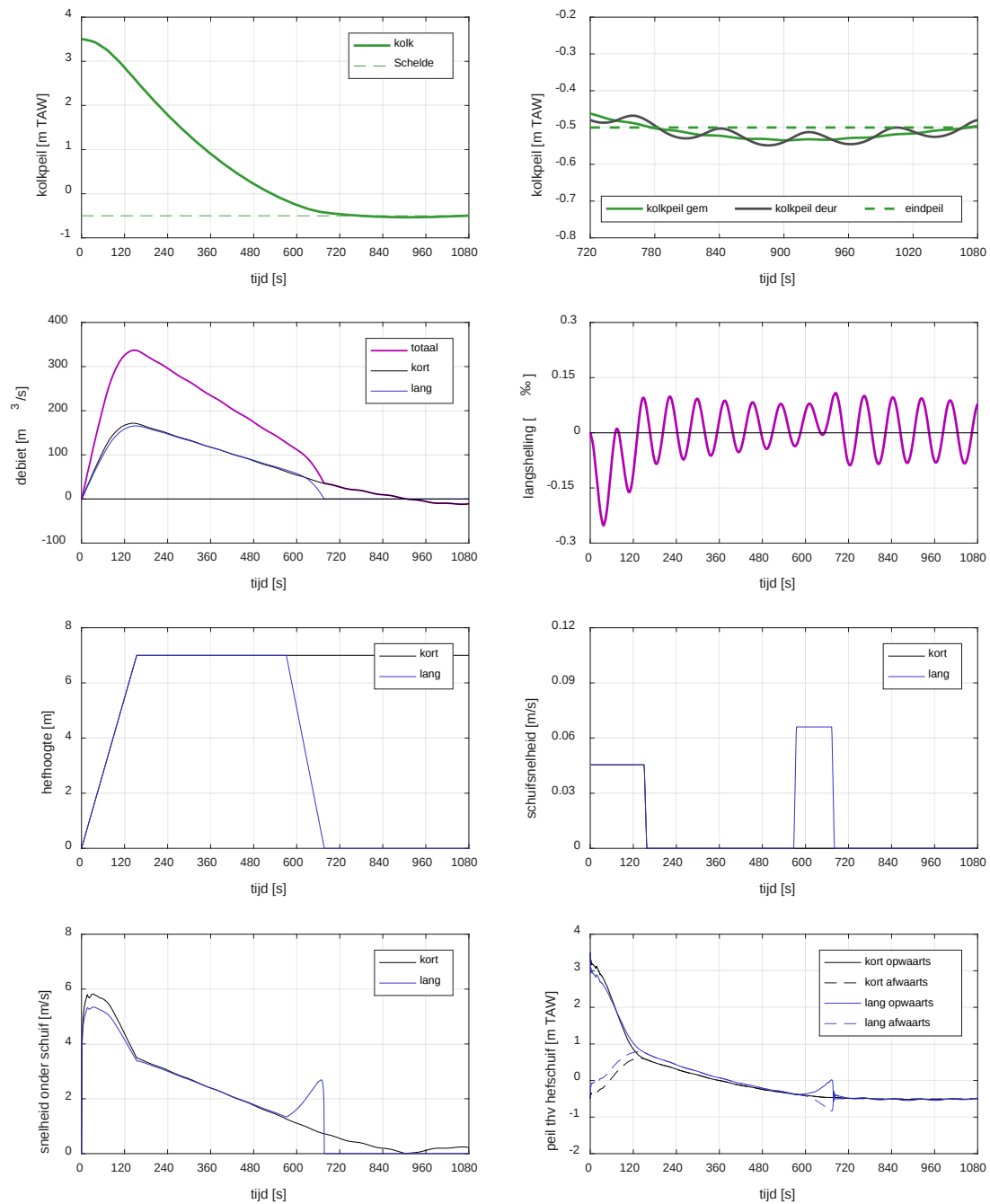
N65 S LBE H2 Sc14



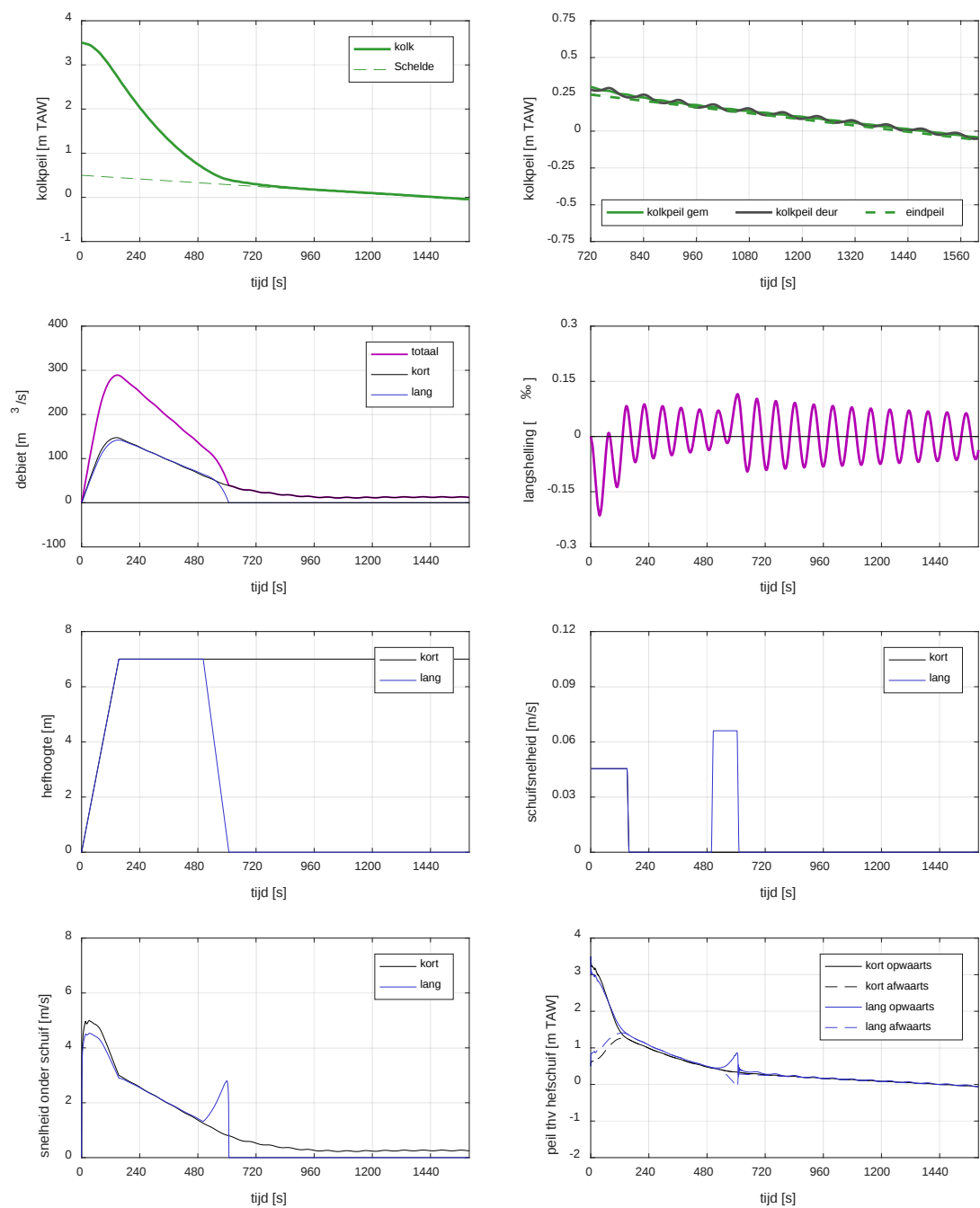
N66 S LBE H3 Sc14



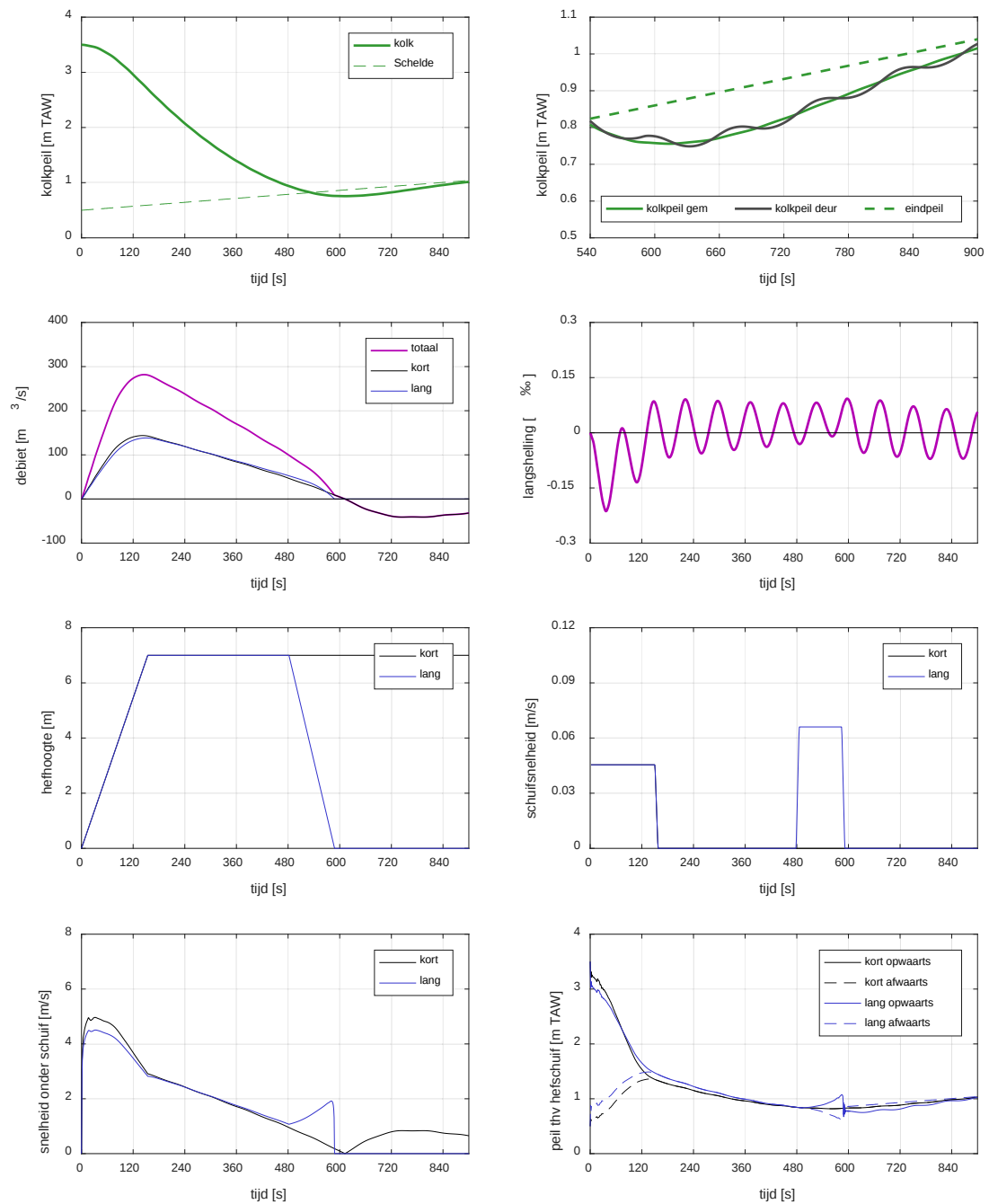
N67 S LBE H4 Sc14



