

Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperving Volkeraksluizen

**Implementatie en operationele beheer zoutbeperkende
maatregelen Volkeraksluizen; Mogelijke toepassingen andere
sluizen**

ir. R.J. de Jong

1201226-007

Titel

Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperving Volkeraksluizen;
 Implementatie en operationele beheer zoutbeperkende maatregelen Volkeraksluizen;
 Mogelijke toepassingen andere sluizen

Opdrachtgever RWS Waterdienst	Project 1201226-007	Kenmerk 1201226-007-ZKS-0003	Pagina's 37
Classificatie vertrouwelijk tot juni 2011			

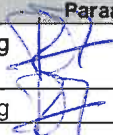
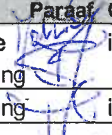

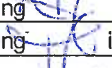
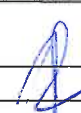
Trefwoorden

Volkeraksluizen, schutsluizen, uitwisseling zout-zoet, zoutlekbeperving, luchtbellenschermen

Samenvatting

In dit rapport worden de maatregelen zoals die in het rapport "Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperving Volkeraksluizen - Evaluatie maatregelen Volkeraksluizen" worden voorgesteld besproken en voorzien van pragmatische adviezen voor de toepassing ervan.

Voorts wordt in het kort aangegeven bij welke andere sluizen in Nederland zout/zoetovergangen aanwezig zijn en de mogelijkheden van het inperken van zoutindringing voor enkele sluizen die vanuit Noord-Brabant verbinding geven met het Volkerak/Zoommeer.

Versie	Datum	Auteurs	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	dec. 2010	ir. R.J. de Jong		Ir. J.M. Cornelisse Ir. T. H.G. Jongeling		ir. T. Schilperoort	
2	april 2011	ir. R.J. de Jong		Ir. T. H.G. Jongeling		ir. T. Schilperoort	

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Beknopt overzicht van het project	1
1.3	Activiteiten en deeltaken	4
1.4	Overzicht van producten van het project	5
1.5	Dit rapport	6
2	Maatregelen, dimensionering en effecten	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Luchtbellenschermen (ook in combinatie met waterschermen en drempels)	8
2.3	Water uit het Hollandsch Diep richting Volkerak-Zoommeer laten stromen	10
2.3.1	Lekdebieten (lekkende ebdeuren)	10
2.3.2	Waterschermen	14
2.3.3	Spuien	15
2.4	Drempels	16
2.5	Stringent sluisbeheer voor wat betreft de scheepvaart	18
3	Wanneer welke maatregel inzetten door wie en op basis waarvan?	19
3.1	Afhankelijk van hydrologische omstandigheden	19
3.1.1	Preambule	19
3.1.2	Hydrologische situaties	19
3.1.3	Regimes op de sluisen	20
3.1.4	Frequentie van aanpassen van het regime op de schutsluisen	22
3.2	Wie onderneemt logischerwijze welke acties?	22
3.3	De handelingen voor het sluisencomplex en per sluis	24
3.3.1	Startsituatie	24
3.3.2	Scheepvaart meldt zich voor de sluisen.	26
3.4	Automatisering	27
3.5	Benodigd instrumentarium	27
3.6	Mogelijke toekomstige situaties bij de Volkeraksluisen	29
4	Communicatie	31
4.1	Tussen sluispersoneel en schippers (beroepsvaart en jachten)	31
4.2	Tussen schutsluisbeheerder en de organisatorische omgeving	32
4.3	Voorlichting op de sluis voor bezoekers	32
5	Sluisen met overgangen zout/zoet	33
5.1	Inleiding	33
5.2	Sluisen in Nederland tussen zoet- en zoutwater	33
5.3	Opsomming mogelijke maatregelen	35
5.4	Dintelsas en Benedensas	36
5.4.1	Dintelsas	36
5.4.2	Benedensas	36
6	Referenties	37

Bijlage(n)

A Tekening rinketschuiven in de Volkeraksluizen

A-1

Begrippenlijst

- 1 Hollandsch Diep wordt in dit rapport vaak afgekort met HD. Volkerak-Zoommeer wordt in dit rapport vaak afgekort met VZM.
- 2 De zoutlek (in kg/s) is de netto hoeveelheid zout die, gemiddeld over een zekere tijdsduur (bijv. de deuropentijd, meerdere schuttingen, een uur, een dag, een maand, etc.), de schutkolk aan één zijde indringt dan wel aan de andere zijde de schutkolk verlaat. De zoutlek wordt weergegeven in totaal zout. Met 'zout' bij de innamepunten wordt meestal de chlorideconcentratie bedoeld. 60 kg/s zoutlek komt overeen met ongeveer 33 kg/s chloridelek.
- 3 De zoutuitwisseling (uitgedrukt in een percentage %) is de hoeveelheid zout die vanuit de VZM-voorhaven de sluis kolk gedurende een bepaalde tijdsduur in is gestroomd gerelateerd aan de hoeveelheid zout in de sluis kolk als die geheel gevuld zou zijn met het zoute water van de voorhaven. De definitie geldt ook voor een zoute kolk en een zoete voorhaven (stoomrichting zout omgekeerd).
- 4 Een doorlaatfractie is de netto hoeveelheid zout die gedurende een zekere periode de sluis kolk aan één zijde (dus per sluishoofd) binnendringt dan wel verlaat uitgedrukt in de netto hoeveelheid zout die gedurende dezelfde periode en bij gelijke zoutconcentratieverschillen een onbeschermd sluis kolk zou zijn ingedrongen dan wel hebben verlaten (soms afgekort met het Griekse symbool η (êta)).
- 5 Froude-lucht-getal Fr_l is de verhouding tussen de verticale snelheid van het door de stijgende luchtbellen meegesleurde water en de horizontale snelheid van de zouttong. Dit getal is van belang voor het bepalen van de hoeveelheid lucht, zodanig dat het luchtbellenscherm vooral als scheider werkt (en dan niet te veel mengt).
Zie Deltares 12011226-011, Uittenbogaard 2010.
- 6 Specifiek luchtdebiet is het luchtdebiet per eenheid van kolkbreedte ($\text{Nm}^3/\text{s}/\text{m}^1$) waarbij N refereert naar de (Normale) atmosferische omstandigheden waaronder lucht door een compressor wordt ingezogen.
- 7 Lekdebiet is het extra debiet vanuit HD richting VZM via de schutsluizen als gevolg van het op een beperkte opening houden van de deurschuiven terwijl aan de andere kant van een sluis in- of uitgevaren wordt. In de kolk is dan een kleine stroomsnelheid aanwezig.
- 8 Waterschermdebiet is het debiet dat vanuit een HD-voorhaven wordt aangevoerd om een waterscherm (ondersteuning van een bellenscherm) te voeden.
- 9 Spuidebiet is een debiet van HD-voorhaven richting VZM-voorhaven, bedoeld om brak water dat in de HD-voorhaven terecht is gekomen terug te spoelen en in de VZM-voorhaven een (geleidelijk) deel van de de zout/zoet-overgang te realiseren. De inlaat van de spuistroom kan in een zoutvang in de HD-voorhaven worden gepositioneerd. Opmerking: Hiermee wordt dus niet het eventuele debiet door de separaat aangelegde inlaatsluis Volkerak (ook wel spuisluis genoemd) bedoeld.

Samenvatting

In dit rapport worden de maatregelen zoals die in het rapport “Ontwerpstudie en Praktijkproef Volkeraksluizen – Evaluatie maatregelen Volkeraksluizen” worden voorgesteld besproken en voorzien van pragmatische adviezen voor de operationele toepassing in het sluisbeheer. Uitgegaan wordt van een combinatie van luchtbellenschermen al of niet in combinatie met waterschermen, lekkende ebdeuren, drempels en stringent sluisbeheer. Een zoutvang wordt nu niet meegenomen omdat vooralsnog gedacht wordt dat aanleg van dit middel een te grote en kostbare ingreep zal zijn.

De wijze van omgaan met de maatregelen die nodig zijn om het gewenste effect op de zoutlek richting Hollandsch Diep te realiseren is afhankelijk van de omstandigheden en niet beknopt in een samenvatting voldoende goed weer te geven. Deze samenvatting heeft daarom verder meer het karakter van een leeswijzer.

In de algemene inleiding (Hoofdstuk 1) worden de problematiek van het Volkerak-Zoommeer en de door Deltares verrichte studie in grote lijnen behandeld. Rijkswaterstaat zal op basis van de resultaten van die studie een beslissing nemen over de te nemen maatregelen. Vervolgens wordt door Rijkswaterstaat aan een ingenieursbureau een opdracht voor nadere uitwerking (maken van een technisch ontwerp) gegeven.

In dit rapport wordt vooruitlopend op die beslissing en in lijn met de bevindingen van Deltares daarover (deeltaak 4b) aangegeven welke handelingen in het dagelijkse sluisbeheer te nemen zijn om de voorgestane zoutlekbeperkende maatregelen effectief te laten zijn.

In hoofdstuk 2 worden de diverse mogelijke maatregelen besproken. Onderscheid wordt daarbij gemaakt in:

- Luchtbellenschermen;
- Extra debiet vanuit het Hollandsch Diep richting Volkerak-Zoommeer;
- (waarbij onderscheid wordt gemaakt in waterschermen, lekdebieten en spuien);
- Toepassen van drempels;
- Stringent schutsluisbeheer met het oog op watermanagement.

Uitgegaan wordt van een combinatie van luchtbellenschermen/waterschermen, lekdebieten, drempels en stringent sluisbeheer. Deze combinatie geldt als een fase 1 van de mogelijke maatregelen en wordt geacht voldoende effect te hebben op het terugdringen van de zoutlek, zonder te veel watergebruik richting VZM te veroorzaken en zonder de scheepvaart al te zeer te hinderen. De gewenste luchtdebieten en lekdebieten zijn situatieafhankelijk. Om een eenmaal gekozen lekdebiet in te kunnen stellen wordt detailinformatie verstrekt.

Stringent sluisbeheer met het oog op watermanagement vergt een aangescherpte verkeersbegeleiding dat er op gericht is de schutkolken zo kort mogelijk open te laten staan voor uit- en invaren van schepen en anderzijds toch zoveel mogelijk met schepen te vullen om niet onnodig veel schuttingen op een dag te moeten verrichten.

Maatregelen die men kan overwegen in een fase 2 (bijvoorbeeld een zoutvang aan de Hollandsch Diep kant) worden slechts in geringe mate behandeld.

Randvoorwaarden voor de ontwerpstudie zijn om de zoutlek te beperken tot maximaal 60 kg/s en het watergebruik richting VZM maximaal 25 m³/s te laten bedragen. Meer in het algemeen kan men de situatie als afhankelijk van de hydrologische toestand beschouwen

(begin hoofdstuk 3) om vervolgens afhankelijk daarvan randvoorwaarden voor het schutsluisbeheersregime te kiezen. Overwegingen die daarbij een rol kunnen spelen worden gegeven. Belangrijk is daarbij hoe vaak men de instellingen voor water- en luchtdebiet wil aanpassen aan de wijzigende omstandigheden. Bij frequente aanpassing zal er gemeten moeten worden (zoutverticalen) in voorhavens en sluisen, omdat op die informatie gestuurd moet worden.

Vervolgens is belangrijk wie welke acties onderneemt om op de schutsluizen de juiste handelingen te (laten) verrichten. Bij geen of een slechts beperkte variatie in instellingen kan veel zelfstandig op de schutsluizen uitgevoerd worden, maar indien regelmatig wijzigingen moeten worden doorgevoerd wordt de rol van de sluisbeheerder groter. Een schema is gemaakt waarin de diverse beslissingen om tot de gewenste instellingen voor water- en luchtdebieten te komen in volgorde staan aangegeven. In alle gevallen wordt aanbevolen zoveel mogelijk te automatiseren. Hierover en over de benodigde metingen wordt in hoofdstuk 3 geschreven.

In hoofdstuk 4 worden de diverse communicatielijnen besproken. Er worden vijf partijen onderscheiden: sluisbeheerder, sluispersoneel, schippers, organisatorische omgevingen en publiek.

De grote lijn die neergezet wordt is als volgt:

- dat het behoudens voor extreme omstandigheden mogelijk is om binnen de gegeven randvoorwaarde van maximaal 25 m³/s watertransport naar Volkerak/Zoommeer met inzet van relatief beperkte maatregelen de zoutlek naar het Hollandsch Diep onder 60 kg/s te houden;
- dat de middelen zullen bestaan uit de inzet van luchtbellenschermen/waterschermen, lekdebieten en drempels, aangevuld met stringent sluisbeheer waarin deuren relatief korte tijd open staan en kolken goed met schepen gevuld worden;
- dat optimalisering mogelijk is op de onderwerpen zoutlek, extra debiet vanuit HD richting VZM en energiegebruik, maar daarvoor zal de inzet van het in dit project ontwikkelde Zoutlekmodel en meetresultaten van het zoutgehalte in voorhavens en kolken onontbeerlijk zijn;
- dat automatisering van de inzet van de middelen aanbevolen wordt;
- dat – alhoewel duidelijk is welke de randvoorwaarden zijn (m.b.t. watertransport en zoutlek) - er extreme natte of droge situaties kunnen zijn waarvoor de inzet van de middelen kunnen worden aangepast om
 - beter gebruik te kunnen maken van de natte situaties
 - of om voor de droge situaties nog effectiever te kunnen zijn.

Tenslotte, in hoofdstuk 5 worden de andere Nederlandse schutsluizen waar zout/zoet-overgangen aanwezig zijn aangeduid en worden de mogelijkheden voor beperken van zoutindringing opgesomd. Voor Dintelsas en Benedensas worden de maatregelen die in een eerder studie aanbevolen werden aangegeven. Verwezen wordt ook naar een rapport van in 2010 verrichte WINN studie gericht op beperking van zoutindringing bij schutsluizen.

1 Introductie

1.1 Algemeen

De Waterdienst van Rijkswaterstaat heeft op 3 november 2009 opdracht gegeven aan Deltares voor de uitvoering van de Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen (zaaknummer 31030032). Deze studie wordt uitgevoerd onder de voorwaarden van de raamovereenkomst met nummer WD-4924 betreffende "Specialistische adviezen van de Stichting Deltares t.b.v. het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M).

Het (Deltares) onderzoek is ondersteund door een begeleidingsgroep welke is samengesteld uit vertegenwoordigers van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, DG Water en de betrokken diensten van Rijkswaterstaat (Waterdienst, Dienst Infrastructuur, Dienst Zeeland, Dienst Zuid-Holland, en Dienst IJsselmeergebied), het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en PWN drinkwaterleidingbedrijf Noord-Holland.

