

MEMO: ONDERZOEK NAAR TECHNISCHE HAALBAARHEID REDUCTIE ZOUTUITWISSELING SLUIZEN TERNEUZEN

From : Linyrd de Wit (Svašek Hydraulics)
To : LievenseCSO
Date : 20 oktober 2014
Reference : 1724/U14320/LdW/C
Status : Gereed

1 INTRODUCTIE

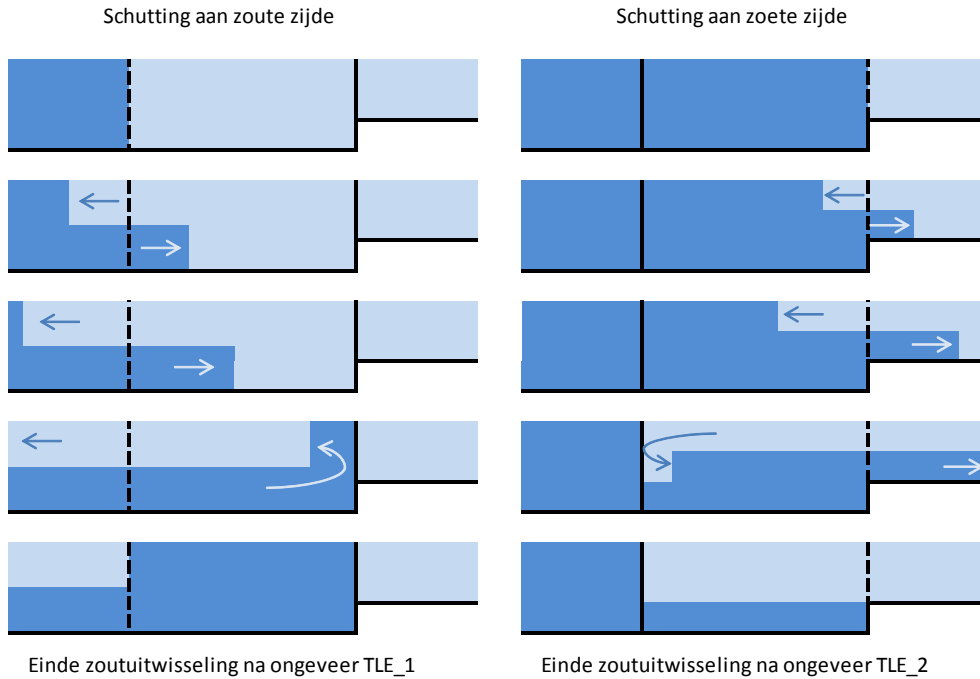
Deze memo geeft op basis van een vertaling van metingen in het verleden en extra analyses een onderbouwing van de technische haalbaarheid van reële percentages van reductie in zoutuitwisseling van de sluisen van Terneuzen en met name voor de nieuwe zeesluis van Terneuzen. Deze onderbouwing is nodig om tot een juiste afweging te komen over de invloed van extra zoutindringing op het Kanaal Gent Terneuzen (KGT) door aanleg van een nieuwe zeesluis tegenover de benodigde inspanningen om deze extra zoutindringing terug te dringen.

2 ZOUTUITWISSELING SLUIZEN TERNEUZEN ZONDER REDUCERENDE MAATREGELEN

2.1 Zoutuitwisseling Terneuzen

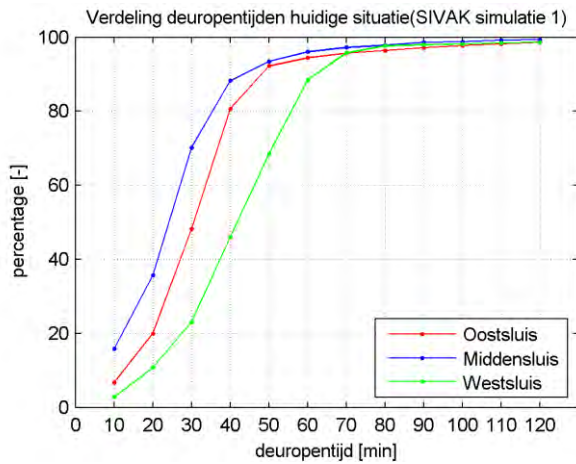
De zoutuitwisseling van een sluis vindt plaats doordat een zoute tong bij de bodem het zoete water inloopt met tegelijkertijd een zoete tong die bij het oppervlak het zoute water inloopt, zie Figuur 2.1 voor een schetsmatig verloop van de zoutuitwisseling bij de nieuwe zeesluis van Terneuzen. Bij een schutting aan zoute zijde loopt er een zouttong heen en weer door de zoete sluis, bij een schutting aan zoete zijde loopt er een zoete tong heen en weer door de zoute sluis. Het merendeel (80-90%) van de zoutuitwisseling vindt plaats tijdens de fase dat de zouttong (of zoettong) heen en weer door de sluis gaat. Daarom is de looptijd van de zouttong (zoettong) door de kolk TLE (Tijd voor Lock Exchange) een maat voor de snelheid van uitwisselen. Als de ratio $TD = \text{deuropentijd}/TLE$ groter dan 1 is, heeft de zoutuitwisseling (80-90%) plaatsgevonden.

Bij een schutting aan de zoete zijde blijft in geval van de grote zeesluis bij Terneuzen achter de verhoging in de bodem aan kanaalzijde een zoute laag water achter in de kolk, volledige uitwisseling bij een schutting van de grote zeesluis aan zoete zijde betreft dus alleen het zoute water dat zich in de kolk boven de drempel bevindt.