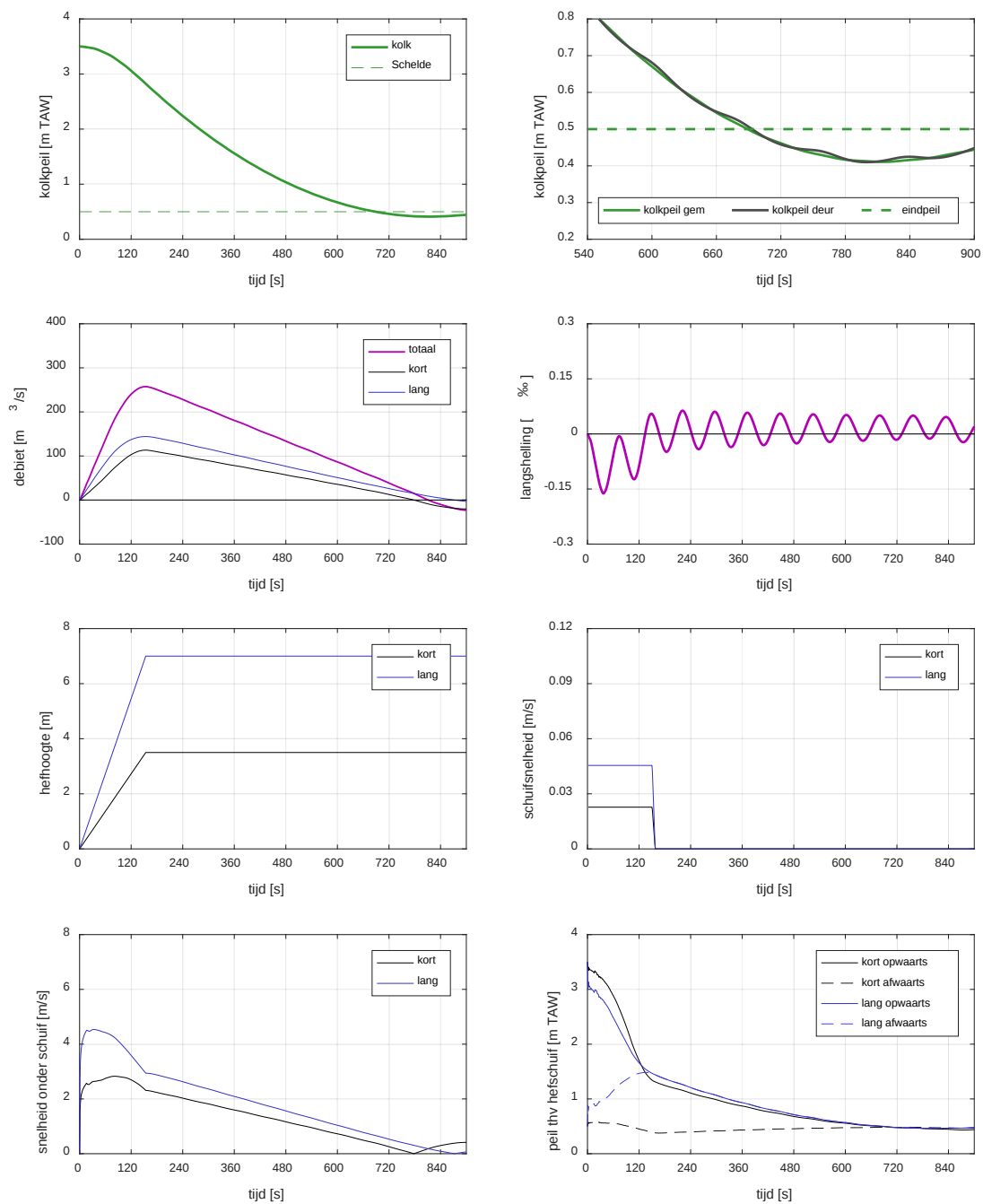
N68 S LBE H3 Sc14



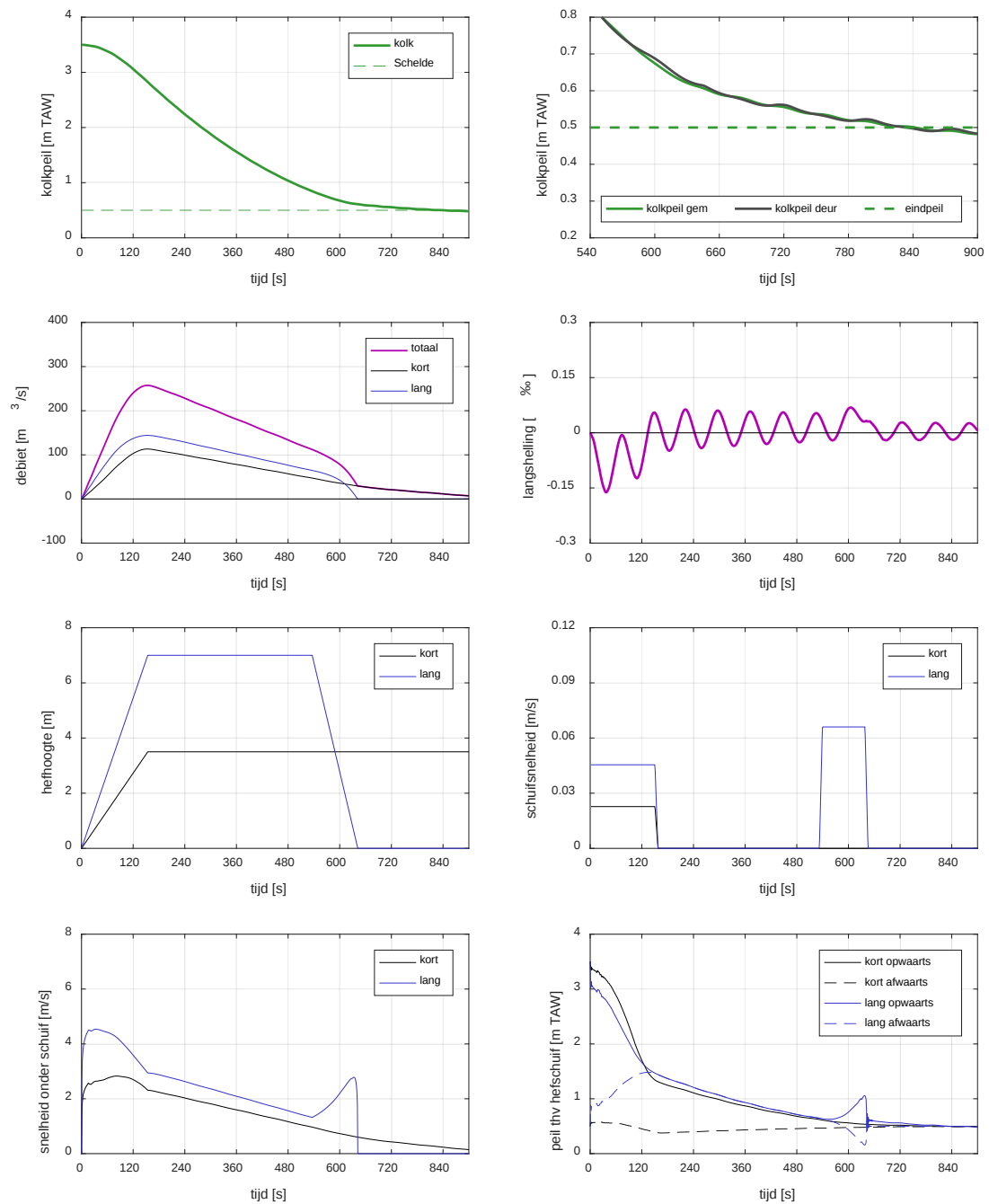
N69 S LBE H3 Sc14



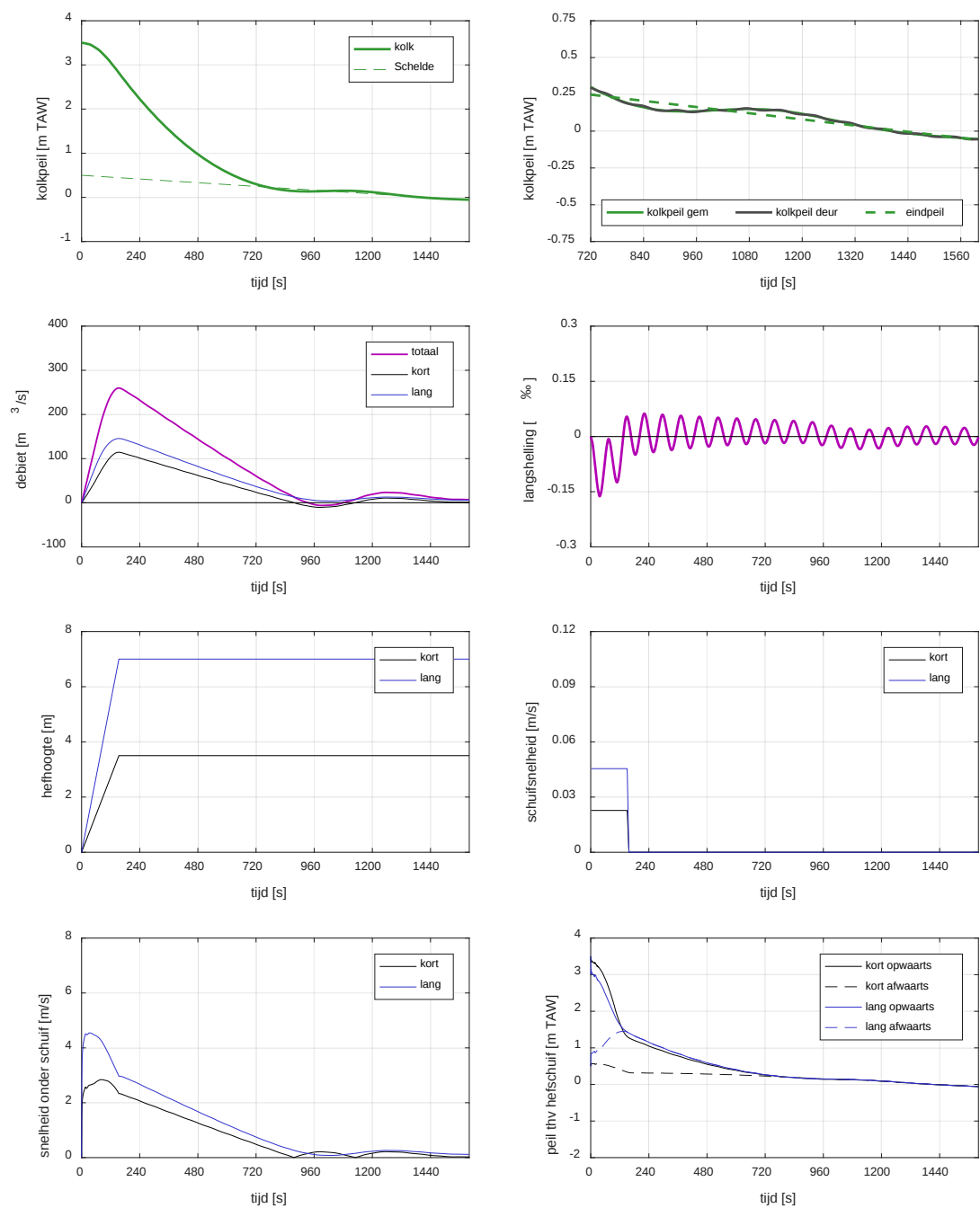
N70 S LBE H3 Sc01



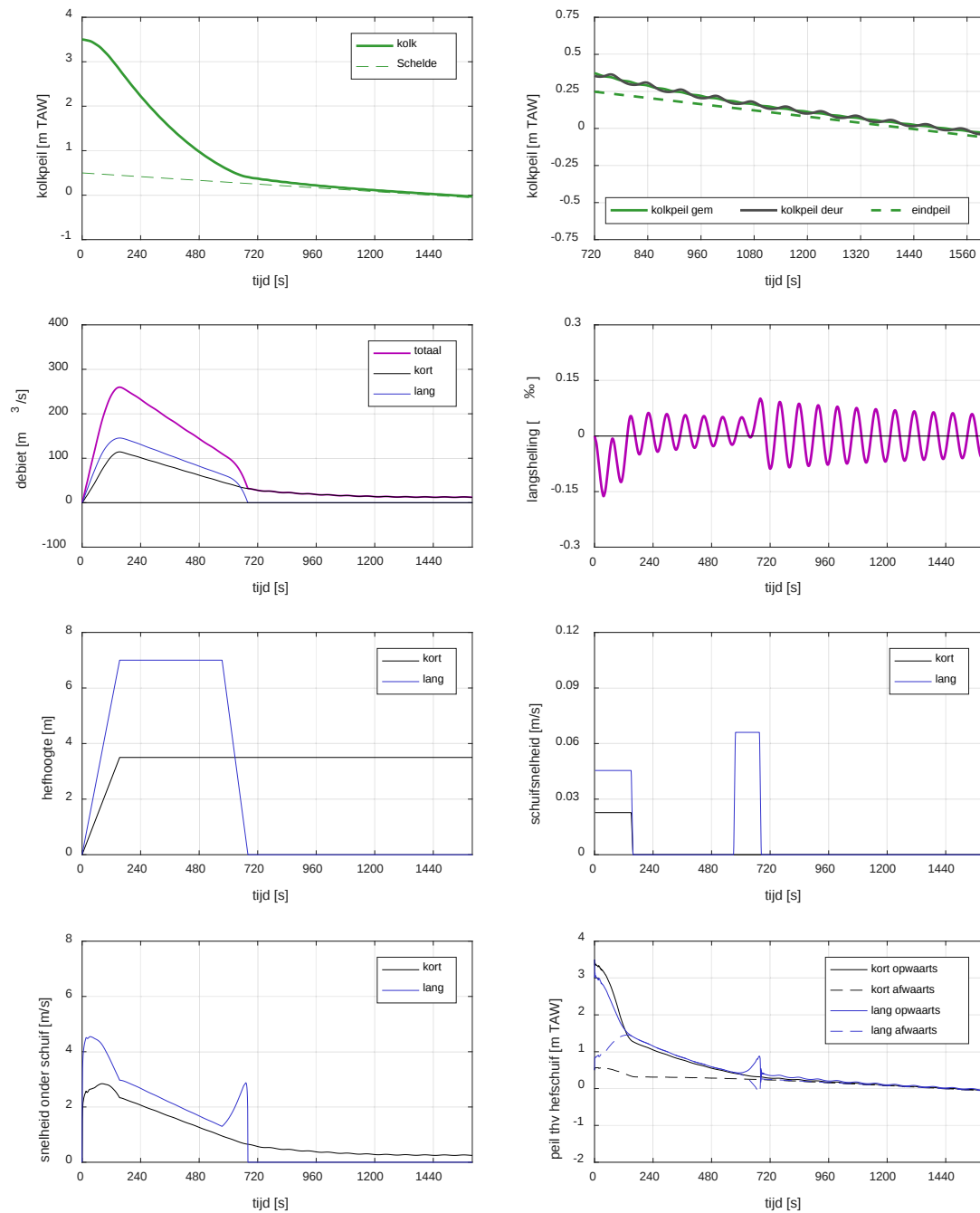
