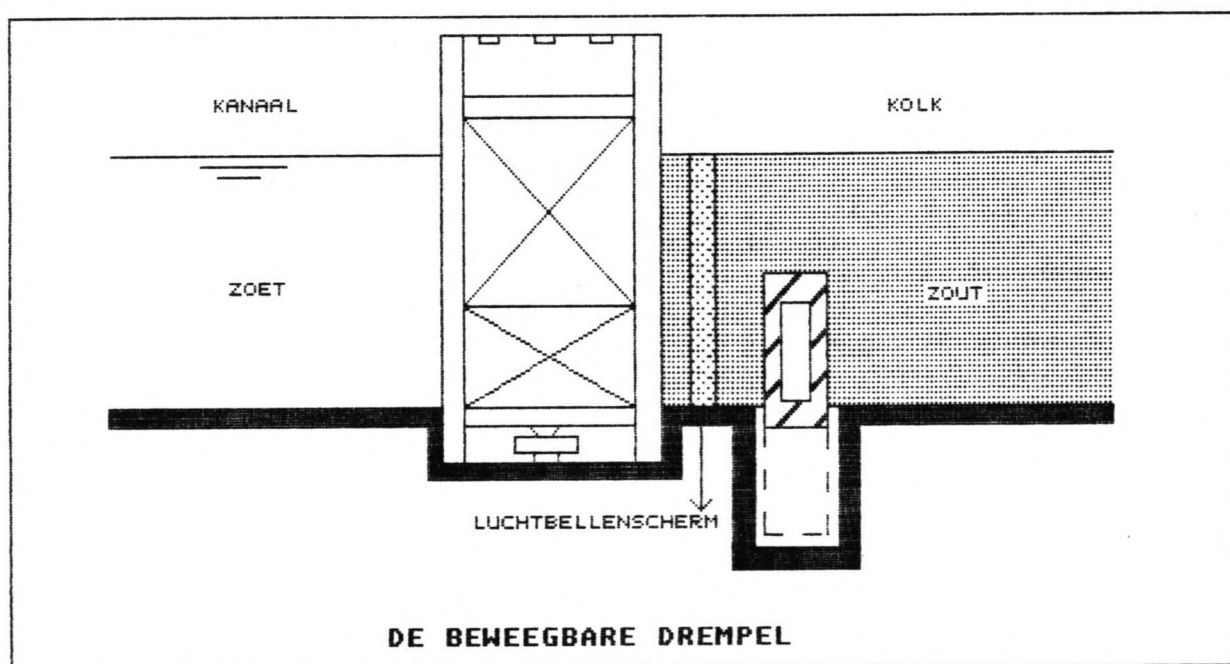


DE TECHNISCHE UITWERKING VAN DE BEWEEGBARE DREMPEL IN DE
ZEESLUIS TE TERNEUZEN



J.T. Bresters

DE TECHNISCHE UITWERKING VAN DE BEWEEGBARE DREMPEL IN DE
ZEESLUIS TE TERNEUZEN

Geschreven door:

J.T. Bresters

Begeleid door:

Ing. K.G. Bezuyen

Ing. P. Dool

Delft, 30 mei 1988
Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele Techniek
vakgroep staal/waterbouwkunde



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Voorwoord

Dit rapport behandelt de keuze en de technische uitwerking van de beweegbare drempel in de nieuwe zeesluis te Terneuzen. Speciale dank gaat daarbij uit naar dhr. D. Kranenburg van Rijkswaterstaat, directie bruggen voor de vele adviezen die mede hebben bijgedragen aan de totstandkoming van dit rapport. Tenslotte bedank ik nog de beide begeleiders, dhr. K.G. Bezuyen en dhr. P. Dool voor de begeleiding en adviezen.

J.T. Bresters

Inhoudsopgave

	pag
Samenvatting rapport	
Inleiding	1
Hoofdstuk 1: De drempel	
§ 1.1 Algemeen	2
§ 1.2 Afwegingscriteria	5
§ 1.3 Analyse van de mogelijke oplossingsstypen	9
§ 1.4 Overweging en uiteindelijke keuze	18
Hoofdstuk 2: De uitvoering van de beweegbare drempel	
§ 2.1 Inleiding	20
§ 2.2 De bouwfase	20
§ 2.3 De gebruiksfase	28
§ 2.4 De onderhoudsfase	30
Hoofdstuk 3: Conclusies en aanbevelingen	
§ 3.1 Conclusies	32
§ 3.2 Aanbevelingen	33
Bijlage 1: Berekening uitgewisselde volumens met de beweegbare drempel d.m.v. een computermodel	36
Bijlage 2: De drukken op de drempel	
§ 1 Algemeen	50
§ 2 Bepaling van de grootte van de drukken	51
Bijlage 3: Schetsen van de drempel	
figuur 1: Vooraanzicht van de drempel	57
figuur 2: Zijaanzicht van de drempel	58
figuur 3: Bovenaanzicht van de drempel	59
figuur 4: Aandrijving met behulp van een tandbaan	60
tabel 1: Wrijvingscoëfficiënten van materialen	60
figuur 5: Detail van de intermitterende pers	61
Literatuurlijst	62

Samenvatting van het rapport

Dit rapport behandelt de technische uitwerking van de beweegbare drempel voor de nieuwe zeesluis te Terneuzen.

Voordat met de uitwerking van de drempel kon worden begonnen werd eerst de functie en het gebruik van de drempel nader bekeken. De functie van de drempel is de zoutwater belasting op het kanaal te beperken. Hieruit volgde dan ook dat de drempel aan de kanaalzijde van de kolk geplaatst diende te worden. Verder bleken schepen die de kolk in- en uitvaren de grenslaag tussen het zoute water achter de drempel en het zoete water erboven verstoren.

Nadat de functie en het gebruik van de drempel onderzocht was, konden 4 mogelijke oplossingen voor de beweegbare drempel nader bekeken worden. Deze vier oplossingstypen zijn:

- 1) de segmentdeur/drempel
- 2) de hefbalk/schuif
- 3) de hefklep
- 4) een combinatie van 2 en 3

Bij de eerste twee oplossingstypen was het mogelijk de deur en drempel in één constructie te combineren maar ook als drempel alleen. De vier oplossingstypen werden daarna getoetst aan de eerder geformuleerde afwegingscriteria. Hierna bleven twee oplossingen over namelijk de hefschuif en de hefklep. Een goede afweging tussen deze twee mogelijkheden was erg moeilijk. Voornamelijk vanwege de te verwachten problemen met de afdichting van de klep constructie langs de kolkwand en de waterbelasting die de drempel erg ver doet doorbuigen werd gekozen om de hefschuif nader uit te werken.

In deze uitwerking werd niet naar de drempel als constructie gekeken door hem volledig te dimensioneren maar alleen naar de mogelijke uitvoering van de drempel. Dit gebeurde aan de hand van de 3 levensstadia van de drempel. Deze 3 levensstadia zijn:

- 1) de bouwfase
- 2) de gebruiksfase
- 3) de onderhoudsfase

In de paragraaf over de bouwfase werd beschreven dat de drempel het eenvoudigste in de droogstaande kolk gebouwd kon worden. Het transport van de 90 meter lange en 10 meter hoge drempel kon daarmee voorkomen worden. Is de drempel eenmaal gebouwd dan moet deze op en neer bewogen kunnen worden. Hiervoor is een aandrijfmechanisme nodig. In dit geval werd gekozen voor aandrijving met een intermitterende pers. De hoogte waarover de drempel verplaatst moet kunnen worden bedraagt namelijk 10 meter en wanneer hiervoor een gewone pers gebruikt zou worden zou deze een zeer lange slag moeten hebben. De intermitterende pers hangt boven de drempel in de nis van de kolkwand. Aan de drempel zelf is een trekstang met gaten vastgemaakt. De intermitterende pers maakt steeds een slag van een halve meter waarna de drempel met behulp van pennen wordt vastgezet. Deze pennen schieten steeds in de gaten van de trekstang. De pers keert dan weer terug naar zijn oorspronkelijke stand en zet zich eveneens met pennen vast. De pennen waaraan de drempel hing worden nu ingetrokken en de pers verplaatst de drempel dan weer een halve meter.

De afdichting en de geleiding werden gecombineerd uitgevoerd. Dit kan door een zeer slijtvaste en wrijvingsarme kunststof toe te

passen. Dit materiaal polyetheen of kortweg PE wordt op de houten balken aangebracht. Deze houten balken bevinden zich aan de kanaalzijde van de drempel en zorgen tesamen met het PE dat de drempel omhoog en omlaag kan bewegen. Door de drempel dan, wanneer deze in positie is met horizontale persen klem tegen de nissen in de kolkwand en bodem aan te drukken wordt eveneens de afdichting door de houten balken verzorgd.

In de gebruiksfase is vooral de betrouwbaarheid waarmee de hoogte ingesteld kan worden en de plaatsvastheid van de drempel erg belangrijk. Het bleek dat beide problemen opgelost werden door de pennen van de intermitterende persen. De hoogte instelling kon daarmee op een halve meter nauwkeurig worden geregeld, wat voldoende is. Indien de drempel eenmaal op hoogte is dan kunnen de pennen, waar de drempel mee vast zit tijdens het naar zijn uitgangspositie terug bewegen van de persen, uitgezet worden in de gaten van de trekstang. Hierdoor is de drempel plaatsvast geworden en hoeven de persen de drempel niet continu te dragen.

Verder werden mogelijke storingen die tijdens het gebruik van de drempel kunnen optreden nader geanalyseerd. Het bleek echter dat de meeste storingen die kunnen optreden snel verholpen kunnen worden bij de hier bedachte oplossingen. Alle onderdelen van de drempel zijn immers goed te bereiken.

Het onderhoud van de drempel kan plaatsvinden in de bodemnis. Hiervoor dient bovenop de drempel een soort dak constructie aangebracht te worden. Wanneer de drempel dan in de bodemnis wegzakt sluit dit dak de nis volledig af. Het water dat zich in de nis bevindt dient dan weggepompt te worden, waarna de drempel voor onderhoud bereikbaar is.

De technische uitwerking van de drempel was hiermee voltooid, alhoewel er nog wel enige problemen overbleven waarnaar een nadere studie moet worden verricht. De conclusie die dan ook uit het rapport kan worden getrokken is dat een beweegbare drempel in een sluis technisch realiseerbaar is.

Inleiding

Bij Terneuzen liggen momenteel drie sluisen die de (zoute) Westerschelde met het (zoete) kanaal van Gent naar Terneuzen verbinden. Om in de toekomst de haven van Gent bereikbaar te maken voor grotere schepen (300*50 m.), wordt er over gedacht een nieuwe zeesluis bij Terneuzen aan te leggen. De afmetingen van deze nieuwe zeesluis zouden 500*68 m. moeten worden. Ondanks het feit dat er achter de sluis een zoutvang wordt aangelegd en in de sluis luchtbellenschermen aanwezig zijn, zal de zoutbelasting op het kanaal toch toenemen. Hierdoor zal het kanaal verder verzilten wat vergaande consequenties heeft voor het omliggende land en voor de bedrijven die kanaalwater gebruiken.

Een van de maatregelen om de zoutlast op het kanaal te verkleinen is het in de sluis aanbrengen van een beweegbare drempel. Deze drempel kan omhoog worden gebracht wanneer zich in de sluis schepen bevinden met een kleinere diepgang dan de waterstand in de sluis. Achter de drempel blijft dan, onafhankelijk van de tijd dat de deur naar de kanaalzijde openstaat, een volume zoutwater staan. Dit volume is gelijk aan de oppervlakte van de kolk vermenigvuldigd met de hoogte van de drempel. Bovendien wordt bij een omhoog staande drempel de uitwisselingshoogte verkleind en daardoor dus ook de uitwisselingsnelheid. Wanneer de sluisdeur nu binnen \pm 45 minuten wordt gesloten wordt het volume zoutwater dat zich boven de drempel bevindt, niet volledig uitgewisseld. De zoutlast op het kanaal wordt hierdoor nog verder gereduceerd.

In het rapport "Onderzoek naar het functioneren van een drempel in een zeesluis" [2] werd uitvoerig het effect van een drempel in een sluis beschreven. Uit dit rapport kon de conclusie worden getrokken dat de drempel inderdaad funktioneerde zoals hierboven beschreven. Maar ook dat de in- en uitvarende schepen van invloed zijn op de hoogte van de zoutlaag achter de drempel. In paragraaf 1 van het eerste hoofdstuk zullen de belangrijkste punten van dit rapport kort herhaald worden.

Na dit korte overzicht van het functioneren van de drempel vindt in dit rapport een verdere uitwerking van de beweegbare drempel plaats. Hiervoor zullen eerst verschillende mogelijke oplossings~typen voor een beweegbare drempel worden beschreven waarna een keuze voor één drempeltype wordt gedaan. Dit drempeltype (de hefschuif) zal dan nader worden uitgewerkt. Hierbij gaat het dan vooral om de technische kant van de drempel en wat minder om de constructieve uitwerking. Tot de technische kant van de drempel worden onder andere gerekend de aandrijving en de afdichting van de drempel.

Het doel van dit rapport is dan ook te onderzoeken of het bouwen, gebruiken en onderhouden van een drempel in een zeesluis technisch mogelijk is.

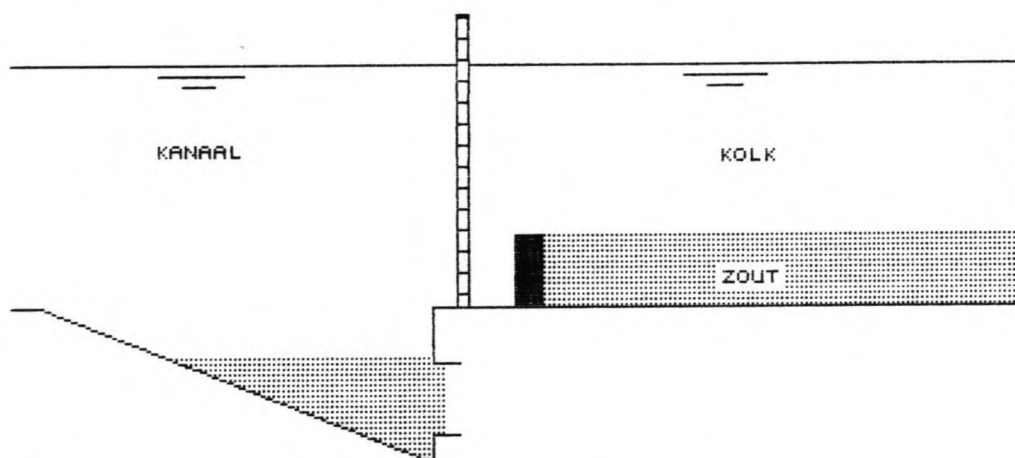
Een belangrijke vraag die echter openblijft is of de toepassing van een beweegbare drempel economisch haalbaar is. De reden dat deze vraag openblijft is dat de drempel daarvoor eerst verder constructief uitgewerkt dient te worden. Bovendien moet dan ook gekeken worden wat de gevolgen voor het kanaal en de omliggende bedrijven zijn. Deze gevolgen dienen in geld uitgedrukt te worden. Voor de analyse van deze gevolgen is in bijlage 1 een computer~model beschreven en is in de uitkomsten te zien hoe de drempel een vermindering van het uitgewisselde volume tot gevolg heeft. Aan deze uitkomsten zijn aan het eind van de bijlage nog enkele conclusies verbonden.

Hoofdstuk1 De drempel

§ 1.1 Algemeen

In dit algemene gedeelte zal nader worden ingegaan op de functie en het gebruik van de drempel. Aan het eind van deze paragraaf zal dan nog de invloed van de scheepvaart op de werking van de drempel en de hoogte van de drempel nader bekeken worden. De bovengenoemde vier factoren zijn voor elk type drempel gelijk en gelden daarom algemeen.

De nieuwe sluis te Terneuzen is ontworpen voor schepen van 300*50 meter met een diepgang in zoetwater van 16.36 m. De verwachting is dat dit type schip eenmaal per week de sluis zal passeren. Dit betekent dat de rest van de tijd kleinere schepen door de sluis zullen gaan met meestal ook een kleinere diepgang. In de sluis, die 17.4 meter diep is t.o.v. NAP-peil, vindt echter de zout-zoet~ uitwisseling wel over de volledige diepte plaats waardoor er veel meer zoutwater op het kanaal komt dan nodig is. Door nu een drempel omhoog te brengen kan een gedeelte van dit zoute water worden tegen gehouden. Uit proeven is namelijk gebleken dat achter de drempel een laag zoutwater blijft staan die minimaal evenhoog is als de drempel (zie fig. 1).



figuur 1: de werking van een drempel in een sluiskolk

De uiteindelijke hoogte van de laag is afhankelijk van het uitwisselingsproces. Wanneer de kolk volledig uitgewisseld wordt dan blijft er alleen zoutwater achter de drempel staan, wordt de kolk echter niet volledig uitgewisseld dan blijft er ook zoutwater boven de drempel staan. In het rapport "Keuze van het zout-zoetscheidingsysteem voor de zeesluis te Terneuzen" [1] werd beschreven dat het uitgewisselde volume afhankelijk is van de waterstand in de kolk, van de tijd dat de deur openstaat en van de effectiviteit van het luchtbellenscherm. In de formules kwam dit als volgt tot uitdrukking:

$$u_a = \frac{1}{2}(1-e) \sqrt{\Delta gh}$$

met: u_a = de uitwisselingsnelheid
 e = de effectiviteit van het
luchtbellenscherm
 Δ = $\rho_{\text{KOLK}} - \rho_{\text{KANAAAL}} / \rho_{\text{KANAAAL}}$
 g = zwaartekrachtsversnelling
 h = de waterstand in de kolk

$$V = u_a \cdot \frac{1}{2} h \cdot b \cdot T_{DEUR}$$

met: b = de breedte van de kolk
 T_{DEUR} = de tijd dat de deur
openstaat

De drempel dient dus gebruikt te worden wanneer in of buiten de kolk schepen liggen met een kleinere diepgang dan $17.4 + 2.13 = 19.53$ meter, waarin 2.13 het kanaalpeil is. Op de vraag hoe ver de drempel omhoog moet kunnen zal later in deze paragraaf worden ingegaan.

De drempel zou gecombineerd kunnen worden met een deur functie. Een voorbeeld hiervan is de segmentdeur die verderop in dit hoofdstuk uitgewerkt zal worden. Een nadeel van deze combinatie is dat wanneer de drempel wordt aangevaren de gehele sluis buiten gebruik is omdat de deur functie dan niet meer vervuld kan worden.

De drempel dient, mits deze geen deurfunctie vervuld, omhoog te zijn voordat de deur opengaat. Wanneer dit niet gebeurt zal de drempel bij het omhoog bewegen grote krachten loodrecht op de verplaatsingsrichting krijgen en komt hierdoor klem te zitten. Deze krachten ontstaan door de uitwisselingsstroming die over de volle diepte plaatsvindt en nu plotseling door de drempel verhinderd wordt. Bij de combinatie deur-drempel dient de deur tot de goede hoogte in de bodem te zakken.

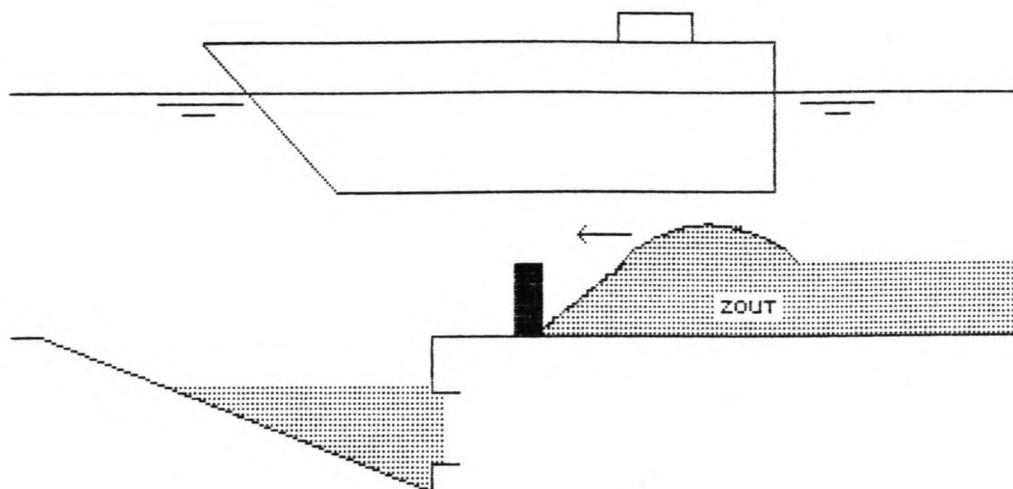
De invloed van de scheepvaart

De schepen hebben geen invloed op de hoogte van de zoutwater laag achter de drempel tijdens het uitwisselingsproces. Ze hebben alleen een dempend effect op de golven in de grenslaag achter de drempel. Het ontstaan van deze golven kan als volgt verklaard worden. Aan de oppervlakte ontstaan golven doordat bijvoorbeeld de deur geopend wordt voordat de peilen exact gelijk zijn. Dit wordt veelal gedaan om te lange omzettingen te vermijden. Een golf die nu aan de oppervlakte ontstaat geeft een tegengestelde reactie in het grensvlak. Achter de drempel is de stroomsnelheid namelijk nul en dus de druk constant. Een verhoging van de waterspiegel leidt dan tot een verlaging van het grensvlak.

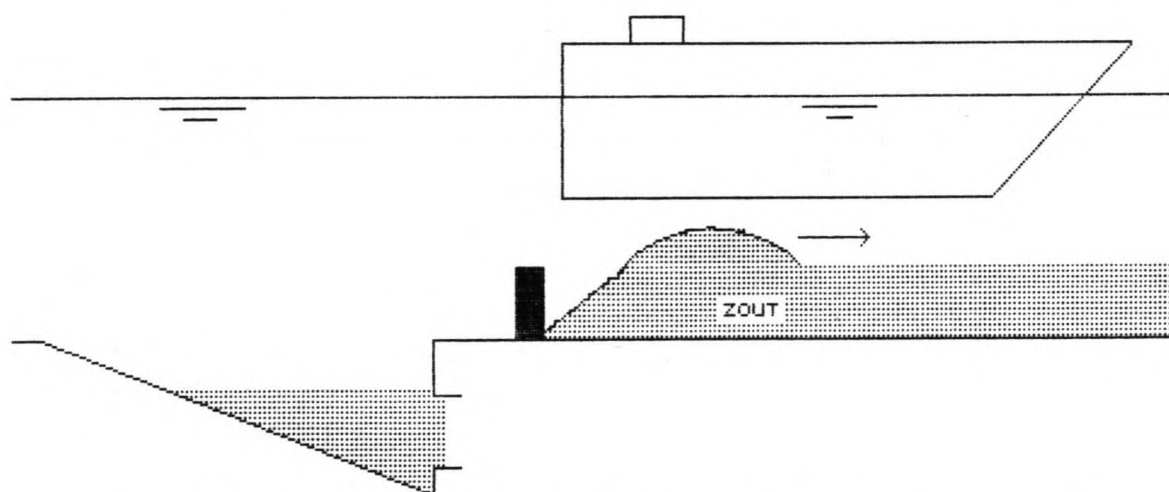
De in en uit de kolk varende schepen hebben wel invloed op de hoogte van de zoutwater laag achter de drempel. Achter het schip dat de kolk uitvaart ontstaat een verlaging van de waterspiegel. Dit leidt zoals hierboven beschreven tot een verhoging van de grenslaag. De omhoog getrokken grenslaag kleeft als het ware aan de kiel van het schip vast en wordt zo door het schip over de drempel heen gezogen. Hiermee gaat een gedeelte van het zoute water dat zich achter de drempel bevindt alsnog het kanaal op. In figuur 2 op de volgende bladzijde wordt het bovenstaande verduidelijkt.

Zoals te zien is in figuur 2 daalt de grenslaag vlak voor de drempel. Dit komt doordat het volume zoutwater achter de drempel gelijk blijft en dus een verhoging van de grenslaag gecompenseerd moet worden met een daling van de grenslaag vlak achter de drempel. Bij een schip dat de kolk invaart treedt hetzelfde verschijnsel op, doch is het verlies aan zoutwater dat over de drempel gaat veel kleiner. Er zijn twee redenen aan te voeren voor dit kleinere verlies. De eerste is dat door het uitvaren van de schepen die in de kolk lagen de hoogte van de zoutwaterlaag al afgenomen is. De tweede reden is dat de ontstane golf eerst helemaal door de sluis kolk heen moet en daarbij uitgedempt wordt

door het schip. In de figuren 2 en 3 is het verschil tussen schepen die de kolk in- en uitvaren goed te zien.



figuur 2: De invloed op de hoogte van de zoutlaag door uitvarende schepen



figuur 3: De invloed op de hoogte van de zoutlaag door invarende schepen

Een tweede effect van de schepen is dat bij het over de drempel varen onderdruk boven de drempel ontstaat. De drempel wil hierdoor omhoog komen en zou tegen de onderkant van het schip kunnen aankomen. Om dit te voorkomen is het belangrijk dat wanneer de drempel op hoogte gebracht is deze vastgezet kan worden. Bij het maken van een keuze voor een drempeltype zal de plaatsvastheid dan ook zeker meegenomen moeten worden.