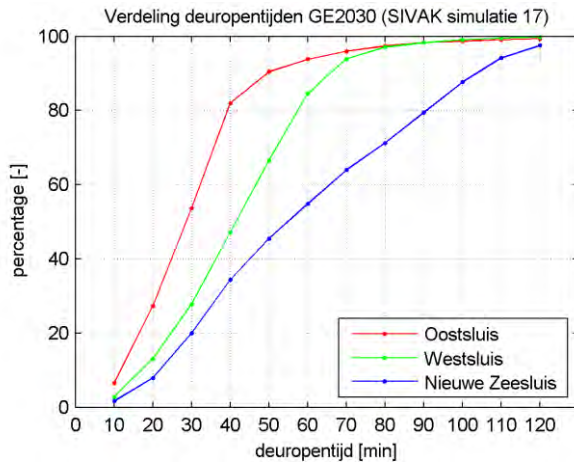


Figuur 2.1 Schematisch overzicht van de zout zoet uitwisseling van de nieuwe zeesluis Terneuzen

De verdeling van de deuropentijden uit SIVAK simulaties voor de huidige situatie is getoond in Figuur 2.2, met de verdeling van de deuropentijden na aanleg van de nieuwe sluis (GE2030) in Figuur 2.3. Tabel 2.1 vat de gemiddelde deuropentijden samen en vergelijkt deze met de zoutuitwisseltijd TLE. In praktijk is er een vrij brede verdeling in deuropentijden van de sluisen, zo blijkt uit Figuur 2.2 en Figuur 2.3.



Figuur 2.2 Verdeling deuropentijden huidige situatie



Figuur 2.3 Verdeling deuropentijden na aanleg zeesluis

Tabel 2.1 Zoutuitwisseltijd en gemiddelde deuropentijd sluizen Terneuzen

Sluis	Zoutuitwisseltijd TLE [min]	Gemiddelde deuropentijd uit SIVAK [min]	Gemiddelde TD = gem. deuropentijd/TLE
Middensluis	8	26	3
Oostsluis	16	32	2
Westsluis	13	42	3
Nieuwe zeesluis	20	60	3

2.2 Zoutuitwisseling sluizen Terneuzen zonder reducerende maatregelen

In de huidige situatie zonder reducerende maatregelen neemt de Westsluis 80% van de totale zoutuitwisseling van het complex voor zijn rekening (zie Tabellen 6-3 en 6-4 in Deelrapport water VNZT-R-127-2). Bij autonome ontwikkeling (zonder aanleg zeesluis) neemt de totale zoutuitwisseling van het complex af tot ongeveer 85% van de huidige zoutuitwisseling door minder schuttingen en blijft de Westsluis dominant voor de zoutuitwisseling. Voor de toekomstige situatie met zeesluis volgens GE2030 neemt de zoutuitwisseling toe tot 240% ten opzichte van huidig (280% van autonome ontwikkeling). In de situatie met zeesluis treedt 60% van de zoutuitwisseling op door de grote zeesluis, 35% door de Westsluis en 5% door de Oostsluis.

Om de Cl concentraties op het KGT bij aanleg van de grote zeesluis op het niveau van autonome ontwikkeling te houden moet de zoutuitwisseling met 64% gereduceerd worden totdat er 36% (100/280) zoutuitwisseling overblijft. Dat (64% reductie) is dus de opgave voor de zoutuitwisselingsbeperkende maatregelen.

3 ONDERZOCHE ZOUTUITWISSELINGSBEPERKENDE MAATREGELN

De volgende drie technische maatregelen worden in deze memo nader onderzocht om de Chloride concentratie op het KGT te beperken:

1. Extra debiet op KGT om Cl concentratie te verlagen
2. Luchtbellenscherm i.c.m. waterscherm of drempel
3. Afzuigen zouttong

Potentiële maatregelen als lekkende ebdeur of een zoutvang aan de kanaalzijde zijn niet nader onderzocht omdat deze maatregelen afhankelijk zijn van voldoende aanbod van water op het KGT en dit is in droge periodes, als de zoutproblematiek het grootst is, niet beschikbaar. De potentiële maatregel om een tijdelijke drempel aan de Westerscheldezijde in de sluis te plaatsen is niet onderzocht omdat deze de nautische toegankelijkheid van de sluis beperkt, waardoor de sluis niet meer tij-onafhankelijk bereikbaar is voor 12.5 m diepte schepen. Een drempel valt daarmee af als beschikbare optie. De aanwezige drempel (bodemsprong) in de overgang van de sluiskolk naar het kanaal is in alle gevallen opgenomen in de bepaling van de zoutuitwisseling.

4 REDUCTIE ZOUTCONCENTRATIE OP KGT DOOR EXTRA ZOET WATER DEBIET

Door het debiet op het KGT te verhogen kan de zoutconcentratie op het KGT na aanleg van de zeesluis verlaagd worden naar het niveau van autonome ontwikkeling. Uit de SOBEK simulaties volgt dat om bij KGTS (Sas van Gent) de Cl concentratie met zeesluis te verlagen tot autonome ontwikkeling er 6 m³/s extra (zoet water) nodig is bij een KGT debiet van 4.4 m³/s; 10 m³/s extra (zoet water) is nodig bij een KGT debiet van 22 m³/s. Het debiet op KGT varieert gedurende het jaar, met lage afvoeren in de zomer en hoge in de winter. Na KNMI W+2050 klimaatverandering is het verwachte 2 maanden droog debiet op het KGT 4.4 m³/s, het zomer gemiddeld debiet 10.8 m³/s, het winter gemiddeld debiet 32 m³/s en het jaargemiddeld debiet 21.4 m³/s. Om de Cl concentratie jaarrond op de autonome concentratie te houden, kan met extra aanvoer van jaargemiddeld 10 m³/s zoet water het kanaalwater verdund worden tot autonome chloride concentraties.