N71 S LBE H3 Sc14



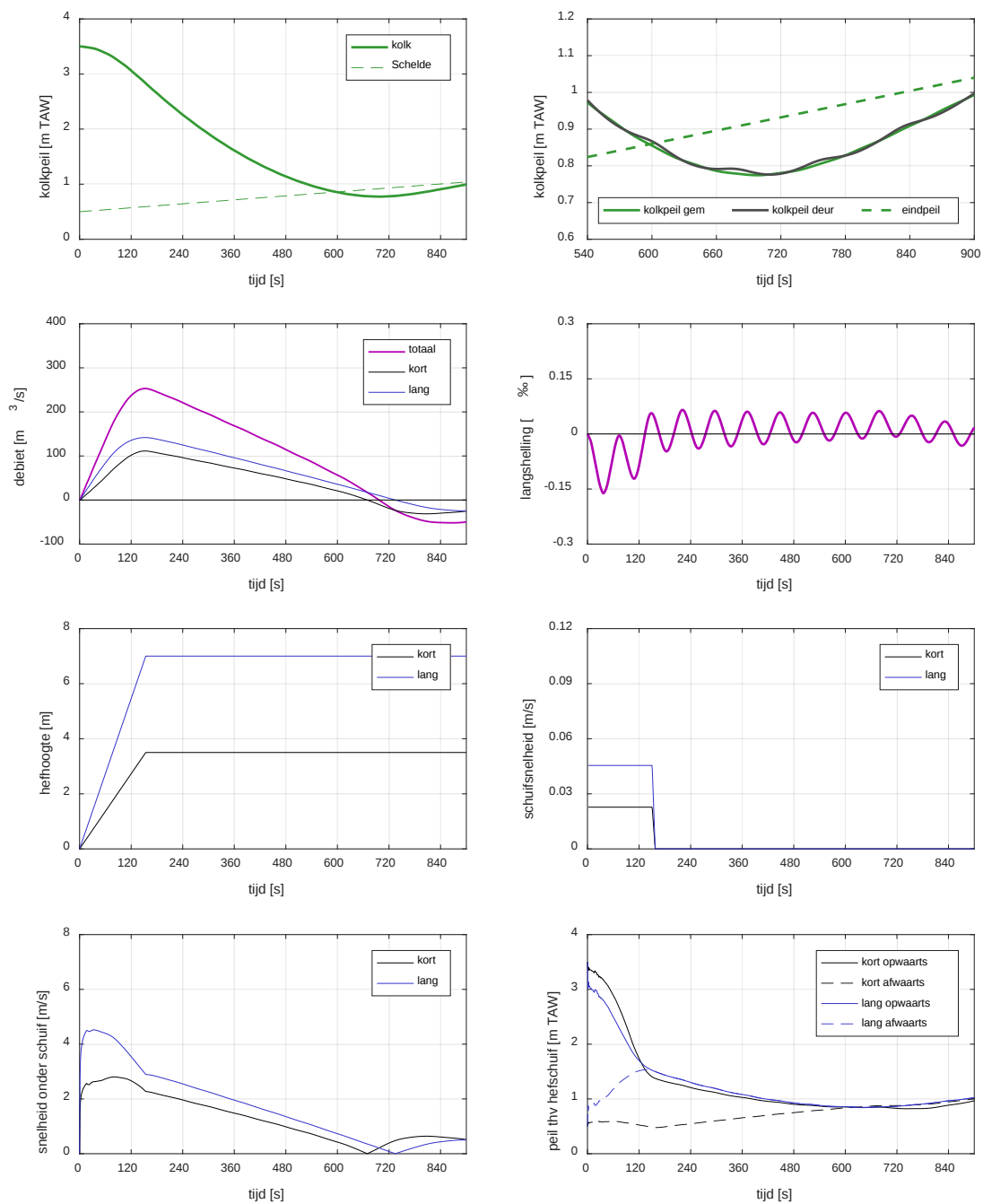
N72 S LBE H3 Sc01



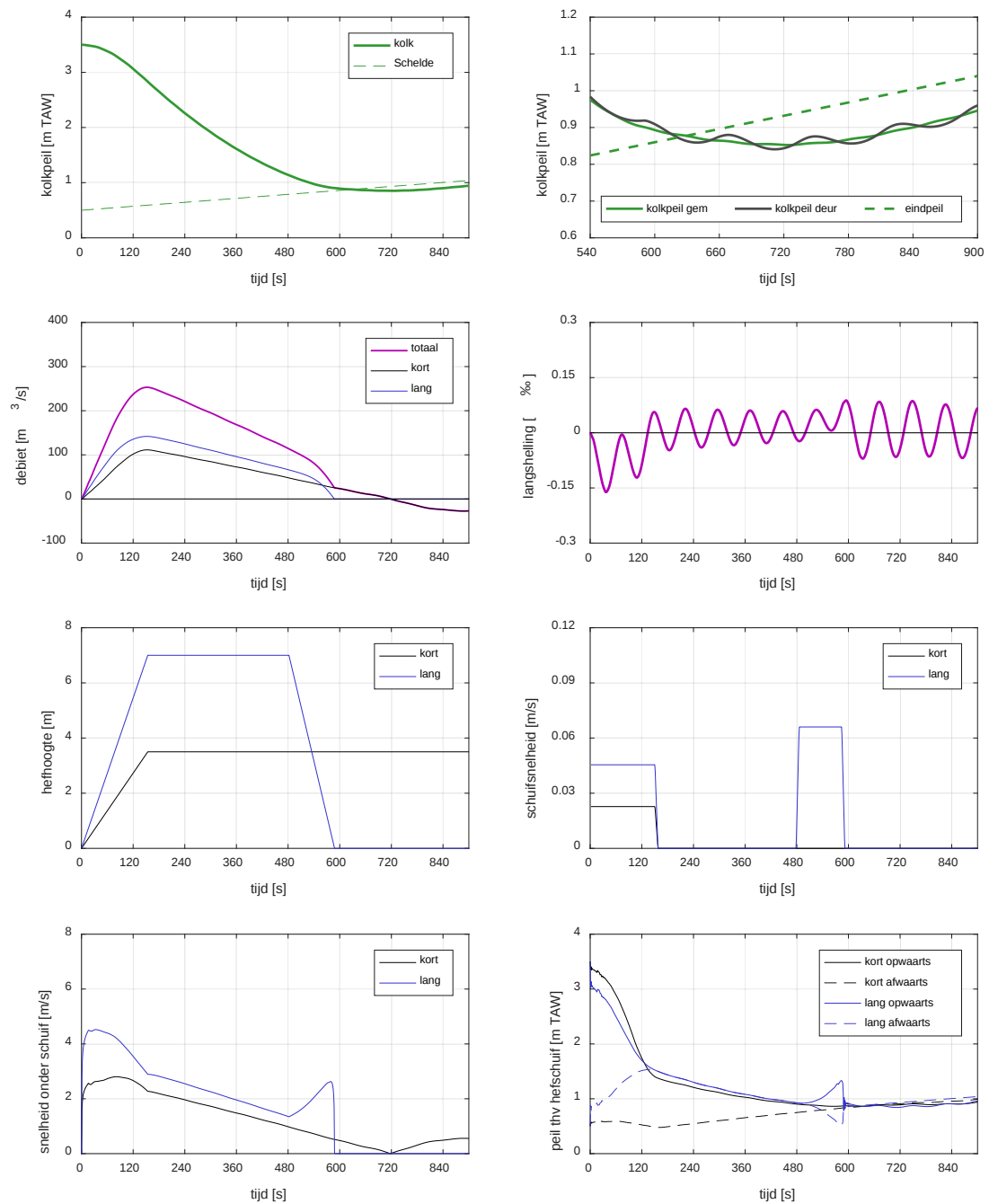
N73 S LBE H3 Sc14



N74 S LBE H3 Sc01



N75 S LBE H3 Sc14



Bijlage C – Stijgsnelheid Scheldepeil

Deze bijlage is overgenomen uit het rapport over het hydraulisch ontwerp van het nivelleersysteem van de Kieldrechtsluis (De Mulder *et al.*, 2010b). Bemerk in deze bijlage dat de nieuwe sluis nog geen definitieve naam had en wordt benoemd als 2sWLH (tweede sluis WaasLandHaven). Bemerk dat de verwijzingen naar hoofdstukken overeenkomen met de hoofdstukken uit De Mulder *et al.* (2010b).