Tot slot van deze paragraaf nog iets over de afstand die tussen de onderkant van het schip en de bovenkant van de drempel aanwezig moet zijn, de zogenaamde keel clearance. Er zijn drie factoren die deze afstand bepalen:

- 1) Een schip dat vanaf de Westerschelde de kolk invaart ligt in zoutwater. Wanneer de deur aan de kanaalzijde nu opengaat komt het schip, ten gevolge van de uitwisseling, in zoeter water terecht. Het schip krijgt hierdoor een grotere diepgang

(lagere dichtheid). Het grootste gedeelte van de tijd is dit geen probleem omdat het kanaalpeil hoger is dan het Westerschelde peil. Echter in die gevallen waar omlaag genivelleerd wordt moet hiermee rekening gehouden worden. Het schip komt dan voordat het kan uitvaren een flink stuk lager te liggen. Dit betekent dat bij het instellen van de hoogte van de drempel uitgegaan moet worden van de diepgang van het schip t.o.v het kanaalpeil.

- 2) Zoals hierboven al beschreven wordt de deur vaak geopend voordat de waterstanden in de kolk en op het kanaal gelijk zijn. Het gevolg is een translatiegolf waardoor het schip op en neer gaat bewegen (deining). De diepgang van het schip neemt daardoor toe en zou in zo'n golfdal dan precies de drempel kunnen raken.
- 3) Tijdens het op gang komen van een schip wordt veel vermogen aan de schroef gegeven. Hierdoor komt het schip als het ware in z'n eigen schroefkuil te varen en ligt daardoor achter dieper.

Uit bovenstaande drie factoren blijkt wel dat een zekere overdiepte aangehouden dient te worden. Voorlopig wordt uitgegaan van een overdiepte van minimaal 1 meter. Tot slot van deze paragraaf nog iets over de minimale en maximale hoogte van de drempel. Met de minimale hoogte wordt bedoeld hoe ver moet de drempel minimaal omhoog kunnen voordat deze wordt gebruikt.

Uitgegaan wordt van een beweegbare drempel met een vrij in te stellen hoogte. De verwachting voor de Zeesluis duidt namelijk op een grote verscheidenheid aan schepen die geschut moeten worden. Een grote verscheidenheid aan schepen betekent ook een grote verscheidenheid aan diepgang. Om een maximaal rendement uit de drempel te halen is het beter om voor een drempel met een vrij instelbare hoogte te kiezen.

Bij de vraag wat de hoogte van de drempel moet zijn moet gekeken worden naar de besparing die de drempel levert. Achter de drempel blijft een volume zoutwater staan van $500 \cdot 68 \cdot H_{\text{DREMPEL}}$, waarin H_{DREMPEL} de hoogte van de drempel is. Wanneer de drempel nu 1 m. omhoog wordt gebracht komt er 34000 m^3 minder zoutwater op het kanaal. Dit is een besparing van 9% op het totaal geloosde volume zoutwater uit de sluis per schutting (zie [1]). Een verkleining van het geloosde volume met 9% lijkt minimaal dus de drempel moet op z'n minst 1 m. omhoog kunnen, voordat deze gebruikt wordt. Voor de schepen betekent dit dat ze 2m (incl. 1 m. keel clearance) boven -17.4 m. t.o.v. NAP moeten liggen. De maximale hoogte die de drempel moet kunnen halen wordt bepaald door het schip met de kleinste diepgang die door de sluis verwerkt moet worden. Dit komt neer op een diepgang van 5 à 6 m. en dus een maximale drempel hoogte van $17.4 + 2.13 - (6 + 1) = 12.5$ meter. Omdat schepen met deze diepgang niet al te vaak de sluis passeren en dan meestal nog vergezeld zijn door schepen met een grotere diepgang is besloten de maximale hoogte die de drempel moet kunnen halen op 10 m. te stellen. De reductie is dan minimaal 50% van het uitgewisselde volume. De uiteindelijke reductie is afhankelijk van de tijd dat de deur openstaat. Wanneer de deur maximaal 30 minuten openstaat is de reductie al opgelopen tot 78% (zie ook bijlage 1).

§ 1.2 Afwegingscriteria

In deze paragraaf zullen enkele criteria behandeld worden aan de hand waarvan de mogelijke oplossingsstypen in § 1.3 besproken

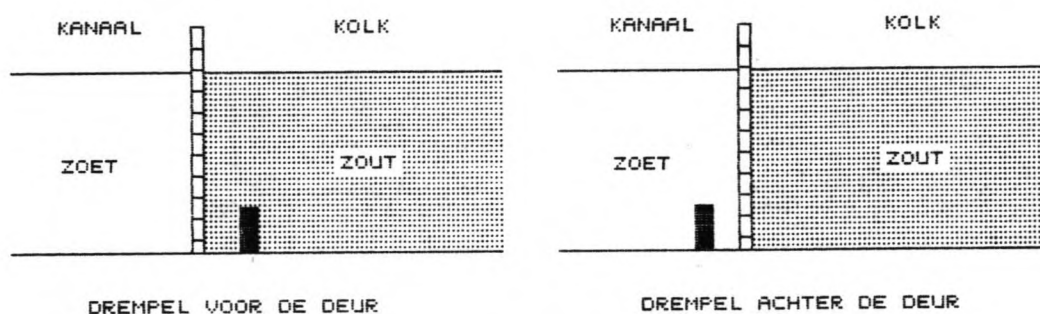
zullen worden.

De plaats van de drempel

De drempel komt aan de kanaalzijde van de kolk. Het doel van de drempel is immers te zorgen dat zo min mogelijk zoutwater vanuit de kolk het kanaal opgaat. Er blijven nu nog drie plaatsen over waar de drempel kan komen:

- 1) In de kolk vlak voor de deur aan de kanaalzijde
- 2) Ter plaatse van de deur aan de kanaalzijde
- 3) Achter de deur aan de kanaalzijde

In onderstaande schetsen worden de eerste en derde positie voor de duidelijkheid nog een keer weergegeven.



figuur 4: De mogelijke posities van de drempel

Hieronder zullen de drie posities in bovengenoemde volgorde nader besproken worden.

- 1) Deze plaats heeft als nadeel dat niet het grootst mogelijke volume zoutwater wordt tegengehouden. De afstand van de deur aan de Westerschelde zijde tot de drempel is hier kleiner dan bij de andere twee varianten. Indien echter een luchtbellenscherm toegepast dient te worden dan is het beter deze achter de drempel (aan de kanaalzijde) of op de drempel toe te passen. Het luchtbellenscherm zorgt namelijk voor een menging van zout- en zoetwater en verstoort, wanneer het luchtbellenscherm voor de drempel zit, de zoutwater laag die tegen de drempel staat. Een luchtbellenscherm op de drempel zou het mooiste zijn maar de vraag is of dit technisch haalbaar is in verband met de persluchtleidingen die dan met de drempel mee op- en neer moeten bewegen.
- 2) Het plaatsen van een drempel ter plaatse van de deur is alleen mogelijk als wordt uitgegaan van een deur-drempel combinatie. Hiermee wordt bedoeld dat de deur en drempel één constructie zijn. De combinatie van een drempel met een hefdeur is niet mogelijk omdat Rijkswaterstaat een vrije doorvaarthoogte eist. Het luchtbellenscherm zou in dit geval achter de deur in zoetwater komen. Dit is nadelig voor de werking van het luchtbellenscherm. Het principe van een luchtbellenscherm is namelijk het blazen van lucht in zoutwater waardoor de dichtheid van dit zoute water afneemt en een dichtheid krijgt gelijk aan het zoete water. Door nu

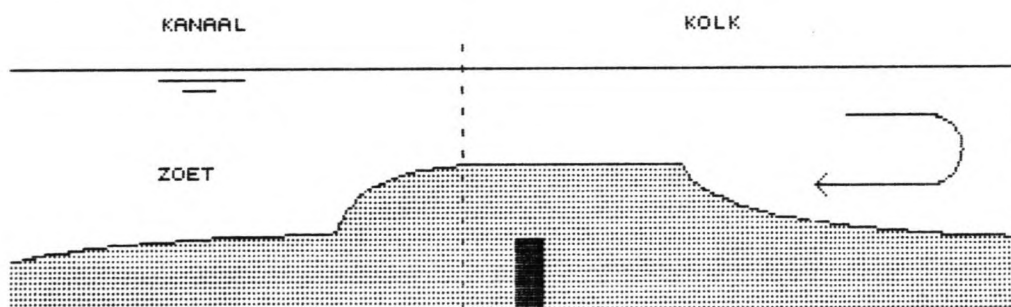
het luchtbellenscherm in zoetwater te plaatsen wordt de dichtheid van dit zoete water verkleind en komt het uitwisselingsproces gewoon op gang totdat het zoute water tegen het scherm stroomt. De effectiviteit van het luchtbellenscherm wordt hierdoor verminderd.

- 3) Het plaatsen van de drempel achter de deur heeft tot voordeel dat een zo groot mogelijk volume zoutwater kan worden tegengehouden. Het luchtbellenscherm komt nu echter altijd achter de deur en vaak ook nog voor de drempel. Zowel de effectiviteit van het luchtbellenscherm als de werking van de drempel worden hierdoor verminderd. Het is dan ook nog maar de vraag of het feitelijk tegengehouden volume zoutwater wel groter is dan in de vorige varianten. Bovendien heeft het openen van de deur in dit geval ook nog een versturende werking op de zoutlaag.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat het plaatsen van een drempel voor de deur het beste is. Indien voor een combinatie van deur-drempel wordt gekozen dan kan alleen maar van oplossing 2 worden uitgegaan.

De vorm van de drempel

Uit proeven is gebleken dat loslaat verschijnselen niet optreden bij de drempel [2]. Dit komt omdat er achter de drempel een laag zoutwater staat waar het zoete water tijdens de uitwisseling overheen trekt en de stroming dus op het niveau van de bovenkant van de drempel is (de zoute laag achter de drempel is in wezen de nieuwe bodem van de kolk). Een en ander wordt in figuur 5 weergegeven.



figuur 5: De uitwisselingsstroming bij gebruik van een drempel

Er ontstaat echter wel een lichte verstoring (golven) achter de drempel. Aan de ene zijde komen deze golven tegen de deur aan de Westerschelde zijde, aan de andere kant komen ze tegen de drempel. Wanneer de drempel recht is, kaatsen de golven tussen twee rechte vlakken heen en weer. Heeft de drempel echter een driehoekige vorm dan dempen de golven op de drempel uit. In het geval er schepen de kolk in- en uitvaren heeft deze vorm ook een gunstig effect op de door de schepen veroorzaakte golven achter de drempel. Een tweede voordeel van de driehoekige vorm is dat de haakweerstand kleiner is en dus eventueel slepende ankers de drempel minder makkelijk kunnen beschadigen (geldt alleen bij uitvarende schepen).

opm: Uit de proeven is echter niet gebleken dat de golven achter

de drempel hinder voor de scheepvaart veroorzaken of dat de zoute laag achter de drempel dunner was bij het toepassen van een rechte drempel.

De nauwkeurigheid van instelling van de drempelhoogte

In paragraaf 1 was te lezen dat de drempel minimaal 1 m. omhoog moet kunnen voordat de drempel gebruikt gaat worden. De maximale hoogte van de drempel werd daarin vastgesteld op 10 m. De vraag die nu onmiddellijk rijst is hoe kan de hoogte zo nauwkeurig mogelijk ingesteld worden en wat zijn de toelaatbare afwijkingen in deze instelling. Voor wat betreft de instelling van de hoogte kan uitgegaan worden van de snelheid waarmee de constructie omhoog beweegt. Met behulp van de tijd kan dan de verplaatsing van de drempel berekend worden. Een andere oplossing is het toepassen van sensoren in de kolk wand. Het nadeel van deze oplossing is dat de sensoren continu onderwater zitten en dat dit water meest van tijd zout is. Hierdoor worden de sensoren aangetast en vergen dus veel onderhoud.

Een afwijking in de hoogte instelling is binnen zekere grenzen toelaatbaar. Tussen de onderkant van het schip en de bovenkant van de drempel is immers een meter vrije ruimte beschikbaar (de keel clearance). Een afwijking in de hoogte instelling van 10% van de keel clearance lijkt toelaatbaar (± 10 cm.). In de feitelijke afweging is dit criterium moeilijk mee te nemen en kan in feite alleen maar bekeken worden of de exacte drempel hoogte eenvoudig dan wel moeilijk te bepalen is.

Wanneer de drempel eenmaal op hoogte is moet deze niet verder omhoog of omlaag kunnen bewegen t.g.v. overvarende schepen of stromingen. Dit betekent dat de drempel plaatsvast moet zijn. De methoden om de drempel vast te zetten zullen bij de verschillende drempel typen besproken worden.

Het onderhoud

Het onderhoud van de drempel vormt een belangrijk afwegingspunt. Onderhoud is namelijk een jaarlijks terugkerende post op een begroting en kan een goedkope uitvoering van de drempel daardoor over de jaren heen toch erg duur maken. Voor het onderhoud van de drempel is het van belang dat zoveel mogelijk draaiende en bewegende delen zich boven water bevinden of eenvoudig drooggezet kunnen worden. Deze delen zijn dan goed te inspecteren en de eventuele reparaties zijn beter uit te voeren. De onderdelen van de drempel die in nissen zitten geven veel problemen. Deze delen zijn vaak wel goed droog te zetten maar zijn ook verzamelplaatsen van vuil. Daardoor is regelmatig onderhoud en schoonhouden van deze nissen vereist.

Een eenvoudige constructie met zo min mogelijk draaiende delen verdient verreweg de voorkeur.

De afdichting

Een goede afdichting tussen de drempel en de kolkwand is erg belangrijk. Doordat aan de ene kant van de drempel zoutwater staat en aan de andere kant zoetwater zal, wanneer de drempel niet goed afdicht het zoute water langs de drempel wegstromen. Het achter de drempel gespaarde volume zoutwater zal daardoor bij een langzame

schutting toch nog voor een groot deel op het kanaal komen. Een tweede probleem is dat door kleine lekken in de afdichting grote stroomsnelheden kunnen ontstaan. Hierdoor kunnen trillingen in de constructie ontstaan wat scheurvorming tot gevolg kan hebben. De slijpende werking van het snel stromende water zorgt bovendien voor extra slijtage.

De benodigde extra diepte onder de kolkbodem

Voor het schoonspuien van de zoutvang is het van belang dat de spuiroelen niet dieper gelegd hoeven te worden. Voor sommige constructies zal dit echter noodzakelijk zijn omdat deze in een nis in de bodem verdwijnen. Bij deze constructies zou dan overwogen moeten worden om de spuiroelen naast de kolk te leggen. Een extra diepte onder de sluis bodem betekent ook meer grondverzet en dus extra kosten. Een beperking van de benodigde extra diepte is daarom wenselijk.

Een belangrijk afwegingscriterium is hier nog niet genoemd en dat betreft de bouwkosten. Het maken van een goede schatting van de bouwkosten van de hierna te bespreken oplossingsstypen is zeer moeilijk omdat er geen vergelijkbare constructies in de praktijk bestaan. Daarom is hooguit een uitspraak te doen over welke type constructie duurder is. Een vergelijking tussen de te verwachten kosten zal dan ook pas bij de uiteindelijke keuze ter sprake komen.

Tot slot van deze paragraaf zullen alle hiervoor genoemde afwegingscriteria nog een keer worden samengevat.

- | | |
|--|---|
| 1) de plaats van de drempel | voorkeur: voor de deur |
| 2) de plaats van het luchtbellenscherm | voorkeur: op de drempel |
| 3) de vorm van de drempel | voorkeur: driehoekig |
| 4) de betrouwbaarheid: | a) gevolgen van een eventuele aanvaring |
| | b) nauwkeurigheid van hoogte instelling |
| | c) plaatsvastheid van de drempel |
| 5) het onderhoud | |
| 6) de afdichting | |
| 7) de benodigde extra diepte onder de sluis kolk bodem | |

§ 1.3 Analyse van de mogelijke oplossingsstypen

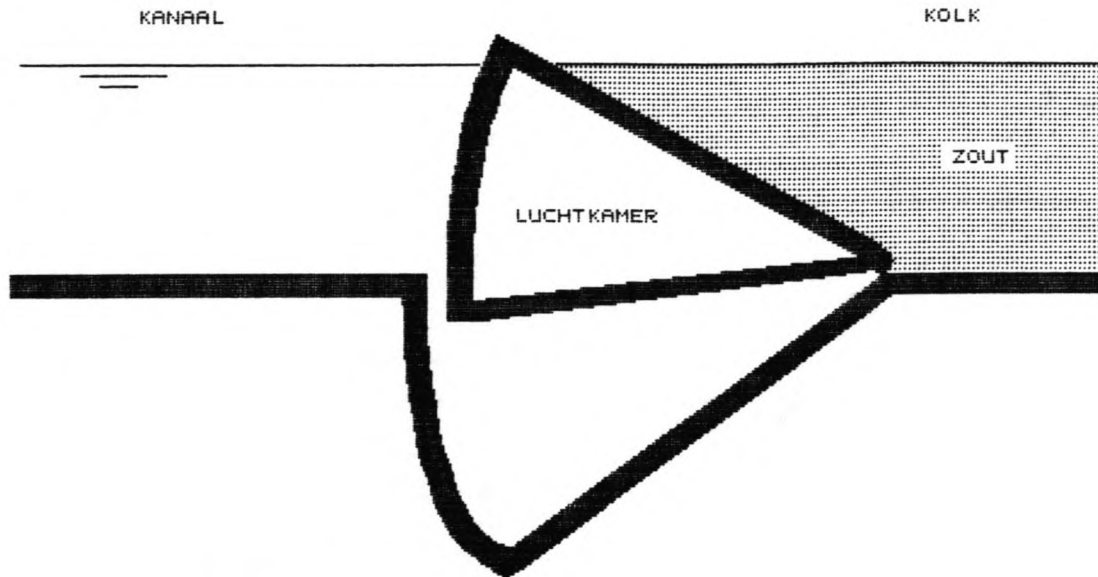
In deze paragraaf zullen van 4 mogelijke oplossingsstypen de voor- en nadelen worden bekeken aan de hand van het wel of niet (meer of minder) voldoen aan de bovengenoemde afwegingscriteria. De 4 mogelijke oplossingsstypen zijn:

- 1) de segmentdeur
- 2) de hefbalk/schuif
- 3) de hefklep
- 4) een combinatie van 2 en 3

Bij sommige oplossingsstypen zijn alternatieven mogelijk in uitvoering en aandrijving. Deze alternatieven zullen bij de bespreking van de oplossingsstypen worden meegenomen en apart worden beoordeeld.

De segmentdeur

Bij de segmentdeur zijn 2 alternatieven mogelijk namelijk de combinatie van deur en drempel maar de segmentdeur kan ook alleen als drempel uitgevoerd worden (verder segmentdrempel genoemd). Eerst zal de segmentdeur in de functie van deur en drempel worden besproken.



figuur 6: De segmentdeur

In figuur 6 is de segmentdeur te zien. Door tussen de stijlen een luchtkamer aan te brengen kunnen de krachten nodig voor het omhoog bewegen van de drempel verkleind worden. De aandrijving van de deur kan plaatsvinden m.b.v. contra gewichten of door tandwielen in een kettingbaan te laten lopen. Een derde oplossing zou zijn het toepassen van hydraulische persen. Het probleem is echter dat de constructie grote hoogteverschillen moet overbruggen en de vijzels daardoor erg groot moeten zijn. Deze oplossing wordt dan ook buiten beschouwing gelaten.

Hoe voldoet de constructie aan de gestelde eisen:

- 1) **De plaats van de drempel**
Duidelijk is dat de drempel op de plaats van de deur komt.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
Het luchtbellenscherm moet hier achter de deur komen omdat plaatsing op de deur niet mogelijk is. De deur beschrijft namelijk een cirkelbaan en daardoor zouden de luchtballen niet steeds loodrecht omhoog kunnen blazen.
- 3) **De vorm van de drempel**
De drempel heeft een driehoekige vorm indien de bovenste stijl aan de bovenzijde van de drempel bevestigd is (zie fig. 6).
- 4) **De betrouwbaarheid**
 - a) De gevolgen van een eventuele aanvaring van de segmentdeur zijn groot. Het betreft hier een deur-drempel combinatie en bij aanvaring van de drempel is de sluis meteen buiten

gebruik.

b) De nauwkeurigheid van de hoogte instelling is matig. De deur beschrijft een cirkelbaan en daardoor is het moeilijk de precieze verplaatsing van de deur te bepalen. De beste oplossing hier is het toepassen van sensoren.

c) De segmentdeur is moeilijk plaatsvast te maken. Indien de constructie met contra gewichten wordt uitgevoerd dan is de deur vast te zetten met pennen die uit de kolkwand schieten. Wordt de constructie aangedreven door een kettingbaan dan moet het tandwiel dat in de ketting loopt klemgezet worden. Beide oplossingen zijn niet eenvoudig te realiseren.

- 5) **Het onderhoud**
Veel draaiende delen zoals het scharnier bevinden zich onderwater. Inspectie en onderhoud is daardoor moeilijk wat hoge kosten met zich meebrengt. Bij toepassing van de kettingbaan bevindt deze zich ook continu onderwater en vraagt daardoor meer onderhoud.
- 6) **De afdichting**
Het goed afdichten van de deur is een groot probleem. Onder de deur kan de kolk bodem gewoon doorgezet worden maar het grote probleem is echter te voorkomen dat zoutwater tussen de drempel en de wand en tussen de drempel en de bodem doorstroomt. Daar het hier gaat om een bewegende constructie kan geen rubber voor de afdichting gebruikt worden maar dienen kunststoffen toegepast te worden. Bij de Oosterschelde dam zijn goede resultaten geboekt met pekussen, wat bovendien een lage wrijvingscoëfficiënt heeft. De kolkwand dient dan echter wel zeer glad uitgevoerd te worden.
- 7) **De benodigde extra diepte onder de sluiskolk bodem**
De totale hoogte van de deur zal minimaal 23 m. moeten zijn (=diepte bodem t.o.v. NAP + ontwerpeil). Dit betekent dat de sluiskolk bodem eveneens met 23 m. verdiept moet worden.

Extra aandachtspunt: Zodra de deur naar beneden bewogen wordt begint het uitwisselingsproces. Tijdens dit uitwisselen wordt de deur nog naar beneden bewogen. De uitwisselingsstroming wordt hierdoor verstoord. De eventuele gevolgen voor de schepen en de zoutwaterlaag achter de drempel zullen nader onderzocht moeten worden.

Conclusie: De constructie kent veel nadelen en heeft een lage betrouwbaarheid.

De segmentdrempel komt grotendeels overeen met de hierboven beschreven segmentdeur. Daarom zullen alleen de verschillpunten behandeld worden.

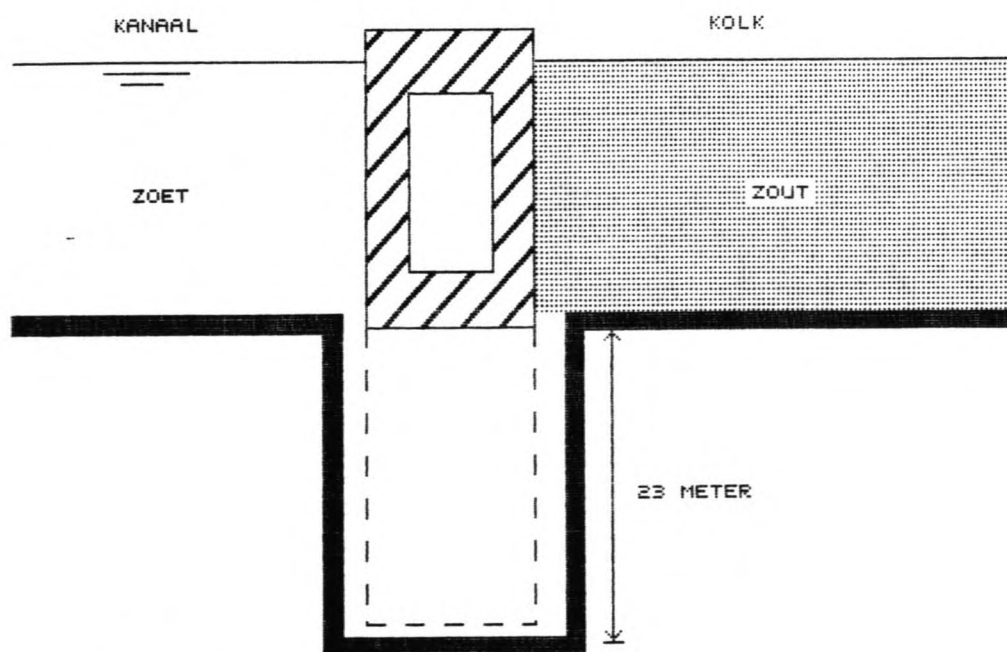
- 1) **De plaats van de drempel**
De segmentdrempel kan voor de deur worden geplaatst.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
Het luchtbellenscherm dient hier tussen de deur en de segmentdrempel geplaatst te worden.
- 3) **De vorm van de drempel**
De vorm van de segmentdrempel is driehoekig.

