

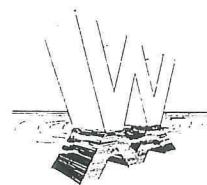
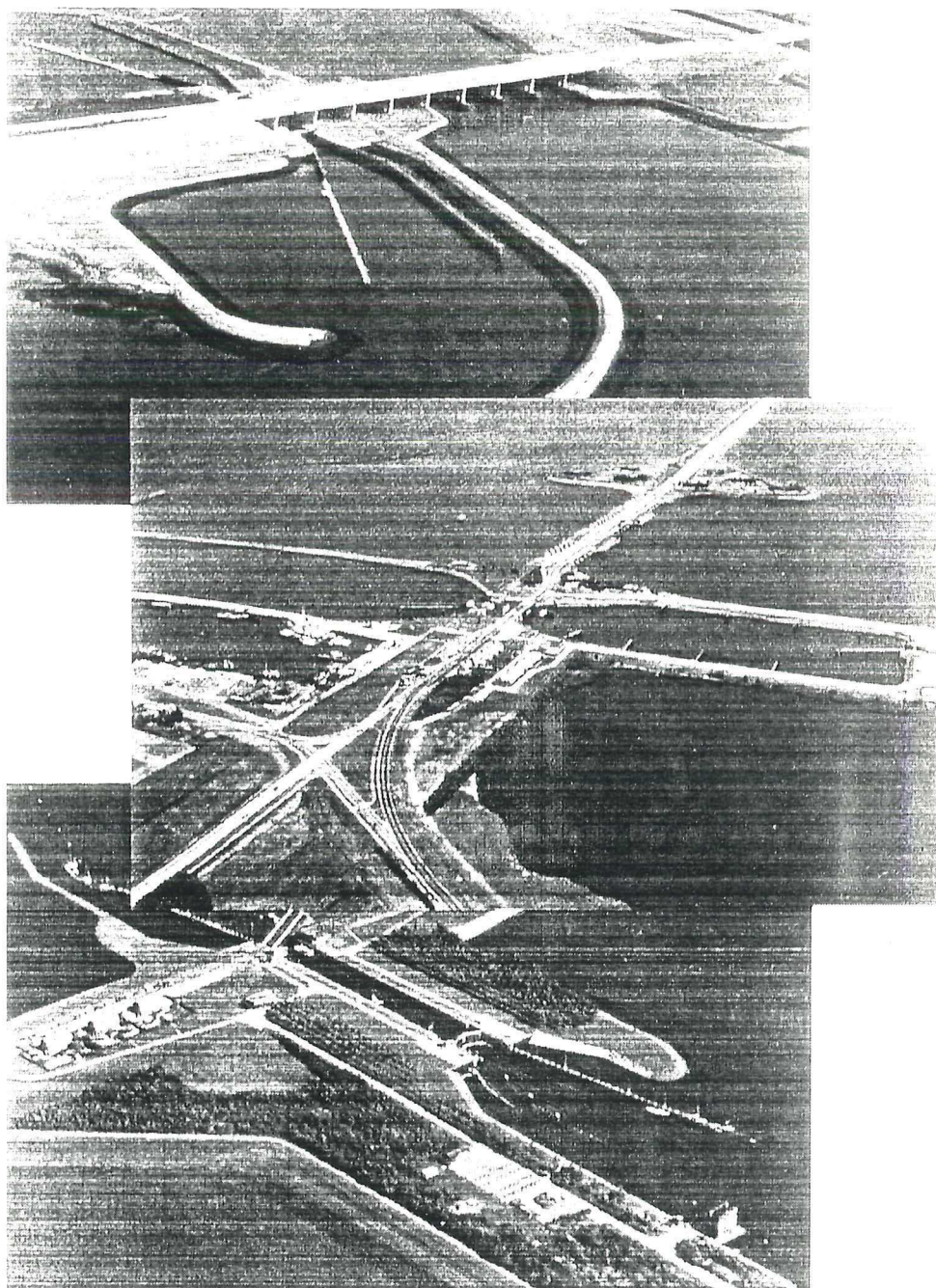
CTwa3330

# Constructieve Waterbouwkunde

Deel B Schutsluizen

Februari 2000

K.G. Bezuyen e.a.