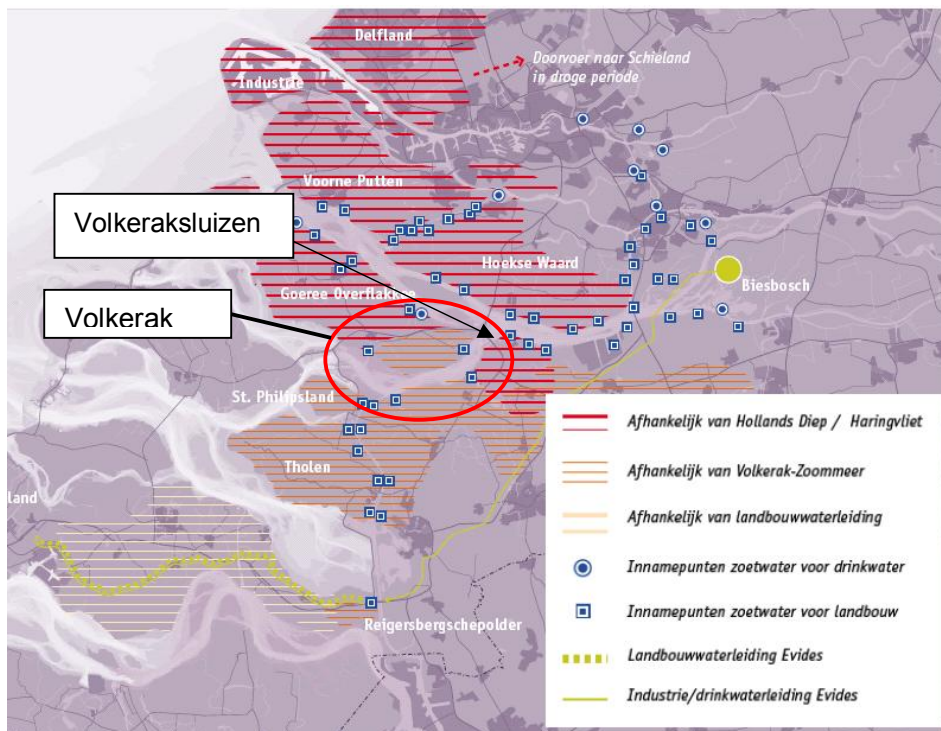
1.2 Beknopt overzicht van het project

Voor het oplossen van het blauwalgenprobleem in het Volkerak-Zoommeer concludeert de planstudie/MER voor dit gebied dat het zoute alternatief de enige effectieve maatregel is, waarbij dit alternatief tevens de basis legt voor een duurzaam en gezond ecologisch systeem. Het toelaten van zoutwater uit de Oosterschelde in het Volkerak-Zoommeer sluit aan op het advies van de Commissie Veerman en de beleidsvoornemens zoals opgenomen in het Nationaal Waterplan. Een randvoorwaarde betreft het realiseren van maatregelen voor het behoud of de verbetering van de zoetwatervoorziening rondom het Volkerak-Zoommeer en in het Noordelijk Deltabekken. Uit de planstudie/MER komt naar voren dat voor de gebieden die direct grenzen aan het Volkerak-Zoommeer, goede oplossingen aanwezig zijn voor een duurzame zoetwatervoorziening.

Wanneer het Volkerak zout wordt, vindt tijdens het schutten in de Volkeraksluizen transport van zoutwater plaats vanuit het Volkerak-Zoommeer naar het Hollandsch Diep, waar het zich vervolgens zal verspreiden naar het Haringvliet en Spui (zie Figuur 1.1 en Figuur 1.2). Een transport van zout van het Volkerak-Zoommeer naar het Hollandsch Diep noemen wij in dit rapport: de zoutlek. In het Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui bevinden zich meerdere waterinnamepunten voor de drink- en industriewatervoorziening, voor het peilbeheer en voor de watervoorziening ten behoeve van land- en tuinbouw (zie Figuur 1.2). Verkennend onderzoek heeft aangegeven dat indien de zoutlek beperkt blijft tot 60 kg/s, het chloridegehalte bij waterinnamepunten voldoende laag blijft, zodat ingrijpende mitigerende maatregelen dan niet hoeven te worden uitgevoerd.

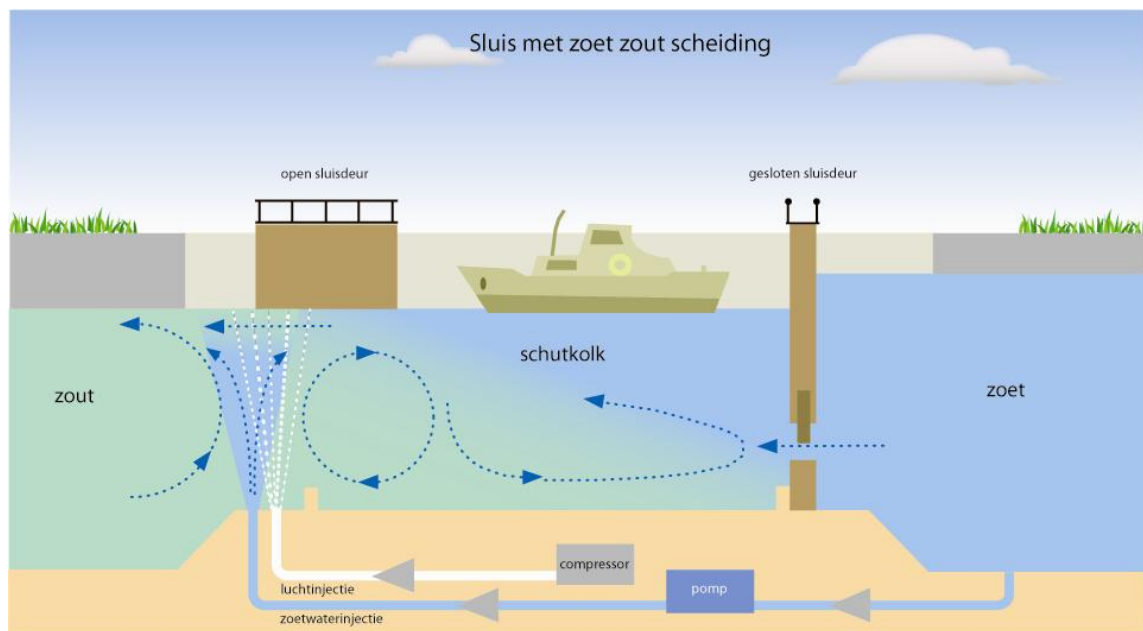


Figuur 1.1 De Volkeraksluizen vormen de verbinding tussen het Volkerak en het Hollandsch Diep. De scheepvaartsluizen bestaan uit 3 beroepsvaartsluizen en 1 jachtensluis. Tussen beide sluisencomplexen bevindt zich een spuisluis (Bron: Google Earth)



Figuur 1.2 Zoetwater innamepunten in en rondom het Volkerak (Bron: Zoet Water Zuidwestelijke Delta, juni 2009)

In de periode 1970-1987, toen het Volkerak nog in open verbinding stond met de Oosterschelde, werd de zoutlek van de Volkeraksluizen beperkt door diverse maatregelen. Daarbij bleken luchtbellenschermen en het spuien van zoetwater door de kolken (lekkende ebdeuren) zeer effectief te zijn. Uit recente studies is gebleken dat nieuwe (innovatieve) methoden beschikbaar zijn voor een efficiënte beperking van de zoutlek zoals middelen voor een betere en dichtere verdeling van lucht over de volledige breedte van de sluiscolk en het beperken van de zoutdoordringing door de combinatie van lucht- en (zoet)waterinjectie (Figuur 1.3).



Figuur 1.3 Schematische weergave van zoutlekbeperkende maatregelen in een scheepvaartsluis met zoet-zout scheiding: luchtbellenscherm in combinatie met zoetwaterinjectie en zoetwater instroom via de sluisdeuren. (Bron: Rijkswaterstaat).

Het hoofddoel van het onderzoek is om te onderbouwen dat met implementatie van de maatregelen bij de Volkeraksluizen de zoutlek wordt beperkt tot minder dan 60 kg/s, uitgaande van het verwachte scheepsaanbod (vertaald in aantal schuttingen) in 2020. Het netto transport aan water vanuit het Hollandsch Diep naar het Volkerak/Zoommeer mag daarbij niet meer zijn dan 25 m³/s (inclusief schutverlies). Hierbij wordt opgemerkt dat de zout/zoetuitwisseling bij de sluisen in deze definitie niet tot een netto watertransport leidt, maar wel tot een verlies van zoetwater richting het Volkerak/Zoommeer en evenzeveel zoutwater richting het Hollandsch Diep. Deze uitwisseling van zoet- en zoutwater is niet inbegrepen in genoemde 25 m³/s.

Het onderzoek heeft als kern een serie praktijkproeven in de Stevinsluis (Den Oever, Afsluitdijk), gericht op het bepalen van de effectiviteit van eventuele maatregelen die in de Volkeraksluizen kunnen worden geïmplementeerd om de zoutlek aldaar te beperken. Daarmee kan het ontwerp van de maatregelen voor de Volkeraksluizen worden gebaseerd op in de praktijk getoetste maatregelen.

Na een verkenning door Rijkswaterstaat en Deltares is de Stevinsluis in de Afsluitdijk bij Den Oever gekozen als locatie voor de praktijkproeven. De Stevinsluis is als geschikt aangemerkt vanwege de daar aanwezige zoet-zout overgang, de afmetingen van de sluis en de

beschikbare infrastructuur en voorzieningen ter plaatse. In vergelijking met de Volkeraksluizen leidt de combinatie van geringere diepte (4,7m in plaats van 7,5m) bij hetzelfde zoutgehalte in de Stevinsluis tot een ca. 21% geringere voortplantingssnelheid van de zouttong. De overige aan dichtheid gerelateerde effecten en de werking van het luchtbellenscherm kunnen over en weer goed worden vertaald. Verder wordt de Stevinsluis op identieke manier gevuld als de Volkeraksluizen, namelijk via rinketschuiven laag in de sluisdeuren.

Om de zoutlek en het effect van zoutlekbeperkende maatregelen zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen wordt een combinatie van numerieke modellering, laboratoriumproeven en veldmetingen gehanteerd:

1. Numerieke modellering, onder te verdelen in
 - a Gedetailleerde modellering van uitwisselingsstromingen in de Stevinsluis;
 - b Berekening van de zoutlek door de Stevinsluis en de Volkeraksluizen met behulp van het zogenaamde Zoutlekmodel (zie Deltares 12011226-011, Uittenbogaard, 2010);
 - c Modellering van zoutverspreiding in het Noordelijk Deltabekken;
2. Laboratoriumproeven van de combinatie uitwisselingsstroming, luchtbellenscherm en waterinjectie op kleine schaal; en
3. Praktijkproeven in de Stevinsluis.

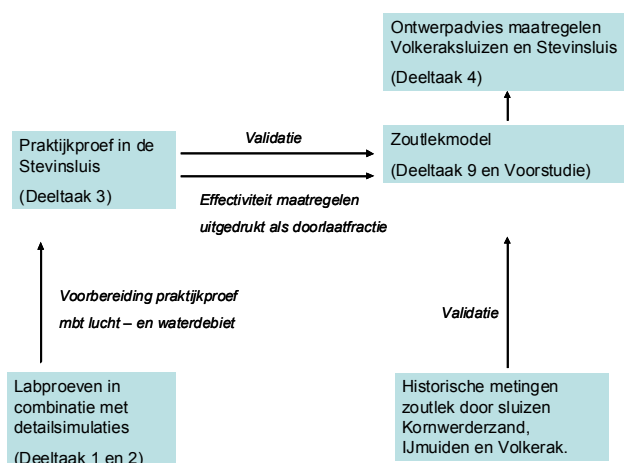
1.3 Activiteiten en deeltaken

Om het onderzoek goed te organiseren en uit te voeren is een aantal activiteiten in de vorm van deeltaken gedefinieerd. Dit betreft:

- 1 Verkenning Stevinsluis door middel van detailsimulaties met CFX model en SPH model;
- 2 Verkenning maatregelen in laboratoriumproeven;
- 3 Voorbereiden, uitvoeren en verwerken meetgegevens van de praktijkproeven Stevinsluis;
- 4 Evaluatie en optimalisatie maatregelen met behulp van het Zoutlekmodel voor (a.) Stevinsluis en (b.) Volkeraksluizen inclusief bijbehorende specificaties (effectiviteit, kosten, e.d.);
- 5 Opstellen protocol met richtlijnen voor sluis- en maatregelenbeheer;
- 6 Evaluatie door middel van deskundigenoordeel van de invloed en mogelijkheden van maatregelen ten behoeve van vismigratie (met name intrek);
- 7 Opzet en kalibratie/validatie 3D Noordelijk Deltabekken model voor zoutverspreiding inclusief scenarioberekeningen zoutlek;
- 8 Evaluatie mogelijke maatregelen voor andere sluizen;
- 9 Ontwikkeling en oplevering generiek Zoutlekmodel voor vergelijkbare sluizen.

Als voorbereiding van de praktijkproeven in de Stevinsluis zijn twee deeltaken uitgevoerd om vooraf een kwantitatieve schatting te hebben van het effect van een luchtbellenscherm in combinatie met een waterinjectie tegen zoutintrusie in een sluiscolk. Deeltaak 1 betreft een serie gedetailleerde computerberekeningen en Deeltaak 2 betreft een laboratoriumstudie op kleine schaal. In beide deeltaken wordt het proces van de zoutuitwisseling in een scheepvaartsluis bij opening van de sluisdeur aan één zijde bij gelijke waterstand in kolk en voorhaven bestudeerd, al dan niet in combinatie met een luchtbellenscherm en/of een zoetwaterinjectie. In deze studies wordt geen aandacht gegeven aan andere fysische processen die van belang zijn in een schutcyclus, zoals nivellering, de door scheepvaart geforceerde waterbeweging en het effect van het openen van de deuren bij voltooiing van de

schutcyclus. Het effect van deze processen wordt alleen beschouwd in de praktijkproeven bij de Stevinsluis (deeltaak 3). De resultaten van de praktijkproeven worden vervolgens gebruikt in het Zoutlekmodel (deeltaak 9). In deeltaak 4 wordt het Zoutlekmodel gebruikt om tot optimale zoutlekbepurende maatregelen voor de Volkeraksluizen te komen en om de daggemiddelde zoutlek bij de Volkeraksluizen te berekenen. Figuur 1.4 geeft deze werkwijze schematisch weer.



Figuur 1.4 Samenhang tussen deeltaken m.b.t. laboratoriumproeven, detailsimulaties, Praktijkproef Stevinsluis en Zoutlekmodel in relatie tot het ontwerpadvies voor zoutlekbepanking Volkeraksluizen.

1.4 Overzicht van producten van het project

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de producten welke in het kader van het onderzoek zijn of nog zullen worden opgeleverd. Deze producten bestaan uit verslagen, rapporten, gegevensbestanden en een simulatiemodel.

Product	Deeltaak
1. Bespreekverslag van startoverleg met de opdrachtgever	
2. Rapport detailsimulaties Stevinsluis inclusief vergelijking labproef	1
3. 1 ^e versie Zoutlekmodel	1
4. Rapport labproeven	2
5. Digitale datasets meetgegevens labproeven	2
6. Meetplan en meetprotocol voor het uitvoeren van de praktijkproeven Stevinsluis	1 & 2
7a. Verslag tussenresultaten praktijkproeven Stevinsluis	3
7b. Rapport beschrijving en resultaten praktijkproeven Stevinsluis	3
8. Digitale datasets meetgegevens praktijkproeven	3
9. Rapport evaluatie maatregelen Stevinsluis	4a
10. Rapport evaluatie maatregelen Volkeraksluizen	4b
11a. Concept Eindrapport	alle
11b. (Definitief) Eindrapport	alle
12. Richtlijnen operationeel beheer Volkeraksluizen	5
13. Rapport evaluatie visintrek	6
14. Rapport kalibratie 3D zoutmodellering Noordelijk Deltabekken	7

15. Rapport scenarioberekeningen zoutverspreiding zoutlek Volkeraksluizen	7
16. Rapport mogelijkheden andere schutsluizen	8
17. Model zoutlek schutsluizen inclusief handleiding	9

1.5 Dit rapport

Het voorliggende rapport betreft twee deelprojecten:
Deelproject 5 Richtlijnen operationeel beheer Volkeraksluizen
Deelproject 8 Mogelijkheden andere schutsluizen

In dit rapport wordt met de resultaten van bovengenoemde studies op de achtergrond een advies gegeven over hoe een effectieve werkbare situatie bij de Volkeraksluizen kan worden gerealiseerd. Maatregelen bij andere sluizen worden beperkt besproken. In deze studie is samengewerkt met het WINN project – Innovatieve maatregelen voor beperking zoutlek door sluizen. Een uitgebreider rapportage vindt in dat kader plaats.