- 4) **De betrouwbaarheid**
- a) De gevolgen van een eventuele aanvaring zijn bij deze constructie niet zo groot als bij de segmentdeur. Bij een aanvaring zal de drempel kapot gaan maar kan de sluis gewoon blijven functioneren. Het herstellen van de schade is echter niet zo eenvoudig. Het draaimechanisme en de aandrijving bevinden zich onderwater en voor reparatie zal de sluis waarschijnlijk toch droog gezet moeten worden. Wanneer het schip lek zou slaan kan vervuiling voorkomen worden door de sluisdeur snel te sluiten.
- b) De nauwkeurigheid waarmee de hoogte instelling kan gebeuren is hetzelfde als bij de hierboven beschreven segmentdeur. Doordat nu echter de verticale verplaatsing veel kleiner is zouden voor de segmentdrempel hydraulische persen toegepast kunnen worden. De hydraulische persen dienen wel scharnierend met de bodem en drempel verbonden te zijn.
- c) De plaatsvastheid van de drempel wordt bij toepassing van persen eenvoudiger omdat deze de constructie behoeden voor op en neer bewegen.
- 7) **De benodigde extra diepte onder de sluisdeur bodem**
Daar de segmentdrempel nu alleen als drempel fungeert hoeft deze maar 10 m. hoog te zijn. De extra benodigde diepte is dus kleiner dan in de vorige situatie.

Conclusie: Deze constructie heeft als voordeel dat er een functie scheiding heeft plaatsgevonden waardoor de betrouwbaarheid is toegenomen. Veel nadelen die de segmentdeur kent, kent deze segmentdrempel echter ook.

De hef balk/schuif

Van de hef balk zijn ook twee alternatieven mogelijk namelijk de hef balk uitgevoerd als deur-drempel combinatie en de hef balk uitgevoerd als drempel (verder schuif genoemd).



figuur 7: De hef balk

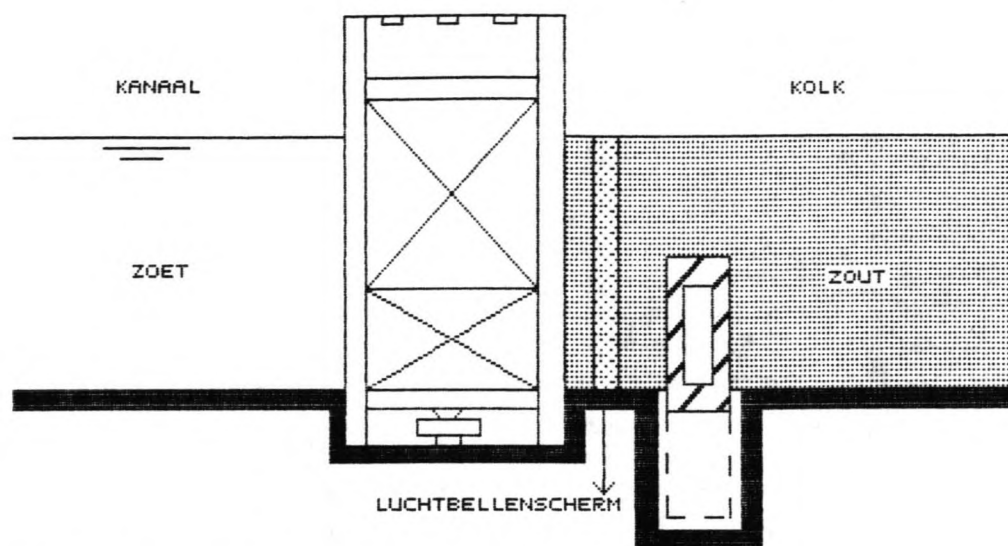
Hoe voldoet de constructie aan de eisen:

- 1) **De plaats van de drempel**
De drempel en deur zijn in een constructie gecombineerd dus bevindt de drempel zich op de plaats van de deur.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
De constructie beweegt zich vertikaal omhoog en omlaag. Het luchtbellenscherm kan daarom op de balk gemaakt worden. Een voordeel van het op de drempel staan van het luchtbellenscherm is dat bij omhoogstaande drempel minder hard geblazen hoeft te worden waardoor energie bespaard kan worden. Een extra aandachtspuntje zijn wel de leidingen voor de luchttoevoer. Deze dienen flexibel te zijn omdat het luchtbellenscherm op en neer beweegt.
- 3) **De vorm van de drempel**
De drempel heeft een rechthoekige vorm en daardoor een grote haakweerstand voor vallende ankers. Afronding van deze hoeken is mogelijk al wordt de constructie daardoor wel duurder.
- 4) **De betrouwbaarheid**
 - a) De drempel en deur zijn hier in een constructie gecombineerd en dus is bij een aanvaring de gehele sluis buiten gebruik.
 - b) Voor deze constructie zijn twee aandrijftypen mogelijk, namelijk een kettingbaan en contra gewichten. De geleiding van de deur vindt plaats door middel van een geleide rail die in een uitsparing in de kolkwand zit. De nauwkeurigheid waarmee de drempel ingesteld kan worden is iets groter dan bij de segmentdeur omdat de balk vertikaal beweegt. Hierdoor is het mogelijk, wanneer de constructie met constante snelheid beweegt, de verplaatsing uit de tijd te bepalen.
 - c) Het vastzetten van de hefbalk wanneer deze op hoogte is, is goed mogelijk. Met behulp van hydraulische persen kan de balk in de uitsparing van de kolkwand klem gezet worden. Dit principe wordt ook bij roldeuren toegepast. Voor de aandrijving kan dan het beste met contra gewichten worden gewerkt omdat deze flexibel zijn in horizontale richting.
- 5) **Het onderhoud**
De bewegende delen zitten allemaal in de uitsparing in de kolkwand en kunnen dus drooggezet worden. Reparatie, controle en onderhoud kunnen daardoor goed plaatsvinden.
- 6) **De afdichting**
Zoals onder punt 4c beschreven, wordt de constructie met behulp van hydraulische persen klem gezet in de uitsparingen van de kolkwand. Door nu op de hefbalk of in de uitsparingen rubber profielen aan te brengen kan een goede afdichting worden verkregen.
- 7) **De extra benodigde diepte onder de sluis kolk bodem**
Net als bij de segmentdeur is ook hier weer een extra diepte van 23 m. nodig.

Conclusie: Het grote voordeel van de hefbalk is de eenvoudige vorm. De combinatie van deur en drempel verlaagd echter de betrouwbaarheid. De extra benodigde diepte onder de kolk bodem is erg groot, net als bij de segmentdeur.

De hefschuif

De hefschuif vertoont grote overeenkomsten met de hef balk. Daarom zullen alleen de verschilpunten behandeld worden.



figuur 8: De hefschuif

Hoe voldoet de constructie aan de eisen:

- 1) **De plaats van de drempel**
De drempel kan hier zoals in figuur 8 te zien is voor de deur geplaatst worden.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
Het luchtbellenscherm kan hier tussen de deur en de drempel geplaatst worden of op de drempel zelf.
- 3) **De vorm van de drempel**
De hefschuif heeft, net als de hef balk, een rechthoekige vorm.
- 4) **De betrouwbaarheid**
 - a) De drempel is hier los van de deur gebouwd. Bij een aanvaring van de drempel kan de sluis in gebruik blijven. Voor de reparatie van de hefschuif zal de kolk droog gezet moeten worden.
 - b) Bij deze oplossing zou de drempel op hoogte gebracht kunnen worden met behulp van hydraulische persen. De verticale verplaatsing is namelijk veel kleiner dan bij de hef balk. Een nadeel van hydraulische persen is de verhoogde storingsgevoeligheid en de moeilijke inspectie.
 - c) Wanneer de hefschuif met persen bewogen wordt is de drempel al redelijk plaatsvast. Voor de afdichting wordt de drempel ook nog klem gezet in de uitsparingen.
- 7) **De extra benodigde diepte onder de sluis kolk bodem**
Onder de sluis kolk bodem is nu 10 m extra ruimte nodig. Hierbij is geen rekening gehouden met de persen die nog onder de drempel moeten komen.

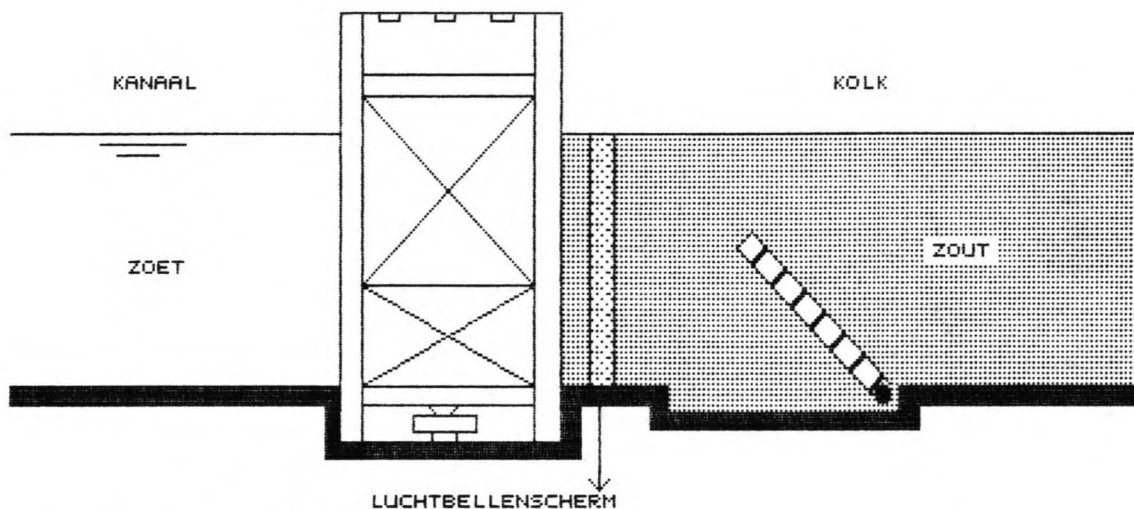
Extra aandachtspunt: De hefschuif dient alleen als drempel en

hoeft dus geen waterstandsverschillen te keren. De hefbalk die tevens fungeert als deur moet dit wel en dient daarom veel zwaarder uitgevoerd te worden.

Conclusie: Zowel de hefschuif als de hefbalk zijn eenvoudige constructies en goed af te dichten met rubber profielen.

De hefklep

De hefklep wordt, zoals te zien is in figuur 9, scharnierend verbonden aan de bodem van de sluis kolk. De ruimte die de klep nodig heeft in neergeklapte positie is groter dan de dikte van de hefschuif, bij de bouw van de sluis dient daarmee rekening gehouden te worden.



figuur 9: De hefklep

Hoe voldoet de constructie aan de eisen:

- 1) **De plaats van de drempel**
De drempel kan hier voor de deur geplaatst worden. Het volume zoutwater dat tegen wordt gehouden is dan echter wel kleiner dan bij de schuif. Dit komt doordat de drempel verder naar binnen staat.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
Het luchtbellenscherm dient tussen de deur en de klep geplaatst te worden.
- 3) **De vorm van de drempel**
De klep heeft, zoals in figuur 8 te zien is, altijd een driehoekige vorm. De golven zullen daardoor sneller uitdempen op de drempel en vallende ankers zullen de drempel minder gauw beschadigen. Om het heffen naar de bovenste stand van de drempel niet te moeilijk te maken zou de maximale hoek op 60° gesteld moeten worden. De drempel krijgt dan een lengte van $20/\sqrt{3}$ is 11.5 m..
- 4) **De betrouwbaarheid**
 - a) Wanneer de drempel onverhoopt wordt aangevaren zijn bij

dit type drempel de gevolgen het kleinst. Door de driehoekige vorm zal de klap op schip en drempel kleiner zijn dan bij de rechte hefschuif. Wordt de klep bovendien uitgevoerd met een scharnier aan de onderzijde waar de klep tegen aangedrukt wordt dan kan na een aanvaring de klep uit de kolk gehesen worden en hoeft de kolk niet droog gezet te worden. Het schutten kan dan gewoon doorgang vinden en dit is een groot voordeel t.o.v. de vorige oplossingsprincipes.

b) De nauwkeurigheid waarmee de hoogte van de drempel kan worden ingesteld is gelijk aan die van de segmentdrempel. De klep beschrijft een cirkelbaan bij het omhoog bewegen en de juiste hoogte kan waarschijnlijk het beste bepaald worden met sensoren.

c) De klep moet goed plaatsvast zijn omdat de klep aan de achterkant open is. Een schip dat de kolk invaart trekt een golf onder het schip mee en duwt een golf voor z'n boeg uit. Nadert dit schip nu de drempel dan komen deze golven onder de open achterkant en duwen de klep omhoog. Om dit te voorkomen moet de klep vast zitten. De beste oplossing is daarom de klep met behulp van persen omhoog te bewegen. Deze persen dienen scharnierend met de klep verbonden te zijn. Wanneer de constructie met behulp van contra gewichten omhoog bewogen wordt is het vastzetten van de klep een groot probleem.

5) **Het onderhoud**

Het onderhoud van de klep geeft problemen bij het scharnier aan de onderzijde. Deze bevindt zich namelijk continu onder water en kan niet drooggezet worden. Hetzelfde geldt voor de hydraulische persen. De eenvoud van de constructie zorgt er verder voor dat er weinig onderhoud nodig is en bovendien kan de drempel voor inspectie boven water getild worden waardoor de scheepvaart niet gehinderd wordt.

6) **De afdichting**

Net als bij de segmentdeur is ook bij de klep de afdichting het grootste probleem. Doordat de klep langs de kolkwand glijdt en niet in een uitsparing vrij omhoog beweegt, is een rubber afdichtingsprofiel niet mogelijk. De oplossing moet gezocht worden in neopreen rollen die onder spanning aangedrukt worden of door net als bij de Oosterschelde dam Pekussen (PE) toe te passen. Het voordeel van dit materiaal is dat het een lage wrijvingscoëfficiënt heeft en daardoor makkelijker langs de kolkwand glijdt. Het probleem blijft dan nog de gladde afwerking van de kolkwand.

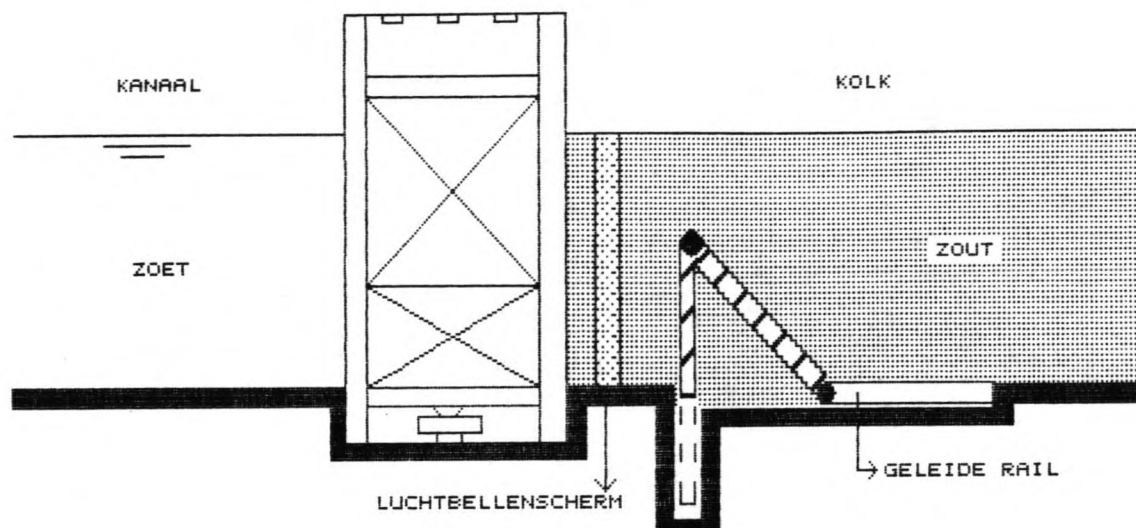
7) **De benodigde extra diepte onder de sluis kolk bodem**

De klep vereist slechts een kleine verdieping van de bodem, hetgeen veel voordelen biedt. Zo kunnen de spuirolen gewoon onder de sluis blijven liggen en is weinig extra grondverzet nodig. De bouwkosten kunnen hierdoor beperkt blijven.

Conclusie: De vorm en eenvoud van de constructie zijn grote voordelen. De afdichting en het vastzetten van de klep is een groot probleem. Door het water dat op de schuine drempel rust zal de klep willen doorbuigen. Bij het constructief uitwerken van de klep zal dan ook blijken dat de drempel dik moet worden om een te grote doorbuiging te voorkomen.

Schuif-klep constructie

De schuif-klep constructie is een constructie die is samengesteld uit de hefschuif en de hefklep, die hiervoor zijn behandeld. Enkele van de nadelen die de afzonderlijke constructies hebben kunnen zo opgelost. Hoe de constructie er uitziet is in de onderstaande figuur te zien.



figuur 10: De schuif-klep constructie

Hoe voldoet deze constructie nu aan de gestelde eisen:

- 1) **De plaats van de drempel**
De schuif-klep constructie komt voor de drempel te liggen. De constructie vraagt echter wel enige ruimte, net als bij de klep.
- 2) **De plaats van het luchtbellenscherm**
Het luchtbellenscherm komt tussen de deur en de drempel.
- 3) **De vorm van de drempel**
De drempel heeft een diehoekige vorm en is aan de achterkant afgesloten door de schuif.
- 4) **De betrouwbaarheid**
 - a) Bij een aanvaring kan de sluis voorlopig in bedrijf blijven. Wanneer de drempel echter gerepareerd moet worden, dient de kolk droog gezet te worden. Door de ingewikkelde constructie, met twee scharnieren en de geleiding van het schuifgedeelte in de uitsparing, zal bij een aanvaring veel beschadigen en kost reparatie veel geld en tijd. De gevolgen zijn dus groot.
 - b) De hoogte instelling kan net zo nauwkeurig gebeuren als bij de hefschuif.
 - c) De schuif-klep constructie kan op dezelfde manier vastgezet worden als de hefschuif, dat wil zeggen met behulp van persen de schuif in de uitsparing klem drukken. Het voordeel van deze constructie is dat de achterkant dicht is, waardoor er geen golven onder de constructie kunnen slaan.

- 5) **Het onderhoud**
De constructie vraagt nogal veel onderhoud door de vele draaiende delen die nog onder water zitten ook. Uit onderhoudstechnisch oogpunt gezien is het dan ook een slechte constructie.
- 6) **De afdichting**
De afdichting van deze constructie kan op dezelfde manier plaatsvinden als bij de hefschuif. De schuif wordt met hydraulische persen tegen een rubberprofiel aangedrukt. Er kan dan wel water langs het schuine vlak (klep) stromen maar dat hindert niet omdat het uiteindelijk tegen de schuif aan blijft staan.
- 7) **De extra benodigde diepte onder de sluiskolk bodem**
Onder de sluiskolk bodem is een extra diepte van 10 m nodig. Hierin is niet de extra diepte berekend die nodig is voor de persen onder de schuif. Voor de klep is ook nog een kleine verdieping nodig.

Conclusie: De schuif-klep constructie biedt voordelen t.o.v. de afzonderlijke klep en schuif constructie in de vorm van de afdichting, plaatsvastheid en vorm. Het grote nadeel van deze samengestelde constructie zijn echter de vele draaiende delen en de complexiteit van de constructie. Hierdoor zullen de bouw- en onderhoudskosten van deze constructie veel hoger liggen dan bij de afzonderlijke constructies.

§ 1.4 Overweging en uiteindelijke keuze

Nu de 4 mogelijke oplossingsstypen nader bekeken zijn kan een keuze gemaakt worden.

De segmentdeur en de hefbalk vallen af om 3 redenen:

- 1) Het luchtbellenscherm ligt achter de deur terwijl deze voor de deur veel effectiever is.
- 2) Bij een aanvaring met de drempel is de deur ook kapot en daardoor de hele sluis buiten gebruik.
- 3) Er is een grootte extra diepte onder de sluis nodig (23 m.).

De constructies die nu nog over zijn doen alleen dienst als drempel. Deze 4 constructies kunnen allen in de sluiskolk gebouwd worden en het luchtbellenscherm kan dan tussen de drempel en de deur aangelegd worden. Van deze 4 constructies vallen uiteindelijk nog de segmentdrempel en de schuif-klep constructie af.

De laatste valt af vanwege de gecompliceerdheid van de constructie. Hierdoor zijn de bouw- en onderhoudskosten veel te hoog. De redenen dat de segmentdrempel afvalt zijn:

- 1) De constructie heeft een niet al te hoge nauwkeurigheid bij de hoogte instelling en daardoor is de kans groot dat de drempel aangevaren wordt.
- 2) De aandrijving m.b.v. een kettingbaan of met contra gewichten vraagt evenals het scharnier dat onder water zit veel onderhoud.
- 3) De afdichting van de drempel is moeilijk.

Er zijn nu nog 2 mogelijke oplossingsstypen over namelijk de hefschuif en de hefklep. Om een goede afweging tussen deze 2

oplossingen te doen, worden de voor- en nadelen van de hefschuif t.o.v. de hefklep op een rijtje gezet.

voordelen: 1) nauwkeurigere hoogte instelling mogelijk
 2) beter vast te zetten wanneer eenmaal op hoogte
 3) golven kunnen niet onder de constructie slaan bij invaren van schepen
 4) eenvoudig te onderhouden door droogzetten van de draaiende delen
 5) goed en eenvoudig af te dichten

nadelen: 1) geen driehoekige vorm
 2) grotere haakweerstand voor vallende ankers
 3) bij schade moeilijker te repareren
 4) grotere extra diepte onder de sluiskolk bodem nodig

Een weloverwogen keuze tussen deze 2 typen is moeilijk te maken. Hiervoor zouden beide typen nader uitgewerkt moeten worden en vooral de bouw- en onderhoudskosten van de beide constructies vergeleken moeten worden. Dit zou veel te ver voeren voor deze studie vandaar dat is besloten de hefschuif nader te onderzoeken.

De uiteindelijke keuze is dus gevallen op de hefschuif.

Tot slot wordt in het onderstaande diagram, voor de duidelijkheid, van elke constructie aangegeven hoe de constructie aan de gestelde afwegingscriteria voldoet. Bij de plaats van de drempel, de plaats van het luchtbellenscherm en de vorm van de drempel betekent ++ dat de constructie aan de genoemde voorkeur voldoet.

	SEGMENTDEUR	SEGMENTDREMPEL	HEFBALK	HEFSCHUIF	HEFKLEP	SCHUIF/KLEP
PLAATS DREMPEL	+	++	+	++	++	++
PLAATS LUCHTBELLENSCHERM	-	+	-	++	+	+
VORM DREMPEL	++	++	+/-	+/-	++	++
BETROUWBAARHEID	--	-	-	+	+/-	+
ONDERHOUD	-	-	+	+	+/-	--
AFDICHTING	--	--	+	+	--	+
EXTRA DIEPTE	--	-	--	-	++	-
++ VOLDOET GOED + VOLDOET REDELIJK +/- VOLDOET MATIG - VOLDOET SLECHT -- VOLDOET ZEER SLECHT						

Hoofdstuk 2 De uitvoering van de beweegbare drempel

§ 2.1 Inleiding

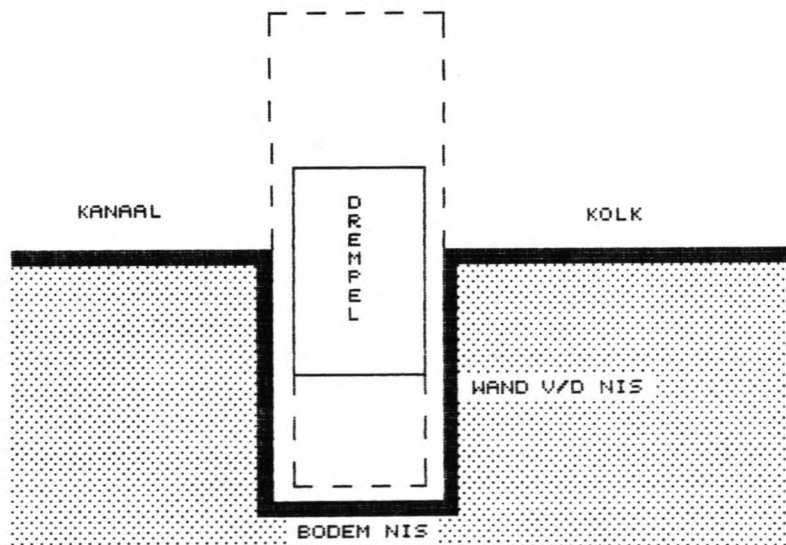
In dit hoofdstuk zal nader op de uitvoering van de beweegbare drempel worden ingegaan. Dit gebeurt aan de hand van de drie levensstadia van de drempel.