In onderhavig rapport worden prognoses gemaakt voor de nivelleertijd e.d. van 2sWLH met het beschikbare numerieke modelinstrumentarium.

Voor de nivelleringsen met het benedenhoofd (afgekort BEHO) – i.e. hetzij vullen via het benedenhoofd (afgekort VBE) hetzij ledigen via het benedenhoofd (afgekort LBE) – wordt de variatie in de tijd van het Scheldepeil tijdens de duur van de nivellering in eerste instantie verwaarloosd.

Om de onzekerheid te begroten op de overeenkomstige prognoses van de nivelleertijd, is kennis nodig van de (gemiddelde) stijg- of daalsnelheid van het Scheldepeil tijdens de duur van de nivellering.

De nivelleertijd is natuurlijk afhankelijk van het initieel verval (i.e. het verval bij begin van nivellering). Uit hoofdstuk 7 blijkt dat de nivelleertijd bij een verval van 1.0m van de orde van een zevental minuten is, terwijl bij een verval van 5.5m ruwweg een zestiental minuten wordt gevonden.

De (gemiddelde) stijg- of daalsnelheid van het Scheldepeil tijdens de duur van de nivellering wordt in deze bijlage (benaderend) afgeleid uit beschikbare getijkrommen van tijmeetposten in de omgeving van 2sWLH. Gelet op de hiervoor vermelde ordes van grootte van de nivelleertijd, worden getijkrommen gekozen waarvan de tijdreeks een tijdstap van 10 minuten heeft (ook al zijn in sommige gevallen ook tijdreeksen met een tijdstap van 1 minuut beschikbaar).

Uit deze getijkrommen wordt een tijdreeks van stijgsnelheden afgeleid, door het waterstandsverschil tussen twee opeenvolgende waarden in de waterstandstijdreeks te delen door de tijdstap van 10 minuten. Op deze wijze worden gemiddelde stijgsnelheden over een periode van 10 minuten bekomen, die representatief zijn voor de gemiddelde stijgsnelheden over de nivelleertijd van 2sWLH.

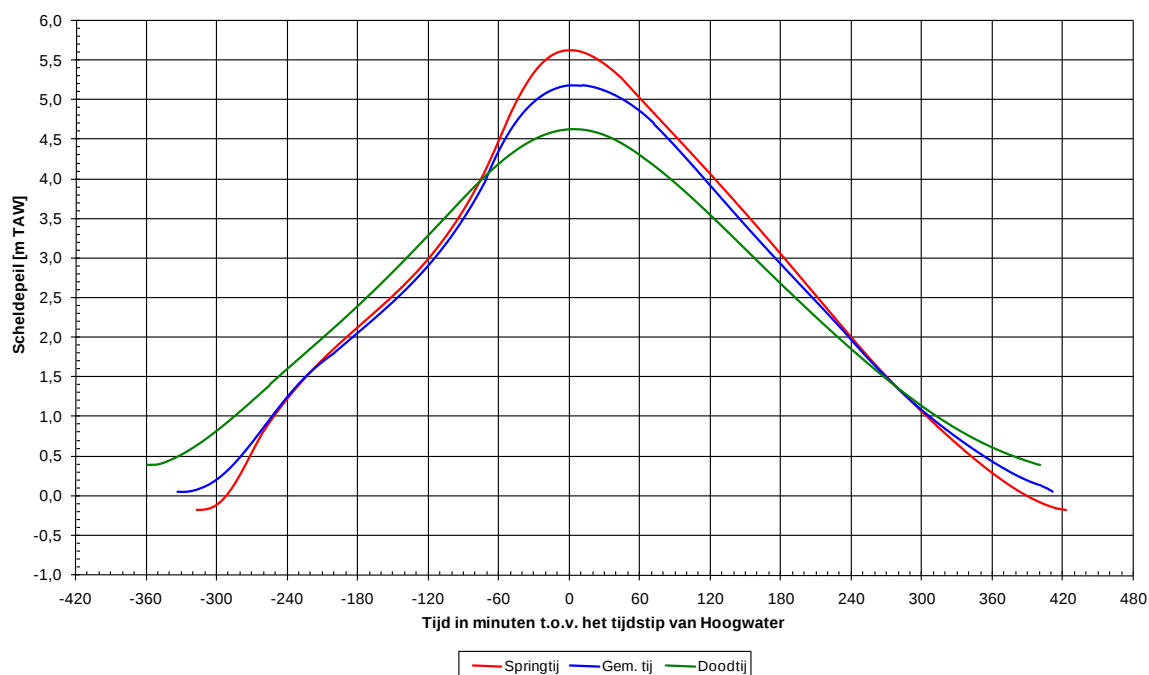
Hieronder worden de volgende getijkrommen behandeld:

- gemiddelde getijkrommen 1991-2000 te Liefkenshoek (Figuur 9) en overeenkomstige stijgsnelheden (Figuur 10),
- getijkromme augustus 2009 te Liefkenshoek (Figuur 11) en overeenkomstige stijgsnelheden (Figuur 12),
- getijkromme buitengewone stormvloed van 26 februari tot 1 maart 1990 te Prosperpolder (Figuur 13) en overeenkomstige stijgsnelheden (Figuur 14).