5 BELLENSCHERM BIJ SLUIZEN TERNEUZEN

5.1 Introductie bellenschermen

Een luchtbellenscherm stopt de zoutuitwisseling niet, maar remt de zouttong (zoettong) zoals geschetst in Figuur 2.1 af en hiermee wordt de zoutuitwisseling vertraagd. De zouttong wordt afgeremd doordat het bellenscherm de zouttong verticaal opmenkt, zie Figuur 5.1. Het bellenscherm zorgt voor verticale opmenging omdat het de dichtheid van het water-lucht mengsel verlaagd. Bij meerdere sluisen in Nederland zijn er vanaf de jaren 70 bellenschermen geïnstalleerd om de zoutuitwisseling te beperken, bijvoorbeeld bij de sluisen van IJmuiden, Terneuzen, Den Oever, Kornwerderzand, Volkeraksluisen (tijdelijk voor de situatie dat het Volkerak zout was en het Haringvliet zoet).

De bellenschermen uit de jaren 70 bestaan uit een geperforeerde buis op de kolkbodem waaruit luchtbellen ontsnappen, dit wordt een S-luchtbellenscherm genoemd. Het nadeel van een S-luchtbellenscherm is dat ze een ongelijke verdeling van lucht over de breedte van de kolk kunnen geven, dit kan gaten in het bellenscherm veroorzaken. En daarmee de effectiviteit van de scheiding beperken. Rond 2010 is een nieuw type luchtbellenscherm ontwikkeld en getest, het Δ-luchtbellenscherm. Het Δ-luchtbellenscherm heeft een soort douchekoppen die het lucht

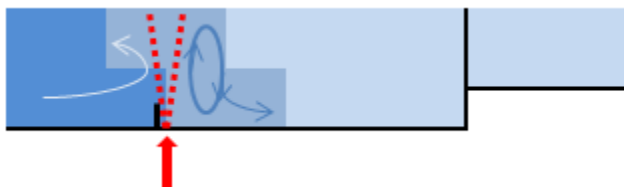
inspuiten, dit zorgt voor een betere controle over de luchtverdeling over de breedte van de kolk en voor een betere controle van de luchtbelgrootte. Ook zijn testen uitgevoerd om het Δ -luchtbellenscherf te combineren met een zoet waterscherf en/of een drempel om zo de effectiviteit te vergroten. Zie Figuur 5.2 voor een schets van een bellenscherf met waterscherf en Figuur 5.3 voor een schets van een bellenscherf met drempel. Het zwakke punt van een Δ -luchtbellenscherf (of S-luchtbellenscherf) zit namelijk bij de bodem waar de zouttong door het bellenscherf heen duwt omdat daar de verticale stroming door het bellenscherf nog niet voldoende ontwikkeld is, dit wordt door een waterscherf of drempel opgevangen.



Figuur 5.1 Schets van het stroombeeld rondom een bellenscherf met zout water links, gemengd zout-zoet water rondom het bellenscherf en zoet water in de sluiskolk waar langzaam gemengd zout-zoet water vanuit de zone bij het bellenscherf instroomt



Figuur 5.2 Schets van het stroombeeld rondom een bellenscherf(aangegeven in rood) ondersteund door waterscherf (aangegeven in geel)



Figuur 5.3 Schets van het stroombeeld rondom een bellenscherf ondersteund door een drempel

5.2 Gemeten effectiviteit bellenschermen

Er is vrij uitgebreid gemeten aan de effectiviteit van luchtbellenschermen in het reduceren van de zoutuitwisseling. Het effect van een bellenscherf bestaat uit het afremmen van de zouttong. Een bellenscherf voorkomt niet de zoutuitwisseling, maar vertraagt deze. De effectiviteit van een bellenscherf wordt vaak weergegeven in een doorlaatfractie, een doorlaatfractie is *niet* gelijk aan de uiteindelijke reductie factor op de zoutuitwisseling. Een doorlaatfractie van 0.33 geeft aan dat de zoutuitwisseling 3 keer zo langzaam gaat vergeleken met de situatie zonder bellenscherf. Een doorlaatfractie van 0.33 heeft alleen invloed op de uiteindelijke hoeveelheid zoutuitwisseling indien de deuropentijd kleiner dan 3 keer de looptijd van de zouttong is ($TD < 3$). Als $TD > 3$ dan verandert de uiteindelijke zoutuitwisseling niet, die is in beide gevallen volledig (80-90%). Bij $TD > 3$ duurt het alleen 3 keer zo lang in tijd voordat een zelfde zoutuitwisseling heeft plaatsgevonden. De

uiteindelijke effectiviteit van een bellenscherm moet dus bepaald worden uit de combinatie van doorlaatfractie en deuropentijd.

Hieronder worden de belangrijkste meetresultaten van bellenschermen samengevat met de bijbehorende bronvermelding:

- Metingen S-luchtbellenschermen Terneuzen
 - Doorlaatfractie S-luchtbellenscherm Westsluis Terneuzen^{1 2} van 0.5
 - Proef in 2010³: uitschakelen van het S-luchtbellenscherm aan de binnenzijde van de Westsluis heeft geen significante invloed op de gemeten Cl-Q relatie bij KGTB op ongeveer 3 km van de sluis
- Metingen S-luchtbellenschermen IJmuiden jaren 70⁴
 - Doorlaatfractie S-luchtbellenscherm van 0.65-0.42 in Noordsluis (diepte 15 m)
 - Doorlaatfractie S-luchtbellenscherm van 0.6-0.25 in Zuidersluis (diepte 7.5m) en Middensluis (diepte 10 m)
 - Luchtbellenschermen uit jaren 70 aan zowel binnen als buitenzijde met een gemeten doorlaatfractie van 0.65-0.42 geven een reductie van 1 à 1.5 g/l Cl op het Amsterdam-Rijnkanaal op 3 km en 24km afstand van de sluisen
- Zoutuitwisseling Volkeraksluizen halveerde bijna door installatie van S-luchtbellenschermen in 1970⁵
- Metingen Δ-luchtbellenschermen Stevinsluis⁶
 - Bij zelfde luchtdebieten, compressorvermogen en energieverbruik is de doorlaatfractie van een Δ-luchtbellenscherm ongeveer 30-50% lager dan van een ouderwets S-luchtbellenscherm (geperforeerde buis)
 - Te veel of te weinig lucht in bellenscherm verslechterd de effectiviteit van het scherm, bij Fr_lucht=0.8-1.2 is het luchtdebiet optimaal, dit moet bepaald worden a.d.h.v. momentane metingen van het dichtheidsverschil
- Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbeperving Volkeraksluizen, doorvertaling op basis van metingen bij de Stevinsluis⁷
 - Doorlaatfractie S-luchtbellenscherm 0.4
 - Doorlaatfractie Δ-luchtbellenscherm 0.25
 - Doorlaatfractie Δ-luchtbellenscherm + zoet waterscherm aan zoute zijde 0.15