Deze 3 levensstadia zijn: 1) de bouwfase
2) de gebruiksfase
3) de onderhoudsfase

Alle drie de fasen hebben hun eigen specifieke kenmerken en problemen. In dit hoofdstuk zullen vooral de problemen aan de orde komen. Voor de bouw van een nieuw type constructie dienen deze problemen opgelost te worden. Meestal bestaan de oplossingen uit meerdere varianten en zal een keuze gemaakt moeten worden. In bijlage 3 zijn enkele schetsen opgenomen die de onderstaande tekst verduidelijken. In deze tekeningen is te zien hoe de drempel constructie eruit komt te zien.

§ 2.2 De bouwfase

Voor de beweegbare drempel is een hoogte vastgesteld van 10 meter. Dit betekent dat onder de kolk bodem een nis nodig is van + 14 meter waarin de drempel kan wegzakken. Deze nis kan net als de kolk in beton worden uitgevoerd.



figuur 1: de nis in de kolkbodem

Voor het maken van de nis moet een flink stuk grondwerk verricht worden. Op de wand van de nis staat, als belasting, de horizontale gronddruk. De wand dient hierop gedimensioneerd te worden. De bouwwijze van de nis en de manier waarop het grondwerk verricht wordt, wordt hier verder niet behandeld.

In deze paragraaf zal verder alleen nog naar de beweegbare drempel worden gekeken en worden de aanpassingen aan de kolk buiten beschouwing gelaten.

De fabricage en de plaatsing van de beweegbare drempel

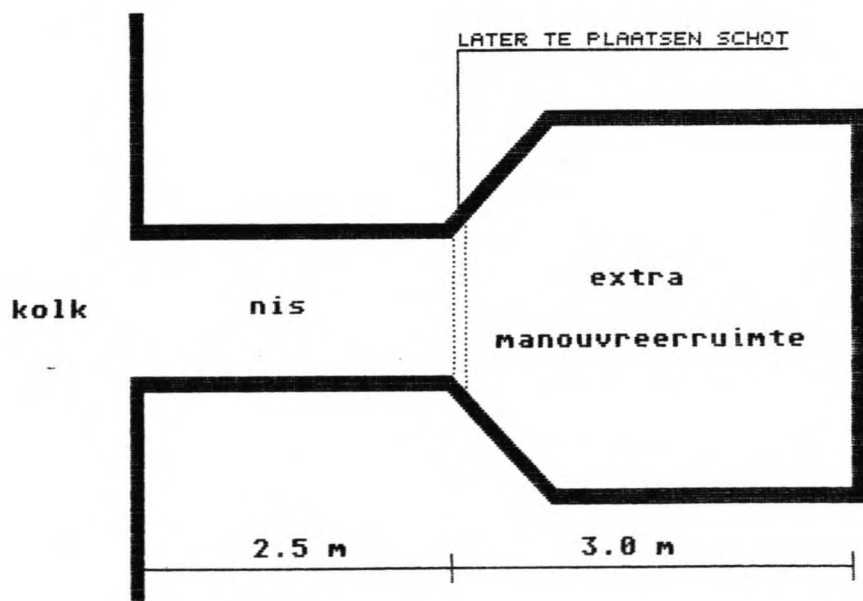
De eerste vraag die beantwoord dient te worden is hoe wordt de beweegbare drempel nu gemaakt. Hiervoor zijn twee mogelijkheden namelijk de drempel wordt in een fabriek gemaakt of de drempel wordt volledig op de bouwplaats gemaakt.

Bij het maken van de drempel in de fabriek moet de drempel over water aangevoerd worden omdat vervoer van de 88 m lange en 13 m. hoge drempel over de weg niet mogelijk is. De drempel kan dan, net als bij schepen en roldeuren gebeurt, via een langshelling te water worden gelaten. Is de plaats van fabricage ver van de sluis vandaan dan dient de drempel op een bak naar de sluis getransporteerd te worden. Het zelf drijvend maken van de drempel en door sleepboten naar de sluis vervoeren over grote afstand is niet aan te bevelen. Wanneer de drempel ter plaatse is gearriveerd moet deze in de sluis aangebracht worden. Dit aanbrengen kan op twee manieren gebeuren:

- 1) invaren
- 2) m.b.v. één of meerdere bokken in de kolk hijsen

ad 1: De beweegbare drempel zou dan in verticale positie drijvend gemaakt moeten worden. Dit drijvend maken is niet zo'n groot probleem. Doordat in de drempel luchtkisten zijn aangebracht, om de krachten op het bewegingswerk te verkleinen, hoeven er nog maar een paar drijfkisten aangebracht te worden om de drempel op te kunnen drijven.

De beweegbare drempel kan dan met behulp van sleepboten de kolk in worden gevaren waarna het geheel met behulp van lieren in de juiste positie moet worden gebracht. Daar de drempel breder is dan de breedte van de kolk moet de nis aan 1 zijde van de kolk wand verdiept en verbreed worden om voldoende manoeuvreer ruimte te verkrijgen.



figuur 2: de vergrote nis in de kolkwand t.b.v. van de manoeuvreer ruimte voor de drempel

De uiteindelijke wand van de nis (het gedeelte van 2.5 meter) moet naar achteren geplaatst worden om een grotere

manoeuvreer ruimte te krijgen. Om de drempel goed te kunnen geleiden is het van belang om deze verbreding na plaatsing van de drempel weer te versmallen. Hiervoor dient op de wand van 2.5 meter een goede geleiding aangebracht te worden.

Tevens moet na plaatsing van de drempel het vergrote gedeelte van de nis (het gedeelte van 3 meter) afgesloten worden ten behoeve van de geleiding in de dwarsrichting van de drempel. Het in de tekening aangegeven stalen schot is een mogelijke oplossing, doch de krachten op dit schot worden erg groot. Het is eenvoudiger om op de wand van de nis zelf een zijgeleiding aan te brengen. Deze zou dan wanneer de drempel voor onderhoud of reparatie uitgevaren dient te worden verwijderd kunnen worden.

ad 2: Wanneer de drempel in de kolk gehesen wordt is er een zware kraan nodig om de drempel vanaf de bak, waarop de drempel vervoerd is, naar de sluis te brengen en boven de kolkwand uit te liften. Dit betekent dat deze kraan de drempel zo'n 14 meter omhoog moet tillen. Nadat de drempel in de kolk is gehangen moet het bewegingswerk van de drempel aangebracht en bevestigd worden. Voor de bevestiging van het bewegingswerk aan de drempel moet de drempel weer boven water getild worden en dient de bok dus weer aanwezig te zijn. Het is bovendien erg moeilijk om de drempel met behulp van de kraan goed af te zinken. Het grote voordeel van hijsen boven invaren is dat er geen vergrote nis in de kolkwand nodig is.

Bij de tweede mogelijkheid wordt de beweegbare drempel volledig in de sluis kolk in elkaar gezet. Dit kan gebeuren door eerst het sluishoofd aan de kanaalzijde te maken en daarna het sluishoofd aan de Westerschelde zijde. Ten tijde van de bouw van het sluishoofd aan de Westerschelde zijde kan dan de drempel in de nog droog staande kolk gebouwd worden. Voorwaarde is wel dat de nis in de kolk bodem voldoende ruimte biedt om de drempel in elkaar te zetten. In § 2.4, over het onderhoud van de drempel, zal nog op dit punt worden teruggekomen. De horizontale liggers die in de drempel zitten en 75 meter lang zijn kunnen net zoals hierboven beschreven op bakken over water worden aangevoerd. Het grote voordeel van deze oplossing is dat het bewegingswerk boven water kan worden aangekoppeld en dat de geleiding van de drempel eventueel in het droge stadium kan worden gecontroleerd. Het bewegingswerk krijgt dan echter wel het volledige gewicht van de drempel te dragen wat in de praktijk niet zal voorkomen.

Het bovenstaande in ogen schouw nemende is de beste oplossing de beweegbare drempel in de sluis kolk te maken. Er hoeven nu geen aanpassingen van de nis plaats te vinden en vervoer van deze grote drempel over water is dan ook niet nodig. Hierdoor kunnen veel extra kosten worden vermeden.

De constructie van de drempel

In het bovenstaande is al menigmaal over de drempel constructie gesproken maar hoe komt deze er nu globaal uit te zien. De drempel heeft een overspanning 85 meter. Door de krachten¹ die loodrecht op deze overspanningsrichting staan zal de drempel doorbuigen. Deze doorbuiging mag niet te groot worden omdat de drempel dan

¹zie bijlage 2

vast kan komen te zitten. Een globale dimensionering, waarbij is uitgegaan van een doorbuiging van 7 cm, gaf aan dat dan voor een samengestelde constructie gekozen moet worden. Omdat het voor deze studie te ver voerde de gehele drempel te ontwerpen wordt hieronder volstaan met een korte beschrijving hoe de constructie er globaal uit komt te zien.

Aan de kanaalzijde bevindt zich een balkrooster waarop een staalplaat is gelast. Zo'n balkrooster bestaat uit horizontale liggers (regels) en verticale stijlen die aan elkaar gelast zijn. De op het balkrooster aangebrachte staalplaat dient voor de afdichting van de drempel. Op deze staalplaat worden dan in horizontale richting houten balken aangebracht die voorzien zijn van een dunne PE² laag. Deze balken dienen voor de afdichting van de drempel tegen de nis. Anders zou er water onder de drempel door kunnen stromen. Achter elke houten balk bevindt zich een stalen ligger van het balkrooster die de kracht weer afdraagt naar verticale balken die de begrenzing vormen van de drempel aan de kolkzijde. Op de gedeelten van de drempel die zich aan beide zijden in de nis bevinden wordt een verticale houten balk aangebracht. Deze balk, eveneens aan de bovenzijde voorzien van een laag PE, dient voor de geleiding van de drempel in verticale richting. In de figuren 2 en 3 van bijlage 3 is het bovenstaande weergegeven.

Daar de drempel aan de achterzijde open is gehouden zou er nog over gedacht kunnen worden om hier een golfbreker aan te brengen. Dit zou gerealiseerd kunnen worden door in de drempel, achter elkaar, verschillende platen aan te brengen met ronde gaten erin. De golven worden hierdoor uitgedempt, waardoor het verlies van zoutwater bij overvarende schepen beperkt wordt en bovendien de krachten op de drempel ten gevolge van deze golven verkleind worden.

Om de krachten op het bewegingswerk dat de constructie omhoog en omlaag moet bewegen te verkleinen worden in de constructie luchtkisten aangebracht. Om te bepalen hoe groot het volume aan luchtkisten in de constructie moet zijn moet de drempel eerst gedimensioneerd worden, zodat het gewicht van de constructie bepaald kan worden. Uit de globale dimensionering bleek dat de constructie zo'n 600.000 kg zou gaan wegen. Uit de onderstaande berekening blijkt nu dat wanneer 1/3 van het volume van de drempel door luchtkisten wordt vervangen de drempel volledig kan worden opgedreven.

De berekening:

$$\begin{aligned} S_B * V_{LUCHT} &= 600.000 \\ V_{LUCHT} &= 600.000/1020 = 588 \text{ m}^3 \\ \\ V_{DREMPEL} &= 75*10*2.5 = 1875 \text{ m}^3 \\ \\ V_{LUCHT}/V_{DREMPEL} &= 0.31 = 31 \% \end{aligned}$$

Het is echter niet wenselijk om de constructie geheel te laten opdrijven. Beter is het de constructie enig overgewicht te laten houden zodat de belasting op het bewegingswerk niet kan omkeren. Dit omkeren van de belasting zou bijvoorbeeld kunnen

²PE is een zeer slijtvaste en veerkrachtige ultra hoogmoleculair lagedruk polyetheen. In bijlage 3 is een tabel met gegevens over dit materiaal opgenomen.

plaatsvinden bij het over de drempel heen varen van schepen. Hierdoor ontstaat boven de drempel een onderdruk en wordt de drempel omhoog gezogen.

De interne vormgeving van de beweegbare drempel is nu bekend.

Het aandrijfmechanisme

Hierboven werd al even gesproken over het bewegingswerk van de drempel, hier zal nu verder op worden ingegaan. In hoofdstuk 1 zijn drie aandrijfmechanismen genoemd namelijk:

- 1) aandrijving met kabels
- 2) aandrijving d.m.v. een tandbaan
- 3) aandrijving met hydraulische persen

Hieronder zal op alle drie de oplossingen nader worden ingegaan.

- ad 1: Bij dit type wordt de gehele constructie door kabels aan de beide uiteinden omhoog getrokken. Om het aandrijfmechanisme niet te zwaar te belasten kunnen aan de andere zijde van de kabel contra gewichten gehangen worden. Doordat de drempel met behulp van luchtkisten nog maar een klein overgewicht heeft, zijn in dit geval contra gewichten niet nodig. Een nadeel van deze oplossing is dat de constructie moeilijk plaatsvast te maken is doordat de kabels een op en neer gaande beweging van de drempel toestaan. Bovendien kunnen kabels beter niet in zoutwater worden toegepast.
- ad 2: De aandrijving met behulp van een tandbaan bestaat uit een aan de drempel bevestigde trekstang die door een ketting waarin een tandwiel loopt omhoog wordt bewogen. Dit tandwiel dient boven water gehouden te worden vandaar de trekstang aan de drempel. Op de kade dienen torens geplaatst te worden om het tandwiel in op te hangen. Deze torens dienen minimaal 10 meter van de kolkwand te staan om aanvaren door schepen te voorkomen. Deze torens vormen visuele obstakels. Bovendien is aan het geheel nogal wat onderhoud nodig, zoals smering van de ketting, waardoor de oplossing te duur wordt. Dit aandrijfmechanisme valt dan ook zonder meer af (zie figuur 4 in bijlage 3).
- ad 3: Bij de aandrijving met behulp van persen wordt aan iedere zijde in de kolkwand een hydraulische pers geplaatst. De pers bevindt zich aan de bovenkant van de drempel en kan zo gemakkelijk benaderd worden voor onderhoud. De persen dienen zowel aan de drempel als aan de bovenzijde van de schacht scharnierend verbonden te zijn in verband met de zijdelingse verplaatsing van de drempel voor het bewerkstelligen van een goede afdichting (zie ook de afdichting). De persen moeten de drempel over een afstand van 10 meter kunnen verplaatsen. Het beste is hiervoor niet een pers met een zeer lange slag te kiezen maar een intermitterende pers. Met een intermitterende pers kan steeds een slag van 1 meter of minder worden gemaakt. Steeds als een slag van 1 meter voltooid is, moet de drempel met behulp van pennen vastgezet worden. De pers zakt daarna in tot z'n uitgangspositie en zet zich met pennen vast. De pennen waarmee het drempel gedeelte dan vastzat worden losgemaakt en de drempel wordt dan door de pers opnieuw 1 meter naar beneden gedrukt. Dit proces blijft zich herhalen totdat de drempel in z'n juiste positie

is gebracht (zie figuur 5 in bijlage 3). De maximaal toelaatbare oliedruk in de pers is 15 N/mm². Door de toepassing van luchtkisten in de drempel is het overgewicht klein en zijn de krachten op de persen dus zeer gering.

Voorkomen moet worden dat de drempel aan de persen blijft hangen gedurende langere tijd. Hierdoor zou er continu druk op de persen blijven staan wat op den duur lekken van de pakkingen tot gevolg kan hebben. Hierop wordt nader ingegaan in § 2.3 de gebruiksfase.

Ook bij deze constructie dienen op de kade torens te komen waarin de trekstangen van de drempel omhoog kunnen bewegen. Deze torens kunnen echter veel lichter gebouwd worden omdat het bewegingswerk er niet aan opgehangen hoeft te worden. De pers kan namelijk in de nis van de kolkwand worden aangebracht (zie figuur 2 in bijlage 3). Doordat de torens lichter gebouwd kunnen worden vormen ze een mindere visuele belemmering dan de torens die bij de aandrijving met behulp van een tandbaan nodig zijn. De torens moeten echter wel zo'n 7 tot 10 meter uit de kolk staan, wat tot gevolg heeft dat de drempel 68+20= 88 meter lang moet worden.

De keuze voor de aandrijving is gevallen op de persen. Deze oplossing vraagt minder zware torens op de kade en bovendien is het geheel wat eenvoudiger te onderhouden dan de andere twee varianten.

De afdichting

Voor deze beweegbare drempel is de afdichting van groot belang. Er staat immers over de drempel een drukverschil ten gevolge van het dichtheidsverschil tussen het zoute water in de kolk en het zoete water op het kanaal. Bij een slechte afdichting zou er water langs de drempel gaan stromen en daardoor zou het rendement van de drempel afnemen. Voor de afdichting van de beweegbare drempel zijn verschillende mogelijkheden:

- 1) afdichting m.b.v. een opblaasbaar rubberprofiel
- 2) afdichting met PE
- 3) afdichting m.b.v. rubberprofielen en hydraulische persen

ad 1: Bij een opblaasbaar rubberprofiel is het noodzakelijk een goede geleiding te hebben zodat het rubber niet tegen de wand komt. Door de hoge wrijvingscoëfficiënt van rubber op staal wordt dan het bewegingswerk zwaarder belast en bovendien schuurt het rubber kapot. Het rubber wordt in de hoogte richting van de kolk op de zijkanten van de nis aangebracht en in de breedte richting van de kolk aan de bovenzijde van de nis gemonteerd. De zijde van de nis waar het rubber gemonteerd dient te worden is de kanaalzijde. Door het rubber op de nis te plaatsen en niet op de drempel hoeven de persluchtleidingen niet de bewegingen van de drempel te volgen. Hierdoor wordt de kans op beschadiging van deze leidingen minder groot. Op de wand van de nis moet een plaat ingebetonned worden om het rubberprofiel op te bevestigen.

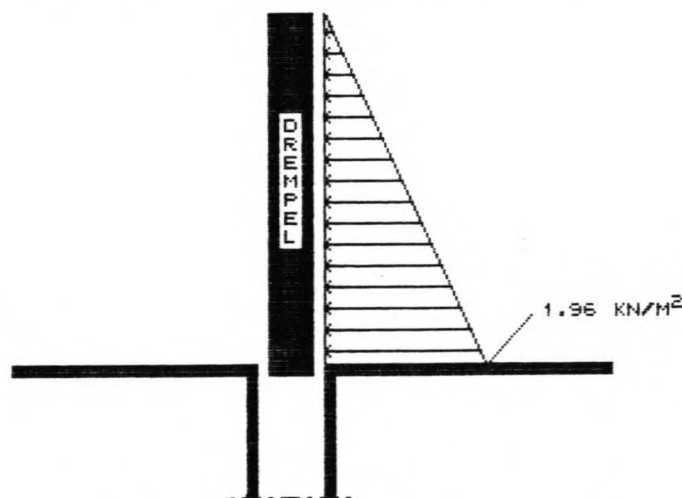
Om het profiel te kunnen opblazen moet een voorziening worden getroffen voor de aan- en afvoer van perslucht. Om te zorgen dat het profiel na ontluichten z'n oorspronkelijke vorm weer aanneemt moet de vrije ruimte tussen de uitgangsvorm van het profiel en de beplating op de drempel

opgevuld worden met kunststof. In de kunststof ondersteuning worden de luchtkanalen zodanig aangebracht dat gelijkmatige toe- en afvoer van perslucht kan plaatsvinden.

ad 2: Bij een afdichting met PE op houten balken hoeft geen aparte geleiding in de hoogte richting aangebracht te worden omdat dit door het PE kan gebeuren. PE heeft een zeer lage wrijvingscoëfficiënt waardoor het bewegingswerk nauwelijks zwaarder wordt belast dan bij geleiding van de drempel met behulp van wielletjes op een geleide rail. De slijtage ten gevolge van de wrijving is erg laag. Om een goede afdichting te verkrijgen dient het PE dat op de houten balken is aangebracht tegen de nis in de kolkwand te worden aangedrukt. Hiervoor zijn persen nodig die in de nis worden geplaatst (zie figuur 2 en 3 in bijlage 3). In bijlage 3 is tevens een tabel opgenomen waarin de wrijvingscoëfficiënten van verschillende materialen te zien is.

ad 3: Bij een afdichting met rubberprofielen die met behulp van hydraulische persen kan worden dichtgedrukt wordt een zeer betrouwbare afdichting verkregen. Het nadeel van deze oplossing is echter dat er een aparte geleiding voor de drempel gemaakt moet worden en dat het rubber makkelijk kapot gedrukt kan worden wanneer er grote krachten opkomen. Rubber heeft een grote wrijvingscoëfficiënt en gaat daarom kapot wanneer het tevens als geleiding moet dienen. Door op het rubber een kunststof strip aan te brengen kan het rubber voor de geleiding zorgen. Het kapotdrukken kan worden voorkomen door op de drempel aanslagen aan te brengen.

Voor de beweegbare drempel is gekozen voor een afdichting met behulp van PE op houten balken. Deze afdichting dient ook de krachtsoverdracht van de drempel naar de kolk te verzorgen. In het onderstaande zal nader op deze krachten ingegaan worden. Wanneer de drempel in de bovenste positie is en de uitwisseling heeft plaatsgevonden staat er een drukverschil over de drempel. Dit drukverschil ziet er als volgt uit:



figuur 3: het drukverschil over de drempel in de eindsituatie

Uit bovenstaand schema blijkt dat de druk aan de bovenzijde nul

is. De kracht op de afdichting is hier dus erg klein. Dat er wel een kracht op de afdichting staat komt doordat de constructie enige stijfheid bezit. Vaart nu echter een schip de kolk in dan loopt voor het schip een golf uit die tegen de drempel opbotst. De drempel zal hierdoor aan de bovenzijde willen loskomen. Door het toepassen van horizontale persen in de hoogte richting en de constructie voldoende stijfheid te geven kan dit wijken van de drempel zo veel mogelijk worden voorkomen.

Hoe groot zijn de krachten die door de afdichting opgenomen moeten worden?

In werkelijkheid is de drempel aan drie zijden opgelegd namelijk aan de beide zijkanten en aan de onderzijde. Het berekenen van de krachten is dan echter niet zo eenvoudig vandaar dat wordt uitgegaan van volledige afdracht van de krachten naar de zijkant. De druk onderin de drempel is 1.96 kN/m^2 , de kracht op één zijkant bedraagt dan $1.96 * (\frac{1}{2} * 75) = 73.5 \text{ kN/m} = 73.5 \text{ N/mm}$.

Op kunststof afdichtingen mag een maximale spanning van 10 N/mm^2 komen te staan. Bij een afdichting met een breedte van 10 mm wordt al aan deze eis voldaan (met een veiligheidsfactor van 1.5). Door uit te gaan van een volledige krachtafdracht op de zijkant is al enige veiligheid ingebouwd zodat de afdichting aan de zijkant zeker goed te realiseren is. Wat voorkomen moet worden is dat er piekspanningen optreden doordat de constructie aan de zijkanten te slap is. In dat geval moeten er aanslagen op de zijkanten van de drempel worden gemonteerd, die voorkomen dat de afdichtingsprofielen kapot worden gedrukt.

Uit het bovenstaande blijkt wel dat de vervorming van de drempel een erg belangrijke rol speelt. Deze vervorming treedt vooral op in de breedte richting, met de 88 meter overspanning. De drempel zal, ten gevolge van de drukken, in het midden een maximale doorbuiging vertonen. Het is dus duidelijk dat de drempel in de breedte richting geen gelijke drukken op de afdichtingsprofielen zal geven. Dit kan voor een deel opgelost worden door de bodem nis niet volledig recht te maken maar een zekere kromming mee te geven. Deze kromming brengt echter twee problemen met zich mee. Ten eerste kan door deze kromming, wanneer de drempel naar beneden staat, makkelijk vuil in de bodemnis dringen. Hierdoor moet de vuil afvoer meer werk verrichten. Het tweede probleem is dat de drempel niet in alle standen even ver doorbuigt. Het drukverschil wordt door de kromming dus wel minder groot maar zeker niet opgeheven. De beste oplossing zou dan ook zijn de drempel oneindig stijf te maken. Dit is praktisch niet mogelijk vandaar dat de eis wordt de constructie zeer stijf te maken. Hierdoor wordt de constructie wel een stuk zwaarder. Bovendien kan bij de dimensionering van de drempel een randvoorwaarde worden opgegeven voor wat betreft de maximale doorbuiging. Om de drempel aan de onderzijde verder goed af te dichten kunnen in de breedte richting een stuk of vijf persen worden aangebracht. Deze persen kunnen dan tevens dienen om de drempel plaatsvast te maken en wordt het op en neer bewegen van de drempel ten gevolge van overvarende schepen voorkomen.