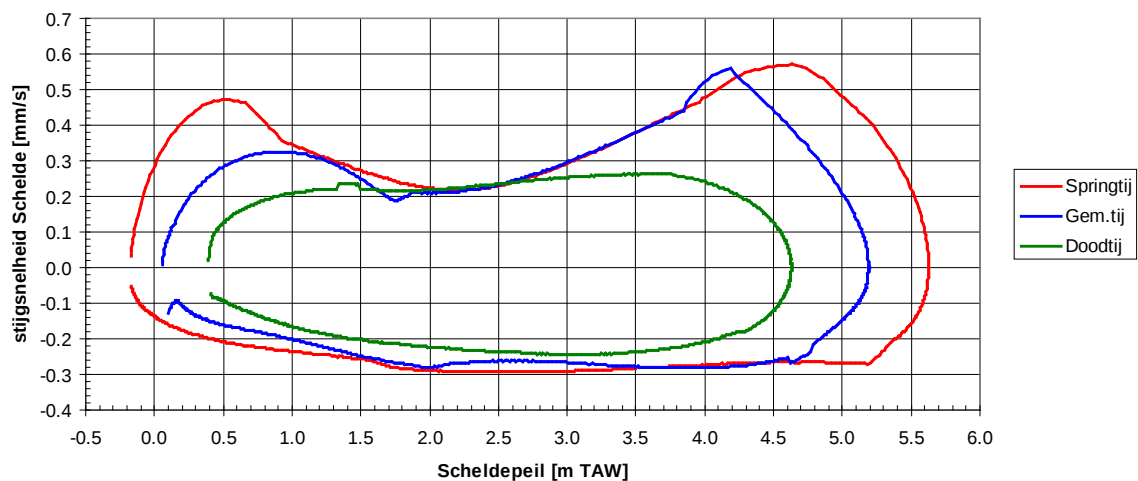
Merk op dat de stijgsnelheden in de figuren worden voorgesteld als een functie van het op dat ogenblik heersende Scheldepeil. Negatieve stijgsnelheden duiden op daalsnelheden van het Scheldepeil.

Voor de tijmeetpost Liefkenshoek zijn er gemiddelde getijkrommen voor het decennium 1991-2000 bepaald door de cel Hydrometrie van WL, zie Figuur 9. Merk op dat er onderscheid wordt gemaakt tussen springtij, gemiddeld tij en doottij.

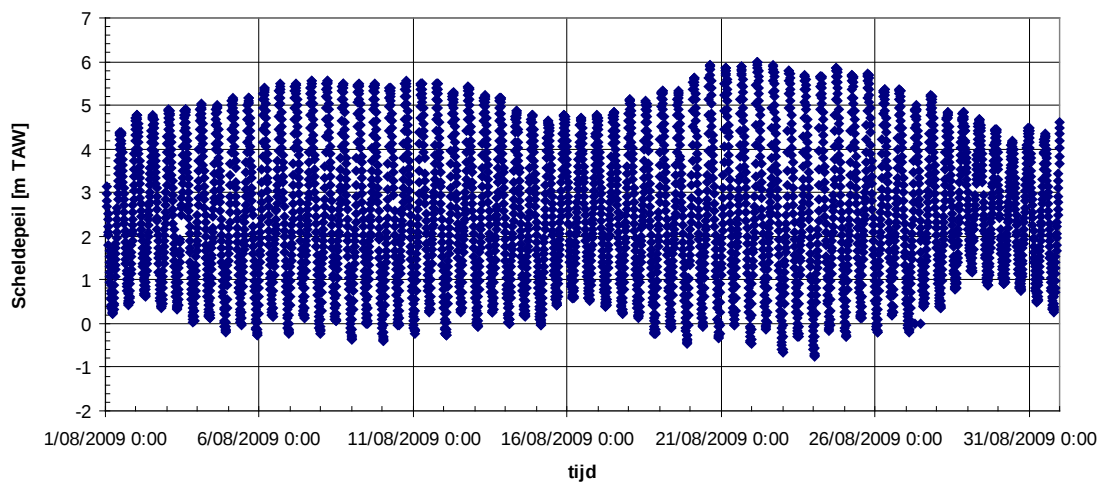
Figuur 9 – Gemiddelde getijkrommen 1991-2000 te Liefkenshoek (Hydrometrie, WL)



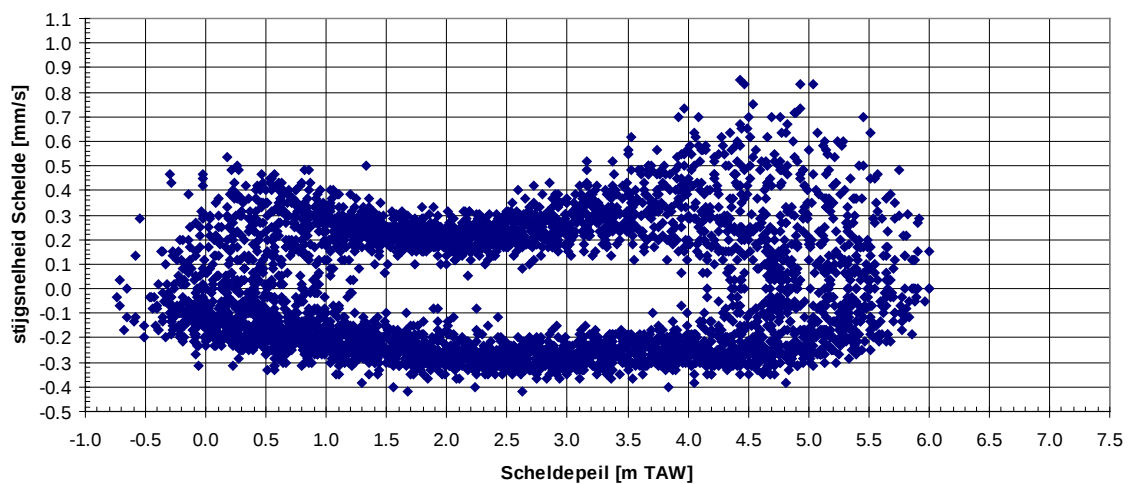
Figuur 10 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van Scheldepeil te Liefkenshoek afgeleid uit gemiddelde getijkrommen 1991-2000



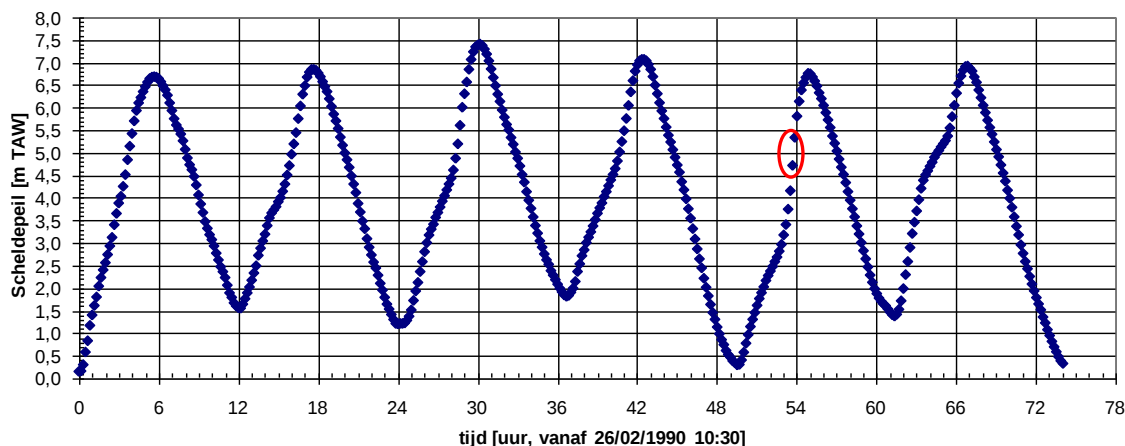
Figuur 11 – Getijkromme augustus 2009 te Liefkenshoek (Hydrometrie, WL)