¹ Bron: Svasek /Envico 2001, Verziltingsstudie Kanaal Gent-Terneuzen kwantificering verzilting oppervlaktewater

² Bron: Rijkswaterstaat 2011, Proef dynamische sturing luchtbellenscherm kanaalzijde Westsluis Terneuzen, auteur L. Dekker

³ Bron: Rijkswaterstaat 2011, Proef dynamische sturing luchtbellenscherm kanaalzijde Westsluis Terneuzen, auteur L. Dekker

⁴ Bron: Abraham, G., P. van der Burgh, P. De Vos, 1973, Pneumatic barriers to reduce salt intrusion through locks, Rijkswaterstaat Communications No. 17

⁵ Bron: Deltares, 2011, Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbeperving Volkeraksluizen, evaluatie maatregelen Volkeraksluizen, Rapport nr. 1201226-006, auteurs R.E. Uittenbogaard, J.M. Cornelisse, G.H. Keetels, D.R. Mastbergen

⁶ Bron: Abraham, G., P. van der Burgh, P. De Vos, 1973, Pneumatic barriers to reduce salt intrusion through locks, Rijkswaterstaat Communications No. 17

⁷ Bron: Deltares, 2011, Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbeperving Volkeraksluizen, eindrapport van het onderzoek naar mogelijkheden voor de zoutlekbeperving door de Volkeraksluizen na verzilting van het Volkerak-Zoommeer, Rapport nr. 1201226-015, auteurs: M.T. Villars, R.E. Uittenbogaard, J.M. Cornelisse, A.J. Nolte

- Doorlaatfractie Δ -luchtbellenscherm + zoet waterscherm aan zoete zijde 0.2 (door Deltares afgeschat als minimaal gelijk aan de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm + drempel)
- Doorlaatfractie Δ -luchtbellenscherm + drempel 0.2
- Invloed deuropentijd
 - TD=1.3 → zoutuitwisseling 35% met doorlaatfractie 0.4 op beide sluishoofden
 - TD=2 → zoutuitwisseling 35% met doorlaatfractie 0.23 op beide sluishoofden

In IJmuiden zijn de S-luchtbellenschermen uit de jaren 70 weer gedemonteerd. De redenen hiervoor zijn onbekend. In Terneuzen zijn de S-luchtbellenschermen na de proef in 2010, die geen significante invloed vond van de bellenschermen op de Cl concentratie op het KGT, aan de binnenzijde uitgeschakeld, aan buitenzijde staan de bellenschermen nog aan⁸. De meting bij Terneuzen wijkt af van de meting bij IJmuiden waar wel een significante verlagen in Cl concentratie is gemeten van 1-1.5 g/l door de bellenschermen. In Terneuzen staan de bellenschermen in 25-50% van de schuttingen niet aan⁹ en de deuropentijden zijn fors. Het bellenscherm staat uit op verzoek van de schipper vanwege nautische redenen of omdat vergeten is om hem weer aan te zetten nadat het bellenscherm op verzoek van een schipper uitgezet was. Omdat de bellenschermen slechts werken als vertrager worden ze na 45 minuten deuropentijd sowieso uitgeschakeld omdat ze bij zo een grote deuropentijd geen effect hebben. Dit zijn mogelijke verklaringen waarom bij Terneuzen geen significante invloed van de S-luchtbellenschermen op de Cl concentratie is gevonden terwijl dit bij IJmuiden wel gevonden is.

5.3 Bepaling effectiviteit bellenscherm Terneuzen

De metingen van bellenschermen geven aan dat een nieuw Δ -luchtbellenscherm een veel lagere doorlaatfactor hebben dan een S-luchtbellenscherm, zeker in combinatie met een waterscherm of drempel. Deze Δ -luchtbellenschermen hebben dus een beter scheidingsrendement. De doorlaatfractie van Δ -luchtbellenschermen is echter alleen in schaalproeven en een relatief ondiepe kolk (Stevinsluis, diepte 5 m) bepaald. De gemeten doorlaatfractie van S-luchtbellenschermen bij IJmuiden op grote diepte (Noordsluis, diepte 15m) bleef hangen op 0.42, terwijl de doorlaatfractie van S-luchtbellenschermen bij IJmuiden op kleinere diepte (Zuidersluis en Middensluis, diepte 7.5 en 10m) bij een vergelijkbaar Fr-lucht getal (verhouding tussen kracht zouttong en kracht luchtbellenscherm) wel afnam tot 0.25. De doorlaatfractie van een S-luchtbellenscherm lijkt dus afhankelijk te zijn van de sluisdiepte, met een hogere doorlaatfractie bij grote kolkdiepte. Voor het Δ -luchtbellenscherm zijn geen metingen gedaan aan de doorlaatfractie op grote kolkdiepte van 13 en 17 m zoals bij de Westsluis en nieuwe zeesluis van Terneuzen, maar het is niet zeker dat de lage doorlaatfracties van een Δ -luchtbellenscherm (met waterscherm of drempel) zoals bepaald voor de Volkeraksluizen ook haalbaar zijn voor de Westsluis en nieuwe zeesluis van Terneuzen.