Nu nog iets over de geleiding van de drempel. De geleiding van de drempel in verticale (hoogte) richting vindt plaats door de afdichting maar ook in horizontale richting moet er geleiding plaatsvinden. Dit kan met behulp van een geleide sloop die op de drempel wordt aangebracht. Deze sloop beweegt dan langs de zijkant van de nis. In principe is een sloop aan de bovenzijde van de drempel voldoende om te voorkomen dat de drempel in de nis heen en weer gaat bewegen.

Het luchtbellenscherm

Aan de kanaalzijde van de kolk dient net als aan de Westerschelde zijde een luchtbellenscherm aangebracht te worden. De beste plaats voor dit luchtbellenscherm is bovenop de drempel. De effectiviteit van het luchtbellenscherm, dit is de mate waarin het luchtbellenscherm de zout-zoet uitwisseling verhindert, neemt hierdoor namelijk toe. In omhoog staande positie hoeft minder lucht omhoog geblazen te worden omdat de te bestrijken waterhoogte veel minder is. Een nadeel is echter dat de persluchtleidingen nu continu met de drempel mee omhoog en omlaag moeten bewegen. Hierdoor kunnen op den duur vermoeiingsscheuren in de leidingen optreden. Hiervoor zou als oplossing gekozen kunnen worden voor een door een veer aangedreven katrol waarop de leiding gerold kan worden. Wanneer voor dit probleem geen goede oplossing te vinden is moet het luchtbellenscherm tussen de deur aan de kanaalzijde en de drempel aangebracht worden. De uitvoering van het luchtbellenscherm kan verder identiek zijn aan het luchtbellenscherm dat aan de Westerschelde zijde zit.

De afvoer van het vuil uit de bodemnis

Tot slot van deze paragraaf nog iets over de afvoer van het vuil dat zich in de nis verzameld. Dit vuil bestaat voornamelijk uit zand en grind maar kan ook grover vuil bevatten. Dit vuil moet dagelijks onder de drempel verwijderd worden omdat anders verdichting van het slib optreedt en het dan steeds moeilijker wordt het te verwijderen. Het water wordt namelijk uit het slib geperst en het slib wordt dan een vaste koek die alleen nog maar met een grijper te verwijderen is. Om het vuil dagelijks weg te halen moet een kettingschraper onder in de nis aangebracht worden. Met deze schraper kan dan 1 maal per dag de nis schoon gemaakt worden. Het slib zou dan opgevangen moeten worden in bakken. Deze bakken moeten dan periodiek naar boven gehaald worden om geleegd te worden. Het grootste probleem vormt echter het onderhoud van de schraper, deze zit immers geheel onderwater en is dus moeilijk bereikbaar. Een oplossing voor dit probleem moet nog bestudeerd worden.

§ 2.3 De gebruiksfase

In de gebruiksfase speelt het woord betrouwbaarheid een belangrijke rol. De drempel moet te allen tijde betrouwbaar zijn zowel voor wat betreft de werking als voor wat betreft de hoogte instelling.

Eerst zal nader op de betrouwbaarheid van de werking van de drempel worden ingegaan. Wanneer de drempel in omlaag staande situatie niet werkt, is dit niet zo'n groot probleem. Maar wanneer de drempel in omhoog staande situatie niet naar beneden wil, is de sluis gestremd voor alle schepen die dieper liggen dan de hoogte waarop de drempel zich bevindt. Het, ten gevolge van een storing, niet omlaag kunnen bewegen van een drempel moet voorkomen worden. Wat voor storingen kunnen nu zoal optreden?

- 1) één van de hydraulische persen werkt niet
- 2) de drempel zit vast:
 - a) de geleiding zit vast
 - b) de horizontale persen functioneren niet
 - c) de drempel zit scheef
- 3) één of meerdere luchtkisten zijn kapot
- 4) vuil onder de drempel

Het laatste punt is hierboven al uitvoerig besproken en zal hier dan ook verder niet behandeld worden.

- ad 1: De pers aan een van de uiteinden van de drempel zit vast. De drempel moet over grote afstand (10 m.) verplaatst worden en daarvoor wordt een intermitterende pers gebruikt. Deze kan op een gegeven moment kapot gaan. Doordat de pers aan de bovenzijde van de drempel zit is deze er eenvoudig af te halen en zou vervangen kunnen worden door een reserve pers. Hiervoor is het wel nodig dat de drempel vastgezet wordt omdat deze anders scheef wil zakken en dan klem komt te zitten. Het vastzetten van de drempel kan met behulp van de pennen, die gebruikt worden om de drempel mee vast te zetten tijdens het op- en neer bewegen. De pers kan daarna losgekoppeld en vervangen worden (zie figuur 5 bijlage 3).
- ad 2: a) De geleiding vindt plaats via PE profielen op de drempel. Deze zullen op den duur slijtage gaan vertonen en daardoor kan het voorkomen dat op een gegeven moment de drempel niet meer op en neer wil bewegen. Door de slijtage neemt de wrijving namelijk toe en de persen kunnen dan de weerstand niet meer aan. Dit kan worden voorkomen door op tijd onderhoud aan de drempel te verrichten.
- b) De horizontale persen bevinden zich in een schacht aan de zijkant en aan de onderzijde van de kolk. De persen aan de onderzijde zijn te bereiken via de kabeltunnel. Deze kabeltunnel onder de sluis kan worden bereikt door middel van een lift die in een schacht aan de zijkant van de kolk zit. In deze schacht kunnen dan de persen in de hoogte richting worden aangebracht zodat ook deze persen makkelijk te vervangen zijn. Door aan de voorzijde van de persen een harmonika constructie te maken worden de persen beschermd tegen het zoute water. Tevens zorgt deze harmonika constructie voor een afdichting als de pers voor onderhoud of reparatie verwijderd is.
- c) Het scheef omhoog of omlaag bewegen kan alleen optreden als een van de beide persen niet goed werkt. Door de geleide sloffen aan de bovenzijde van de drempel zal de drempel hiervan echter weinig problemen ondervinden. Bovendien kan er een beveiliging in de intermitterende pers worden ingebouwd zodat deze pas aan z'n volgende stap begint als aan de andere zijde de pennen ook in dezelfde positie zijn aangebracht.
- ad 3: Indien een of meerdere luchtkisten kapot zijn wordt het opdrijvend vermogen van de drempel verkleind. De persen zouden hierop berekend moeten zijn. Dus indien 1 luchtkist kapot is zou de drempel gewoon verder moeten kunnen functioneren.

Het tweede punt voor wat betreft de betrouwbaarheid is de hoogte instelling. Het is belangrijk dat de hoogte binnen een zekere nauwkeurigheid kan worden ingesteld. Hoe minder nauwkeurig de drempel kan worden ingesteld des te groter de kans op een aanvaring is en dus hoe lager de betrouwbaarheid van de drempel wordt.

Een aanvaring van de drempel heeft grote gevolgen voor het sluisbedrijf. Door de aanvaring raakt de drempel beschadigd en zal gerepareerd moeten worden. Hiervoor zal de drempel uit de kolk

en naar een dok gevaren moeten worden. Behalve de drempel is de kans groot dat bij een aanvaring ook de nissen beschadigd raken en reparatie van de nissen betekent dat de sluis gedurende langere tijd buiten gebruik zal zijn. Uit het bovenstaande blijkt wel dat de kans dat de drempel wordt aangevaren zeer klein moet zijn en dus de hoogte instelling maar ook de plaatsvastheid van de drempel goed en nauwkeurig dient te zijn.

De plaatsvastheid van de drempel wordt gegarandeerd de pennen waarmee de drempel tijdens het op en neer bewegen kan worden vastgezet.

De nauwkeurigheid van de hoogte instelling is een iets groter probleem. Tussen het schip en de drempel is een ruimte van 1 à 2 meter de zogenaamde keel clearance. De gedachte is dan ook dat de drempel op een halve meter nauwkeurig ingesteld moet kunnen worden. Het beste is de hoogte bepaling van de drempel direkt van de drempel af te bepalen. Dit kan door te kijken in welk gat de pen zit. Om de drempel dus steeds op een halve meter nauwkeurig in te kunnen stellen moeten dus om de halve meter er gaten in de trekstangen zitten. De slag van de intermitterende pers hoeft dus maar een halve meter te zijn. Dit in tegenstelling tot wat in de vorige paragraaf werd aangenomen.

§ 2.4 De onderhoudsfase

Net zoals de deuren van de sluis zal ook de drempel onderhouden moeten worden. De regelmaat waarmee het onderhoud moet plaatsvinden en ook de tijd die met dit onderhoud gemoeid is, is afhankelijk van de complexiteit van de constructie. Hoe moeilijker de constructie in elkaar zit hoe moeilijker en gespecialiseerder het onderhoud wordt. Over de regelmaat waarmee onderhoud aan de drempel moet worden gepleegd is moeilijk iets te zeggen. Het belangrijkste voor het onderhoud is dat er zo weinig mogelijk draaiende en bewegende delen onder water zitten en dat de onderdelen goed en eenvoudig te bereiken zijn. Voor de drempel geldt dit niet voor alle onderdelen.

Voor het onderhoud moet de drempel uit de sluiskolk gehaald worden. Wanneer de drempel niet uit de sluiskolk gehaald zou worden, zou de sluis gedurende de onderhoudsperiode volledig gestremd zijn voor alle scheepvaart. Dit is niet toelaatbaar, zeker niet wanneer het onderhoud meerdere dagen gaat duren. In het huidige ontwerp waarbij de drempel in de droge sluiskolk is gemaakt is uitvaren van de drempel niet mogelijk. Hiervoor zijn de nissen te smal. De drempel die in de bodemnis vervaardigd is, zou ook in deze bodemnis onderhouden kunnen worden. Aan de bovenzijde van de drempel zou dan een soort dak aangebracht moeten worden met aan de onderzijde een rubberprofiel. Bij het in de nis weg zakken van de drempel komt dit rubberprofiel dan op de kolkbodem terecht en zorgt zo voor een afdichting. Hierna kan dan de nis drooggezet worden en kan met het onderhoud van de drempel begonnen worden. Het probleem is echter de bereikbaarheid van de bodemnis. Onderzocht zou moeten worden of deze bereikbaar is via de lift in de leidingkoker. Het maken van een deur om via de leidingkoker in de bodemnis te komen is waarschijnlijk niet mogelijk omdat de waterdruk op deze deur te hoog wordt (20 meter waterkolom). Naar een oplossing hiervoor dient nog een studie te worden verricht. Het onderhoud aan de kettingschraper, die voor de afvoer van het vuil uit de bodemnis zorgt, kan nu eveneens gebeuren. Door het droogzetten van de bodemnis kan hier goed bijgekomen worden.

Tot slot van deze paragraaf nog iets over het onderhoud van de persen. Deze persen zijn erg onderhoudsintensief. De persen waarmee de drempel op en neer kan worden bewogen moeten de drempel over grote afstand verplaatsen. Zoals hiervoor al gemeld kan daarvoor gebruik gemaakt worden van intermitterende persen. Bij het gebruik van dit soort persen moet de drempel wel steeds na elke slag van de pers vastgezet worden. Hiervoor zijn pennen nodig die in gaten schieten. Het is daarom aan te bevelen de drempel wanneer deze in positie is vast te zetten onafhankelijk van de persen zodat niet voortdurend druk op de pakkingen hoeft te blijven staan. De persen zijn verder goed te verwijderen en kunnen dus goed en eenvoudig onderhouden worden.

De persen die aan de onderzijde en de zijkant van de drempel zitten hebben maar een kleine slag. Hierdoor zijn ze minder kwetsbaar dan de verticale persen. Om aantasting van deze persen door zoutwater zoveel mogelijk tegen te gaan kan er rondom deze persen een elastische koker gemaakt worden (de eerder genoemde harmonika constructie). Deze kan dan wanneer de persen uitgedrukt worden gewoon meebewegen. De elastische koker zorgt bovendien voor de afdichting indien de pers verwijderd wordt. Verder zijn de persen via de leidingkoker en schacht eenvoudig te bereiken. Het onderhoud van deze persen levert dan ook geen problemen op.

Het laatste punt voor wat betreft het onderhoud is de afdichting gecombineerd met de geleiding. Door het toepassen van PE kan de wrijving zeer laag gehouden worden en daarmee ook de slijtage. Veel onderhoud aan de geleiding is er dan ook niet nodig. Alleen moet er wel voor gezorgd worden dat er niet al te veel vuil op het PE komt. Vooral zand verhoogt de wrijving en dus de slijtage.

Hoofdstuk 3 Concluisies en aanbevelingen

§ 3.1 Concluisies

Nadat in het eerste hoofdstuk gekozen was voor de hefschuif als beweegbare drempel, kon in het hoofdstuk 2 onderzocht worden hoe dit type drempel technisch te realiseren was. Hierbij bleek dat vaak meerdere oplossingen voor de problemen mogelijk waren, waarvan vaak maar 1 uiteindelijk aan de gestelde eisen voldeed. In deze paragraaf zullen de gekozen oplossingen nog een keer op een rijtje worden gezet.

Het eerste probleem waarop bij de analyse van de drempel werd gestoten was de plaats van de drempel. De bedoeling van de drempel is de zoutbelasting op het kanaal te verkleinen. Het is daarom ook duidelijk dat de drempel aan de kanaalzijde geplaatst diende te worden en wel in de sluiskolk zo dicht mogelijk bij de deur. Uit proeven is bekend dat het luchtbellenscherm, dat voor een verdere reductie van de zoutbelasting moet zorgen, het meest effectief is als deze op de drempel wordt aangebracht. Dit brengt echter het probleem met zich mee dat de persluchtleidingen dan, met de drempel mee, op en neer moeten bewegen. Uit dit oogpunt is het dan ook beter het luchtbellenscherm tussen de deur en de drempel aan te leggen.

Nadat de plaats van de drempel bekend was moest deze gemaakt en aangebracht worden. Het bleek dat de drempel het beste ter plaatse in de sluiskolk gebouwd kon worden. Transport van de drempel, met zijn grote afmetingen, over het water kon daarmee voorkomen worden. Bovendien zijn er geen zware kranen nodig om de drempel op z'n plaats te tillen.

Voor het op en neer bewegen van de drempel wordt gebruik gemaakt van intermitterende persen. Het voordeel van deze persen is dat ze slechts kleine stappen tegelijk maken waardoor de kans op kapot gaan van de persen kleiner is. Het nadeel is dat de drempel er langer over doet voordat deze in positie is. De voor deze intermitterende persen benodigde pennen, om de drempel op z'n plaats te houden als de pers zich terugbeweegt naar z'n oorspronkelijke positie, worden tevens gebruikt om de drempel vast te zetten wanneer deze in de juiste positie is gebracht. De hoogte instelling van de drempel vindt ook met deze pennen plaats. Deze pennen schieten namelijk in gaten en door nu het aantal gaten te tellen kan de hoogte op een halve meter nauwkeurig worden ingesteld, mits de gaten in de trekstangen om de halve meter worden aangebracht. Voor reductie van de krachten op de aandrijving dienen in de drempel luchtkisten ingebouwd te worden. De drempel krijgt hierdoor een beter opdrijvend vermogen, maar er dient wel enig overgewicht naar beneden te blijven. Anders kan de belasting bij het overvaren van schepen omkeren waardoor de persen en de pennen in twee richtingen belast worden, wat extra slijtage tot gevolg heeft.

Voor de afdichting is gekozen voor houten balken met daarop een laag PE. Deze PE laag heeft een zeer lage wrijvingscoëfficiënt en is bovendien zeer slijtvast. De geleiding van de drempel vindt ook door deze PE laag plaatsvinden. Over de hoogte worden in de breedte richting meerdere houten balken aangebracht waardoor de belasting gespreid kan worden. Daar de drempel een breedte heeft van 88 m. is het buigend moment in het midden, ondanks de kleine belasting op de drempel, groot. Dit heeft tot gevolg dat de PE laag in het midden een veel grotere belasting krijgt dan aan de uiteinden. Om dit te voorkomen zou de drempel het beste buigstijf

uitgevoerd kunnen worden. Aan de uiteinden van de drempel, die zich in de nissen van de kolkwand bevinden, worden bovendien nog in verticale richting houten balken met een PE laag aangebracht. Deze zorgen voor de geleiding van de drempel in de hoogte richting en voorkomen dat er zoutwater langs de zijkant van de drempel gaat stromen.

Om de drempel goed af te dichten is het nodig dat de drempel tegen de nis wordt aangedrukt. Het drukverschil dat over de drempel staat is hiervoor niet voldoende. De druk neemt namelijk naar boven toe af. Wanneer de drempel helemaal naar boven staat is de druk aan de onderzijde 1.96 kN/m^2 , aan de bovenzijde is de druk echter nul. Daarom worden in horizontale richting ook nog enige persen aangebracht, die de drempel tegen de wanden van de nis aandrukken. Deze persen bevinden zich aan de zijkant van de drempel. Aan de onderzijde van de drempel worden eveneens persen aangebracht om de krachten in de breedte richting goed te spreiden. Om deze persen te beschermen tegen het zoute water wordt er een elastisch profiel op de nis aangebracht. Wanneer nu de pers wordt uitgedrukt rekt dit profiel mee en voorkomt zo dat er zout water bij de pers komt. Voor het onderhouden en repareren van de persen is het van belang dat ze eenvoudig verwijderd kunnen worden. Daarom bevindt zich aan de achterzijde van de persen de leidingkoker en schacht. Door deze koker en schacht kunnen alle kabels worden aangelegd. Vanuit deze schacht kunnen de persen dan verwijderd worden, waarbij het elastische profiel zorgt voor de afdichting.

De belangrijkste conclusie die uit dit rapport getrokken kan worden is dat een drempel in de zeesluis van Terneuzen technisch realiseerbaar is. Een vraag die echter open is gebleven is of de drempel ook economisch realiseerbaar is. Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden zal de gehele drempel verder uitgewerkt moeten worden en zullen de kosten van de bouw, het gebruik en het onderhoud van de drempel berekend moeten worden. Tegenover deze kosten zouden dan de baten van de verminderde zoutbelasting op het kanaal moeten worden gezet. Veel bedrijven die langs het kanaal zitten gebruiken namelijk water uit het kanaal. Bij een toename van de zoutbelasting op het kanaal zullen de leidingen en machines van deze bedrijven sneller aangetast worden. Hierdoor zullen deze sneller vervangen moeten worden wat extra kosten met zich meebrengt. Bovendien treedt er langs het nederlandse deel in zijging van het kanaalwater in de bodem op, waardoor het land steeds meer gaat verzilten. Een goede schatting maken van deze kosten is moeilijk. Toch zal dit nodig zijn voor de besluitvorming of het bouwen van een drempel in deze sluis economisch haalbaar is.

§ 3.2 Aanbevelingen

Ondanks het feit dat in de vorige paragraaf praktisch de gehele technische uitvoering van de beweegbare drempel is beschreven, zijn er toch nog enkele problemen waar een nader onderzoek naar moet worden gedaan. In deze paragraaf zullen deze problemen aan de orde komen.

Bij de afweging of de beweegbare drempel als hefschuif of als hefklep uitgevoerd diende te worden werd al vermeld dat een weloverwogen keuze moeilijk te maken viel. Uiteindelijk werd besloten de hefschuif nader uit te werken. De klep-constructie is daardoor verder geheel buiten beschouwing gelaten. Het is dan ook

zeker aan te bevelen ook deze variant op zijn haalbaarheid te onderzoeken en daarna een globale studie te doen naar de kosten van de beide oplossingen. Hierdoor is een betere afweging te doen. In dit rapport is verder alleen gekeken naar de technische uitwerking van de drempel en zijn de aanpassingen aan de kolk buiten beschouwing gebleven. Zo moeten behalve de nissen in de kolkbodem en wand ook de spuiroelen omgelegd worden. Deze spuiroelen lopen normaal vanaf de zoutvang direkt onder de sluis door naar de Westerschelde. Onder de sluis vindt dan nog een aftakking van deze leiding plaats naar de kolk. Door deze leiding stroomt het water dat nodig is om de kolk te nivelleren. De bodemnis waarin de drempel verdwijnt eist echter dat de leidingen of dieper of om de sluis kolk heen worden gelegd. Het verleggen van de leidingen heeft waarschijnlijk ook nog tot gevolg dat de effectiviteit waarmee de zoutvang schoon wordt gespuid kleiner wordt. Dit betekent dat er meer zoetwater nodig is om eenzelfde volume zoutwater uit de zoutvang weg te spuien. Daar er over het kanaal maar een beperkt debiet zoetwater richting de sluizen komt (in totaal 20 m³/s voor de 2 zoutvangen van de West- en Zeesluis) zal dit leiden tot een lagere berging van zoutwater uit de kolk in de zoutvang. Hierdoor komt er meer zoutwater op het kanaal waardoor het gunstige effect van de drempel op de zoutbelasting afneemt. Een nader onderzoek naar hoe de spuiroelen gelegd en uitgevoerd dienen te worden is dan ook zeer belangrijk. Zeker ook voor wat betreft de besluitvorming over het wel of niet toepassen van een drempel.

In hoofdstuk 2 werd al geschreven dat de afvoer van het vuil dat zich in de bodemnis ophoopt een probleem is waar nog een nader onderzoek naar ingesteld moet worden. De oplossing door met behulp van een kettingschraper elke dag de bodem schoon te schrapen is op zich wel mogelijk. Alleen vraagt de kettingschraper, die continu onderwater zit, erg veel onderhoud. Het door de kettingschraper verzamelde vuil moet bovendien worden opgeslagen en periodiek omhoog gebracht worden. Voor het opslaan zouden bakken gebruikt kunnen worden die dan via de leidingkoker omhoog gebracht kunnen worden. Er dient in de nis dan wel plaats te zijn voor deze bakken en de bakken moeten op een eenvoudige wijze in de leidingkoker gebracht kunnen worden. Al met al dus een erg ingewikkelde oplossing en een nadere studie naar een eenvoudigere methode om het vuil uit de nis te verwijderen is dan ook zeker aan te bevelen.

In bijlage 2 van dit rapport wordt kort ingegaan op de drukken die op de drempel komen te staan. De enige druk waarvan de exacte grootte bekend is, is de druk ten gevolge van het dichtheidsverschil dat over de drempel staat. Om de druk te berekenen, die op de drempel komt, ten gevolge van overvarende schepen zijn verschillende aannamen gedaan. Hierdoor was het mogelijk een schatting te maken. De drukken die op de drempel komen ten gevolge van de golven die achter de drempel ontstaan, maar ook die ten gevolge van de stuwdruk van de scheepsschroeven en de over de drempel trekkende uitwisselingsstroming zijn volledig buiten beschouwing gelaten. Dit komt doordat het berekenen van de exacte grootte van deze krachten, en zelfs het maken van een goede schatting zeer moeilijk is. Het beste is dan ook om een nieuwe proevenserie op te starten waarbij op de drempel drukmeters worden geplaatst waarmee de drukken op de drempel bepaald kunnen worden. Vooral bij de dimensionering van de drempel zijn deze drukken van groot belang. Tevens kan dan, wanneer de drukken bekend zijn, onderzocht worden of het maken van een zeer stijve drempel mogelijk is. Deze eis kwam voort uit het feit dat de druk op de

afdichting in het midden van de drempel anders erg groot zou worden. Wanneer nu echter de drukken op de drempel zeer groot worden dan betekent dit dat de drempel erg dik moet worden om stijf te zijn. In dat geval is het dan misschien toch beter de nis een kleine kromming te geven waardoor de druk op de afdichting binnen de aanvaardbare grenzen blijft.

Bijlage 1 De uitgewisselde volumens met de beweegbare drempel

In het rapport "Keuze van het zout-zoetscheidingsstelsel voor de zeesluis te Terneuzen" [1] werd in bijlage 3 een computerprogramma beschreven dat de uitgewisselde volumens uit onder andere de Zeesluis berekende. In dit programma was echter nog niet de drempel opgenomen en werd het uitgewisselde volume berekend nadat het water in de sluis homogeen was opgemengd. Tijdens de proeven [2] bleek echter dat er juist een sterke gelaagdheid in het water ontstond na de uitwisseling. Het computerprogramma diende daarom aangepast te worden. Hieronder zullen de gedane aanpassingen nader besproken worden waarna in het structuurdiagram nog enige uitleg over het programma volgt.