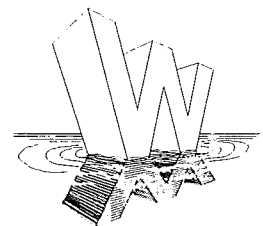


CTwa3330

# Constructieve Waterbouwkunde

## Deel B Schutsluizen

ir. K.G. Bezuyen  
prof. ir. A. Glerum  
ir. H.K.T. Kuijper  
ing. W. Kuiper  
prof.drs.ir. J.K. Vrijling





<b>1. INLEIDING.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2. FUNCTIES VAN EEN SCHUTSLUIS.....</b>	<b>2-1</b>
<b>3. GEOMETRIE VAN DE SCHUTSLUIS .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 SITUERING .....	3-1
3.2 ALGEMENE VORMGEVING.....	3-1
3.3 HOOFDMATEN VAN DE SCHUTKOLK .....	3-3
3.4 BELANGERIJKSTE PEILEN.....	3-3
<b>4. VUL- EN LEDIGSYSTEMEN VAN SCHUTSLUIZEN.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 ALGEMEEN .....	4-1
4.2 KRACHTEN OP HET SCHIP .....	4-1
4.3 BEREKENING VAN TROSKRACHTEN .....	4-3
4.4 VERKLEINEN VAN DE HYDRAULISCHE KRACHTEN.....	4-5
4.5 HET DEBIETPROGRAMMA BIJ VULLEN EN LEDIGEN .....	4-5
4.5.1 <i>Schuifopening in de deur</i> .....	4-5
4.5.2 <i>Riolen</i> .....	4-6
4.6 SPAARBEEKENS .....	4-8
4.7 GROOT-VERVAL SLUIZEN .....	4-8
4.8 ZOUT-ZOET SCHEIDINGSSYSTEMEN .....	4-9
<b>5. SCHUTKOLK.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 ALGEMEEN .....	5-1
5.2 SCHUTKOLKWAND .....	5-2
5.2.1 <i>Functies</i> .....	5-2
5.2.2 <i>Belastingen</i> .....	5-3
5.2.3 <i>Oplossingsprincipes</i> .....	5-4
5.3 SCHUTKOLKBODEM (SLUISVLOER) .....	5-7
5.4 COMBINATIE WAND-VLOERCONSTRUCTIE.....	5-9
5.5 KEUZE BEPALING .....	5-12
<b>6. AFSLUITMIDDELEN (SLUISDEUREN) .....</b>	<b>6-1</b>
6.1 FUNCTIES .....	6-1
6.2 OPLOSSINGSPRINCIPES (DEURTYPEN).....	6-1
6.2.1 <i>Puntdeuren</i> .....	6-2
6.2.2 <i>Hefdeur</i> .....	6-3
6.2.3 <i>Roldeur</i> .....	6-3
6.3 KEUZE BEPALING VAN HET DEURTYPE .....	6-4
6.4 PUNTDEUREN .....	6-6
6.4.1 <i>waterkering</i> .....	6-6
6.4.2 <i>waterafdichting</i> .....	6-9
6.4.3 <i>waterafvoer</i> .....	6-11
<b>7. SLUSHOOFDEN.....</b>	<b>7-1</b>
7.1 FUNCTIES .....	7-1
7.2 CONSTRUCTIEVE UITWERKING .....	7-1
<b>8. VOORZIENINGEN TEGEN ONDER- EN ACHTERLOOPSHEID .....</b>	<b>8-1</b>
<b>9. WACHTPLAATSEN EN GELEIDEWERKEN .....</b>	<b>9-1</b>
9.1 INLEIDING.....	9-1
9.2 ONTWERPEISEN .....	9-2
9.3 BELASTINGEN.....	9-2
9.4 CONSTRUCTIEVORMEN.....	9-3



## **1. Inleiding**

Dit dictaat begint met een kort onderzoek naar de voornaamste ontwerpeisen, die volgen uit de mogelijke functies van een schutsluis. Daarna wordt aandacht besteed aan de vormgeving en de afmetingen en worden de verschillende functionele onderdelen van een schutsluis vastgesteld. In afzonderlijke hoofdstukken worden deze onderdelen stuk voor stuk nader bekeken. De hierbij te volgen werkwijze is telkens deze, dat eerst enkele relevante ontwerpeisen worden geformuleerd, dat daarna een aantal mogelijke oplossingen wordt gezocht en dat tenslotte de verschillende oplossingen met elkaar worden vergeleken. Daarbij kan worden aangegeven welke oplossing onder welke omstandigheden het meest in aanmerking komt. Van de functionele onderdelen worden alleen de schutkolk en de afsluitmiddelen wat diepgaander behandeld.