Om 100% zeker de doorlaatfractie (en dus uiteindelijke effectiviteit) van een Δ -luchtbellenscherm i.c.m. waterscherm of drempel in de sluisen van Terneuzen te bepalen zijn aanvullende metingen nodig bij een grote kolkdiepte, dit wordt ook zeker aanbevolen indien besloten wordt om een Δ -luchtbellenscherm met waterscherm of drempel aan te leggen. Om de maximaal haalbare zoutuitwisselingsbeperking te bepalen voor het maximale inspanningsniveau in de MER is nu op basis van de bestaande metingen een range van doorlaatfracties van Δ -luchtbellenscherm i.c.m.

⁸ Bron: Rijkswaterstaat 2011, Proef dynamische sturing luchtbellenscherm kanaalzijde Westsluis Terneuzen, auteur L. Dekker

⁹ Bron: telefonisch interview Rudi Adams, regioverkeersleider Terneuzen

waterscherm of drempel afgeschat met elk een verschillende mate van zekerheid van realiseerbaarheid:

- Doorlaatfractie = 0.4; vrij zeker haalbaar
- Doorlaatfractie = 0.3; waarschijnlijk haalbaar
- Doorlaatfractie = 0.2, hoogst onzeker haalbaar

Al deze drie doorlaatfracties horen bij het scenario maximale inspanning om zoutuitwisseling te beperken en bestaan qua technische maatregelen uit een Δ -luchtbellenscherm ondersteund door of een zout waterscherm of door een drempel. Het onderscheid tussen deze drie doorlaatfracties bestaat puur uit de zekerheid/onzekerheid van realiseerbaarheid, niet uit verschillende technische maatregelen. De keuze tussen een zout waterscherm of een drempel is op dit moment zonder aanvullende metingen onder vergelijkbare omstandigheden met Terneuzen nog niet mogelijk. Voor een zoet waterscherm aan de zoute zijde is niet voldoende zoet water beschikbaar op het KGT, daarom wordt voorzien dat als er gekozen wordt voor een waterscherm er een zout waterscherm wordt gebruikt. Voor de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met zout waterscherm (aan zoute zijde) wordt in deze memo aangenomen dat deze gelijk is aan een Δ -luchtbellenscherm met drempel, namelijk doorlaatfractie = 0.2 onder omstandigheden vergelijkbaar met de Volkeraksluizen, de geldigheid van deze aanname zal ter zijner tijd door metingen nog aangetoond dienen te worden.

- Een doorlaatfractie van 0.4 is iets lager dan de gemeten doorlaatfractie van een oud S-luchtbellenscherm op grote diepte in IJmuiden van 0.65-0.42 of 0.5 in de Westsluis van Terneuzen. Het is vrij zeker dat met een nieuw, meer effectief, Δ -luchtbellenscherm met of een zout waterscherm of een drempel een doorlaatfractie van 0.4 te halen is in de sluisen van Terneuzen.
- Een doorlaatfractie van 0.3 is behoorlijk lager dan de gemeten doorlaatfractie met een S-luchtbellenscherm in IJmuiden en Terneuzen, maar hoger dan de gemeten doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met drempel of Δ -luchtbellenscherm met zoet waterscherm aan zoute zijde van 0.2 in de Stevinsluis. Dit maakt een doorlaatfractie van 0.3 bij Terneuzen niet 100% zeker, maar waarschijnlijk wel haalbaar.
- Een doorlaatfractie van 0.2 is minder dan de helft van de gemeten meest optimale doorlaatfractie in IJmuiden en Terneuzen en gelijk aan de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met drempel of Δ -luchtbellenscherm met zoet waterscherm aan zoute zijde van de Stevinsluizen. Dus alleen als een Δ -luchtbellenscherm met drempel of waterscherm bij de grote diepte van de sluisen van Terneuzen even effectief is als een Δ -luchtbellenscherm met drempel of waterscherm bij de geringere diepte van de Stevinsluizen, dan is een doorlaatfractie van 0.2 bij Terneuzen technisch haalbaar. Dit is verre van zeker en daarmee is een doorlaatfractie van 0.2 bij Terneuzen hoogst onzeker haalbaar.

Met bovengenoemde drie doorlaatfracties behorend bij het scenario maximale inspanning om de zoutuitwisseling te beperken, met elke hun eigen mate van zekerheid dat ze te realiseren zijn, is de uiteindelijke zoutuitwisselingsbeperking bepaald door een conceptueel zoutuitwisseling-model van het hele sluiscomplex van Terneuzen. In het zoutuitwisselmodel worden de door SIVAK bepaalde volgorde van schuttingen en deuropentijden gebruikt om de gemiddelde zoutuitwisseling te bepalen met of zonder zoutuitwisselingsbeperkende maatregelen. Er wordt in het zoutuitwisselmodel vanuit gegaan dat de zoutuitwisselingsbeperkende maatregelen alle schuttingen functioneren (en niet in 25-50% van de schuttingen uitstaan zoals nu het geval is op het sluiscomplex van Terneuzen). In het zoutuitwisselmodel worden zoutuitwisselingsbeperkende maatregelen met gelijke doorlaatfractie op beide sluishoofden geplaatst omdat zo met beperkte extra investering een

extra effectief zoutuitwisselingsbeperking verkregen kan worden door het zogenoemde stapeleffect:

- De zoutuitwisselingsbeperkende maatregel aan buitenzijde verlaagd de hoeveelheid zout die de kolk inloopt bij een schutting aan zoute zijde
- Door het lagere zoutgehalte in de kolk kan er minder zout het kanaal instromen bij een schutting aan zoete zijde en vanwege de lagere aandrijvende kracht van het dichtheidsverschil neemt de effectiviteit van de zoutuitwisselingsbeperkende maatregel aan de binnenzijde toe
- Met een zoutuitwisselingsbeperkende maatregel op beide sluishoofden gaat het zoutgehalte in de kolk niet tussen helemaal zout en helemaal zoet fluctueren maar blijven de fluctuaties veel kleiner ergens in de buurt van een gemiddeld zoutgehalte tussen zout en zoet in.