Voorin dit rapport is een samenvatting gegeven. Na deze algemene inleiding (hoofdstuk 1) worden in hoofdstuk 2 de mogelijke te nemen maatregelen (Fase 1) behandeld. In hoofdstuk 3 wordt aangegeven onder welke omstandigheden welke maatregelen in te zetten zijn, wie logischerwijze de beslissingen neemt en wie met de uitvoering belast zou moeten zijn. In hoofdstuk 4 worden de diverse communicatielijnen besproken. Tenslotte wordt in hoofdstuk 5 kort aangegeven welke andere sluizen met zout/zoetverschillen te maken hebben en wordt een eerder uitgebrachte advies voor de beperking van zoutindringing bij twee sluizen die een verbinding geven met het VZM-gebied gememoreerd.

2 Maatregelen, dimensionering en effecten

2.1 Inleiding

Er is een aantal invloedsfactoren die de zoutlek door de Volkeraksluizen bepalen. Deze zijn:

1. Het zoutgehalte in de VZM-voorhaven;
2. Het waterstandsverschil tussen VZM en HD;
3. Volume-gemiddeld zoutgehalte in de betreffende kolk op het moment dat de sluisdeuren openen naar de HD-voorhaven;
4. Deuropentijd, bepaald door veilig in- en uitvaren van schepen;
5. Aantal schuttingen per dag;
6. De waterdiepte boven de drempel als verschil tussen kolkdiepte en effectieve drempelhoogte;
7. Waterverplaatsing door scheepvaart.

Maatregelen om de zoutlek te beperken liggen deels in het beheer van de sluis (bijvoorbeeld zo kort mogelijke deuropentijden of alleen met volle kolk schutten), deels in de aanpassing van de geometrie (bijvoorbeeld beperking van het nogal royale volume (grote diepte) van de schutsluizen door middel van drempels of kolkdieptevermindering), en tenslotte in actieve beïnvloeding van de zoute of brakke waterstromen (luchtbellenschermen, waterschermen, lekdebiëten richting VZM, terugspoelen brak water).

Naast zoutlek is een belangrijke randvoorwaarde dat het waterverbruik vanuit het HD richting VZM tot maximaal 25 m³/s beperkt blijft. Bepalend voor het waterverbruik zijn:

1. Verval over het schutsluiscomplex;
2. Aantal schuttingen per dag;
3. Richting van de scheepvaart;
4. Zoutlekbeperkende maatregelen, zoals:
 - a. Lekdebiëten;
 - b. Waterschermen;
 - c. Spuidebiëten (eventueel in een tweede fase en in combinatie met een zoutvang aan HD-zijde).

Door te schutten met alleen volle kolken beperkt men het aantal schuttingen en dus het waterverbruik (schutschijfverlies). Het effect van de richting van de scheepvaart valt te verwaarlozen als verondersteld mag worden dat het volume aan waterverplaatsing van schepen in beide vaarrichtingen over een dag (of paar dagen) aan elkaar gelijk zal zijn.

Voor de Volkeraksluizen wordt door Rijkswaterstaat op grond van het onderzoek van Deltares een keuze uit maatregelen gemaakt. De mogelijke maatregelen bij de Volkeraksluizen kunnen worden gerangschikt in maatregelen die met een beperkte investering en op relatief korte termijn gerealiseerd kunnen worden in een eerste fase (type 1) en maatregelen die ingrijpender zijn en eventueel geschikt zijn voor een tweede fase (type 2). Dit rapport is gericht op het eerste type aan maatregelen. Deze maatregelen waren ook onderdeel van de proeven bij de Stevinsluis. De mogelijke maatregelen voor een eventueel tweede fase worden alleen kort (als opmerkingen) behandeld en vergen waarschijnlijk ook een aanvullende studie.

Met combinaties van maatregelen van het eerste type zou theoretisch aan de gestelde eisen kunnen worden voldaan. Men kan daarmee eerst ervaring opdoen. In de praktijk kan de noodzaak blijken verder in te grijpen en dan komen de maatregelen voor fase 2 in aanmerking. (Opmerking: Bij alle beschouwingen wordt uitgegaan van hogere HD-waterstanden dan op het VZM. Het nagestreefde waterstand op het VZM wordt NAP -0,10m met een getijslag van 0,3m, dus waterstand variërend tussen NAP -0,25m en +0,05m.)

Voor fase 1 wordt onderscheid gemaakt in luchtbellenschermen/waterschermen, het instellen van een lekdebiet richting VZM en het toepassen van drempels. De proeven bij de Stevinsluis en de resultaten van het Zoutlekmodel geven aan dat de reductie in de het zouttransport door de schutsluizen (in geval van een Volkerak-Zoommeer met 20 ppt zout, verval over de schutsluizen 0,5m, deuropentijd 25 minuten en 2-richtingscheepvaart) ca. een factor 8 dient te bedragen om een zoutlek van maximaal 60 kg/s te verkrijgen. Met goede bellenschermen alleen kan (bij dezelfde condities) onvoldoende reductie worden verkregen. Aanvullende maatregelen zijn dan ook nodig om tot een zoutlek van 60 kg/s te geraken.

Het effect van de combinatie van maatregelen is met een rekenmodel te bepalen. In geval de set aan ter beschikking staande maatregelen bestaat uit luchtbellenschermen, lekdebieten, drempels en stringent sluisbeheer (zie Paragraaf 2.5) is slechts te voldoen aan de wensen met betrekking tot de zoutlek door elk onderdeel van de set te benutten. Ondersteuning van het effect van de luchtbellenschermen door het toepassen van waterschermen verbetert het rendement van de zoutlekbepanking.

Voor het operationele beheer van de Volkeraksluizen zal het Zoutlekmodel gehanteerd moeten worden om in de voorbereiding van het gebruik van de maatregelen voor diverse omstandigheden informatie paraat te zetten, en tijdens het operationeel beheer van de aangepaste sluisen elke keer als daar behoefte aan is. In onderstaande behandeling van de maatregelen wordt waar mogelijk een indruk gegeven van het bereikbare effect op de zoutlek op basis van informatie uit eerder gemaakte rapporten waarbij is gewerkt met gemiddelde omstandigheden. Voor concrete situaties zal met het Zoutlekmodel een specifieke berekening nodig zijn. Voor deze deelstudie zijn daartoe geen berekeningen met het Zoutlekmodel gemaakt.

In het algemeen geldt dat er meerdere combinaties van luchtdebieten, waterschermdebieten, lekdebieten in relatie met drempelhoogten mogelijk zijn die aan de vereiste zoutlek en maximale waterverbruik voldoen. Nauwgezet toepassen van de maatregelen en ook in het sluisbeheer stringent optreden kan, afhankelijk van de omstandigheden, leiden tot een lagere zoutlek en/of lager watergebruik dan vereist. Dat biedt mogelijkheden om voor dat mindere zoutlek en/of watergebruik te kiezen of juist de maatregelen wat te verminderen, afhankelijk van het gewenste beheersregime van dat moment.

2.2 Luchtbellenschermen (ook in combinatie met waterschermen en drempels)

Zoals uit het voorgaande onderzoek naar voren is gekomen is de belangrijkste maatregel die genomen kan worden het installeren van goed werkende luchtbellenschermen (eventueel aangevuld met waterschermen) in de sluishoofden van de Volkeraksluizen (bij voorkeur aan de zoute kant van de deuren, zie paragraaf 5.1.3. van Deltares 1201226-005, Uittenbogaard, Cornelisse). Dit geldt in ieder geval voor beide buitenhoofden; indien men deelkolken wil gebruiken dienen ook de tussenhoofden van luchtbellenscherminstallaties te worden voorzien. Daarvoor is nu niet gekozen. De luchtbellenschermen vertragen de uitwisseling van zout- en zoetwater, maar verhinderen dat niet. Daarom is het van belang de sluisen steeds

ook zo kort mogelijk open te houden. Het groeperen van scheepvaart (middels scheepsregulatie) kan daarbij behulpzaam zijn. De berekeningen die tot nu toe zijn gemaakt voor de reductie van de zoutlek naar het Hollandsch Diep gaan uit van 25 minuten deuropentijd van de schutsluizen.

Fysieke plaatsing

Door verticale plaatsing van de luchtuitlaat (sproeikoppen) (bij voorkeur type Δ met sproeikoppen; hierna genoemd Δ -luchtbellenschermen, (zie Deltares 12011226-011, Uittenbogaard, 2010 en 1201226-006, Uittenbogaard, Cornelisse, Keetels en Mastbergen) toe te passen ontstaat een meer gesloten en daarmee effectiever luchtbellenscherm. Te overwegen is deze zodanig diep te plaatsen zodat de lengte waarover het water meegesleurd raakt voldoende groot is. Een praktische optie is ook ze in de kruin van te plaatsen drempels te plaatsen zodat het geheel (drempel sproeikoppen) voor onderhoud boven water getild kan worden. Bovendien zal bij plaatsing in de drempel bescherming tegen schadevaren (tros naast een schip door het water slepend etc.) verkregen worden en kan de drempel helpen voorkomen dat zoutlek dwars door de teen (onderste deel) van een Δ -luchtbellenscherm optreedt. Belangrijk in geval van combineren met drempels is de sproeikoppen zo te plaatsen dat geen zoutwaterlek door het bellenscherm ontstaat. Afgezien van het effect van de drempel op de hoeveelheid brakwater dat uit de sluis weg kan vloeien heeft een goede geometrie op de combinatie drempel/sproeikoppen een verbeterende werking op het effect van een Δ -luchtbellenscherm. De doorlaatfractie voor zoutwater gaat van 0,25 naar 0,20 door de beschermde plaatsing van de sproeikoppen (zie Deltares 1201226-005, Uittenbogaard, Cornelisse). Zie ook Paragraaf 2.3.2.

Operationele instelling

Om een optimale werking van de Δ -luchtbellenschermen te realiseren dienen de luchtdebieten ingesteld te worden afhankelijk van de momentane omstandigheden. Belangrijke invloedsfactoren hierbij zijn:

- De zoutconcentratie (dieptegemiddelde zoutgehalte) op het Volkerak-Zoommeer bij de schutsluizen en op het Hollandsch Diep (afhankelijk van welk Δ -luchtbellenscherm het betreft).
- De zout/zoetverschillen over het betreffende scherm (verschil tussen volumegemiddelde zoutgehalte kolk en zoutconcentratie betreffende voorhaven).
- De deuropentijd;
- en daarnaast nog:
 - de scheepvaart (waterverplaatsing en vaarrichting);
 - het waterstandsverschil;
 - het aantal schuttingen per dag.

Het is belangrijk dat het luchtdebiet voldoende maar ook niet te veel is. Bij een te groot luchtdebiet treedt de mengende werking van het luchtbellenscherm sterk op de voorgrond en raakt de scheidende werking meer op de achtergrond waardoor het scherm minder optimaal werkt. Daarnaast wordt dan (onnodig) veel energie verbruikt.

De Δ -luchtbellenschermen dienen in alle buitenhoofden te worden geïnstalleerd, en gebruikt te worden als de betreffende deuren geopend worden en zijn om het beoogde effect (minder dan 60 kg/s zoutlek) te geven. Het effect van de luchtbellenschermen is situatie-afhankelijk. De bijdrage van een luchtbellenscherm aan de Volkerak/Zoommeer-zijde is verschillend van de bijdrage van een scherm aan de Hollandsch Diep-zijde.

Bij de bepaling van het in te stellen luchtdebiet per Δ -luchtbellenscherm is de waarde van het Froude-luchtgetal essentieel (voor definitie zie Begrippenlijst en Deltares 1201226-011, Uittenbogaard 2010). De luchtcapaciteit moet zodanig ingesteld worden dat het Froude-luchtgetal tussen 0,8 en 1,2 ligt. Het in te stellen luchtdebiet voor het hele sluiscomplex (luchtbellenschermen actief in vier sluishoofden) zal waarschijnlijk liggen tussen 2,3 à 6,5 Nm³/s (zie Figuur 5.12 van rapport Deltares 1201226-006, Uittenbogaard, Cornelisse, Keetels en Mastbergen). Voor de bellenschermen is er onderscheid aan de zoute (VZM) en zoete kant (HD). In het algemeen blijken de luchtdebieten aan de VZM-zijde hoger te moeten worden ingesteld.

2.3 Water uit het Hollandsch Diep richting Volkerak-Zoommeer laten stromen

De werking van het Δ -luchtbellenschermen geeft een belangrijke reductie van de zoutindringing richting Hollandsch Diep. Circa 25%¹ van het zout gaat slechts door bij toepassing van Δ -luchtbellenschermen. In een goed ontworpen combinatie met een drempel wordt dat verder gereduceerd tot 20%. Dit is echter nog onvoldoende om de zoutlast richting Hollandsch Diep onder de 60 kg/s te krijgen. Een verdere reductie kan worden bereikt door zoetwater uit het Hollandsch Diep richting Volkerak -Zoommeer te laten stromen. Dat kan op drie manieren:

- a. Lekdebieten;
- b. Waterschermen;
- c. Spuidebieten (eventueel in een tweede fase en in combinatie met een zoutvang aan HD-zijde).

Hiervoor is maximaal 25 m³/s (daggemiddeld) beschikbaar voor alle mogelijkheden samen en voor het geheel van de drie sluisen voor de beroepsvaart en de jachtensluis. Dit debiet is inclusief het netto schutverlies dat voor 0,5m verval en vol schutbedrijf circa 3,2 m³/s bedraagt.

2.3.1 Lekdebieten (lekkende ebeuren)

Waterdebiet richting VZM kan effectief ingezet worden als lekdebiet door de sluisen. Daarmee wordt de kolk zoeter en wordt aan de VZM-zijde een zout/zoet-gradiënt gerealiseerd. Deze maatregel is bij een drukke sluis minder effectief dan de inzet van luchtbellenschermen, maar werkt belangrijk ondersteunend omdat daarmee het dichtheidsverschil over het sluisencomplex wordt verminderd. De rinketschuiven in de deuren die voor vullen en ledigen bedoeld zijn (zie bijlage B) dienen op een kier te worden gezet. De hoogte van de in te stellen kier is afhankelijk van het gewenste lekdebiet en het verval over het schutsluisencomplex. Lekdebiet zou eventueel zelfs ook tijdens het nivelleren zijn toe te passen zodat er een permanent lekdebiet ontstaat. Het nivelleren neemt dan wel meer tijd in beslag (zie hierna), maar het eindverval over de deur waarover genivelleerd wordt blijft – wanneer het lekdebiet niet te groot wordt gekozen en verdeeld wordt over alle beschikbare nivelleeropeningen - binnen 0,1 m zodat deze deuren altijd veilig geopend kunnen worden. In geval van de Volkeraksluisen zijn de vervallen vrij gering en heeft het lekdebiet een significante invloed op de nivelleertijden. Afhankelijk van het verval kan dat een factor 1,5 of meer nivelleertijd vergen. Om te voorkomen dat er extra tijd voor nivelleren nodig is wordt dit (lekdebiet tijdens nivelleren) in geval van de Volkeraksluisen niet aangeraden.

1. Doorlaatfractie, gemeten over één sluishoofd

De vervallen variëren afhankelijk van het getij op het HD en het getij op het VZM en meestal met een hogere waterstand op het HD. Echter omgekeerd verval is ook mogelijk, met name bij geringe rivierafvoeren. Het waterbeheer zou zo gekozen kunnen worden dat voorkomen wordt dat een omgekeerd verval ontstaat (bv door onder bepaalde omstandigheden dempen van het getij op VZM).