## 2. Functies van een schutsluis

De primaire functie van een schutsluis is die ten behoeve van de scheepvaart en wel: "schepen in drijvende toestand in een afsluitbare vaste ruimte van het ene naar het andere waterniveau brengen".

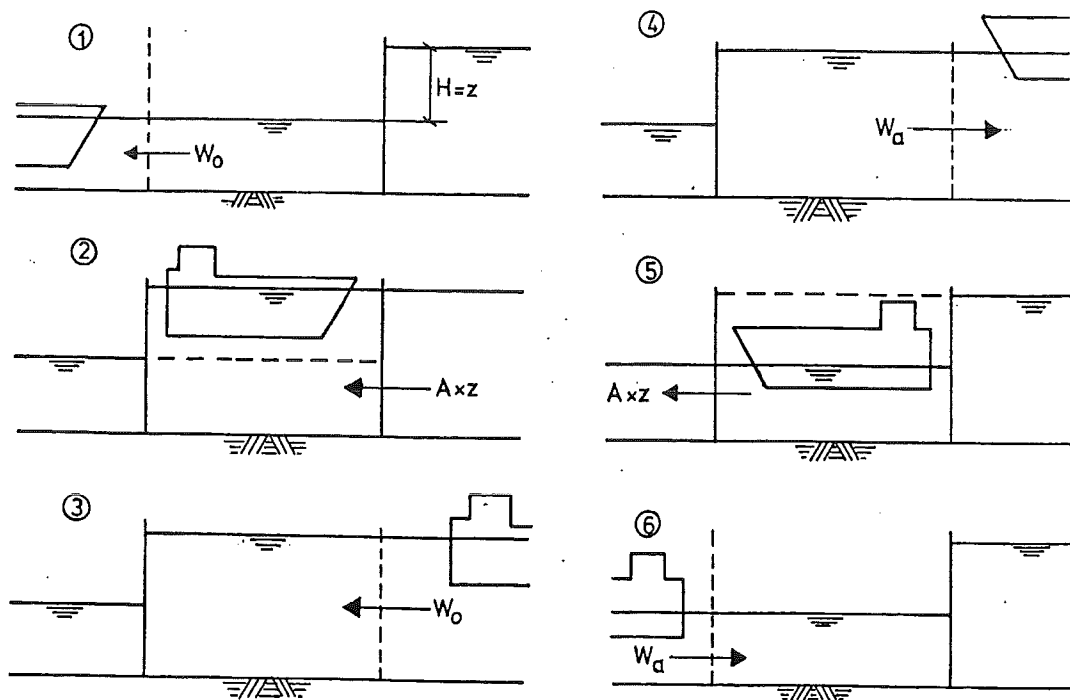
Doordat er sprake is van verschillen in waterniveaus, zal de schutsluis in het algemeen deel uitmaken van een waterkering. Een schutsluis heeft derhalve ook een waterkerende functie. Een schutsluis kan verder worden ingeschakeld bij functies op het gebied van de waterhuishouding, zowel in kwantitatieve als in kwalitatieve zin.

Kwantitatieve factoren bij de waterhuishouding kunnen bijv. zijn:

- de schutsluis moet een bepaalde hoeveelheid water binnen een bepaald tijdsbestek kunnen doorlaten (waterafvoerfunctie)
- bij de schutting van schepen door een schutsluis gaat water van het hoge pand naar het lage pand verloren, hetgeen nadelig kan zijn.

In Figuur 2-1 is te zien dat het waterverlies per schutcyclus  $A \cdot z + W_o - W_A$  bedraagt waarin:

- A = oppervlak van de schutkolk  
 z = het verval over de schutsluis  
 $W_o$  = de waterverplaatsing van de opvarende schepen  
 $W_A$  = de waterverplaatsing van de afvarende schepen



• Figuur 2-1 Schutproces

Is er ondanks dit bezwaar toch gekozen voor een schutsluis, dan kunnen er maatregelen worden verlangd om zo weinig mogelijk waterverlies te lijden. Als extra ontwerpeis geldt dan het scheppen van een zekere waterbesparende mogelijkheid, zoals bijv. een schutsluis met spaarbekkens (zie paragraaf 4.6 verderop).

Kwalitatieve elementen die bij de waterhuishouding een rol kunnen spelen, liggen meestal op het terrein van de scheiding van watermassa's van verschillende kwaliteit. Zoals de scheiding tussen zout en zoet water.



Om het binnendringen van zout water of het ongewenst afvloeien van zoet water te voorkomen, kan als extra ontwerpeis worden gesteld dat het zoute en zoete water van elkaar gescheiden moeten blijven (zie paragraaf 4.8 verderop).