Een zoutuitwisselingsbeperkende maatregel als Δ -luchtbellenscherm met drempel of waterscherm op beide sluishoofden vraagt slechts een beperkte extra investering t.o.v. installatie op slechts één sluishoofd omdat dezelfde compressoren gebruikt kunnen worden voor binnen en buiten bellenscherm. De mate van dit stapeleffect hangt af van de opeenvolgende deuropentijden (een te lange deuropentijd maakt de kolk weer helemaal zout en dan begint het stapeleffect weer van voor af aan) en dit wordt in het zoutuitwisselingsmodel bepaald. Het zoutuitwisselingsmodel gaat uit van een Cl verschil over de sluis van 12 g/l (12 g/l is het maximum gemeten tweemaandsgemiddelde Chloride verschil 2009-2013 tussen meetpunt TWZZ in de voorhaven en KGTB op het KGT). In het conceptuele zoutuitwisselingsmodel worden de afmetingen van de drie sluisen (Oostsluis, Westsluis en nieuwe zeesluis) gebruikt en wordt uitgegaan van lineaire groei van de zoutuitwisseling van 0% bij een deuropentijd $TD=0$ tot maximaal 85% uitwisseling van de sluis boven een drempel bij een deuropentijd van $TD>1$. Bij een doorlaatfractie van bijvoorbeeld 0.4 groeit de zoutuitwisseling van 0% bij een deuropentijd $TD=0$ tot 34% ($0.85 \cdot 0.4$) bij $TD=1$ en maximaal 85% bij $TD>2.5$. Het conceptuele zoutuitwisselingsmodel is niet gecalibreerd op de gemeten zoutuitwisseling bij Terneuzen, daarom zijn de resultaten slechts indicatief voor het verschil in zoutuitwisseling bij een verschillende doorlaatfractie.

Tabel 5.1 Zoutuitwisselingsreductie bij maximale inspanning met Δ -luchtbellenscherm met drempel of waterscherm

Doorlaatfractie Δ -bellenscherm met drempel of waterscherm op beide sluishoofden	Zoutuitwisselingsreductie hele complex Terneuzen
0.4 (vrij zeker haalbaar)	23% (77% doorgelaten)
0.3 (waarschijnlijk haalbaar)	36% (64% doorgelaten)
0.2 (hoogst onzeker haalbaar)	60% (40% doorgelaten)

Tabel 5.1 toont de zoutuitwisselingsreductie van het hele complex van Terneuzen zoals bepaald met het conceptuele zoutuitwisselingsmodel op basis van de SIVAK schuttingen/deuropentijden voor GE2030 met nieuwe zeesluis bij maximale inspanning met een Δ -bellenscherm met drempel of waterscherm op alle sluiscolken, voor drie niveaus van zekerheid. Vrij zeker is een zoutuitwisselingsreductie van 23% haalbaar, waarschijnlijk haalbaar is 36% zoutuitwisselingsreductie en hoogst onzeker haalbaar is 60% zoutuitwisselingsreductie.

Om de Cl concentraties op het niveau van autonome ontwikkeling te krijgen zou een zoutuitwisselingsreductie van 64% nodig zijn, dit wordt ook in het hoogst onzeker haalbaar scenario niet gehaald.

5.4 Combinatie bellenscherm Terneuzen met stremmen

Een Δ -bellenscherm met drempel of waterscherm geeft niet de benodigde zoutuitwisselingsreductie van 64% om op autonome ontwikkeling uit te komen. Het is echter mogelijk om een Δ -bellenscherm met drempel of waterscherm te combineren met stremmen om zo toch tot 64% reductie te komen.

In deze memo wordt met stremmen bedoeld: het beperken van de zoutuitwisseling door minder schuttingen per dag uit te voeren. Om het gehele jaar op Cl concentraties van autonome ontwikkeling te blijven zou het hele jaar bij-gestremd moeten worden, maar het is ook mogelijk alleen bij te stremmen indien een bepaalde kritische Cl concentratie wordt overschreden. In

Tabel 5.2 staat het benodigd stremmingspercentage van de tijd om tot AO2030 concentraties te komen.

Voor het geval dat er alleen gestremd wordt indien Cl hoger is dan het AO2030 niveau bij 2 maanden laag debiet, is het percentage stremming in de tijd bepaald uit de gemeten Cl tijdreeks van 2000-2014 bij KGTB. Op basis van de gesimuleerde SOBEK Cl concentraties bij KGTB voor de verschillende zoutlast scenario's in de MER is de gemeten Cl tijdreeks bij KGTB verhoogd voor de zoutlast die hoort bij een doorlaatfractie van het bellenscherm van 0.4, 0.3 en 0.2. Vervolgens is in deze aangepaste Cl tijdreeks bepaald hoeveel procent van de tijd tussen 2000-2014 een Cl concentratie van 5512 mg/l bij KGTB wordt overschreden. Cl=5512 mg/l is de SOBEK gesimuleerde Cl concentratie met AO2030 scenario en 2 maand laag debiet. Dit percentage is gebruikt als periode van een jaar dat er bij-gestremd dient te worden om op AO2030 niveau uit te komen. Opgemerkt dient te worden dat deze bijstrem-periode langdurig achter elkaar aan kan houden (1-6 maanden) omdat de hoge Cl concentraties op het KGT deze periodes achter elkaar kunnen duren.