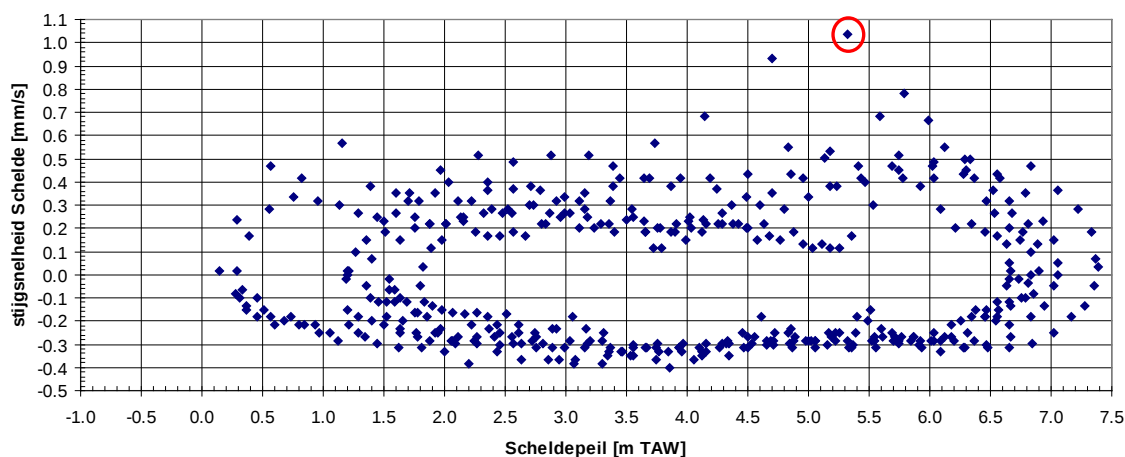
Figuur 12 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van peil Schelde te Liefkenshoek afgeleid uit getijkromme augustus 2009



Figuur 13 – Getijkromme buitengewone stormvloeden van 26 februari tot 1 maart 1990 te Prosperpolder (Hydrometrie, WL)



Figuur 14 – Variatie van stijgsnelheid als een functie van Scheldepeil te Prosperpolder afgeleid uit getijkromme buitengewone stormvloeden van 26 februari tot 1 maart 1990



Merk op in Figuur 14 dat de piekwaarde van de stijgsnelheid tijdens de buitengewone stormvloeden van 26 februari tot 1 maart 1990 te Prosperpolder rood omcirkeld is en 1.03 mm/s bedraagt. Het overeenkomstige stuk in de getijkromme van Figuur 13 is eveneens rood omcirkeld.

De maximale stijgsnelheid en de minimale stijgsnelheid (i.e. de maximale daalsnelheid) uit Figuur 10, Figuur 12 en Figuur 14 wordt weergegeven in Tabel 18. Er worden voor Liefkenshoek ook gegevens vermeld m.b.t. enkele andere maanden dan augustus 2009.

Merk op dat er in Tabel 18 onderscheid wordt gemaakt tussen drie intervallen van Scheldepeilen:

- Scheldepeilen van -1.5m TAW (= laagste peil bij schutting) tot +3.8m TAW (=extreem hoog dokpeil), i.e. een range die representatief is voor het geval van LBE,
- Scheldepeilen van +3.2m TAW (=extreem laag dokpeil) tot +8.0m TAW (= hoogste peil bij schutting), i.e. een range die representatief is voor het geval van VBE,
- Scheldepeilen van -1.5m TAW (= laagste peil bij schutting) tot +8.0m TAW (= hoogste peil bij schutting), i.e. een range die representatief voor om het even welke nivellering via het BEHO (m.a.w. zowel LBE als VBE).

Tabel 18 – Extrema stijgsnelheid Scheldepeil in omgeving van 2sWLH

	Scheldepeil -1.5 tot +3.8m TAW (LBE)		Scheldepeil +3.2 tot +8.0m TAW (VBE)		Scheldepeil -1.5 tot +8.0m TAW (BEHO)	
	min. [mm/s]	max. [mm/s]	min. [mm/s]	max. [mm/s]	min. [mm/s]	max. [mm/s]
Liefkenshoek (gemiddeld springtij 1991-2000)	-0.29	+0.47	-0.27	+0.57	-0.29	+0.57
Liefkenshoek (gemiddeld tij 1991-2000)	-0.28	+0.44	-0.28	+0.56	-0.28	+0.56
Liefkenshoek (gemiddeld doottij 1991-2000)	-0.24	+0.26	-0.24	+0.26	-0.24	+0.26
Liefkenshoek (mei 2009)	-0.40	+0.57	-0.38	+0.72	-0.40	+0.72
Liefkenshoek (juni 2009)	-0.43	+0.58	-0.38	+0.77	-0.40	+0.77
Liefkenshoek (juli 2009)	-0.40	+0.65	-0.42	+0.85	-0.42	+0.85
Liefkenshoek (augustus 2009)	-0.42	+0.62	-0.40	+0.85	-0.42	+0.85
Liefkenshoek (september 2009)	-0.40	+0.61	-0.38	+0.88	-0.40	+0.88
Liefkenshoek (oktober 2009)	-0.40	+0.62	-0.42	+0.75	-0.42	+0.75
Liefkenshoek (november 2009)	-0.40	+0.62	-0.38	+0.77	-0.40	+0.77
Liefkenshoek (december 2009)	-0.43	+0.60	-0.43	+0.78	-0.43	+0.78
Prosperpolder (26 feb. – 1 maart 1990)	-0.40	+0.57	-0.40	+1.03	-0.40	+1.03
Globaal	-0.43	+0.65	-0.43	+1.03	-0.43	+1.03

Uit de gegevens in Tabel 18 wordt de range van -0.5 à +1.0 mm/s voor de stijgsnelheid van het Scheldepeil weerhouden voor verdere gevoeligheidsanalyses van deze parameter op de numerieke prognoses in onderhavig rapport voor nivelleringen met het BEHO (zie hoofdstukken 7 e.v.). Deze range blijkt uit Tabel 18 ook representatief te zijn voor VBE, terwijl de (deel)range -0.5 à +0.6 mm/s gebruikt zal worden voor LBE.

Bij de gevoeligheidsanalyses zullen ook nog andere (i.e. kleinere) stijgsnelheden onderzocht worden dan de hiervoor vermelde extreme waarden, zie Tabel 19.

Tabel 19 – Stijgsnelheden Schelde
weerhouden voor gevoeligheidsanalyses

stijgsnelheid Schelde
[mm/s]
-0.5
-0.3
0.0
+0.3
+0.6
+1.0

DEPARTEMENT **MOBILITEIT & OPENBARE WERKEN**
Waterbouwkundig Laboratorium

Berchemlei 115, 2140 Antwerpen

T +32 (0)3 224 60 35

F +32 (0)3 224 60 36

waterbouwkundiglabo@vlaanderen.be

www.waterbouwkundiglaboratorium.be