Indien de volledige $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (bij geen schutverlies) voor dit doel zou worden gebruikt (en het debiet naar rato van de doorsnedeverdeling over de kolken verdeeld zou worden), dan krijgt de jachtensluis $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ te verwerken en elke sluis voor de beroepsvaart $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Het verval vlak voor openen deuren is dan bij de jachtensluis minder dan 9 cm en bij de beroepssluisen minder dan 2 cm. De stroomsnelheid in de kolken als gevolg van dit debiet, gemiddeld over de natte doorsnede, is dan minder dan 4 cm/s (bij een waterstand NAP). De stroomsnelheden als gevolg van zout/zoet uitwisselingstromen kunnen een orde hoger zijn. Bij halve lekdebieten zijn de vervallen respectievelijk circa 2 cm en circa 0,5 cm en is de stroomsnelheid in de kolken 2 cm/s.

Het proces is dan als volgt: na sluiten van de deuren worden rinketschuiven in de andere deuren (die nog op lekstand staan) volledig geheven. Het nivelleren vindt plaats en de deuren (waarover genivelleerd werd) worden geopend. Tegelijkertijd worden de schuiven in de deuren waarover verval staat op de juiste lekpositie gezet. Zo wordt voorkomen dat het bewegen van de schuiven vertragend werkt op de schuthandelingen.

De operationele bediening van de rinketschuiven vergt aandacht. Ze moeten afhankelijk van het gewenste debiet en verval steeds op de goede positie worden gezet. In Figuren 2.1 t/m 2.3 is daarvoor informatie beschikbaar gemaakt. Figuur 2.1 betreft de sluisen voor de beroepsvaart (gegevens uit onderzoeksrapport WL-M701 (1963) zijn gehanteerd).

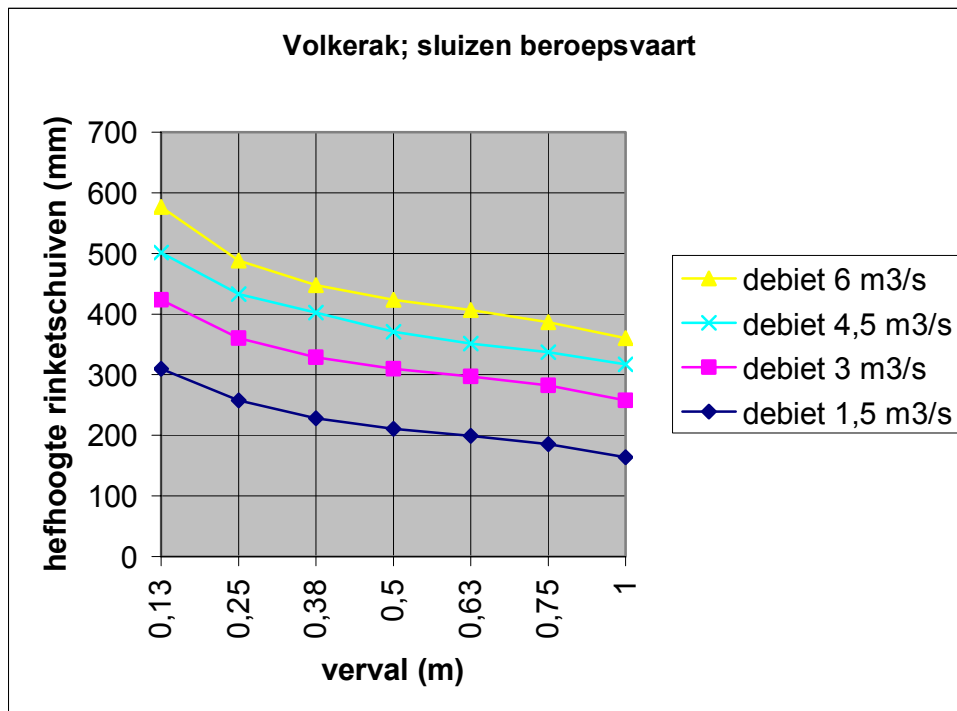
In de in deze figuren gepresenteerde debieten is rekening gehouden met een schutverlies van gemiddeld $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ over de hele dag en over alle schutsluisen samen. Het maximum beschikbare lekdebet is dus $(25 - 3,2 =) 21,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit debiet is verdeeld over de drie beroepssluisen en de jachtensluis. De debieten per sluis kunnen zo worden berekend, hetgeen voor de beroepssluisen een debiet geeft van maximaal $6 \text{ m}^3/\text{s}$ (27,5% van $21,8 \text{ m}^3/\text{s}$) en voor de jachtensluis maximaal $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (16,5% van $21,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Er kunnen omstandigheden zijn waarbij minder lekdebet nodig is. Daarom is in de figuren ook informatie beschikbaar voor 25%, 50% en 75% van het maximale debiet.

Opmerking 1: In geval besloten wordt om tijdens nivelleren geen lekdebet toe te passen vanwege voorkomen van tijdverlies (geschat wordt 2 à 3 minuten per nivelleertijd bij een verval van 0,5 m en gebruik makend van alle rinketten) dan kan men overwegen om het uitgespaarde lekdebet in te zetten tijdens de andere fases van het schutproces. Het beschikbare debiet staat dan toe om het lekdebet te vergroten met een factor circa 1,15. Daardoor zou ondanks het schutverlies ($3,2 \text{ m}^3/\text{s}$) toch circa $25 \text{ m}^3/\text{s}$ als lekdebet kunnen worden gekozen.

Opmerking 2: Het waterverbruik door schutten is afhankelijk van het verval tussen HD en VZM en het aantal schuttingen. Met $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt het daggemiddelde verbruik van een druk bezet voltijds gebruikt schutsluisencomplex bij 0,5 m verval aangegeven. Bij getij op het VZM (en HD) zal dit over de dag variëren, maar door het dubbeldaagse getij maakt dit voor het daggemiddelde weinig uit. Men kan de variatie nog opnemen in de toegestane lekdebieten, maar in dit rapport wordt daarvan afgezien omdat het sluisbeheer er onnodig complexer door

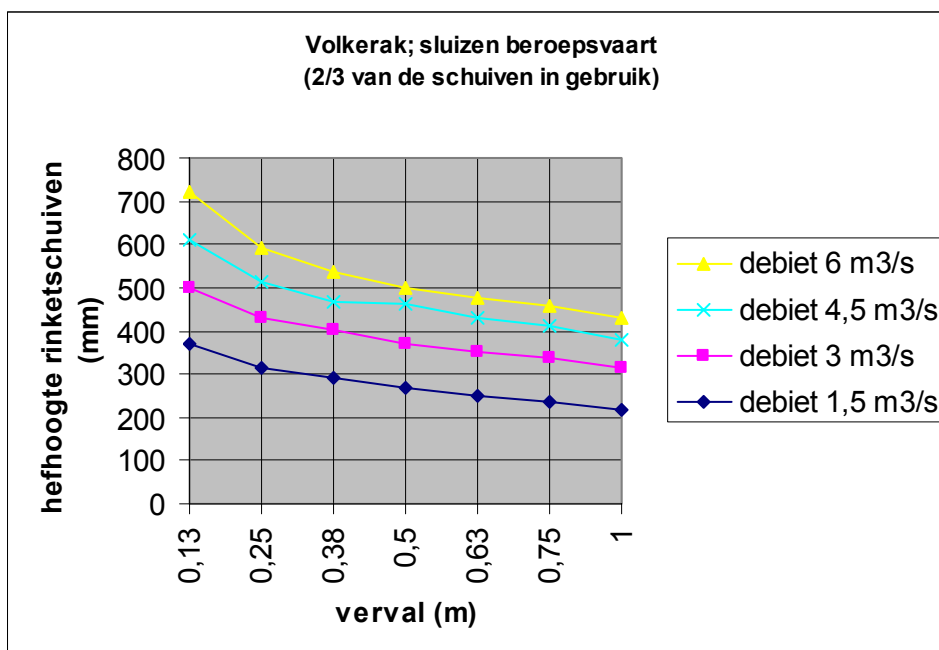
wordt. Indien voor automatisering van de debietinstellingen (dus schuifinstellingen) gekozen wordt is het wellicht een optie deze invloed wel mee te nemen.

Opmerking 3: Indien het verval zo gering is dat verwacht kan worden dat de waterstroom in de verkeerde richting gaat lopen dient geschut te worden zonder gebruik te maken van de voorzieningen voor lekkende ebdeuren.



Figuur 2.1 Hefhoogte rinkschuiven (ten opzichte van bodem nivelleeropeningen) Volkeraksluizen (beroepsvaart) als functie van verval over de deuren en de gewenste lekdebieten.

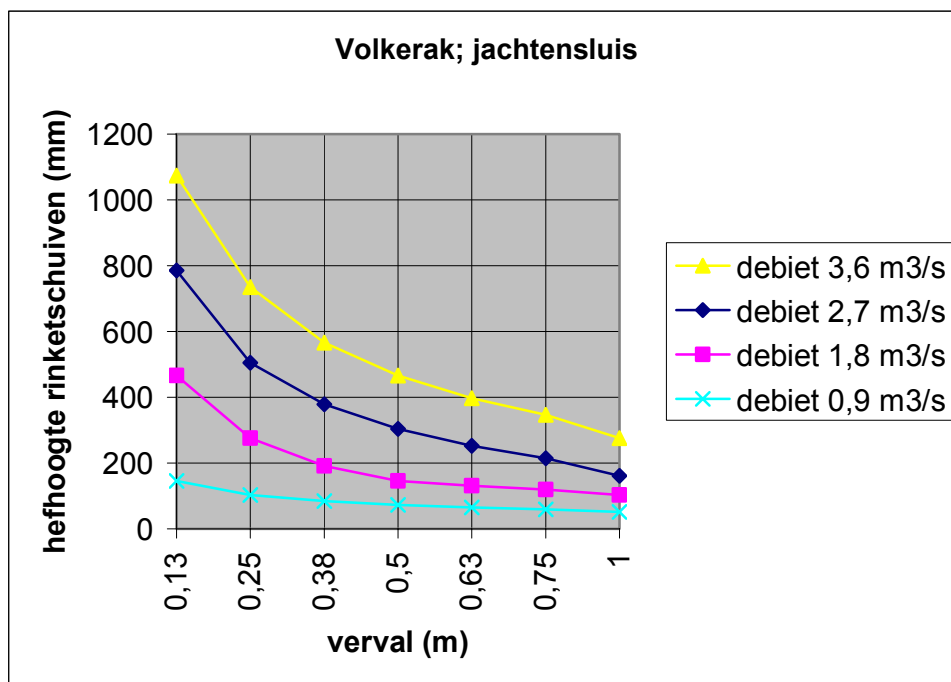
In de praktijk komt het voor dat niet alle zes rinkschuiven (per set deuren) gebruikt worden. Voor het geval dat vier van de zes schuiven gebruikt worden is in onderstaande figuur informatie beschikbaar gemaakt.



Figuur 2.2 Hefhoogte rinketschuiven (ten opzichte van bodem nivelleeropeningen) Volkeraksluizen (beroepsvaart) als functie van verval over de deuren en de gewenste lekdebieten. Vier van de zes schuiven in gebruik.

Indien een van de schutsluizen niet in gebruik is (stremming of minder drukke scheepvaart) en daardoor meer lekdebiet gekozen kan worden, wordt er voor gekozen om de debieten per schutsluis niet boven de hier gegeven maxima te laten komen. Dit om reden dat bij de hier gekozen maxima geen problemen verwacht worden met openen van deuren en krachten op schepen.

De jachtensluis is tijdens het ontwerp niet onderworpen geweest aan modelstudies. In 1988 zijn er wel metingen in de sluis uitgevoerd, gericht op effecten veroorzaakt door dichtheidsverschillen. In het kader daarvan zijn ook metingen aan het nivelleren van de kolk uitgevoerd. Uit het onderzoeksrapport (WL-Q176) is een globale indicatie verkregen van de capaciteit van de rinketschuiven. Onderstaande figuur 2.3 bevat informatie die gehanteerd kan worden voor het op de juiste positie brengen van de rinketschuiven.



Figuur 2.3 Hefhoogte rinketschuiven (ten opzichte van bodem nivelleeropeningen) Volkerak-jachtensluis als functie van verval over de deuren en de gewenste lekdebieten.

Opmerking 1: De gevonden waarden voor de kleinere openingen (waarvan hier sprake is) zijn niet erg betrouwbaar. Aangeraden wordt de debieten in het prototype te controleren aan de hand van metingen tijdens een paar schuttingen (meten waterstanden voorhavens en kolk en de schuifbewegingen). Dit geldt voor zowel de beroepssluizen als de jachtensluis.

Opmerking 2: Bij vervallen kleiner dan 0,25 m wordt de gewenste schuifopening snel groter.

2.3.2 Waterschermen

De werking van de Δ -luchtbellenschermen kan worden ondersteund (verbeterd) door ter plaatse ook waterschermen te laten werken. De werking hiervan is bedacht en alleen bewezen voor de hoofden aan de (zoute) Volkerak-Zoommeerzijde van de sluisen. Verwacht wordt een minder duidelijke werking van waterschermen in de hoofden aan de (zoete) Hollandsch Diep zijde. Verwacht wordt dat bij toepassing aan de zoete zijde mogelijk zelfs meer van het brakke kolkwater naar buiten (richting Hollandsch Diep) zal worden gewerkt (maar dit is niet onderzocht, zie Deltares 1201226-006, Uittenbogaard, Cornelisse, Keetels en Mastbergen). De waterschermen dienen tegelijk met de Δ -luchtbellenschermen aan- en uitgezet te worden.

Het toepassen van waterschermen naast luchtbellenschermen heeft zin als verwacht wordt dat het waterstandverschil tussen HD en VZM regelmatig te beperkt zal zijn (kan zelfs negatief zijn) om lekkende ebdeuren goed genoeg te laten werken. Ook kan de toepassing van belang zijn als de zoutlek verder gereduceerd moet worden tot minder dan 60 kg/s.

Het aanbrengen van waterschermen vergt enige investering in leidingen en pompen. Waterschermen worden aanbevolen naast (aan de zoute zijde van) de bellenschermen en drempels aan te leggen.

Opmerking 1: Voor het waterscherm is een goede verdeling van water over de sluisbreedte belangrijk. Om dat te realiseren is ruimte nodig en bij het combineren van waterscherm en drempel is dit een aandachtspunt.

Opmerking 2: Waterschermen in de tussenhoofden hebben alleen zin als de deelkolken aan de Hollandsch Diep kant gebruikt worden (gebruik van de andere deelkolken met inzet van een waterscherm blijkt zelfs averechts te werken). Het plan is de tussenhoofden niet te voorzien van luchtbellenschermen of waterschermen.

2.3.3 Spuien

Door het schutproces zal er een zoutwaterbel ontstaan in het diepe deel van de HD-voorhaven. Door spuivoorzieningen te treffen kan dit zoute water onder natuurlijk verval teruggebracht worden naar het VZM en daarmee bijdragen aan het terugdringen van de zoutlek. Een bijkomend voordeel is dat het water in de voorhavens aan Volkerak-Zoommeerzijde daardoor verzoet. Water kan onder vrij verval (vanwege de hogere waterstand op het Hollandsch Diep) via aparte riolen of buizen naar de voorhavens aan de Volkerak-Zoommeerkant stromen. Het is van belang om lage instroomsnelheden van de riolen te kiezen zodat het spuiwater vooral uit de diepere zoute laag (brakwater) gehaald wordt.