Tabel 5.2 Benodigd stremmingspercentage nodig bovenop maximale inspanning met bellenscherm om op autonome ontwikkeling uit te komen

Doorlaatfractie Δ -bellenscherm met evt. drempel of waterscherm op beide sluishoofden	Zoutuitwisselingsreductie hele complex Terneuzen	Stremmen om hele jaar tot 64% reductie te komen voor AO2030	Alleen stremmen bij Cl hoger dan van 5513 mg/l bij KGTB (behorend bij AO2030 2 maand laag debiet)
1 (niets doen aan zoutuitwisseling)	0% (100% doorgelaten)	64% stremming	15% stremming (23% van een jaar 64% stremming)
0.4 (vrij zeker haalbaar)	23% (77% doorgelaten)	41% stremming	7% stremming (16% van een jaar 41% stremming)
0.3 (waarschijnlijk haalbaar)	36% (64% doorgelaten)	28% stremming	3% stremming (12% van een jaar 28% stremming)
0.2 (hoogst onzeker haalbaar)	60% (40% doorgelaten)	4% stremming	0.06% stremming (1.5% van een jaar 4% stremming)

5.5 Debiet waterscherm ter ondersteuning Δ -luchtbellenscherm

Waterschermen kunnen de werking van Δ -luchtbellenscherm op drie manieren ondersteunen:

1. Bescherming teen Δ -luchtbellenscherm tegen druk zoutwaterkolom
2. Indringend zout water verdunnen met zoet water voordat luchtbellenscherm wordt bereikt
3. Zoet water drijft op in het zoutere water, dit helpt de zout-zoet scheiding

Deltares schat voor de Volkeraksluizen in dat de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm door ondersteuning met een (zoet/brak) waterscherm kan verlagen van 0.25 naar 0.15. Dit betreft de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met waterscherm aan zoute zijde, voor de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met waterscherm aan zoete zijde heeft Deltares nog onvoldoende vertrouwen voor een doorlaatfractie van 0.15 en wordt de doorlaatfractie ingeschat als 0.2 (gelijkwaardig aan een Δ -luchtbellenscherm met drempel)¹⁰.

Doorvertaling van het waterscherm debiet zoals gebruikt in de Stevinsluis proef door Deltares naar de breedte/diepte van de sluisen van Terneuzen geeft de volgende benodigde waterscherm debieten.

	Instantaan debiet
Oostsluis	5 m ³ /s
Westsluis	15 m ³ /s
Grote zeesluis	27 m ³ /s
Totaal	47 m ³ /s (daggemiddeld 26 m ³ /s)

Bij de Oostsluis en grote zeesluis is het kanaal aan binnenzijde minder diep dan de sluisolk; deze bodemsprong fungeert als een drempel en daarom is hier geen waterscherm nodig. Bij de Westsluis zit aan de binnenzijde van de kolk de zoutvang en hier kan een waterscherm het Δ -luchtbellenscherm helpen. Uitgaande van een waterscherm aan de buitenzijde van de Oostsluis en grote zeesluis en waterschermen aan binnen- en buitenzijde van de Westsluis en de gemiddelde deuropentijden van elke sluis is het benodigde daggemiddelde debiet 26 m³/s (20 m³/s alle schermen buitenzijde en 6 m³/s scherm Westsluis binnenzijde).

Voor optimale werking van het waterscherm worden ze bij voorkeur gevoed met zoet of brak water. De waterschermen aan de binnenzijde van de Westsluis kunnen gevoed worden met brak water vanuit het KGT zonder dat water aan het KGT wordt onttrokken. Indien de waterschermen aan de buitenzijde van de sluisen worden gevoed met brak water vanuit het KGT, zou water aan het KGT worden onttrokken. Aangezien er na klimaatverandering in droge periodes niet voldoende water is voor het schutverlies van het sluiscomplex, is er in droge periodes dus geen water beschikbaar op het KGT om de waterschermen te voeden. Juist in droge periodes is de Cl concentratie op het KGT het hoogst en is een maximale effectiviteit van zoutscheiding vereist. De waterschermen zouden gevoed kunnen worden met zout water uit de voorhaven aan de Westerschelde zijde, maar dan worden twee van de drie manieren van werking van het waterscherm niet gehaald en zal de effectiviteit afnemen. Voor de doorlaatfractie van een Δ -luchtbellenscherm met zout waterscherm (aan zoute zijde) wordt in deze memo aangenomen dat deze voor omstandigheden als de Volkeraksluizen gelijk is aan een Δ -luchtbellenscherm met drempel, namelijk doorlaatfractie = 0.2, de geldigheid van deze aanname zal ter zijner tijd door metingen nog aangetoond dienen te worden. Een andere mogelijkheid is om zoet water van elders aan te voeren voor de waterschermen. Maar gezien het feit dat het benodigde daggemiddelde

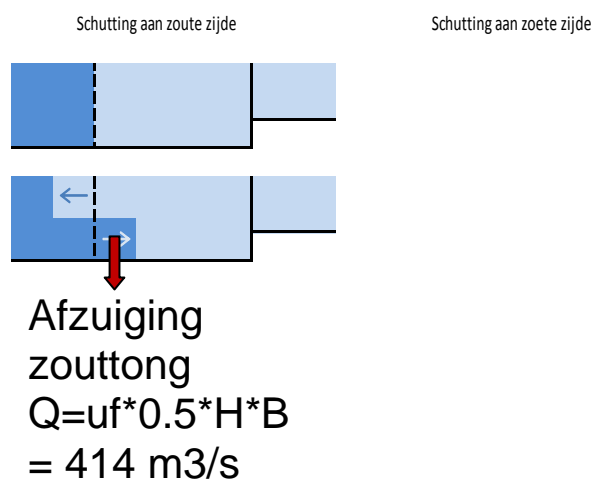
¹⁰ Bron: Deltares, 2011, Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbeperving Volkeraksluizen, eindrapport van het onderzoek naar mogelijkheden voor de zoutlekbeperving door de Volkeraksluizen na verzilting van het Volkerak-Zoommeer, Rapport nr. 1201226-015, auteurs, M.T. Villars, R.E. Uittenbogaard, J.M. Cornelisse, A.J. Nolte

debiet voor waterschermen op het sluiscomplex (buitenzijde) met $20\text{m}^3/\text{s}$ veel hoger is dan het jaargemiddeld benodigd debiet ($10\text{m}^3/\text{s}$) om de Cl concentratie op het KGT te verlagen naar het niveau van autonome ontwikkeling, is het zinniger om het zoete water rechtstreeks naar het KGT te brengen dan om het te gebruiken om waterschermen mee te voeden.