De aanpassingen van het programma

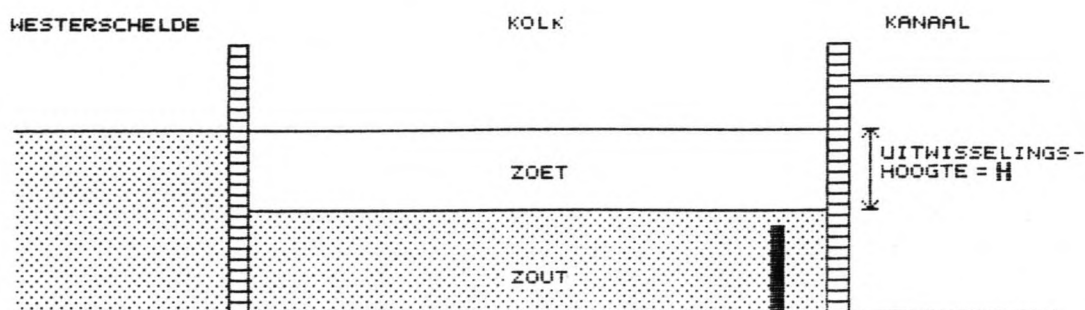
In het programma werden de dichtheden in de kolk als homogeen beschouwd. Dat wil zeggen dat het water in de kolk over de diepte een zelfde dichtheid bezit. In werkelijkheid is dit echter niet het geval. Tijdens het uitwisselen, naar de kanaalzijde, blijft achter de drempel namelijk zoutwater staan en afhankelijk van de tijd dat de deur openstaat ook zoutwater boven de drempel. Boven dit zoute water staat het lichtere zoete water. Er heerst dus een horizontale gelaagdheid voordat de deur aan de Westerschelde zijde opengaat. In het computerprogramma werd deze gelaagdheid nu verstoord door het water homogeen op te klutsen. Deze gelaagdheid zorgt er echter voor dat de uitwisselingshoogte kleiner wordt, waardoor de uitwisselingsnelheid afneemt (zie ook § 2.1). In het programma is daarom het gedeelte waarin het uitgewisselde volume wordt berekend aangepast zodanig dat de horizontale gelaagdheid wordt meegenomen.

Bij de uitwisseling naar de kanaalzijde is de bovenstaande gelaagdheid van veel minder belang. Dit komt doordat de kolk nu grotendeels met zoutwater is gevuld na de uitwisseling aan de Westerschelde zijde. Bovendien dient na de uitwisseling aan de Westerschelde zijde de kolk omhoog genivelleerd te worden naar het kanaalpeil. Dit omhoog nivelleren gebeurt met zoutwater uit de zoutvang. De uitwisseling naar de kanaalzijde is om bovenstaande redenen niet aangepast. In de twee figuren op de volgende bladzijde is het bovenstaande weergegeven.

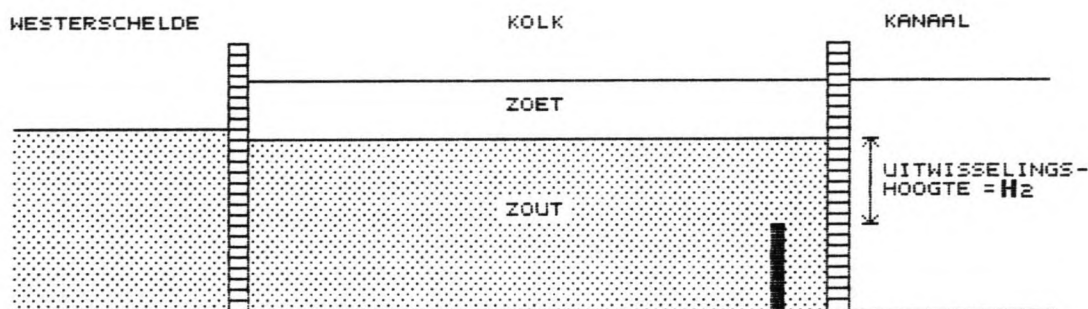
Hoe zijn de hierboven beschreven verbeteringen in het programma aangebracht?

Bij de uitwisseling naar de kanaalzijde wordt een bepaald volume zoutwater dat zich in de kolk bevindt door zoetwater uit het kanaal vervangen. In het programma wordt dit uitgewisselde volume berekend en daarna gedeeld door het oppervlak van de kolk. Hierdoor is de hoogte van de zoetwater laag bekend. De dichtheid van deze zoetwater laag is gelijk aan de dichtheid van het kanaalwater. Wanneer de deur aan de Westerschelde zijde opengaat vindt uitwisseling plaats tussen de berekende zoetwater laag en het zoute water van de Westerschelde. Hier zit het grote verschil met het oorspronkelijke programma waar de uitwisseling over de volledige waterhoogte zou hebben plaatsgevonden, met een dichtheid die tussen de dichtheid van het kanaalwater en die van de Westerschelde ligt. Nadat het uitgewisselde volume aan de Westerschelde zijde is berekend, wordt de kolk genivelleerd. Dit nivelleren gebeurt met zoutwater uit de zoutvang achter de sluis. Ook nu zal er nog een gelaagdheid zijn maar zoals uit de figuren

en de tabel hieronder blijkt is de uitwisselingshoogte nu praktisch gelijk aan de waterstand.



figuur 1: De uitwisselingshoogte bij uitwisseling naar de Westerschelde zijde



figuur 2: De uitwisselingshoogte bij uitwisseling naar de kanaalzijde

H DREMPEL	H	H ₁	H ₂	
0	11.9	3.0	16.5	
3	8.5	3.1	16.4	
5	6.5	2.9	16.6	
7	4.8	2.6	16.9	
10	2.5	1.7	17.8	
H DREMPEL = HOOGTE VAN DE DREMPEL H = HOOGTE ZOETWATERLAAG VOOR UITWISSELEN NAAR WS-ZIJDE (= UITWISSELINGSHOOGTE) H₁ = HOOGTE ZOETWATERLAAG NA UITWISSELEN H₂ = UITWISSELINGSHOOGTE NAAR DE KANAAL-ZIJDE (H₂ = 17.4 + 2.13 - H₁)				

Tabel 1: De berekende uitwisselingshoogten (zie uitvoer aan het einde van deze bijlage)

Aan de kanaalzijde wordt daarom het water wel homogeen opgeklutst zodat een nieuwe dichtheid van het water in de kolk ontstaat. Deze dichtheid wordt als volgt berekend:

	volume zoutwater	volume zoetwater
voor openen deur WS-zijde	$V_{KOLK}-V$	$V-Vsu^1$
na openen deur	$V_{KOLK}-V+Vs_u$	$V-Vsu-Vs$

Na sluiten van de deur is de dichtheid in de kolk dan:

$$\rho_{KOLK} = (\rho_B * (V_{KOLK}-V+Vs) + \rho_{KAN} (V-Vsu-Vs)) / (V_{KOLK}-Vsu)$$

- met: ρ_B = de dichtheid van het Westerschelde water
 ρ_{KAN} = de dichtheid van het kanaalwater
 V_{KOLK} = het volume water in de kolk
 V = het uitgewisselde volume water aan de kanaalzijde
 Vs = het uitgewisselde volume water aan de Westerschelde zijde
 Vsu = het onderwater volume van de uitvarende schepen (richting Westerschelde)

In werkelijkheid ligt er na het sluiten van de deur een schip in de kolk met een onderwatervolume V_{si} . Dit onderwatervolume wordt echter meegenomen in de berekening van de dichtheid van de kolk nadat er genivelleerd is.

Behalve deze aanpassing moest ook het maximaal uit te wisselen volume naar de kanaalzijde worden verkleind. Immers het zoute water dat achter de drempel staat kan nooit worden uitgewisseld.

Op de volgende bladzijde staat het structuurdiagram van het computerprogramma met enige uitleg in de rechter kantlijn. Voor verdere informatie over de gebruikte formules en de aannamen waaronder dit programma is ontwikkeld wordt verwezen naar het al eerder genoemde rapport "Keuze van het zout-zoetscheidingsysteem voor de Zeesluis te Terneuzen".

In de daarop volgende bladzijden staan respectievelijk het computerprogramma en de uitkomsten van dit programma, bij de verschillende drempel hoogten beschreven. Tot slot van deze bijlage worden dan nog enkele conclusies aan de uitkomsten verbonden.

¹Het schip ligt in de zoetwaterlaag

Het structuurdiagram voor de Zeesluis

PROGRAM HEADING		
COMMENTAAR (MET VERKLARING INVOERGEGEVENS)		
CONSTANTEN : G=9.81 L=500 B=68 N=4 T=15 VARIABELEN : K : INTEGER; OVERIGEN : REAL;		
INLEZEN: WS, KP, VSI, VSU, RHOS, RHOK, RHOZV, RHOKO, Tdeur, VzV, VzP, Vov, E, Qspu1, Hd		
AFDRUKKEN: INGELEZEN WAARDEN		
AKOLK:= L*B; VKOLK:= (WS+6.5)*AKOLK; VZOET:= (KP-WS)*AKOLK; VEXTRA:= (1/7)*(1/4)*Vov; VDREM:= Hd*AKOLK; VSPUI:= 0; Ttot:= 0; K:= 0; Vsluis:= 0;	UITLEG: HIER WORDEN DE WAARDEN BEREKEND DIE IN DE BEREKENING CONSTANT BLIJVEN EN DE TELLER (K) OP NUL GESTELD. VDREM= VOLUME ZOUTWATER DAT ACHTER DE DREMPEL BLIJFT STaan	
AFDRUKKEN : BETEKENIS KOLOMBOVENSCHRIFTEN		
ZOLANG K<N DOE	UITLEG: N IS HET AANTAL SCHUTTINGEN	
K:=K+1		
RHOZV:= (2/3)*RHOKZ+(1/3)*RHOK; RHOKO:= $\frac{(RHOKO*(VKOLK-VSI)+RHOZV*VZOET)}{VKOLK-VSI+VZOET}$; RHOKZ:= RHOKO; DELTA:= $\frac{(RHOKO - RHOK)}{RHOK}$; Ht:= VSI/AKOLK; H := KP+17.4-Hd-Ht; Ua:= 0.5*(1-E)*(EXP(0.5*LN(DELTA*GXH))) ; V := Ua*0.5*H*B*Tdeur; Vput:= V+Vextra;	UITLEG: HIER BEGINT HET REKENGEDEELTE EERST WORDT HET UITGEWISSELDE VOLUME NAAR DE KANAALZIJDE BEREKEND. PASCAL KENT GEEN MACHTSVERHEF- FEN DUS ACHTER Ua STAAT EEN INGEWIKKELDE SCHRIJFWIJZE VOOR $Ua = 0.5(1-E)\sqrt{DELTA*GXH}$ HET UITGEWISSELDE VOLUME	
V > VKOLK-VSI+VZOET-VDREM		
T	F	
V:= VKOLK+VZOET-VSI-VDREM; Vput:= V+Vextra; Hs:=17.4-Hd;	Hzoet:= V/AKOLK; Hs:= Hzoet	BEREKENING VAN DE HOOGTE VAN DE ZOETWATER LAAG
(Vzv+((2/3)*VZOET)) > Vput		
T	F	
UKAN:= 0; VZV:= VzV+((2/3)*VZOET)-Vput;	UKAN:= Vput-(Vzv+((2/3)*VZOET)); VZV:= 0;	
UITLEG: IN HET BOVENSTAANDE WORDT GETEST OF HET TOTALE VOLUME ZOUTWATER IN DE ZOUTVANG GEBORGEN KAN WORDEN.		
Vsluis:= Vsluis+V; DRUKAF: K, RHOKZ, V, UKAN		

ZOLANG Ttot-19800 < 0 DOE	
$Vzv < 2/3 \times Vzp$	
T	F
$Vzv := Vzv + \frac{Qspui \times T}{1.5}$	$Vzv > Vzp$
	T
	F
	$Vzv := Vzv + \frac{Qspui \times T}{1.8}$
$Ttot := Ttot + T;$	
UITLEG: IN DIT GEDEELTE WORDT DE ZOUTVANG IN KLEINE STAPPEN SCHOONGESPOELD. DIT IS GEDAAN OMDAT DAN DE TESTEN REGELMATIG KUNNEN WORDEN UITGEVOERD EN ALS DE ZOUTVANG SCHOON IS, DE Vzv GEEN GROTERE WAARDE KAN KRIJGEN DAN HET TOTALE VOLUME VAN DE ZOUTVANG.	
$Ttot := 0;$ $Vspui := Vspui + Vzv;$ $Vuit := N \times Vkan;$	UITLEG: TELLER WORDT OP NUL GESTELD VOOR DE VOLGENDE SCHUTTING. HET TOTAAL WEG- GESPUIDE VOLUME IS NODIG DUS EEN SOMMATIE VAN DE Vzv PER SCHUTTING.
$DELTA := \frac{(RHOS - RHOK)}{RHOK};$ $Us := 0.5 \times (1 - E) \times (\exp(0.5 \times \ln(DELTA \times G \times Hs)));$ $Vs := Us \times 0.5 \times Hs \times B \times Tdeur$	UITLEG: HIER WORDT HET UITGEWISSELDE VOLUME NAAR DE WESTERSCHELDE ZIJDE BEREKEND.
$Vs > V$	
T	F
$RHOKO := RHOS;$	$RHOKO := \frac{(RHOS \times (V_{kolk} + Vs - V) + (RHOK \times (V - V_{SU} - Vs)))}{V_{kolk} - V_{SU}}$
DRUKAF: RHOKO, Vs, RHOZV, Vzv	
UITLEG: NADAT HET UITGEWISSELDE VOLUME IS UITGEREKEND, MOET GECONTROLEERD WORDEN OF DIT VOLUME NIET GROTER IS DAN HET VOLUME WATER IN DE KOLK. IS DIT INDERDAAD NIET HET GEVAL DAN MOET DE NIEUWE DICHTHEID VAN HET WATER IN DE KOLK BEREKEND WORDEN (VOOR UITLEG FORMULE ZIE BLADZIJDE 3). DE NU BEREKENDE DICHTHEID EN HET UITGEWISSELDE VOLUME WORDEN AFGEDRUKT IN DE KOLOMMEN.	
DRUKAF: Vuit, Vspui, Vsluis, Vzoet, Vextra	
SCHRIJF: -- EINDE BEREKENING --	

PROGRAM ZEESLUIS (INPUT,OUTPUT);

{Commentaar:Dit programma heeft tot taak het berekenen van de door de Zeesluis geloosde hoeveelheid zoutwater op het kanaal.

Hoe dienen de getallen ingevoerd te worden:

- WS = waterstand op de Westerschelde t.o.v. NAP
- KP = het kanaalpeil t.o.v. NAP
- VSI = onderwatervolume van de invarende schepen (WS naar KAN.)
- VSU = onderwatervolume uitvarende schepen
- RHOS = dichtheid Westerschelde water
- RHOK = dichtheid kanaalwater (let op: bij berekening van evenwichtsdichtheid nieuwe RHOK invoeren).
- RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
- RHOKO = de dichtheid van het water in de kolk aan het einde van de vorige berekening (= laatste RHOKOS in uitvoer)
- Tdeur = openingstijd van de deur
- Vzv = volume zoetwater in de zoutvang (bij start van de eerste berekening dus volume van de zoutvang later wordt deze kleiner, zie einde van de uitvoer)
- Vzp = het totale volume van de zoutvang
- Vom = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis op het kanaal komt
- Qspui = het spuidebiet door de zoutvang
- E = de effectiviteit van de luchtbellenschermen
- Hd = hoogte van de drempel

Voor verdere informatie zie afstudeer verslag J.T. Bresters en J.F. v.d. Velden "Keuze van het zout-zoetscheidingsysteem voor de Zeesluis te Terneuzen" (dec 1987) Hoofdstuk2 "Het rekenmodel".}

CONST G=9.81;

T=15;

L=500;

B=68;

N=4;

VAR K: INTEGER;

WS,KP,VSI,VSU,Vom: REAL;

RHOS,RHOK,RHOKO,RHOKZ,RHOZV: REAL;

Vzv,Vzp,Vuit,Vkan,Vkolk,Vextra,Vdrem: REAL;

Vspui,Vzoet,V,Vs,Vput,Vsluis,Ua,Us: REAL;

Qspui,Tdeur,Ttot,H,Hd,Hs,Ht: REAL;

Hzoet,Akolk,DELTA,DELTAS,E: REAL;

BEGIN

RESET(INPUT);

READLN(WS,KP,VSI,VSU,RHOS,RHOK,RHOZV,RHOKO,Tdeur,Vzv,Vzp,Vom);

READLN(Qspui,E,Hd);

REWRITE(OUTPUT);

WRITELN('DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:');

WRITELN;WRITELN;

WRITELN('GEGEVENS:');

WRITELN('WS [M] = ',WS:9:2);

WRITELN('KP [M] = ',KP:9:2);

WRITELN('VSI [M3] = ',VSI:9:2);

WRITELN('VSU [M3] = ',VSU:9:2);

WRITELN('RHOS [KG/M3] = ',RHOS:9:2);

WRITELN('RHOK [KG/M3] = ',RHOK:9:2);

WRITELN('Qspui [M3/S] = ',Qspui:9:2);

WRITELN('Vzp [M3] = ',Vzp:9:2);

WRITELN('Vzv [M3] = ',Vzv:9:2);

WRITELN('Tdeur [S] = ',Tdeur:9:2);

WRITELN('N [-] = ',N:6);

```

WRITELN( 'Hdremp [M]      = ', Hd:9:2);

Akolk:=L*B;
Vkolc:=(WS+17.4)*Akolc;
Vzoet:=(KP-WS)*Akolc;
Vextra:=(1/4)*(1/3)*(3/4)*Vom;
Vdrem:=Hd*Akolc;
Vspui:=0;Ttot:=0;K:=0;Vsluis:=0;RHOKZ:=RHOZV;
WRITELN;WRITELN;WRITELN;
WRITELN('BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:');
WRITELN;
WRITELN('N      = het aantal schuttingen van die dag');
WRITELN('RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het ');
WRITELN('      kanaal opgaat');
WRITELN('Vsluis= volume zoutwater dat uit de sluiskolk richting het');
WRITELN('      kanaal gaat');
WRITELN('Vkan  = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat');
WRITELN('RHOKOS= dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling');
WRITELN('      aan de Westerschelde zijde');
WRITELN('Vs    = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat');
WRITELN('RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang');
WRITELN('Vzv   = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting');
WRITELN('Vuit  = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater');
WRITELN('Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume');
WRITELN('Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren');
WRITELN('      van de kolk');
WRITELN('Vextra= volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis');
WRITELN('      in de zoutvang van de Zeesluis komt');
WRITELN;WRITELN;WRITELN;
WRITE('N      RHOKO      Vsluis      Vkan      RHOKOS      Vs');
WRITELN('      RHOZV      Vzv');
WRITELN;
BEGIN
  WHILE K < N DO
  BEGIN
    K:=K+1;
    RHOZV:=(2/3)*RHOKZ+(1/3)*RHOK;
    RHOKO:=(RHOKO*(Vkolc-VSI)+RHOZV*Vzoet)/(Vkolc-VSI+Vzoet);
    RHOKZ:=RHOKO;
    DELTA:=(RHOKO-RHOK)/RHOK;
    Ht:=VSI/Akolc;
    H:=17.4-Hd+KP-Ht;
    Ua:=0.5*(1-E)*(EXP(0.5*LN(DELTA*G*H)));
    V:=Ua*0.5*H*B*Tdeur;
    Vput:=V+Vextra;
    IF V >= Vkolc-VSI-Vdrem+Vzoet THEN
    BEGIN
      V:=Vkolc-VSI-Vdrem+Vzoet;
      Vput:=V+Vextra;
      Hs:=17.4-Hd;
    END
    ELSE
    BEGIN
      Hzoet:=V/Akolc;
      Hs:=Hzoet;
    END;
  END;

```



```

IF (Vzv+((2/3)*Vzoet)) > Vput THEN
BEGIN
  Vkan:=0;
  Vzv:=Vzv+((2/3)*Vzoet)-Vput
END
ELSE
BEGIN
  Vkan:=Vput-(Vzv+((2/3)*Vzoet));
  Vzv:=0
END;
Vsluis:=Vsluis+V;
WRITE( K:1,RHOKZ:9:2,V:11:2,Vkan:11:2);
WHILE Ttot-19800 < 0 DO
BEGIN
  IF Vzv < (2/3)*Vzp THEN
  Vzv:=Vzv+(Qspui*T)/1.5
  ELSE
  BEGIN
    IF Vzv >= Vzp THEN
    BEGIN
      Vzv:=Vzp
    END
    ELSE
    BEGIN
      Vzv:=Vzv+(Qspui*T)/1.8
    END
  END;
  Ttot:=Ttot+T
END;
Ttot:=0;
Vspui:=Vspui+Vzv;
Vuit:=N*Vkan;
DELTAS:=(RHOS-RHOK)/RHOK;
Us:=0.5*(1-E)*(EXP(0.5*LN(DELTAS*G*Hs)));
Vs:=Us*0.5*Hs*B*Tdeur;
IF Vs > V THEN
RHOKO:=RHOS
ELSE
RHOKO:=(RHOS*(Vkol+Vs-V)+(RHOK*(V-VSU-Vs)))/(Vkol-VSU);
BEGIN
WRITELN(RHOKO:9:2,Vs:11:2,RHOZV:9:2,Vzv:12:2);
WRITELN;
END;
END;
WRITELN;
WRITELN('Vuit      [M3] = ',Vuit:10:2);
WRITELN('Vspui      [M3] = ',Vspui:10:2);
WRITELN('Vsluis      [M3] = ',Vsluis:10:2);
WRITELN('Vzoet       [M3] = ',Vzoet:10:2);
WRITELN('Vextra      [M3] = ',Vextra:10:2);
WRITELN;WRITELN;
WRITELN('---EINDE BEREKENING---')
END;
END.