Hier zal alleen worden ingegaan op de volgende functies:

- scheepvaartfunctie
- waterkerende functie
- waterafvoerfunctie

#### **a. scheepvaartfunctie**

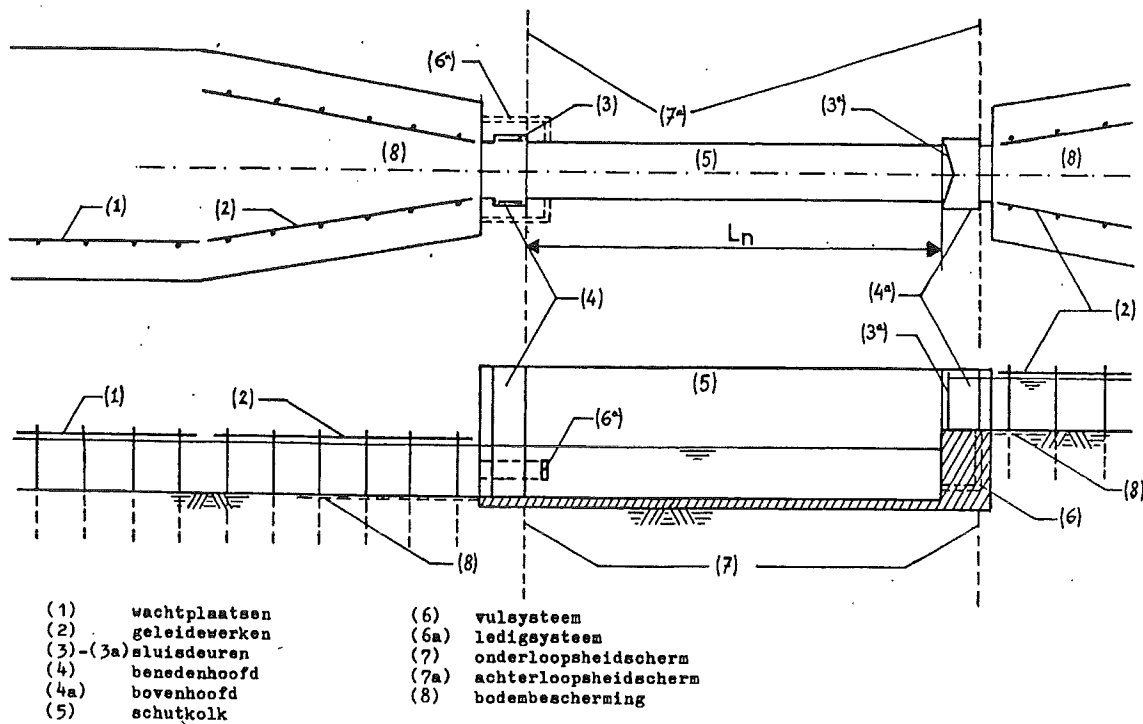
Om een zo vlot mogelijke afwikkeling van het scheepvaartverkeer te realiseren, zijn de drie volgende ontwerpeisen belangrijk.

- 1) de afmetingen van de schutsluis moeten zodanig zijn dat het grootste schip, dat nu of in de toekomst van de vaarweg gebruik maakt (het maatgevende schip), de sluis kan passeren.
- 2) de capaciteit van de schutsluis, d.i. het maximaal aantal schepen per tijdseenheid dat kan worden geschut, moet dusdanig op het (toekomstige) aanbod worden afgestemd (de maatgevende combinatie van schepen), dat geen onaanvaardbare tijdverliezen voor de scheepvaart ontstaan.
- 3) ook bij een aanbod van schepen kleiner dan de capaciteit van de schutsluis (de maatgevende scheepvaartintensiteit) moet het tijdverlies bij het passeren van de schutsluis tot een minimum worden beperkt. De scheepvaartintensiteit is het aantal schepen dat per tijdseenheid een bepaalde dwarsdoorsnede van een vaarweg passeert.

Onderwerpen zoals de capaciteit e.d. komen later aan de orde in de colleges Ctw4330 (Havens en Scheepvaartwegen).

In vele gevallen, zeker bij druk bevaren binnenvaartwegen, zal blijken dat de horizontale afmetingen van de schutsluis die volgen uit eis 2 groter zijn dan die uit eis 1. De eisen 2 en 3 benadrukken meer het belang van een snelle behandeling van de schepen, zoals gemakkelijk in- en uitvaren van de schutsluis, snel openen en sluiten van de afsluitmiddelen en een snelle wisseling van de waterstanden in de schutsluis.