Met "spuien" is bedoeld het spuien van HD-schutsluisvoorhaven naar VZM-schutsluisvoorhaven; dus niet het spuien met de tussen de beroepssluisen en jachtensluis gesitueerde Volkerak-inlaatsluis. Spuien via de bestaande inlaatsluis werkt dan slechts indirect omdat de voorhavens van de schutsluizen hiervan gescheiden zijn middels dammen. Het gebruik van de in 1977 aangelegde Volkerak-inlaatsluis (nu ook wel spuisluis genoemd) blijft hier dus buiten beschouwing.

Voor het spuien als hier bedoeld kan een combinatie gemaakt worden met een zoutvang (extra verdieping) aan de voorhaven HD-zijde. De zoutlek via de beroepssluisen kan daarin opgevangen worden en via de spuiroom worden teruggevoerd richting VZM.

Het spuien werkt iets minder effectief voor het bestrijden van de zoutindringing dan de optie lekkende ebdeuren en het gebruik van het water voor de waterschermen. Immers bij lekkende ebdeuren wordt het zout reeds in de kolken teruggedrongen en bij spuien wordt brak water dat de kolk reeds gepasseerd is, waarschijnlijk na vermenging en met verlies van zoetwater teruggevoerd. Het spuien is dan ook een aanvullende maatregel die verder geoptimaliseerd kan worden door de voorhaven aan de Hollandsch Diep-zijde te verdiepen zodat het brakke water bij de schutsluizen blijft (zoutvang).

Het laten lekken van de sluizen (zie paragraaf 2.3.1) en ook de inzet van waterschermen werken deels ook als spuumiddel. Het verzoet immers de VZM-voorhaven.

Een combinatie van de drie manieren om zoet water naar het Volkerak-Zoommeer te brengen (lekken, waterschermen, spuien eventueel vanuit een zoutvang) is ook mogelijk; het totaal mag echter niet meer dan 25 m³/s watergebruik richting VZM geven.

Opmerking 1: De optie spuien, al of niet vanuit een diepe HD-voorhaven vergt een grote investering en nadere studie. Een dergelijke maatregel wordt daarom beschouwd als onderdeel van een eventuele Fase 2 studie.

2.4 Drempels

Een additionele maatregel voor zoutlekbeperking is het aanleggen van drempels om de toestroom van zoutwater te beperken. De sluisen hebben feitelijk al lage drempels in de vorm van de deuraanslagen. De sluisen voor de beroepsvaart hebben 1,25 m hoge drempels en de jachtenluis heeft 0,55 m hoge drempels. Het niveau van de bovenkant van de drempels is in alle sluisen NAP -6,25 m. Het valt te overwegen om met name aan de HD-kant bij de sluisingen hogere drempels aan te leggen en/of dat (over de volle breedte) bij de haveningen te doen. Dat laatste is bv te overwegen als aanvullende maatregel bij een zoutvang in de voorhaven aan de HD-zijde, maar het effect moet eerst ook nader worden onderzocht.

Drempels stuiten op bezwaren vanuit scheepvaartpunt. Deze zijn echter wel te ondervangen door voor beweegbare drempels te kiezen of door voor diepstekende scheepvaart een van de schutsluisen beschikbaar te houden en de scheepvaart daarheen te geleiden. Deze laatste optie valt met name te overwegen indien dergelijke diepstekende scheepvaart sporadisch voor komt. De scheepvaart zal via de reguliere weg op de hoogte zijn van de situatie en in voorkomende gevallen dient het betreffende schip dan aan de sluis voortijdig te melden dat de diepgang uitzonderlijk is zodat passende maatregelen tijdig genomen kunnen worden.

Geschat wordt dat maximaal circa 20% minder zout (dus doorlaat = 80%) naar het Hollandsch Diep zal gaan in geval voor drempels bij de sluisingen wordt gekozen. Bedoeld zijn drempels die een vaardiepte van 4,5m toelaten, eventueel uitgevoerd als beweegbare drempel. Worden drempels zowel in de sluisen als in de voorhaveningen gekozen dan is de reductie groter. De reductie is echter bij lange na niet voldoende om als enkelvoudige maatregel te worden toegepast om de zoutindringing richting Hollandsch Diep te remmen. Alleen in combinatie met andere maatregelen kan het zinvol zijn drempels toe te passen. Met name de werking en de zekerheid van bellenschermen worden belangrijk verbeterd als de sproeikoppen beschermd worden tegen directe zoutlekstromen nabij de bodem (en ook tegen mechanische schade), door ze te combineren met drempels.

Het is een pragmatische keuze om de drempels aan de HD-zijde te kiezen vanwege de hogere waterstand en dus mogelijk hogere drempels bij een gelijke toegestane doorvaartdiepte. Drempels aan de zoete HD-zijde hebben het voordeel dat een schijf zoutwater in de kolk gehouden wordt. Drempels aan de zoute VZM-zijde houden het zout waarschijnlijk minder tegen (maar is niet onderzocht). De verbetering door aan beide zijden drempels aan te leggen ten opzichte van drempels aan alleen de HD-zijde is waarschijnlijk beperkt. (Bij de proeven in de Stevinluis was de drempel aan de IJsselmeerzijde aangebracht.)

Indien Rijkswaterstaat zeer diep stekende schepen wil blijven toelaten, dan is het een optie om een van de sluisen niet van drempels te voorzien (bijvoorbeeld de sluis die onder de basculebrug ligt). In dat geval is het maken van drempels in de toegangen van de voorhavens geen optie. Of een deel van deze drempels zou beweegbaar moeten zijn (gelijksoortig als een balgkering, maar dan onder water). Over de toepassing van drempels in de sluisen is in 2007 nog advies gegeven (WL | Delft Hydraulics Q4493).

Het maken van drempels in de voorhaveningen aan de HD-zijde zou wel het voordeel hebben dat daarmee zoutbufferputten gemaakt worden. Vooral indien dat gecombineerd wordt met voldoende diepliggende inlaten van spuirollen.

Als schepen een sluis in- of uitvaren zal een hoge drempel in de sluisingang belemmerend werken. Immers evenveel water zal de sluis verlaten als er aan scheepsvolume in komt (en vice versa). Rijkswaterstaat liet WL | Delft Hydraulics eerder (2007) studeren op situaties met drempelconstructies boven de bestaande brede lage drempels (op NAP -6,25 m). Beschouwd werden beweegbare 1,3 m hoge drempels naast vaste 1,3 m hoge drempels in de sluisingenen zodat de totale extra drempelhoogte 2,6 m kon bedragen (kruin drempels NAP -3,65 m). In dat onderzoek is met het simulatieprogramma WAROS ook naar het effect op de scheepvaart gekeken.

Gebleken is dat schepen (in de Volkeraksluizen) – met name geladen duwvaart in brede formatie - bij het in- en uitvaren een geringe hinder hebben van een 1,3 m hoge drempel. Bij een 2,6 m hoge drempel bleken veel schepen een beperkte hinder te ondergaan. Voor 4 m diepstekende duwvaart en ook voor het 3,7 m diepstekende Groot Rijnschip (GRS) is deze drempel duidelijk te hoog. Bovendien worden thans dieper stekende schepen en bakken gebouwd. Het kunnen instellen van de drempelhoogte heeft hier voordelen. Wordt gekozen voor alleen vaste drempels dan is de duwvaart bepalend. Voor duwvaart wordt geadviseerd ter plaatse van drempels in sluisingenen 0,75 m kielspeling onder het schip te houden. Bij 4,3 m diepstekende schepen zouden drempels dus 5,05 m onder veel voorkomende lage waterstanden moeten beginnen.

Omdat de jachtensluis, met name in tijden van weinig pleziervaart (de winterperiode), ook door de kleine beroepsvaart wordt gebruikt moet bij de bepaling van de drempelhoogte in de jachtensluis daar ook rekening mee worden gehouden.

Opmerking 1: In plaats van drempels in sluisingenen zou ook de hele sluis ondieper gemaakt kunnen worden. Dat beperkt het volume aan zout dat uit kan wisselen in nog sterker mate dan drempels. Bij toepassing van drempels kan immers menging van dieper water plaats vinden en dat is dan onmogelijk.

Hetzelfde effect kan waarschijnlijk bereikt worden door in de kolken een onderwaterplateau aan te brengen (tafels) waarmee het diepe zoute water gescheiden blijft van het zoete water. Echter de translatiegolven die in de kolk door invarende en in mindere mate door uitvarende scheepvaart worden opgewekt zijn belangrijk groter bij een ondiepe kolk. Hierover is in de jaren zestig van de vorige eeuw veel onderzoek verricht (met weliswaar minder diepstekende duwstellen (3,3 m) dan tegenwoordig aanwezig zijn).

De maatregel om de schutsluizen ondieper te maken vergt een flinke investering en nadere studie en wordt beschouwd als onderdeel van een eventuele fase 2.

2.5 Stringent sluisbeheer voor wat betreft de scheepvaart

Voor de mate van zoutlekbepierking en de beperking van het watergebruik (richting VZM) is het belangrijk dat de schutsluizen kort open staan én zo volledig mogelijk gevuld worden met schepen. Het één kan in conflict komen met het ander. Immers, het met schepen vullen van de kolk zou kunnen inhouden dat gewacht wordt op een laatste schip dat aan komt varen. Beter is het dan te wachten met het openen van de kolk (en schepen uit laten varen) nadat de volgende volle kolkvulling in de voorhaven beschikbaar is en gereed is voor invaren. In tijden van gering scheepvaartaanbod kan dit langere wachttijden veroorzaken. De garantie dat schepen binnen een bepaalde tijd het schutsluizencomplex kunnen passeren kan dan niet worden gegeven. Bij een laag aanbod kan ook gekozen worden om met minder schutkolken te gaan schutten.

Opmerking: Voor deze omstandigheden zou het voordelig zijn om de twee middenhoofden ook te voorzien van bellenschermen en het lekken van ook de middendeuren mogelijk te maken zodat (m.n. zuidelijke) deelkolken gebruikt kunnen worden.

3 Wanneer welke maatregel inzetten door wie en op basis waarvan?

3.1 Afhankelijk van hydrologische omstandigheden

3.1.1 Preambule

Uitgangspunten voor deze studie waren een maximale zoutlek van 60 kg/s en een maximaal waterverbruik van 25 m³/s vanuit het HD richting VZM.

De feitelijke noodzaak en ook de mogelijkheden om zoutlek te beperken zijn echter afhankelijk van de hydrologische situatie op de benedenrivieren. Het is mogelijk dat er zich (droge) situaties voordoen waarin men de zoutlek of juist het watertransport sterker zou willen beperken. Ook kunnen er zich (natte) situaties voordoen waarbij men minder zorg kan hebben omtrent de zoutlek en het watertransport.

Niet op korte termijn, maar na verloop van tijd, als ervaring is opgedaan met de nieuwe beheerssituatie zou men kunnen besluiten om meer nuance aan te brengen in bovenstaande uitgangspunten. Uitsluitend met als doel daarover al vast na te denken is deze paragraaf (3.1) gemaakt.

Studie is verricht naar het effect van de maatregelen op vismigratie (Deltares/ZiltWater Advies, Jager, 2010). Daaruit blijkt dat geen grote (negatieve) effecten zijn te verwachten. De maatregel 'lekkende ebdeuren' zal naar verwachting een positief effect hebben.

3.1.2 Hydrologische situaties

Er zijn globaal 3 hydrologische situaties te onderscheiden:

1. Zeer lage afvoer op de rivieren ($Q < 1000 \text{ m}^3/\text{s}$, plusminus 5% van de tijd onderschreden Rijndebiet);
2. Gemiddeld tot lage afvoer op de rivieren ($1000 < Q < 2200 \text{ m}^3/\text{s}$);
3. Gemiddeld tot hoge afvoer op de rivieren ($Q > 2200 \text{ m}^3/\text{s}$).

In situatie 1 zijn de Haringvlietsluizen gesloten, alle rivierafvoer richting het westen gaat via de Nieuwe Waterweg naar zee. Er is een restdebiet van ca 175 m³/s op het HD en het oostelijke deel van het Haringvliet dat via het Spui naar de Oude Maas / Nieuwe Waterweg gaat. Op het westelijk deel van het Haringvliet is er dan geen afvoer en eventuele zoutlek hiernaartoe wordt niet meer doorgespoeld richting Haringvlietsluizen. In deze situatie moeten alle beschikbare maatregelen worden ingezet om de zoutlek zoveel mogelijk te beperken. Wellicht wil men minder zelfs zoutlek dan nu als randvoorwaarde gekozen is.

In situatie 2 wordt er (beperkt) water gespuid via de Haringvlietsluizen, de zoutlek naar het Haringvliet / HD wordt doorgespoeld. Mogelijk is er bij de wat groter afvoeren zelfs meer zoetwater beschikbaar (meer dan 25m³/s) om door de sluizen te spoelen om de zoutlek tegen te gaan. In deze situatie kan doorspoelen/lekkende ebdeuren de belangrijkste maatregel zijn, aangevuld met Δ -luchtbellenschermen en waterschermen. Aandachtspunt: hoeveel zoetwater kan maximaal naar het Volkerak gespoeld worden om het zoutgehalte niet te veel omlaag te brengen?

In situatie 3 wordt volop water gespuid via de Haringvlietsluizen. Zoutlek naar het Haringvliet / HD wordt volop doorgespoeld. Daarnaast is er – zeker bij de hogere afvoeren - ruim voldoende water om waar nodig de zoutlek nog te beperken.

3.1.3 Regimes op de sluisen

Afgezien van hoe precies bepaald wordt wat de zoutstroom in de actuele situatie naar het HD is (zie hierna), zou men, afhankelijk van de gewenste beperking van de zoutlek in het beheer van de sluis kunnen schakelen tussen ‘niets doen’, ‘inzet van maatregelen’ en ‘maximale inzet van maatregelen’. Het inzicht met de huidige studie verkregen (met name met het Zoutlekmodel en met het Noordelijk Deltabekken Model) dient gebruikt te worden om voor ‘inzet van maatregelen’ en ‘maximale inzet van maatregelen’ de wijze van gebruik van de sluisen in een aantal regimes te vatten. Voor het sluispersoneel kan gedacht worden aan protocollen in combinatie met gedeeltelijke automatisering van de handelingen (zie paragraaf 3.3). Een eerste benadering van het effect van de zoutlek op de gemiddelde concentratie van zout in het HD wordt verkregen met de volgende formule die gebaseerd is op permanente waarden voor zoutlek, debiet in het HD en de achtergrondconcentratie:

$$\Delta C = \frac{\text{zoutlek}(\text{kg} / \text{s})}{Q_{\text{HollandschDiep/Haringvliet}}} \frac{1000}{1,805} \text{ in mg Cl / l}$$

Dit in combinatie met het verwachte effect van maatregelen leidt bijvoorbeeld tot:

Zoutlek kg/s	Debiet HD m ³ /s	ΔC mg Cl/l	Achter- grond- concent- ratie mg Cl/l	Concen- tratie in HD mg Cl/l
Lekkende ebdeuren, Δ-bellenschermen, waterschermen, drempels (B4)				
30	175	95	100	195
30	1000	17	100	117
30	3000	6	100	106
Lekkende ebdeuren, Δ-bellenschermen, drempels (B3)				
60	175	190	100	290
60	1000	33	100	133
60	3000	11	100	111
Lekkende ebdeuren, Δ-bellenschermen aan een zijde (B2)				
100	175	317	100	417
100	1000	55	100	155
100	5000	18	100	118
Lekkende ebdeuren (B1)				
250	175	791	100	891
250	1000	138	100	238
250	3000	46	100	146
Geen maatregelen (A)				
500	175	1583	100	1683
500	1000	275	100	375
500	3000	92	100	192

In bovenstaande tabel is voor drie debieten in het HD en voor 5 waarden van de zoutlek aangegeven wat de concentratie aan Chloride in het HD zou zijn indien dit een permanente situatie zou betreffen en het zout volledig mengt met het debiet op het HD. De zoutlek waarden passen bij een bepaalde set aan maatregelen, zie ook verder op deze bladzijde. Extreme maatregelen (type C, zie hierna) zijn niet in de tabel opgenomen.