```

DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:

GEGEVENS:

WS [M] = 1.00
 KP [M] = 2.13
 VSI [M3] = 150000.00
 VSU [M3] = 50000.00
 RHOS [KG/M3] = 1018.00
 RHOK [KG/M3] = 1006.00
 Qspui [M3/S] = 9.67
 Vzp [M3] = 887400.05
 Vzv [M3] = 127644.00
 Tdeur [S] = 1800.00
 N [-] = 4
 Hdremp [M] = 0.00

BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:

N = het aantal schuttingen van die dag
 RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het kanaal opgaat
 Vsluis = volume zoutwater dat uit de sluis kolk richting het kanaal gaat
 Vkan = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat
 RHOKOS = dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling aan de Westerschelde zijde
 Vs = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat
 RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
 Vzv = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting
 Vuit = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater
 Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume
 Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren van de kolk
 Vextra = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis in de zoutvang van de Zeesluis komt

N	RHOKO	Vsluis	Vkan	RHOKOS	Vs	RHOZV	Vzv
1	1017.29	417871.18	286919.76	1016.91	315711.83	1013.02	127645.62
2	1016.66	405957.88	275004.91	1016.88	302307.34	1013.53	127645.62
3	1016.60	404806.80	273853.82	1016.88	301022.45	1013.11	127645.62
4	1016.59	404701.90	273748.89	1016.88	300905.46	1013.07	127645.62

Vuit [M3] = 1094995.62
 Vspui [M3] = 510582.49
 Vsluis [M3] = 1633337.73
 Vzoet [M3] = 38420.00
 Vextra [M3] = 22305.99

--EINDE BEREKENING--

DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:

GEGEVENS:

WS [M] = 1.00
 KP [M] = 2.13
 VSI [M3] = 150000.00
 VSU [M3] = 50000.00
 RHOS [KG/M3] = 1018.00
 RHOK [KG/M3] = 1006.00
 Qspui [M3/S] = 9.67
 Vzp [M3] = 887400.05
 Vzv [M3] = 127644.00
 Tdeur [S] = 1800.00
 N [-] = 4
 Hdremp [M] = 3.00

BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:

N = het aantal schuttingen van die dag
 RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het kanaal opgaat
 Vsluis = volume zoutwater dat uit de sluiskolk richting het kanaal gaat
 Vkan = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat
 RHOKOS = dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling aan de Westerschelde zijde
 Vs = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat
 RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
 Vzv = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting
 Vuit = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater
 Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume
 Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren van de kolk
 Vextra = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis in de zoutvang van de Zeesluis komt

	N	RHOKO	Vsluis	Vkan	RHOKOS	Vs	RHOZV	Vzv
1	1017.29	299881.64	168930.31	1016.79	191934.05	1013.02	127645.62	
2	1016.55	289802.67	158849.71	1016.80	182339.51	1013.53	127645.62	
3	1016.52	289420.96	158467.97	1016.80	181979.37	1013.03	127645.62	
4	1016.52	289405.01	158452.02	1016.80	181964.33	1013.01	127645.62	

Vuit [M3] = 633808.08
 Vspui [M3] = 510582.49
 Vsluis [M3] = 1168510.31
 Vzoet [M3] = 38420.00
 Vextra [M3] = 22305.99



VAKGROEP
 WATERBOUWKUNDE
 Afd. Civiele Techniek
 TH Delft

--EINDE BEREKENING--

DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:

GEGEVENS:

WS [M] = 1.00
 KP [M] = 2.13
 VSI [M3] = 150000.00
 VSU [M3] = 50000.00
 RHOS [KG/M3] = 1018.00
 RHOK [KG/M3] = 1006.00
 Qspui [M3/S] = 9.67
 Vzp [M3] = 887400.05
 Vzv [M3] = 127644.00
 Tdeur [S] = 1800.00
 N [-] = 4
 Hdremp [M] = 5.00

BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:

N = het aantal schuttingen van die dag
 RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het kanaal opgaat
 Vsluis = volume zoutwater dat uit de sluiskolk richting het kanaal gaat
 Vkan = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat
 RHOKOS = dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling aan de Westerschelde zijde
 Vs = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat
 RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
 Vzv = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting
 Vuit = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater
 Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume
 Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren van de kolk
 Vextra = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis in de zoutvang van de Zeesluis komt

N	RHOKO	Vsluis	Vkan	RHOKOS	Vs	RHOZV	Vzv
1	1017.29	228795.74	97844.37	1016.94	127908.42	1013.02	127645.62
2	1016.68	222529.17	91576.20	1016.96	122689.56	1013.53	127645.62
3	1016.67	222422.36	91469.40	1016.96	122601.24	1013.12	127645.62
4	1016.67	222420.45	91467.49	1016.96	122599.68	1013.12	127645.62

Vuit [M3] = 365869.97
 Vspui [M3] = 510582.49
 Vsluis [M3] = 896167.75
 Vzoet [M3] = 38420.00
 Vextra [M3] = 22305.99

--EINDE BEREKENING--

DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:

GEGEVENS:

WS [M] = 1.00
 KP [M] = 2.13
 VSI [M3] = 150000.00
 VSU [M3] = 50000.00
 RHOS [KG/M3] = 1018.00
 RHOK [KG/M3] = 1006.00
 Qspui [M3/S] = 9.67
 Vzp [M3] = 887400.05
 Vzv [M3] = 127644.00
 Tdeur [S] = 1800.00
 N [-] = 4
 Hdremp [M] = 7.00

BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:

N = het aantal schuttingen van die dag
 RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het kanaal opgaat
 Vsluis = volume zoutwater dat uit de sluiskolk richting het kanaal gaat
 Vkan = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat
 RHOKOS = dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling aan de Westerschelde zijde
 Vs = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat
 RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
 Vzv = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting
 Vuit = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater
 Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume
 Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren van de kolk
 Vextra = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis in de zoutvang van de Zeesluis komt

N	RHOKO	Vsluis	Vkan	RHOKOS	Vs	RHOZV	Vzv
1	1017.29	164430.80	33479.47	1017.24	77929.52	1013.02	127645.62
2	1016.96	161989.56	31036.61	1017.25	76200.51	1013.53	127645.62
3	1016.96	161968.82	31015.86	1017.25	76185.87	1013.31	127645.62
4	1016.96	161968.35	31015.39	1017.25	76185.54	1013.31	127645.62

Vuit [M3] = 124061.56
 Vspui [M3] = 510582.49
 Vsluis [M3] = 650357.58
 Vzoet [M3] = 38420.00
 Vextra [M3] = 22305.99

--EINDE BEREKENING--

DE UITKOMSTEN VOOR DE ZEESLUIS:

GEGEVENS:

WS [M] = 1.00
 KP [M] = 2.13
 VSI [M3] = 150000.00
 VSU [M3] = 50000.00
 RHOS [KG/M3] = 1018.00
 RHOK [KG/M3] = 1006.00
 Qspui [M3/S] = 9.67
 Vzp [M3] = 887400.05
 Vzv [M3] = 127644.00
 Tdeur [S] = 1800.00
 N [-] = 4
 Hdremp [M] = 10.00

BETEKENIS KOLOM BOVENSCHRIFTEN:

N = het aantal schuttingen van die dag
 RHOKO = dichtheid van het water dat vanuit de kolk het kanaal opgaat
 Vsluis = volume zoutwater dat uit de sluiskolk richting het kanaal gaat
 Vkan = volume water dat uit de zoutvang het kanaal opgaat
 RHOKOS = dichtheid van het water in de kolk na uitwisseling aan de Westerschelde zijde
 Vs = volume water dat uit de kolk de Westerschelde opgaat
 RHOZV = dichtheid van het water in de zoutvang
 Vzv = volume zoetwater in de zoutvang voor elke schutting
 Vuit = totaal op het kanaal geloosde volume zoutwater
 Vspui = het totaal in 1 dag weggespuide volume
 Vzoet = het benodigde volume zoetwater voor het nivelleren van de kolk
 Vextra = volume zoutwater dat vanuit de Oost- en Middensluis in de zoutvang van de Zeesluis komt

N	RHOKO	Vsluis	Vkan	RHOKOS	Vs	RHOZV	Vzv
1	1017.29	82313.51	0.00	1017.90	27601.59	1013.02	176285.29
2	1017.57	83328.77	0.00	1017.89	28113.81	1013.53	223911.95
3	1017.58	83344.37	0.00	1017.89	28121.70	1013.72	271521.54
4	1017.58	83344.59	0.00	1017.89	28121.80	1013.72	319123.29

Vuit [M3] = 0.00
 Vspui [M3] = 510582.49
 Vsluis [M3] = 332331.32
 Vzoet [M3] = 38420.00
 Vextra [M3] = 22305.99

--EINDE BEREKENING--

Enige conclusies die uit de hiervoor gegeven uitkomsten kunnen worden getrokken zijn:

- 1) **Het uitgewisselde volume neemt af.** Zoals in de kolkom Vsluis is te zien wordt naarmate de drempel hoger staat het uitgewisselde volume, richting het kanaal, steeds kleiner. Dit is op zich niet verrassend omdat de uitwisselingshoogte verkleind en dus de snelheid waarmee de uitwisseling plaatsvindt afneemt. Het blijkt echter ook dat de kolk nooit helemaal uitgewisseld wordt, mits de deuren niet langer dan 30 minuten openstaan. Staan ze wel langer open dan zal altijd het volume zoutwater dat zich achter de drempel bevindt in de kolk blijven.
- 2) **Volume water dat het kanaal opgaat reduceert.** Dat dit volume reduceert heeft direct te maken met het feit dat het totaal uitgewisselde volume minder is geworden. In de onderstaande tabel is te zien welke reductie er in de zoutbelasting optreedt, ten opzichte van het niet gebruiken van de drempel.

<u>Hdrempel</u>	<u>Vkan (per schutting)</u>	<u>Reductie t.o.v. H=0</u>
0 m.	273750 m ³	0 %
3 m.	158450 m ³	42 %
5 m.	91470 m ³	67 %
7 m.	31020 m ³	89 %
10 m.	0 m ³	100 %

In de tabel is te zien dat wanneer de drempel op 10 m. hoogte wordt ingesteld er geen zout meer op het kanaal komt. De uitwisseling is dan zelfs zo klein dat er meer zout uit de zoutvang wordt weggespuid dan dat er per schutting inkomt. De zoutvang wordt dus langzaam aan schoon gespuid.

- 3) **Het uitgewisselde volume richting Westerschelde neemt af.** Dit komt door het feit dat naar de kanaalzijde een kleiner volume water wordt uitgewisseld. Hierdoor wordt de zoetwaterlaag minder groot en dus neemt de uitwisselingshoogte af. Deze afname van de uitwisselingshoogte leidt weer tot een reductie van de uitwisselingsnelheid en dus wordt er een kleiner volume uitgewisseld.

Slotconclusie: Het gebruik van een drempel geeft een aanzienlijke reductie van de zoutbelasting op het kanaal.

§ 1 Algemeen

Voor een globaal ontwerp van de drempel was het nodig de drukken op de drempel nader te bekijken. Deze drukken ontstaan door het dichtheidsverschil dat over de drempel staat en door de stromingen die over de drempel gaan. Voordat dan ook wordt overgegaan tot het berekenen van de drukken op de drempel zal eerst een overzicht worden gegeven van de stromingen die optreden bij de drempel. Deze stromingen zijn de uitwisselingsstroming en de stroming die optreedt door de in- en uitvarende schepen.

1) De uitwisselingsstroming

De uitwisselingsstroming treedt op zodra de deur aan de kanaalzijde opengaat. Hierdoor komt er water met twee verschillende dichtheden tegen elkaar aan te staan. Zoals uit onderstaande figuur echter blijkt trekt deze stroming over de drempel heen en uit de modelproeven [2] is niet gebleken dat er stroming achter de drempel optreedt. Het stromende water zal wel enige druk op de drempel uitoefenen als gevolg van de wrijving. Deze krachten worden hier buiten beschouwing gelaten.

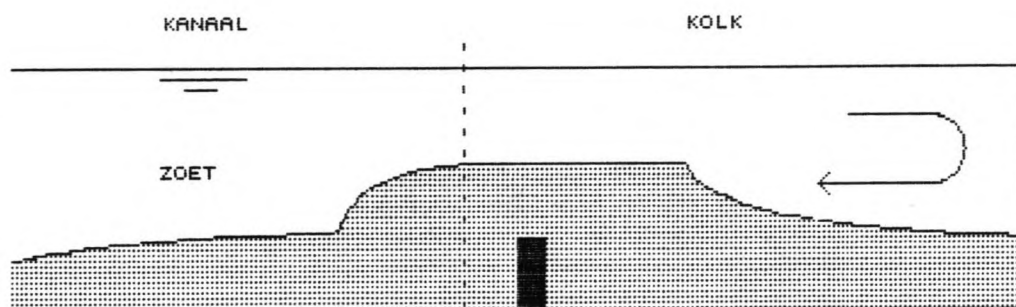


fig. 1: De uitwisselingsstroming bij gebruik van een drempel

2) De stroming veroorzaakt door in- en uitvarende schepen

Wanneer een schip de kolk uitvaart ontstaat achter het schip een daling van de waterspiegel. Deze daling van de waterspiegel leidt tot een stijging van de grenslaag (zie ook § 1.1). In figuur 2 op de volgende bladzijde is het bovenstaande nogmaals weergegeven.

Ten gevolge van de daling van de waterspiegel achter het schip ontstaat er een verhang over de lengte van het schip. Door dit verhang treedt er een stroming op langs het schip. Deze stroming wordt de retourstroming genoemd en zorgt voor het aanvullen van het water aan de achterkant. Deze stroming vindt in eerste instantie over de volle beschikbare diepte plaats en komt dan plotseling de drempel tegen. De doorstroom opening wordt nu plotseling verkleind wat tot gevolg heeft dat de stroomsnelheid toeneemt. Hierdoor komen krachten op de drempel te staan die zeker niet verwaarloosd mogen worden. In § 2 van deze bijlage zal nader op deze krachten worden ingegaan.

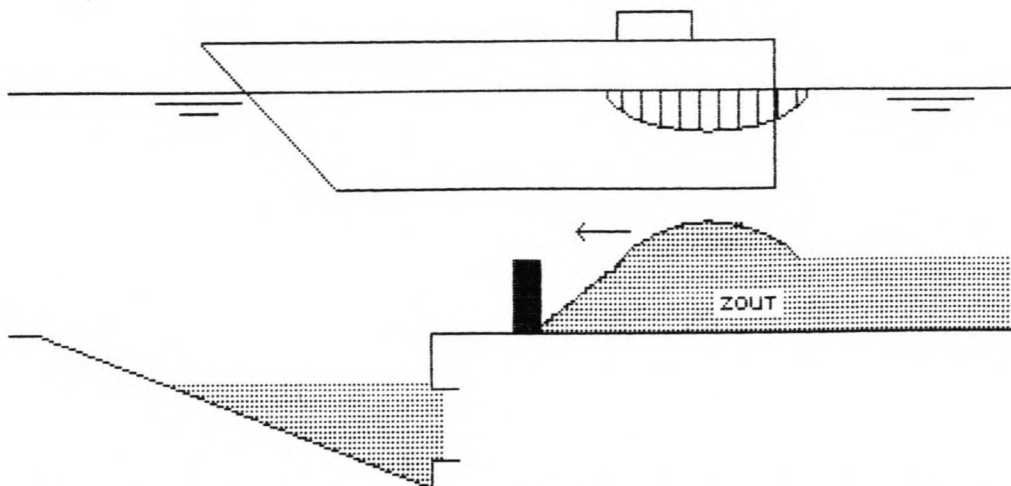


fig. 2: Invloed van een uitvarend schip op de waterspiegel en de hoogte van de grenslaag

Dit zijn de drukken die ten gevolge stromingen op de drempel optreden. Er zijn ook nog andere drukken op de drempel die niet door de stroming ontstaan. Eén daarvan is reeds genoemd namelijk het dichtheidsverschil. Andere drukken die op de drempel ontstaan zijn die ten gevolge van golven tussen de drempel en de deur aan de Westerschelde zijde. Deze golven ontstaan meteen nadat de uitwisseling heeft plaatsgevonden maar ook nadat een schip de kolk is uitgevaren (de grenslaag wordt dan immers omhoog getrokken). Deze tijdsafhankelijke krachten zullen ook buiten beschouwing worden gelaten omdat het moeilijk is de hoogte van deze golven te bepalen en niet exact bekend is hoe de kracht op de drempel wordt overgebracht. De golven gaan na verloop van tijd over in een staande golf, die geen horizontale snelheid meer hebben, maar nog wel krachten.

§ 2 Bepaling van de grootte van de drukken

Allereerst zal de druk op de drempel ten gevolge van het dichtheidsverschil worden berekend. Deze kracht is aanwezig nadat de uitwisseling heeft plaatsgevonden en de snelheid van de uitwisselingsstroming nul is geworden.

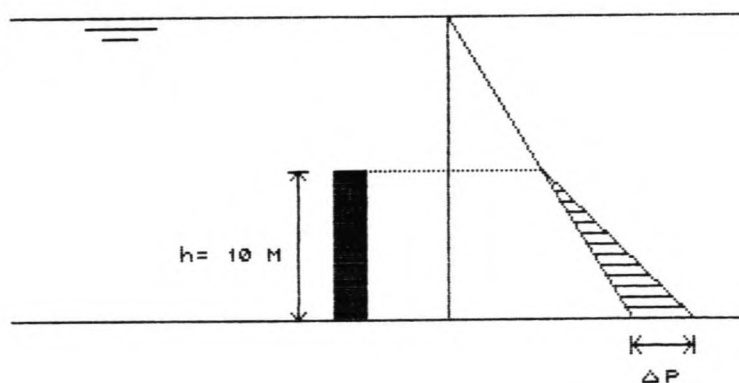


fig. 3: Het drukverschil over de drempel

Aan de kolkzijde van de drempel staat zoutwater met een dichtheid

van 1020 kg/m^3 terwijl aan de kanaalzijde zoetwater staat met een dichtheid van 1005 kg/m^3 . Deze laatste waarde is een schatting voor de dichtheid van het kanaalwater zoals die zal ontstaan nadat de nieuwe zeesluis in gebruik is genomen. In figuur 3 is het drukverschil weergegeven.

Hoe groot is het drukverschil nu?

$$\Delta p = (\rho_1 - \rho_2)gh = (1020 - 1005) \cdot 9.81 \cdot 10 = 1471.5 \text{ N/m}^2$$

Na de bepaling van de statische kracht op de drempel, wordt nu een analyse gemaakt van de dynamische kracht die een uitvarend schip op de drempel geeft.

De drie dimensionale beschouwing van de stroming die bij het uitvaren van een schip optreedt is hierboven reeds gegeven. Om aan het probleem te kunnen rekenen moet het geheel teruggebracht worden tot een twee dimensionale beschouwing. In deze twee dimensionale situatie wordt het schip over de gehele breedte van de sluis kolk gelegd, terwijl de onderkant van het schip op dezelfde diepte blijft liggen. Het geheel ziet er dan als volgt uit:

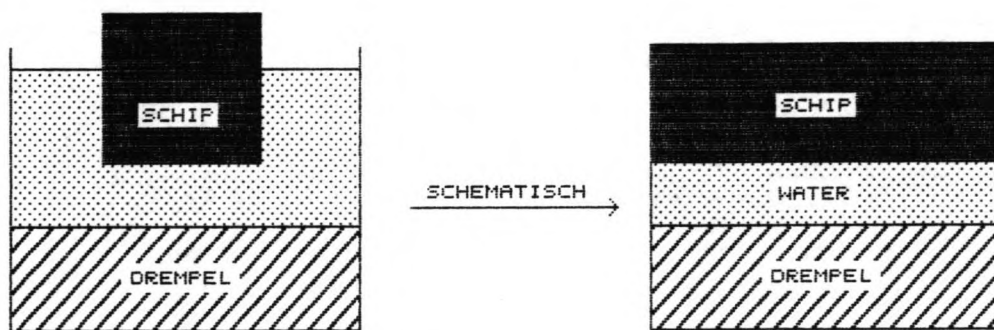


fig. 4: Schematisatie van een schip in de kolk

Deze aanname heeft tot gevolg dat de stroming die normaal langs en onder het schip doorgaat nu volledig onder het schip door moet. De drempel wordt hierdoor zwaarder belast dan in werkelijkheid omdat de stroomsnelheid over de drempel hoger wordt. Het lijkt er eigenlijk op dat er twee schepen tegelijk de kolk uitvaren. In werkelijkheid zal dit nooit gebeuren omdat dit volgens de vaarreglementen verboden is.

De drukken op de drempel kunnen nu berekend worden met behulp van potentiaal stroming. Hiervoor dient een vierkantennet getekend te worden rondom de drempel. Om van een potentiaal stroming te mogen uitgaan moet een aanname gedaan worden. Deze aanname is dat de stroming wrijvingsarm is. In werkelijkheid treedt wrijving langs de bodem van de kolk en de onderkant van het schip op.

Het vierkantennet is in de figuur op de volgende bladzijde weergegeven. Hoe kleiner de hokjes zijn des te groter is de stroomsnelheid. Uit de figuur blijkt dan dat rond de drempel hoge stroomsnelheden optreden.

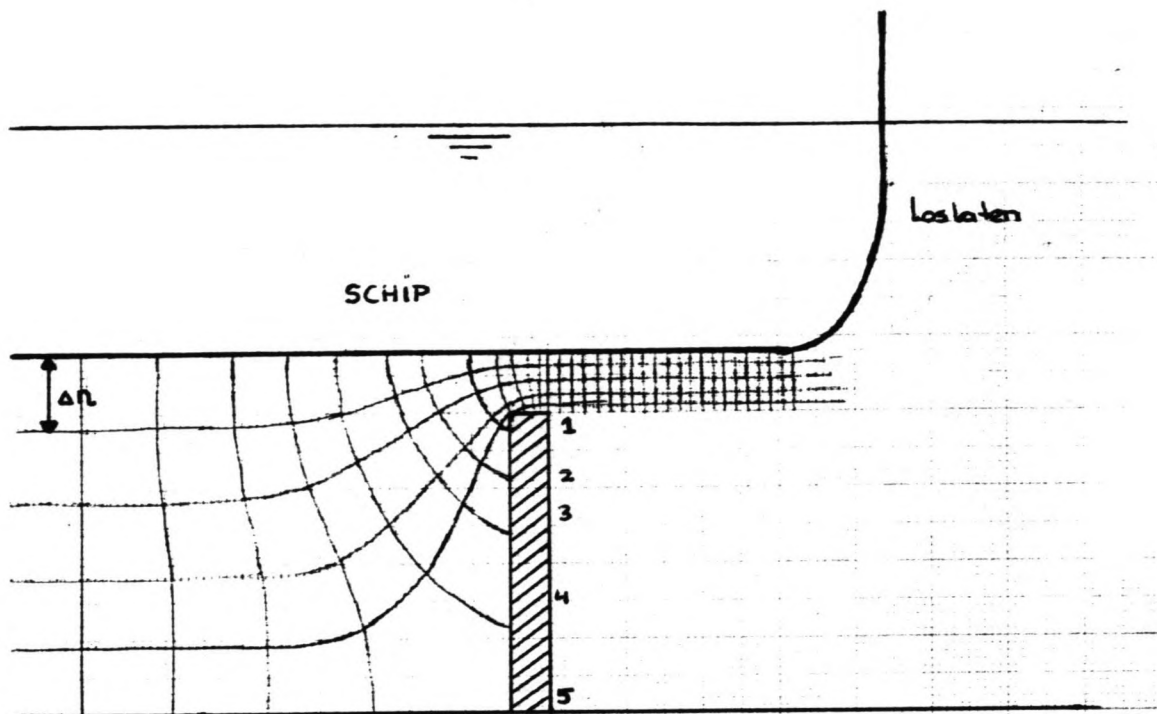


fig. 5: Het vierkantennet

Het berekenen van de drukken

Voordat met het berekenen van de drukken begonnen wordt, worden in de figuur hieronder eerst de afmetingen weergegeven. Uitgegaan is daarbij van het kanaalpeil op 2.13 meter en een diepte van de kolk van 17.4 meter. De drempel wordt in de bovenste stand gezet dus op een hoogte van 10 meter. In hoofdstuk 1 werd al gesproken over de benodigde keel clearance onder het schip die nodig is omdat de schepen dieper komen te liggen bij uitvaren. De ruimte tussen drempel en onderkant van het schip is hier gekozen op 2 meter. In het totaal ziet dat er als volgt uit:

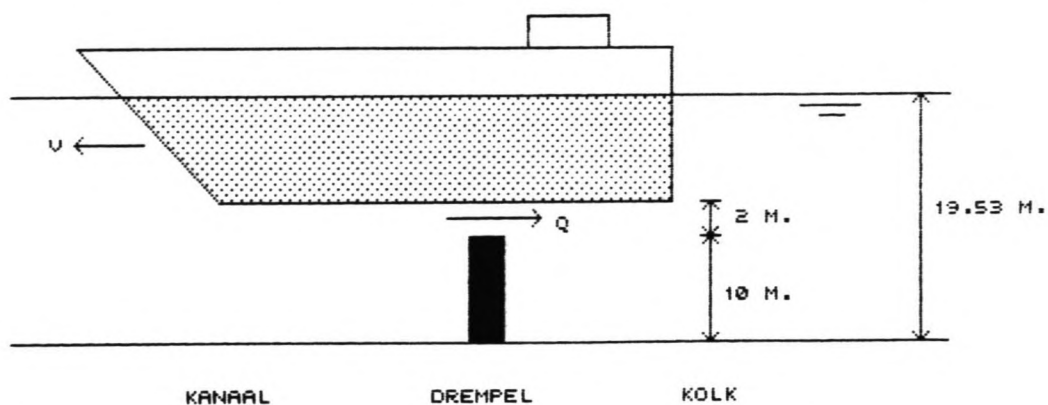


fig. 6: De afmetingen van het vierkantennet

Een schip dat de kolk uitvaart heeft nog een lage snelheid. In deze berekening wordt uitgegaan van $v = 0.5 \text{ m/s}$ ($= 1.8 \text{ km/u}$). De diepgang van het schip is $d = 19.53 - 12 = 7.5 \text{ meter}$. Het onderwater oppervlak van het schip is dan:

$$A_{\text{SCHIP}} = 68 \cdot 7.5 = 510 \text{ m}^2$$

Achter het schip moet dan een volume water van $0.5 \cdot 510 = 255 \text{ m}^3$ per seconde worden aangevuld. ($Q = 255 \text{ m}^3/\text{s}$).

Door de aanname van een wrijvingsarme stroming geldt dat de energiehoogte in de vergelijking van Bernoulli constant is in het gehele veld. Achter het schip zal de stroming sterk verstoord zijn omdat de stroming niet blijft aanliggen. Daar treden dus grote energie verliezen op. Bernoulli mag dan ook niet achter het schip toegepast worden.

Om nu toch de energiehoogte te kunnen berekenen wordt uitgegaan van een vrije waterspiegel naast het schip. Dit is in tegenspraak met de eerdere aanname om de stroming twee dimensionaal te maken. Echter een andere oplossing om de energiehoogte te berekenen was er niet.

De stroomsnelheid van het water onder het schip:

$$v = Q/Bh = 255/(68 \cdot 12) = 0.313 \text{ m/s}$$

De energiehoogte:

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g = 0 + 19.53 + (0.313)^2/19.62 = 19.54 \text{ m.}$$

Links van de drempel onder het schip lopen de stroomlijnen evenwijdig. Op deze plaats zijn er 5 stroomstroken. Het debiet per strekkende meter is daar: $q = Q/B = 255/68 = 3.75 \text{ m}^2/\text{s}$.

per stroomstrook geldt dus: $\Delta q = 3.75/5 = 0.75 \text{ m}^2/\text{s}$ met $\Delta n = 2.4 \text{ m}$.