Aangezien het zinniger is om zoet water te gebruiken om het KGT mee te verdunnen dan om er waterschermen mee te voeden, wordt in deze memo niet uitgegaan van zoete maar van zoute waterschermen of een drempel (keuze tussen waterscherm en drempel op basis van nader onderzoek nog te bepalen) die de Δ -luchtbellenschermen ondersteunen aan de zoute zijde van de Oostsluis, Westsluis en grote zeesluis. Aan de zoete zijde van Oostsluis en grote zeesluis fungeert een bodemsprong als drempel die de Δ -luchtbellenschermen ondersteunt en aan de zoete zijde van de Westsluis wordt het Δ -luchtbellenscherm ondersteund door een brak waterscherm gevoed uit het KGT.

6 AFZUIGEN ZOUTTONG

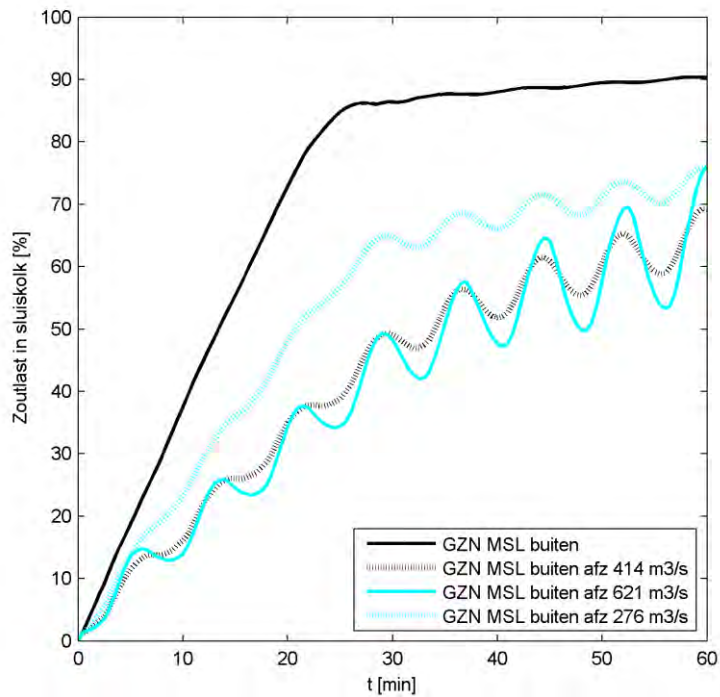
Het is mogelijk de binnentredende zouttong in de sluiscolk af te zuigen, zie Figuur 6.1. Dit zou de uitwisseling van zout en zoet water voorkomen en zo de zoutuitwisseling naar het KGT kunnen verlagen. Hiervoor is wel een zeer fors afzuigdebiet nodig, in de orde van het intredend debiet van de zouttong: $Q=uf*0.5*H*B = 414\text{m}^3/\text{s}$ voor de nieuwe zeesluis.



Figuur 6.1 Concept afzuiging zouttong

Voor drie verschillende afzuigdebieten ($414\text{m}^3/\text{s}$, 1.5 keer zo veel en 1.5 keer zo weinig) is met FINE2D gesimuleerd hoe de zoutuitwisseling van de nieuwe zeesluis bij een schutting aan zoute zijde verloopt met en zonder afzuiging. Het resultaat is te zien in Figuur 6.1. Afzuiging zorgt duidelijk voor minder zoutuitwisseling, maar het voorkomt de zoutuitwisseling helaas niet. Net als een bellenscherm lijkt afzuiging vooral als vertrager van de zoutuitwisseling te werken. Bij een deuropentijd van 20 minuten ($TD=1$) is de doorlaatfractie van afzuigen 0.46. Daarmee is afzuigen minder effectief dan een Δ -luchtbellenscherm met een bellenscherm of drempel. Afzuiging met een 1.5 keer hoger afzuigdebiet laat niet minder zout door terwijl afzuigen met een 1.5 keer lager afzuigdebiet wel meer zout doorlaat. Aan de KGT zijde van het sluisencomplex is afzuiging niet toe te passen met deze forse debieten omdat in droge periodes als het Cl probleem het grootst is, dit debiet niet onttrokken kan worden aan het kanaal. Indien afzuiging van de zouttong met een doorlaatfractie van 0.46 alleen aan de zoute sluishoofden van alle sluisen in het complex van Terneuzen wordt toegepast, dan berekent het conceptuele zoutuitwisselingsmodel een reductie van slechts 7% in de zoutuitwisseling van het complex en er zou dan in totaal een instantaan

afzuigdebiet van ongeveer $664 \text{ m}^3/\text{s}$ nodig zijn. Vanwege de grote benodigde inspanning en het geringe effect op de zoutuitwisseling van het complex is afzuigen van de zouttong geen effectieve maatregel om de Cl concentraties op KGT te beperken tot het niveau van autonome ontwikkeling. Vanwege de omvang van het afzuigdebiet is deze maatregel technisch niet realiseerbaar.



Figuur 6.2 Gesimuleerde zoutuitwisseling nieuwe zeesluis met en zonder afzuiging