Het is evident dat afhankelijk van omstandigheden bij de schutsluizen en ook van de concentratie van zout in het rivierwater bij de Volkeraksluizen maatregelen genomen moeten worden. Bij zeer geringe afvoer op het HD kan ook een optimaal werkend zoutbeperkend systeem valt moeilijk voorkomen dat het HD te zout wordt.

Omdat de tabel een sterk versimpelde weergave geeft van wat zal plaatsvinden is het zaak om het effect van de maatregelen te monitoren en na verloop van tijd tot een betere verdeling van maatregelen te kunnen komen.

Zo zal in de diepe delen van het Haringvliet zout geborgen worden waardoor er in perioden van laag debiet enige vertraging zal ontstaan voordat het zoute water bij belangrijke innamelocaties komt.

De sets van maatregelen zijn hieronder onderscheiden in drie soorten:

- Niets doen;
- Toepassen van maatregelen;
- Maximale inzet van deze maatregelen en nog wat onorthodoxer mogelijkheden.

Niets doen (A)

Het sluisbedrijf is als op dit moment, zonder maatregelen om het zouttransport te beperken. Eventueel in hoogte verstelbare zoutdrempels kunnen in de lage stand worden gehouden. Men bewaakt de situatie wel, zodat dit beheer tijdig gewijzigd kan worden in het actief remmen van de zoutstroom.

Inzet van maatregelen (B)

Belangrijk is dat in dit regime de deuren steeds zo kort mogelijk open blijven. De keuzen van de maatregelen kunnen nog onderverdeeld worden in:

- B1: De goedkoopste en makkelijkste (alhoewel niet de effectiefste) maatregel is gebruik te maken van de zoetwaterstroom. Daarvan is het 'lekkende ebdeuren' middel het meest effectief (goedkoop en snel te realiseren).
- B2: Een volgende stap is naast B1 de inzet van de Δ -luchtbellenschermen aan één zijde van de sluizen (bv de VZM-zijde).
- B3: Bij de inzet van Δ -luchtbellenschermen (B2) wordt gekozen dat bij alle sluishoofden te activeren. Voorts de inzet van drempels toegevoegd.
- B4: De maatregelen B3 worden uitgebreid met de inzet van waterschermen (het debiet daarvoor gaat af van de debieten voor lekkende ebdeuren).

Inzet van Δ -luchtbellenschermen (B3) in alle buitenhoofden gecombineerd met een zoetwaterstroom van maximaal 25 m³/s en drempels in functie (B3). (Hierop is de onderhavige studie ook gericht.) Daar in combinatie mee dient in het beheer van de sluizen gelet te worden op

- Korte opendeurtijden van sluizen te kiezen door regulering van het scheepsaanbod zodat niet met open schutkolk op schepen gewacht hoeft te worden.
- Zorgen voor goed met schepen gevulde sluizen. Mogelijk door met deelkolken (en jachtensluis) te werken als de scheepvaart minder druk is.

Maximale inzet van maatregelen (C)

Bij extreme situaties kan men nog het volgende overwegen:

- C1: Voorrang te even aan de maatregelen ten behoeve van het beperken van de zoutlek; scheepvaart dus op de tweede plaats. Bijvoorbeeld om kolkdeuren alleen te openen als de kolk met schepen gevuld kan worden. Na het uitvaren van een volle kolk gaan de deuren meteen dicht en men wacht dan tot er zich meer schepen aanbieden.
- C2: Bij een dreiging van hogere VZM-waterstanden dan op het HD (een gevolg van geringe vervallen die nu ook wel eens voorkomen in combinatie met getij op VZM) kan men besluiten het VZM-peil te verlagen en eventueel ook het getij op het VZM te reduceren. Een zwaarder maatregel is om met name de schepen die zuidwaarts gaan te limiteren qua aantal en diepgang. (Met name de geladen scheepvaart richting het VZM geeft relatief veel zouttransport naar het noorden (veroorzaakt door de waterverplaatsing van de schepen).
- C3: Nog een stap verder is de scheepvaart geheel of gedeeltelijk te stremmen.

3.1.4 Frequentie van aanpassen van het regime op de schutsluizen

Het sluisbeheer zou ingesteld kunnen worden op gemiddelde situaties: verval, zout/zoetverschillen, drukte van de scheepvaart, etc. Zo'n beheer wijzigt dan lange tijd niet en de fluctuaties van de omstandigheden zullen de zoutlek laten variëren rond een gemiddelde. Tevoren is daar met het Zoutlekmodel een berekening van te maken om daarmee een protocol voor de sluisbediening te maken. Men kan kiezen om met de in te stellen lucht- en waterdebieten al of niet ruim te gaan zitten ten opzichte van dat wat nodig is om aan de randvoorwaarden te voldoen.

Een andere optie zou zijn om per schutting te beslissen hoe groot debieten moeten zijn om aan de randvoorwaarden te voldoen. In zo'n beheer zal een veelvuldiger raadpleging van de uitkomsten van het Zoutlekmodel nodig zijn maar zal een niet meer dan nodig watergebruik en luchtdebiet als resultaat hebben.

In dit rapport wordt hierin geen harde keuze gemaakt, beide opties zijn mogelijk. In de verdere behandeling in dit hoofdstuk en het hierna volgende hoofdstuk wordt uitgegaan van regelmatig (bv een paar keer per week) toetsen dan wel aanpassen van keuzen.

3.2 Wie onderneemt logischerwijze welke acties?

Het management van de sluisen dient zich te richten op de optimale doorvaart van schepen, het minimaal lekken van zout naar het HD en (mede daardoor) het beperkt verbruik van water richting het VZM.

Op de sluisen is personeel aanwezig dat vaak uit de scheepvaart zelf afkomstig is. Men weet dus heel goed welke mogelijkheden schepen hebben en wat de belangen zijn van een vlotte doorvaart. De resultaten van de werkwijze zijn ook goed zichtbaar voor iedereen die bij het gebruik van de sluisen betrokken is. Er is immers vlotte doorvaart of niet.

Om de verantwoordelijkheid voor het terugdringen van het zouttransport naar het HD en het gebruik van zoet water bij het sluispersoneel neer te leggen is het noodzakelijk dat het personeel goed ingelicht wordt over de effecten van de werkwijze. Er dient daarbij aan een aantal voorwaarden worden voldaan:

- De aandacht voor de primaire functie van de schutsluizen dient op het gebruikelijke niveau te blijven.
- De verwachtingen over de mate waarin het zout tegengehouden moet en kan worden moeten duidelijk herkenbaar en inzichtelijk zijn.
- De handelingen om het systeem voor het beperken van het zouttransport in gang te krijgen dienen eenvoudig en beperkt te zijn.
- De resultaten van het in werking hebben van dat systeem dienen voor het sluispersoneel makkelijk herkenbaar te zijn zodat er evenwichtigheid in informatie bestaat over de resultaten van het normale schutbedrijf (dat zeer herkenbaar is) en de resultaten van het (in wezen conflicterende) terugdringen van het zout.
- Het personeel zou ook goed zicht moeten hebben op de hoeveelheid zoutlek en het watergebruik dat ter vermindering daarvan uit het zuid-westelijke riviereengebied onttrokken wordt.

Feitelijk is het een oneigenlijke situatie voor het sluispersoneel dat:

- enerzijds de scheepvaart ten dienste is en de resultaten direct, makkelijk en dichtbij kan zien en
- anderzijds met het waterbeheer, dat vrij complex is, bezig moet zijn en waarvan de directe resultaten slechts in getallen of grafiekvorm bekend gemaakt kunnen worden en de resultaten op wat langer termijn pas visueel (en over grote afstand en na verloop van tijd) duidelijk worden.

Het is aan de beheerder van de sluizen te kiezen waar en door wie welke handelingen verricht dienen te worden. Ons advies is om de keuzes niet over te laten aan personeel dat het effect van het handelingen niet goed kan inschatten of waarnemen. Het sluispersoneel moet de sluizen bedienen en in alle systemen in kunnen grijpen als er afwijkingen van het normale verloop zijn. Aan het eind van de dag (of week, maand) moet het duidelijk kunnen zijn wat het sluisbedrijf gepresteerd heeft. Zowel wat betreft schutbedrijf, zoutwater terugdringing als watergebruik richting VZM.

Daarvoor is het nodig dat er een registratie wordt gemaakt van de schutsluizenbezetting inclusief de systemen voor zoutwater terugdringing en watergebruik richting VZM. Slechts dan is het mogelijk met het Zoutlekmodel berekeningen uit te voeren (en mits ook een aantal andere zaken gemeten worden, zie later) om aan te geven wat de zoutdoordringing is richting het Hollandsch Diep. Opgemerkt zij dat met het Zoutlekmodel effecten over langere duur worden berekend; het model is niet bedoeld voor momentane fluctuaties.

Omdat niet het sluispersoneel, maar (iemand bij) de beheerder berekeningen zal uitvoeren of via 'look-up' tabellen eerder gemaakte berekeningen raadplegen, is het belangrijk dat hem bekend is welk regime op de sluizen wordt gehanteerd, wat de waterstanden zijn, hoe vaak met welke kolken geschut wordt, wat de scheepvaartgegevens zijn en hoe lang deuren open staan. Zaken die allemaal van het sluispersoneel moeten komen. (Daarnaast zijn nog meer gegevens nodig; zie later).

Tussen beheerder en sluispersoneel loopt er dus een frequente informatiestroom. Zie hiervoor ook Paragraaf 3.4 (Automatisering).

3.3 De handelingen voor het sluisencomplex en per sluis

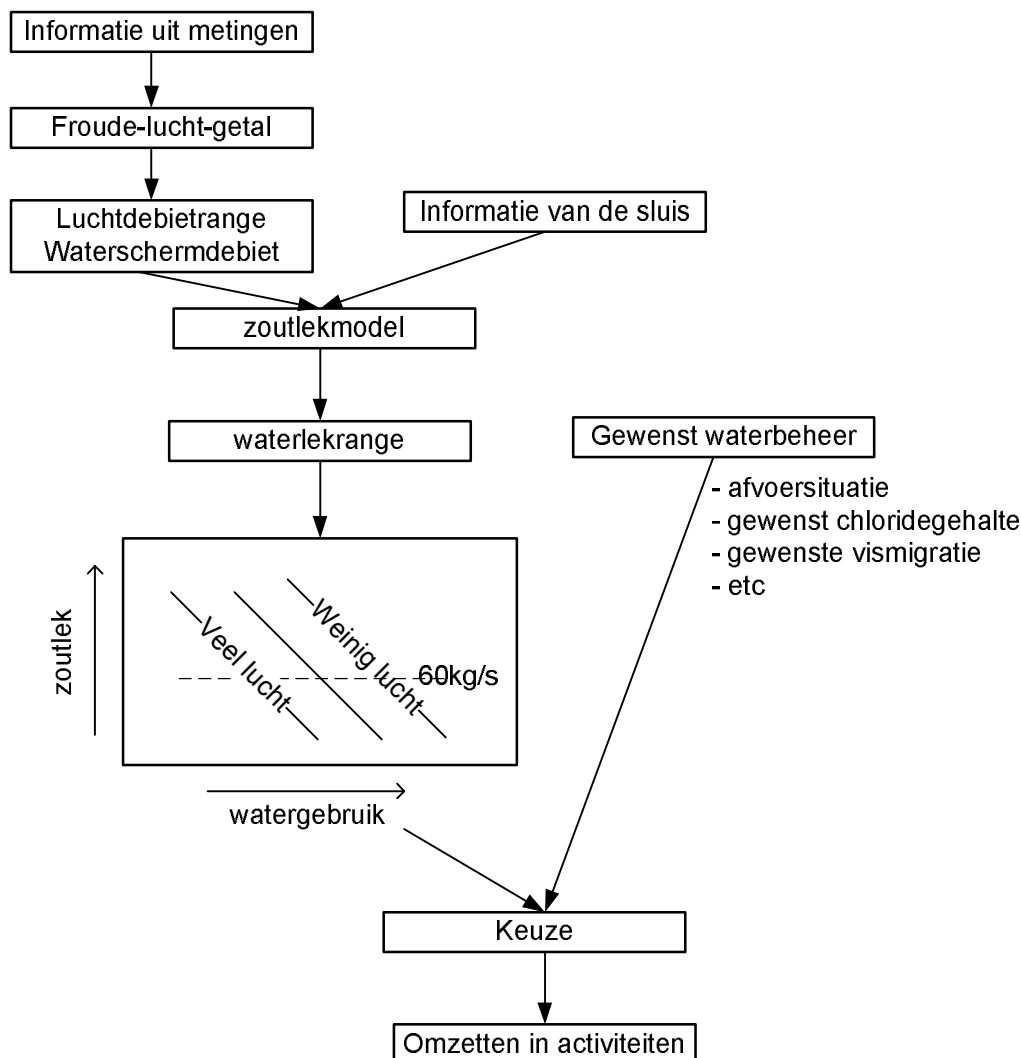
3.3.1 Startsituatie

Stel er is geen scheepvaart en alle deuren zijn gesloten. Er staan geen luchtbellenschermen aan en er is geen lekdebiet door de sluisen en de zout/zoetsituatie wordt bekeken, dan is aan informatie nodig voor het Zoutlekmodel:

- Wat is het verval over het schutsluisencomplex?
- Hoe zout is de voorhaven VZM? (meten en bekijken).
- Wat is het verschil in zout/zoet tussen voorhavens en kolken (per kolk en voorhaven meten en bekijken).
- Wat de schatting voor scheepvaart in de komende uren? (aan waterverplaatsing en diepgang).
- Wat is de hoogte van drempels?
- Zijn er bijzonderheden vanuit het waterbeheer? (bv lage rivierafvoer, achtergrondswaarde chloridegehalte).

Aan de hand van berekeningen van het luchtdebiet (Froude-lucht-getal) en met het Zoutlekmodel en dan wel aan de hand van resultaten van voorberekende situaties kan men bepalen wat de bellenschermen aan luchtdebiet moeten hebben en wat de lekdebieten moeten zijn.

Per sluishoofdsituatie



Figuur 3.1 Zoutlekmodel met in en uitvoer toegepast als operationeel beheerssysteem voor zoutlek-reductie.

In bovenstaand schema zijn de stappen aangegeven die moeten worden genomen om tot de keuzen omtrent lucht en waterdebieten te komen.

Geadviseerd wordt om met het Zoutlekmodel voldoende situaties van te voren door te rekenen en daarmee een simpel beslissingondersteunend systeem te voeden. Met een invulscherm op dat informatiesysteem kunnen de in te stellen luchtdebieten, waterschermdebieten en lekdebieten worden gepresenteerd. Geadviseerd wordt dit zo te ontwerpen dat de mogelijkheid wordt te geven af te wijken met betrekking tot de randvoorwaarden of in te stellen debieten. Bijvoorbeeld een strengere (of juist niet) eis met betrekking tot de zoutlek, of minder luchtdebiet en meer lekdebiet (of andersom), etc. Vervolgens moet een keuze gemaakt worden door de beheerder en/of sluispersoneel en kan het schutbedrijf daarop ingesteld worden.