Nu de berekening van de druk over de drempel:

punt 1:

$$v = q/h' = 3.75/2 = 1.875 \text{ m/s}$$

met $h' =$ afstand tussen bovenkant drempel en onderkant schip

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g \rightarrow 19.54 = p/\rho g + 10 + (1.875)^2/19.62$$

$$\rightarrow \underline{p/\rho g = 9.36 \text{ m.}}$$

punt 2:

$$\Delta n' = 0.45 \text{ cm.} \rightarrow \Delta n = 1.13 \text{ m.} \rightarrow v = 0.75/1.13 = 0.66 \text{ m/s}$$

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g \rightarrow 19.54 = p/\rho g + 8.25 + (0.66)^2/19.62$$

$$\rightarrow \underline{p/\rho g = 11.27 \text{ m.}}$$

punt 3:

$$\Delta n' = 0.65 \text{ cm.} \rightarrow \Delta n = 1.63 \text{ m.} \rightarrow v = 0.75/1.63 = 0.46 \text{ m/s}$$

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g \rightarrow 19.54 = p/\rho g + 7 + (0.46^2)/19.62$$

$$\rightarrow \underline{p/\rho g = 12.53 \text{ m.}}$$

punt 4:

$$\Delta n' = 1.25 \text{ cm.} \rightarrow \Delta n = 3.13 \text{ m.} \rightarrow v = 0.75/3.13 = 0.24 \text{ m/s}$$

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g \rightarrow 19.54 = p/\rho g + 4.5 + (0.24)^2/19.62$$

$$\rightarrow \underline{p/\rho g = 15.04 \text{ m.}}$$

punt 5:

De stroomsnelheid in dit punt is 0 (het is een stuwpunt) dus:

$$H = p/\rho g + z + v^2/2g \rightarrow 19.54 = p/\rho g + 0 + 0$$

$$\rightarrow \underline{p/\rho g = 19.54 \text{ m.}}$$

De hierboven berekende drukhoogten moeten nog met ρg worden vermenigvuldigd. Met $\rho = 1005 \text{ kg/m}^3$ en $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ betekent dit dat $\rho g = 9.86 \cdot 10^3$. De drukken aan beide zijde van de drempel komen er nu als volgt uit te zien:

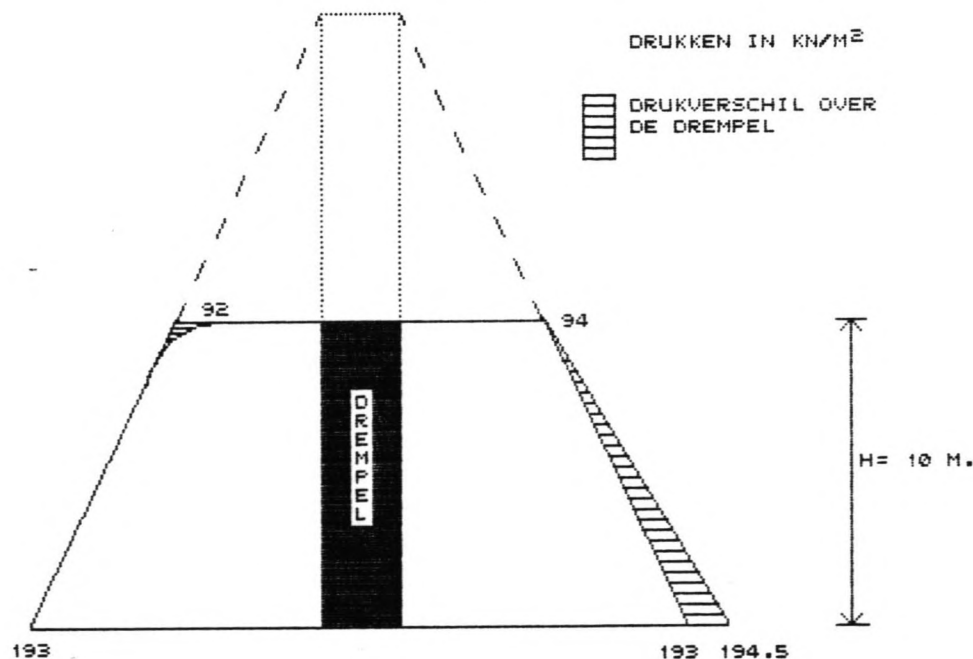


fig. 7: De drukverschillen over de drempel

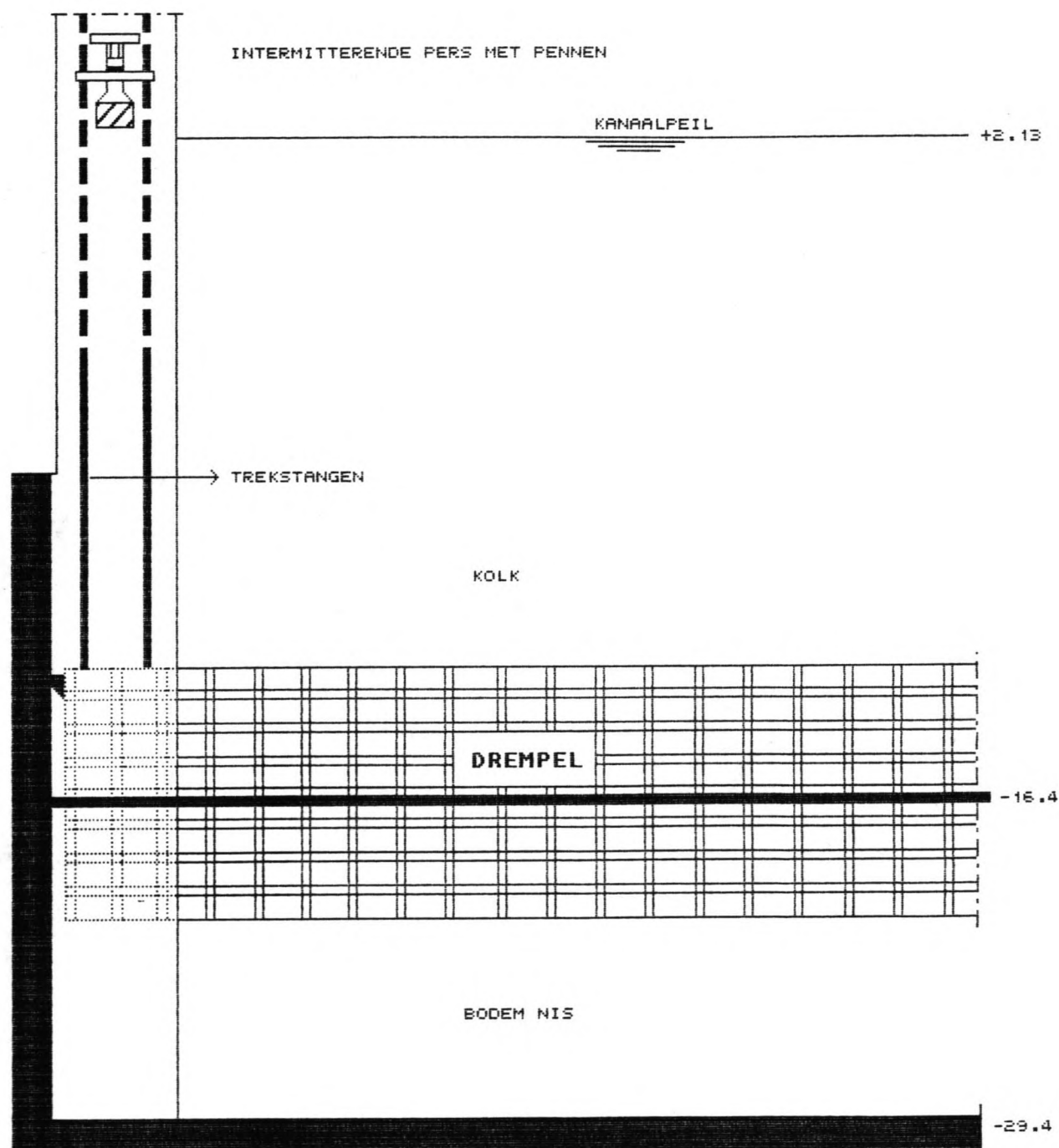
Het drukverschil dat aan de rechterzijde zichtbaar is ontstaat door het uitvaren van een schip. Het blijkt dat dit drukverschil maatgevend is. Bij de dimensionering van de constructie dient dan ook van deze druk te worden uitgegaan.

In de bovenstaande beschouwing over de drukken is de stuwdruk op de drempel ten gevolge van sloopschroeven buiten beschouwing gelaten. Bij het uit de kolk varen van een schip geeft het schip om opgang te komen flink veel gas. Deze druk komt voornamelijk op de deur aan de Westerschelde zijde. Wanneer de achterzijde van het schip de drempel passeert heeft het schip reeds snelheid en zal de stuwdruk op de drempel daardoor minder zijn, doch niet te verwaarlozen. Gedetailleerde proeven zouden moeten uitwijzen hoe groot deze drukken precies worden.

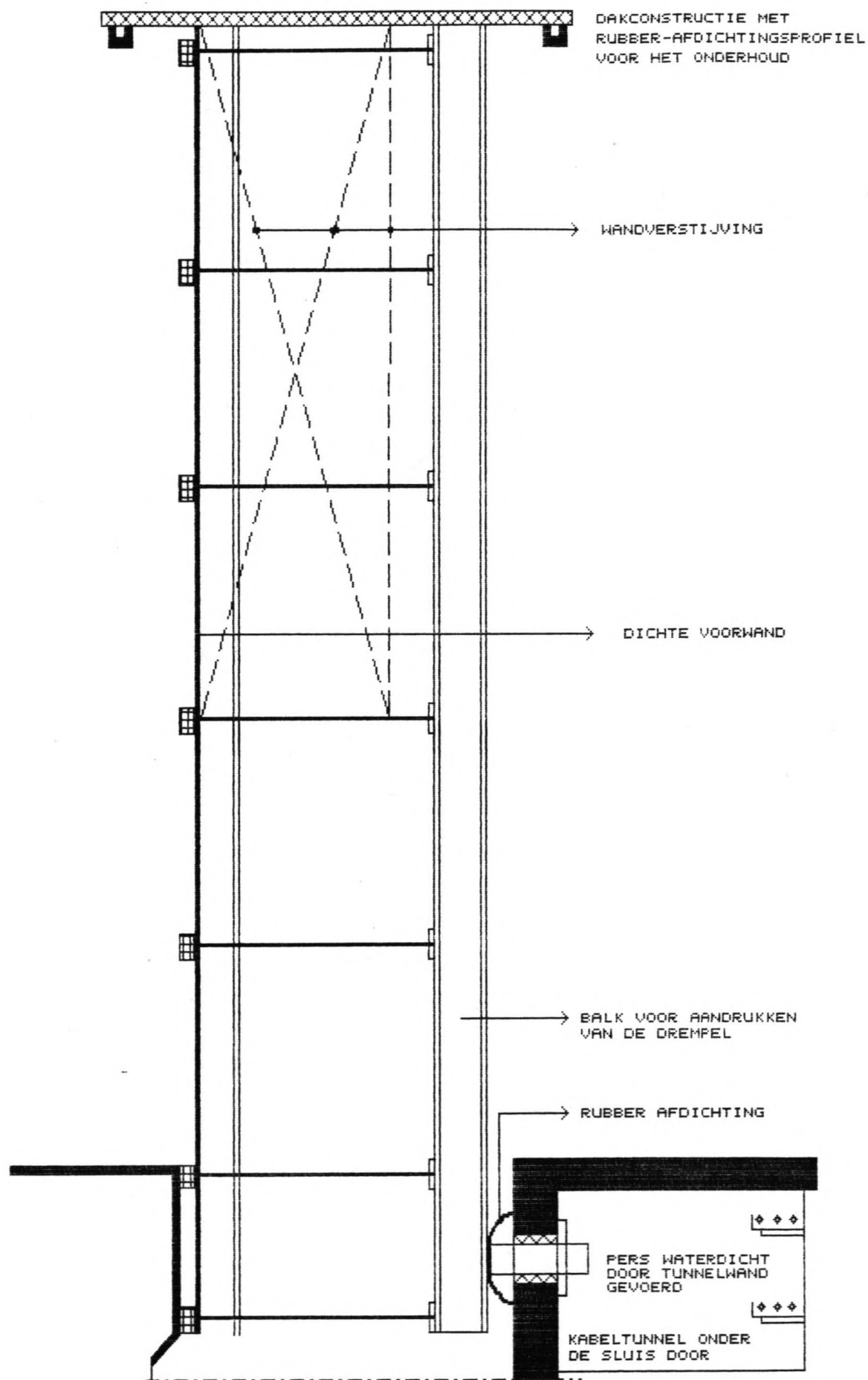
De hier berekende drukken zijn slechts globale waarden en verdere studie naar de drukken op de drempel wordt dan ook ten sterkste aanbevolen.

Bijlage 3 Schetsen van de drempel

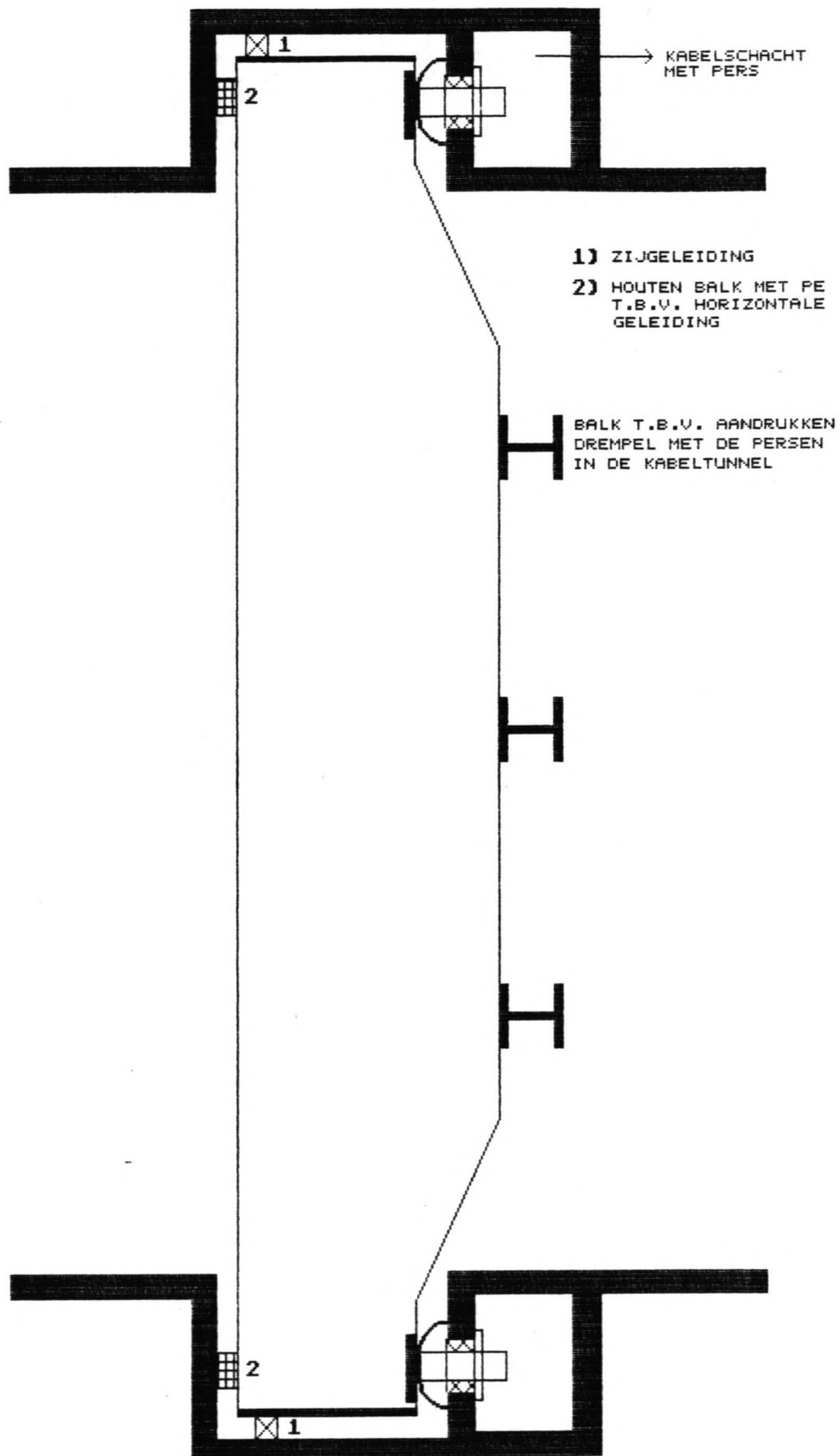
In onderstaande figuur is een gedeelte van de kolk en de drempel te zien. Op deze tekening is gestippeld aangegeven het gedeelte van de drempel dat zich in de nis bevindt. Het rasterpatroon is gebruikt ter accentuering van de drempel. De dikke horizontale lijn door de drempel is de kolkbodem. De waarden rechts geven de hoogte aan t.o.v. NAP.



figuur 1: Vooraanzicht van de drempel gezien vanuit de kolk richting het kanaal (schaal 1:250).

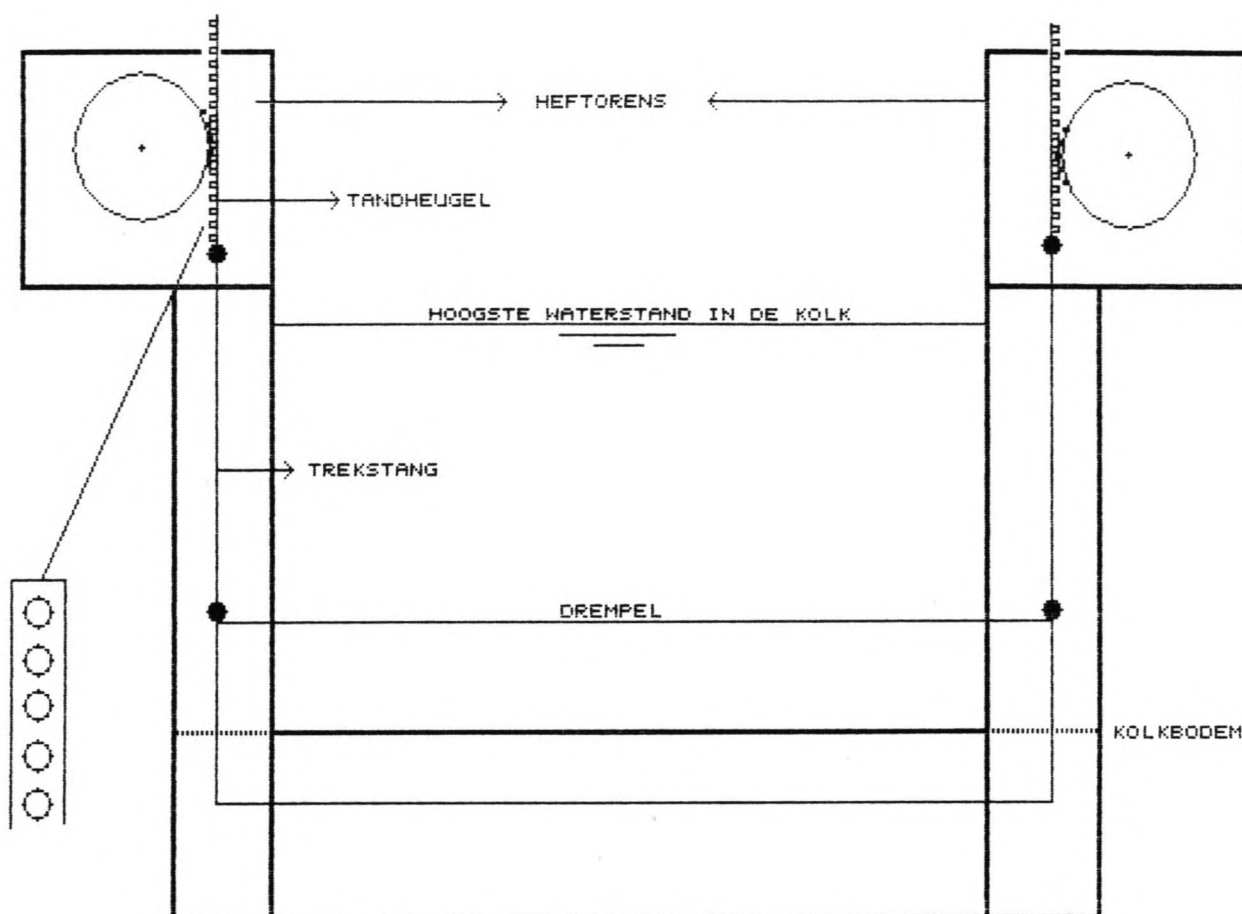


figuur 2: Zijaanzicht van de drempel (schaal 1:50).



figuur 3: Bovenaanzicht van de drempel (schaal 1:400).

De figuren 4 en 5 zijn geven twee mogelijke methoden van aandrijving schematisch weer. Deze figuren zijn daarom niet op schaal.



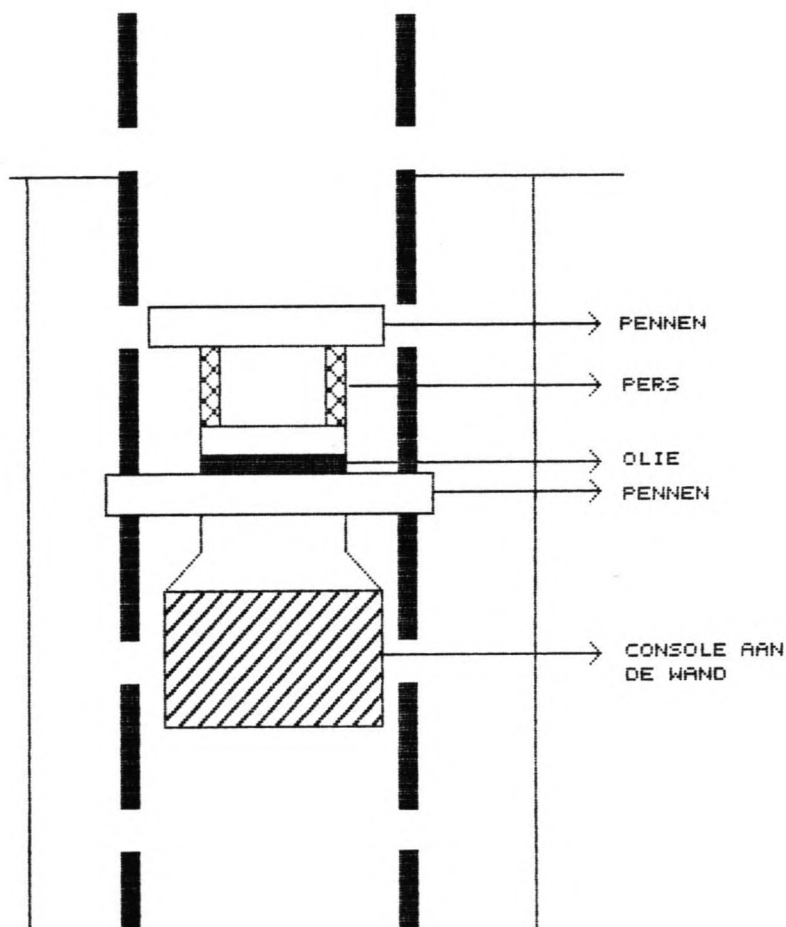
figuur 4: Aandrijving m.b.v. een tandbaan.

Wrijvingscoëfficiënten en specifieke slijtfactoren van enkele materiaalkombinaties; $p = (0-2,5) \text{ N/mm}^2$; $v = (0-0,01) \text{ m/s}$; in water ($p = \text{vlaktedruk}$; $v = \text{snelheid}$).

materiaal-kombinatie	wrijvingscoëfficiënt statisch/dynamisch	specifieke slijtfactor ΔS_1
Standaard:-		$\times 10^{-9}$
PE/PETP	0,16/0,16	3
Alternatief:		
PE/AISI 316	0,17/0,17	13
PE/Fe 510	0,25/0,25	40
Fe 360/Fe 510 vet	0,18/0,14	2
Achterhaald:		
Azobé/Fe 510	0,47/0,33	2700
PVC/AISI 316	0,49/0,34	600
PVC/Fe 510	0,41/0,32	3400

Tabel 1: Wrijvingscoëfficiënten van verschillende materialen.

In de onderstaande figuur is schematisch de intermitterende pers weergegeven. Voor de duidelijkheid wordt hier de werking van de pers nog een keer beschreven. In de tekening zitten de onderste pennen, waaraan de drempel hangt vast. De pers is in normale positie en gaat zich nu uitdrukken. Hierbij komen de pennen voor de gaten te zitten die zich nu nog boven de pers bevinden. De pennen zetten zich in deze gaten vast. Hierna worden de onderste persen losgemaakt en gaat de pers ingetrokken worden. Dit intrekken eindigt als de pers zijn uitgangspositie heeft bereikt. De onderste pennen bevinden zich dan precies voor de gaten die 1 stap hoger liggen dan nu en zetten zich in deze gaten vast. De drempel is nu een halve meter omhoog gekomen.



figuur 5: Detail van de intermitterende pers.

Literatuurlijst

- [1] Bresters, J.T. en van der Velden, J.F.
"Keuze van het zout-zoetscheidingsysteem voor de zeesluis te Terneuzen", december 1987.
- [2] Bresters, J.T. en van der Velden, J.F.
"Onderzoek naar het functioneren van een drempel in een zeesluis", maart 1988.