Geadviseerd wordt het op juiste wijze instellen van de diverse componenten zo veel mogelijk automatisch te doen. Dat wil zeggen dat het regelsysteem geïnformeerd wordt over wat het luchtdebiet en waterschermdebiet moeten worden in een bepaald sluishoofd en wat het

lekdebiet via een bepaald stel deuren moet worden. Het systeem stelt die debieten en bijbehorende schuifstanden in (verval afhankelijk) en stopt die debieten ook in een volgende fase van het sluisbedrijf. Zie ook de volgende paragraaf.

Deze informatie moet per uur (vanwege getij aan VZM-zijde en HD-zijde) worden vernieuwd. Contact met de sluisbeheerder kan nodig zijn om de situatie te overleggen en bijzonderheden door te geven. Daarbij dient ook afgesproken te worden wat gedaan moet worden als bv apparatuur niet goed functioneert, etc.

3.3.2 Scheepvaart meldt zich voor de sluisen.

Het sluispersoneel vraagt ondermeer de afmetingen en met name ook de diepgang van de schepen en groepeert de schepen op zo'n manier dat de kolken zo goed mogelijk gebruikt worden, rekening houdend met ondermeer de diepgang. Eventueel vindt eerst nog nivellering plaats, maar dit moet men minimaliseren omdat elk onnodig kolkgebruik tot extra zoutlek of waterverlies leidt.

De lekdebieten worden aangezet door de juiste deurschuiven gedeeltelijk te heffen en de deurschuiven in het andere hoofd te openen. (Dit per sluisgroep beslissen: bijvoorbeeld geen beroepsscheepvaart in de jachtenluis, dan daar dan ook het lekdebiet niet aanzetten.). Zie de informatie in de grafieken in dit rapport (Subparagraaf 2.3.2).

Opmerking: Indien een sluis voor langere tijd niet gebruikt gaat worden, dan dienen de deuren in alle buitenhoofden gesloten te worden. Op die manier verzoet of verzout een kolk niet onnodig. Een ongebruikte kolk blijft qua zoutconcentratie dan ongeveer op het gemiddelde hangen hetgeen gunstig is voor de beperking van de zoutlek.

We gaan er van uit dat er vaste drempels aanwezig zijn, behoudens bij de beroepssluis met de beweegbare brug. Indien beweegbare drempels worden toegepast, dan dienen deze ook steeds ingesteld te worden voordat een diepstekend schip passeert. De scheepvaart zal in geval van bijzondere diepgang dit via een meldplicht aan het sluispersoneel tijdig bekend dienen te maken.

Een schutting doorloopt nu bijvoorbeeld de volgende stadia:

- Het bellenscherm wordt aangezet bij de deuren die geopend gaan worden. Bij de andere deuren worden de rinketschuiven op lekstand gezet. De rinketschuiven in de geopende deuren worden gesloten.
- Schepen varen in. Tevoren is de scheepvaart geïnformeerd over werkende luchtbellenschermen, en gevraagd in verband met zoutlek om snel in te varen en zich te houden aan de doorgegeven sluisindeling (onder andere in verband met navigatie en eventueel een ouderwets boordtoilet). Trossen vast en scheepsschroeven in stilstand.
- Deuren worden gesloten (met gesloten rinketschuiven) en het bellenschermen wordt uitgezet. In de deuren die gesloten worden blijven de schuiven dicht, het lekdebiet blijft niet aan.
- Nivellering vindt plaats. Daartoe worden de schuiven in de gesloten deuren (die nog lekken) volledig geheven.
- Bij voldoende gelijkwater (binnen 0,1 m verval) worden de bellenschermen in het nivelleerhoofd gestart en deuren geopend. Tegelijkertijd worden de schuiven in de deuren waar verval over is ontstaan op lekstand gezet.

Et cetera.

3.4 Automatisering

Geadviseerd wordt om het in werking treden (en stoppen) van de voorzieningen voor het beperken van de zoutdoordringing voor zover die aan het schutbedrijf gekoppeld zijn (bellen- en waterschermen, lekdebieten) zoveel mogelijk te automatiseren.

Keuzen moeten er te maken zijn in:

- geen inzet, inzet en maximale inzet van maatregelen (regime)
- richten op beperken van luchtdebieten, beperken van zoutlek, beperken van watergebruik (keuze), extra maatregelen vanwege vismigratie etc.

In de communicatie tussen beheerder en sluispersoneel wordt dan gesproken over de regimekeuze en de daarbij te hanteren protocollen voor de sluisbediening. Het sluispersoneel weet daarmee wat het te doen staat. Slechts de gegevens over de toestand (zout; en dat kan ook nog automatisch) en scheepvaart dienen ingevoerd te moeten worden in de automaat dat daarmee vervolgens de in te stellen waarden voor luchtdebiet (per bellenscherm) en lekdebiet bepaalt en het zoutlekbeperkende systeem van de sluis aanstuurt zonder verdere handmatige handelingen door het sluispersoneel.

Het sluispersoneel dient alleen nog te letten op de diepgang van schepen in geval (in hoogte instelbare) drempels aanwezig zijn en een goede boekhouding bij te houden van wat er met de sluisen (in de tijd) gebeurt, welke schepen passeren (waterverplaatsing) en te zorgen voor stringent sluisbedrijf (gevulde kolken, korte deuropentijden). De rest loopt dan automatisch. In de automatisering dient er op gelet te worden dat de voorzieningen voor het terugdringen van zoutwater het normale schutbedrijf niet te veel vertragen. Het starten en stoppen van bellenschermen kan plaatsvinden tijdens (einde en begin van) nivelleren. In de automatisering kan ingebouwd worden dat tijdens het nivelleren rinketschuiven in de deur waarover het verval komt gesloten blijven en pas op hun gewenste positie worden gezet als de andere deuren geopend gaan worden.

Het sluispersoneel dient over een noodprocedure per sluis te beschikken om in geval van problemen het schutproces te onderbreken cq te herstellen. Deze noodprocedure kan het totale zoutlekbeperkende systeem voor die sluis uitschakelen; in dat geval dient ook de (regio) beheerder (al of niet automatisch) geïnformeerd te worden.

In geval van de jachtensluis en zomers drukke scheepvaart aldaar kan het sluispersoneel de verdere vulling van de kolk met schepen willen stoppen (om ruimte te houden tussen bellenscherm en jachten) of die juist doorzetten, maar dan het werkende bellenscherm kortstondig uitzetten. Het effect van deze stopknop dient uit het systeem te verdwijnen nadat deuren gesloten zijn en nivelleren begint. In dit geval is melding aan de beheerder minder belangrijk; het sluispersoneel maakt in alle voorkomende gevallen een rapport op met vermelding van noodzaak en redenen.

3.5 Benodigd instrumentarium

Metingen op en nabij de schutsluisen dienen om met de resultaten daarvan het systeem voor zoutlekbeperving optimaal te kunnen uitvoeren. Dit gaat derhalve vooraf aan de daadwerkelijke activiteiten per schutsluis.

De metingen dienen ook om achteraf te kunnen berekenen hoe groot de zoutlek en ook het watergebruik is geweest om daarmee ervaring op te doen en het systeem eventueel anders in te richten.

Gegeven de maximaal toegelaten zoutlast en het maximale watergebruik richting VZM, kan met het Zoutlekmodel berekend worden welke combinaties van maatregelen onder welke omstandigheden het mogelijk maken aan die eis te voldoen. (zie ook Subparagraaf 3.1.3 (Regimes op de sluizen)). Indien al voldoende berekeningen zijn gemaakt met het Zoutlekmodel ligt op voorhand een overzicht gereed waarmee instellingen (protocollen) gekozen kunnen worden indien de omstandigheden waaronder de sluizen moeten functioneren bekend zijn:

- Wat de toegestane zoutlast is (kan meer of minder zijn dan 60 kg/s, mede afhankelijk van de achtergrondwaarden in de rivierafvoeren).
- Wat het toegestane watergebruik richting VZM is (kan meer of minder zijn dan 25 m³/s).
- Wat de zoutgehalten zijn op het VZM en het HD (voorhavens).
- Wat de zoutvolumina van de betreffende kolken (zullen) zijn.
- Wat de verwachtingen zijn met betrekking tot de drukte van de scheepvaart (waterverplaatsing en aantal schutcycli per dag).
- Wat waterstanden zijn.
- Wat de deuropentijden (zullen) zijn.

Het is duidelijk dat een deel van de informatie hiervan slechts kort tevoren bekend zal zijn en dat het Zoutlekmodel of de resultaten daarvan regelmatig geraadpleegd zullen moeten worden. In de praktijk zal men waarschijnlijk kiezen voor een beperkt aantal protocollen voor het sluisbedrijf en die tevoren koppelen aan groepen van omstandigheden.

Waterstanden ter weerszijden van de sluizen moeten worden gemeten en op vier plaatsen (tevens elkaars back up) zoutverticalen in de voorhavens aan het Volkerak-Zoommeer en het Hollandsch Diep (8 meetverticalen). In alle kolken dienen op drie plaatsen (beide einden en in het midden van de kolk; 12 meetverticalen) zoutverticalen gemeten te worden om tezamen met scheepsgegevens de volumegemiddelde zoutgehalten te kunnen bepalen.

De opzet van het meetsysteem dient om voldoende correcte informatie te verschaffen over het zouttransport. Het meetsysteem zal ook afgestemd moeten worden op het meetnet in het Haringvliet dat nu anders ingericht wordt.

Het is voorstelbaar dat met enige regelmaat berekeningen met het model Noordelijk Deltabekken (of een versimpelde uitvoering daarvan) worden verricht en dat de meer gedetailleerde instructies (protocollen) dagelijks of wekelijks gebaseerd worden op de resultaten (tabellen met resultaten) verkregen met het Zoutlekmodel.

Op de sluis of via het sluispersoneel dient ten behoeve van latere verwerking bijgehouden te worden:

- Per kolk richting en waterverplaatsing van de scheepvaart (deels automatiseerbaar);
- Waterstanden (automatiseerbaar);
- Gebruik van het systeem van de zoutindringing beperkende maatregelen (automatiseerbaar);
- Zoutverticalen (automatiseerbaar);
- Deuropentijden (automatiseerbaar).

Opmerking: tijdens het project Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring Volkeraksluizen (deeltaak 7: 3D model Noordelijk Deltabekken) zijn zware berekeningen gemaakt naar het effect van de zoutlekbeperring op de wijde omgeving van het Volkeraksluizencomplex. Deze berekeningen gaven inzicht in onder welke omstandigheden de zoutbeperring van belang is. Op basis hiervan is een richtlijn gemaakt / te maken voor de keuze van de kwaliteit van de zoutindringing beperkende maatregelen. Belangrijke parameters hierin zijn:

- Getij Hoek van Holland;
- Waterstanden op Hollandsch Diep (beïnvloed door afvoer, getij, zomer/winterpeilen);
- Waterstanden op Volkerak/Zoommeer (beïnvloed door getij, zomer/winterpeilen);
- Afvoer te Lobith (en Maastricht?);
- Achtergrondwaarden CI in de rivierafvoeren.

Voor het dagelijkse beheer (of zelfs op weekbasis) is het niet mogelijk (en ook niet gewenst) dit Noordelijk Deltabekken-model te laten draaien. Uit de gemaakte berekeningen is af te leiden hoeveel onder welke omstandigheden de maximale zoutdoordringing mag bedragen. Hiervan ligt een overzicht gereed.

3.6 Mogelijke toekomstige situaties bij de Volkeraksluizen

In de toekomst is er mogelijk een vierde beroepssluis of worden de huidige drie sluisen verlengd om meer capaciteit te verkrijgen – zie MIRT – Verkenning Capaciteit Volkeraksluizen. In geval het sluisencomplex uitgebreid wordt met een vierde beroepssluis zal ook deze vierde sluis voorzien moeten worden van de maatregelen zoals die bij de bestaande sluisen zijn genomen. Een vierde beroepssluis zal het beschikbare lekdebiet per sluis omlaag brengen. Anderzijds is het dan geëigend om maar wel rekening te houden met het feit dat de lekdebietsmaatregel gepauzeerd wordt tijdens nivelleren en dan valt het effect op het maximale debiet per schutsluis wel mee.

Opmerking: ook voor de vierde schutsluis wordt aanbevolen met lekkende ebdeuren te werken, waarmee het zout in de kolk teruggedrongen wordt. Het via riolen laten lopen van ditzelfde debiet heeft een belangrijk minder groot effect. Daarmee wordt alleen de zoute voorhaven (VZM-zijde) enigszins verzoet.

Een nieuwe sluis zou met duidelijk minder kolkdiepte uitgevoerd moeten worden waardoor ook drempels niet nodig zijn. Bij de nieuwe sluis is er wel extra aandacht nodig om de sproeikoppen van de Δ -luchtbellenschermen goed in te bouwen.

De bouw van de vierde schutsluis kan aangegrepen worden om het hele systeem om de zoutlast te verminderen te wijzigen door ook een zoutvang aan HD-zijde aan te brengen. In het schutsluisontwerp kunnen daartoe en ook voor het toepassen van waterschermen bv riolen worden opgenomen.

Opmerking: Een vierde schutsluis voor de beroepsvaart heeft in de berekeningsresultaten van het Zoutlekmodel voor 2020 nauwelijks invloed omdat dat gebaseerd is op het scheepstransport dat door de extra sluis niet anders wordt.

4 Communicatie

Tijdens het in werking zijn van de maatregelen is een aantal communicatielijnen belangrijk:

- Tussen schutsluisbeheerder en het sluispersoneel;
- Tussen sluispersoneel en schippers (beroepsvaart en jachten);
- Tussen schutsluisbeheerder en de organisatorische omgeving;
- Voorlichting op de sluis voor bezoekers.

Tussen het sluispersoneel en de sluisbeheerder dient overleg te bestaan over welk regime voor zoutlekbepanking toegepast moet worden en over wat de redenen zijn als daarvan afgeweken wordt. Het sluispersoneel richt zich op het sluisbedrijf en de sluisbeheerder op de communicatie met de hele omgeving van het sluizencomplex en neemt functioneel ook de beslissingen over de inzet van het zoutlekbepenkend systeem. Bij de beheerder vinden ook eventuele berekeningen plaats, of hij regelt dat het via een automaat op de sluis plaats vindt.

4.1 Tussen sluispersoneel en schippers (beroepsvaart en jachten)

De sluisbeheerder of het sluispersoneel zorgt ervoor dat schippers (deels bijvoorbeeld met behulp van een brochure) weten dat een zoutlekbepenkend systeem actief is waar de scheepvaart rekening mee moet houden:

- Boven de luchtbellenschermen (tevorens toiletsysteem afsluiten (alleen in geval van zeer oude systemen)) , gewoon vlot doorvaren, opletten bij m.n. invaart van kleine schepen (deze moeten boven het bellenscherm vooral doorvaren en enige afstand houden tot de wanden hetgeen vooral in geval van drukte in combinatie met reeds gevulde sluis lastig kan zijn²)).
- Kleine stroming tijdens afmeren en wegvaren.
- In de sluis wellicht wachten tot de planning voor omgekeerde vaart rond is en schepen voldoende dicht bij de sluis gereed liggen om na uitvaart snel in te kunnen varen.
- Niet treuzelen bij uitvaren en meteen na het uitvaren beginnen met invaren. Dus opschieten en aansluiten op voorgangers, maar geen onnodig hoge snelheden vanwege turbulenties, hinder voor andere schepen en voorkomen van aantasting van bodembeschermingen.
- Extra(?) scheepsgegevens nodig, m.n. diepgang i.v.m. dirigeren schip en voor berekenen effect zoutlekremmende maatregelen (lengte & breedte worden gebruikelijk gevraagd).
- Communicatie als nog niet in voorhaven aanwezig i.v.m. planning (reeds gebruikelijk?).
- Op internet-site van Volkerak(?) vermelden wat doel, de werkwijze en het resultaat is.
- Op de sluis momentane zoutlek naast andere informatie (bv over wind) vermelden.

2. Wellicht bellenscherm voor de laatste jachten uitzetten of accepteren dat de kolk niet geheel met jachten gevuld wordt. Motorloze jachten achterin terwijl bellenscherm uit is.

De inzet van maatregelen kan in conflict komen met het primaire doel van de schutsluizen en daarom bevelen we aan:

- Op de internet-site aan te geven dat er voor gezorgd is dat bij werkende maatregelen de hinder voor de scheepvaart klein is gehouden en dat er geen of weinig tijdverlies door ontstaat
- Op de sluizen kenbaar te maken (bv middels een af te spreken vignet) dat de maatregelen in werking zijn
- Via luidsprekers bijzonderheden te melden (kan automatisch), bv dat het bellenscherm aan gaat en men op zijn trossen moet letten (met name pleziervaart).

Daarbij dient men er op bedacht te zijn dat er altijd nieuwkomers onder de schippers kunnen zijn.

4.2 Tussen schutsluisbeheerder en de organisatorische omgeving

De sluisbeheerder communiceert vanuit zijn functie met de hele omgeving van het sluisencomplex en heeft functioneel ook inzicht in het waterbeheer. De sluisbeheerder dient zorg te dragen voor informatie over het functioneren van de sluis en zorgt dat informatiesystemen (via overleg dan wel via automatisch ingewonnen gegevens) hem daarin bijstaan.

4.3 Voorlichting op de sluis voor bezoekers

Het bezoekend publiek kan informatie inwinnen op de internet-site van het sluisencomplex en wordt op de sluis via een paneel (op een gunstige plek, liefst buiten, maar wel enigszins beschermd (bv op een bezoekerslocatie indien aanwezig)) op de hoogte gebracht van de bijzonderheden van de zoutlekbeperkende maatregelen. Het zou goed zijn als actuele details van het zoutlekbeperkend systeem getalsmatig getoond kunnen worden. Bv de gerealiseerde zoutlekbeperving van de afgelopen maand, etc., het oponthoud ervaren door de scheepvaart (inschatting verhouding schutcyclus-tijd of passeertijd met en zonder maatregelen), de hoeveelheid energie (kWh) van de luchtbellenschermen, het gerealiseerde waterdebiet richting VZM, etc. Ook verwijzen naar de internet site en zorgen voor foldermateriaal.

5 Sluizen met overgangen zout/zoet

5.1 Inleiding

Er zijn in Nederland en daarbuiten vele sluizen tussen zoet en zoutwater. Het WINN (WaterINNOvatieprogramma Rijkswaterstaat, in samenwerking met Deltares) heeft in 2010 een inventarisatie uitgevoerd naar mogelijke maatregelen om zoutlek te beperken. Verwezen wordt naar dit rapport (zie Deltares 2011, Roosjen). In dit hoofdstuk wordt in algemene zin aangegeven welke sluizen het betreft, een opsomming gegeven van het type maatregelen waaraan gedacht kan worden. Dit hoofdstuk kan los van de voorgaande tekst worden gelezen.

Het vergt nadere studie om per geval aan de hand van de hydrologische condities aan te geven wat de precieze combinatie van mogelijke maatregelen zou kunnen zijn. Dat wordt behoudens enkele gevallen langs het Volkerak / Zoommeer (zie Paragraaf 5.4) hier niet gedaan.

5.2 Sluizen in Nederland tussen zoet- en zoutwater



Figuur 5.1 Schutsluizen met zout-zoet-overgangen

In bovenstaande figuur is een overzicht gegeven van de schutsluizen waar een zout-zoet overgang bestaat. In rood zijn de toekomstige locaties aangegeven. Deze laatste hadden voor de afdamming van de Krammer ook een zout-zoet overgang.

Huidige schutsluizen met zout-zoet overgangen (zie Figuur 5.1):

- 1 Delfzijl (schutsluis in de verbinding Waddenzee met Eemskanaal)
- 2 Lauwersoog (verbinding Waddenzee met Lauwersmeer)
- 3 Harlingen (3 sluizen in de verbinding Waddenzee met Harlingertrekvaart / Harlingervaart / Van Harinxmakanaal)
- 4 Kornwerderzand (Lorentz) (2 schutsluizen in de verbinding IJsselmeer met Waddenzee)
- 5 Den Oever (Stevin) (schutsluis in de verbinding IJsselmeer met Waddenzee)
- 6 Den Helder (2 schutsluizen in de verbinding Waddenzee/Noordzee met Noordhollandsch Kanaal)
- 7 IJmuiden (4 schutsluizen in de verbinding Noordzee met Noordzeekanaal)
- 8 Spaarndam (schutsluis in de verbinding Noordzeekanaal / Zijkanaal C met Spaarne)
- 9 Schiedam / Rotterdam (schutsluis in de verbinding Nieuwe Waterweg met Schiekanaal)
- 10 Spijkenisse (in de verbinding Oude Maas met Brielse Meer)
- 11 Stellendam (in de verbinding Noordzee met Haringvliet)
- 12 Terneuzen (3 schutsluizen in de verbinding Westerschelde met kanaal Gent-Terneuzen)
- 13 Krammersluizen (4 schutsluizen in de verbinding Volkerak-Zoommeer met Oosterschelde)
- 14 Bergse Diepsluis (in de verbinding Oosterschelde met Zoommeer)
- 15 Kreekraksluizen (2 schutsluizen in de verbinding Zoommeer met Schelde-Rijnkanaal)
- België / Antwerpen (6 schutsluizen op de rechteroever die invloed hebben op het zoutgehalte in het Schelde-Rijnkanaal)

Bij een zout Volkerak-Zoommeer

- 16 Volkeraksluizen (4 schutsluizen in de verbinding Hollandsch Diep met Volkerak)
- 17 Dintelmond (schutsluis in de verbinding Volkerak met Dintel)
- 18 Benedensas (schutsluis in de verbinding Volkerak met Steenbergschevliet)

Opmerking: In bovenstaande opsomming valt op dat de sluis te Spaarndam last heeft van zout. Het westelijke deel van het Noordzeekanaal en Zijkanaal C zijn brak. Indien voldoende gespuid wordt bij hetemaal IJmuiden zal in het Noordzeekanaal een zoutgradiënt zitten die er voor zorgt dat het oostelijke deel minder brak, cq zoet is. Indien dit niet het geval is dan is er nog een aantal schutsluizen toe te voegen: Zaandam, Noord-Hollands Kanaal, Oranjesluizen.

Over de vraag hoe bij deze bestaande sluizen (behoudens de Volkeraksluizen) het beste kan worden voorzien in maatregelen die zoutindringing tegengaan dient dat per geval nagegaan te worden hetgeen nu niet gedaan is. Voor een aantal van deze schutsluizen zijn in het verleden hierover reeds studies verricht.

Bij een normale schutsluis zal, bij een hoger pand aan de zoute kant, macro gezien de zoute schuttschijf richting het zoete pand verdwijnen. Meer in detail lettend op wat er werkelijk gebeurt zal bij geopende deuren altijd een uitwisselingsstroom op gang komen tussen het water in de schutkolk en het aangesloten pand. Deze uitwisseling is over de hele waterkolom en is vaak belangrijker, met name bij klein verval, dan het effect van de schuttschijf. Het is daarmee in verband belangrijk dat deuren niet langer open staan dan strikt noodzakelijk. Hoe dieper de schutsluis en hoe groter het dichtheidsverschil over de schutsluis, hoe sneller de uitwisseling verloopt.

Recent is voor Rijkswaterstaat Zeeland door WL | Delft Hydraulics in 2007 een studie verricht naar de mogelijkheden bij twee sluisen die een verbinding vormen tussen het Volkerak en de Brabantse rivieren: Dintelsas en Benedensas en in 2006 werd voor Hoogheemraadschap van Rijnland een studie verricht naar de mogelijkheden bij de Grote Sluis te Spaarndam. Langer geleden werd gestudeerd op de effecten van luchtbellenschermen bij de grote zeesluisen (IJmuiden en Terneuzen).

5.3 Opsomming mogelijke maatregelen

In het WINN-project “Innovatieve maatregelen voor beperking zoutlek door schutsluisen” wordt een opsomming gegeven van diverse soorten maatregelen. Het is afhankelijk van de schutsluis, de configuratie, scheepvaartaanbod, aanpasbaarheid, peilverschillen etc. welke maatregel waar het best toe te passen is. Een beperkte indruk wordt hieronder gegeven.

In de verkenning wordt onderscheid gemaakt in drie typen maatregelen.

1. *Beheer met behoud van bestaande configuratie van een schutsluiscomplex*

Onder dit type vallen maatregelen m.b.t. het operationele beheer die kunnen leiden tot een reductie van zoutlek.

- a. Efficiënter in- en uitvaren (waardoor deuren korter open kunnen staan);
- b. Optimaal vullen van de kolk (waardoor minder schuttingen nodig zijn bij hetzelfde scheepsaanbod);
- c. Slim gebruikmaken van getijde (zodat geen zoute schuttschijf naar binnen komt).

2. *Aanpassingen in de bestaande configuratie van het schutsluiscomplex*

Onder dit type maatregelen vallen maatregelen die vragen om een kleine of grotere aanpassing in de bouw van het sluisencomplex.

- d. Bellenscherm (vertragen zout-zoetuitwisseling), eventueel gecombineerd met waterschermen;
- e. Flappen/borstels (vertragen zout-zoetuitwisseling);
- f. Beperken grootte slusingangen (verminderen zoutvolume dat kan in- of uitstromen) door:
 - aanbrenge drempels (vast of beweegbaar i.v.m. diepstekende schepen);
 - gedeeltelijk openen van deuren (i.g.v. brede kolk en smalle schepen) (evt. met aanvaarvoorzieningen om deuren en schepen te vrijwaren van schade).
- g. Membranen (zorgen voor een klein watervolume rond het schip);
- h. Kolkvolume verkleinen (verminderen zoutvolume dat kan uitstromen);
- i. Lekkende ebdeuren (verminderen zout-zoetverschil over de schutsluis);
- j. Spuistroom (verminderen zout-zoetverschil over de schutsluis);
- k. Vervangen soort water voordat deuren open gaan (evt. door gebruik te maken van bekkens);
- l. Terugspoelen van binnengedrongen zout water via opvang in een zoutvang en terugvoer via riolen (al of niet via vrij verval of middels pompen) en eventueel ook een drempel bij haveningang (aan zoete kant) om weglekken van zout uit zoutvang tegen te gaan.
- m. Liftsluis;
- n. Overtoom.

3. *Aanpassingen in het watersysteem*

- o. Zout-zoet gradiënt aan de zoete kant nastreven (zachte overgang voor de ecologie van een gebied);
- p. Scheepvaartkanaal scheiden van de andere functies.

5.4 Dintelsas en Benedensas

Voor de schutsluizen Dintelsas en Benedensas is in de studie van 2007 (WL Q4493) naar de effectiviteit van maatregelen bij de Volkeraksluizen ook aandacht besteed aan het sluiscomplexen Dintelsas en Benedensas.

5.4.1 Dintelsas

Bij de studie van 2007 was het dichtheidsverschil over de schutsluis 16 ppt, dus iets minder dan nu voorzien wordt (20 ppt). Voor Dintelsas is nagegaan wat de mogelijkheden zijn van luchtbellenschermen, een drempel en een zoutbestrijdingssysteem als bij de Bergse Diepsluis. Uitgegaan is van een gewoon luchtbellenscherm.

De uitwisseltijd is bij open deuren berekend op circa 11 minuten. Bij het grotere dichtheidsverschil waar nu sprake van is zal dat circa 10 minuten bedragen. Berekend werd een continue zoutlast van circa 22 kg/s; met het hogere zoutgehalte wordt dat 25 kg/s. Met het toepassen van Δ -bellenschermen i.p.v. traditioneel bellenscherm kan men grofweg voor het hogere zoutgehalte compenseren waardoor de resultaten van de studie van 2007 geldig blijven. Men kan dus verwachten dat de zoutlast reduceert tot minimaal 7 kg/s, maar waarschijnlijk toch wat hoger zullen liggen: 11 kg/s. Combineren met een drempel vergroot de effectiviteit. Een minimale zoutlast van 4 kg/s, maar waarschijnlijk is een reëler grootte: 7 kg/s.

In het advies van 2007 wordt ook de mogelijkheid van een verbouwing tot een sluisstype als de Bergse Diepsluis genoemd. Deze optie is kwalitatief beter dan het werken met luchtbellenschermen en drempel, maar is relatief kostbaar.

5.4.2 Benedensas

Bij de studie van 2007 was het dichtheidsverschil over de schutsluis maximaal 19 ppt, dus nagenoeg dat wat nu voorzien wordt (20 ppt). In de huidige situatie staat de schutsluis vaak open zodat vrije doorvaart mogelijk is. In de toekomst met een zout Volkerak-Zoommeer kan dat niet meer. Zonder gebruik van zoutindringing beperkende maatregelen zal de zoutlast 10 kg/s bedragen.

De sluis kan van luchtbellenschermen worden voorzien en dan kan de zoutlast dalen tot circa 5 kg/s, zeker als Δ -bellenschermen worden toegepast.

Een drempel wordt gelet op de geringe diepgang van de sluis niet erg zinvol gevonden. Voor het verbouwen van de sluis naar een type Bergse Diepsluis is een gering zoutwaterdebiet nodig dat in de zomermaanden niet beschikbaar is. Deze optie vervalt daarmee.

6 Referenties

- WL | Delft Hydraulics M701 Schutsluis in het Volkerak. Verslag modelonderzoek. Februari 1963.
- WL | Delft Hydraulics M1432 Zoutbestrijding Volkerak schutsluizen. Verslag modelonderzoek. Januari 1977.
- WL | Delft Hydraulics Q0176 Het vul- en uitwisselingsproces van een schutsluis (deel III): invloed dichtheidsverschillen op de krachten van schepen. Verslag prototypemetingen. Januari 1989.
- WL | Delft Hydraulics Q1490 Beperking zoutindringing van de schutsluis te Spaarndam. Verslag bureaustudie. September 1992.
- WL | Delft Hydraulics Q4256 Zoutvang Grote Sluis Spaarndam. Verslag bureaustudie. Oktober 2006.
- WL | Delft Hydraulics Q4493 Memo Volkerak-Zoommeer. Effectiviteit zoutbestrijdingsmaatregelen bij sluizen. Effect op capaciteit Volkeraksluizen. 26 oktober 2007.
- Deltares 12011226-011 Voorstudie: Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbepierking, Model voor Zoutvrachtberekeningen, dr.ir. R.E. Uittenbogaard, januari 2010.
- Deltares 12011226-005 Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbepierking Volkeraksluizen, Beschrijving en resultaten praktijkproef Stevinsluis, dr.ir. R.E. Uittenbogaard, ir. J.M. Cornelisse, 2010.
- Deltares 12011226-0006 Ontwerpstudie en praktijkproef zoutlekbepierking Volkeraksluizen, Evaluatie maatregelen Volkeraksluizen, dr.ir. R.E. Uittenbogaard, ir. J.M. Cornelisse, dr. Ir. G.H. Keetels, ir. D.R. Mastbergen, 2010.
- Innovatieve maatregelen voor beperking zoutlek door sluizen. WINN Water INNovatieprogramma Rijkswaterstaat. Deltares 2011.
- ZiltWater Advies, Evaluatie Vismigratie Volkeraksluizen, Z. Jager, 2010 (in opdracht van Deltares)

A Tekening rinketschuiven in de Volkeraksluizen