Voor de "schipper" is een schutsluis een obstakel in zijn vaarroute. De sluis betekent een aanzienlijke vernauwing in het doorvaartprofiel van de vaarweg en is bovendien lang niet altijd direkt toegankelijk.



• Figuur 2-2 Functionele onderdelen schutsluis

Dit houdt in dat er wachtplaatsen (1) en geleidewerken (2) aanwezig moeten zijn. De cijfers tussen haakjes corresponderen met die van de functionele onderdelen van de schutsluis, aangegeven in Figuur 2-2. De wachtplaatsen bieden een ligplaats voor de schepen die niet direct gesloten kunnen worden. De geleidewerken dienen de schepen geleiding te geven bij het binnenvaren van de sluis, waarbij eventueel rekening moet worden gehouden met hinderlijke stromingen of zijwind.

Opgemerkt dient te worden dat de vormgeving van de geleidewerken en wachtplaatsen, zoals aangegeven in Figuur 2-2, een oplossing is, die vaak bij binnenvaartsluizen in Nederland wordt toegepast. Bij buitenlandse schutsluizen en ook bij Nederlandse zeevaartsluizen treft men meestal wat andere constructies aan.

Bij het binnenvaren van de schutsluis passeert het schip eerst de openstaande afsluitmiddelen (3). Deze afsluitmiddelen, oftewel sluisdeuren, moeten in gesloten stand het verval over de schutsluis kunnen keren. Zij bevinden zich in het sluishoofd (4), dat de, door de waterdruk ontstane, krachten op de deuren moet kunnen opnemen en naar de ondergrond afvoeren. Het schip is inmiddels aangekomen in de afsluitbare vaste ruimte die men de schutkolk (5) noemt. Aan de andere zijde van de schutkolk bevindt zich eveneens een sluishoofd (4a), waarin de sluisdeuren (3a) gesloten zijn. Terwille van een duidelijke weergave zijn in Figuur 2-2 puntdeuren getekend.

Door de sluisdeuren (3) dicht te draaien, wordt de schutkolk geheel afgesloten van het water buiten. Het water in de schutkolk moet nu op het gewenste niveau worden gebracht; in het getekende geval dus omhoog. Daarvoor is een of ander vulsysteem (6) nodig, bijv. zoals in Figuur 2-2 is aangegeven een omloopriool in het sluishoofd (4a).

Bij scheepvaart in de omgekeerde richting zal de waterstand in de schutkolk omlaag moet worden gebracht. Zie voor de gang van het schutproces ook Figuur 2-1.

Dan is er juist sprake van een ledigsysteem (6a), bijv. omloopriolen in het sluishoofd (4). In hoofdstuk 6 wordt nog op de verschillende vul- en ledigsystemen teruggekomen.

Is het water in de schutkolk op hetzelfde niveau gekomen als de waterstand buiten, dan kunnen de sluisdeuren (3a) worden geopend en kan het schip zijn weg vervolgen.

### **b. waterkerende functie**

Een schutsluis bevindt zich op de scheiding van twee waterniveaus en maakt dus deel uit van de waterkering. Dit betekent dat het sluishoofd aan de hoge waterzijde (4a), het bovenhoofd genaamd, en de daarin aanwezige afsluitmiddelen de hoogste te verwachten waterstand moet kunnen keren. Het sluishoofd (4) aan de lage waterzijde, dat benedenhoofd wordt genoemd, hoeft slechts de hoogste toegelaten waterstand in de schutkolk te keren.

N.B. Bij schutsluizen in een getijgebied spreekt men van buitenhoofd (voor het aan de zeezijde gelegen sluishoofd) en van binnenhoofd.

Zijn er beweegbare onderdelen, zoals sluisdeuren, aanwezig in een waterkering, dan dient men er rekening mee te houden dat deze onderdelen op een bepaald moment in het ongerede kunnen raken. Dit kan zich voordoen bij het kapotvaren door schepen, door weigering van de bewegingsinstallatie, enz. Men moet in dat geval zorgen dat er een reservekering aanwezig is of dat andere maatregelen mogelijk zijn (zie hiervoor hoofdstuk 3).

Doordat er aan weerszijden van de schutsluis verschillende waterstanden voorkomen, zal er een waterstroming onder en naast de schutsluis optreden. Als gevolg van deze stroming kunnen gronddeeltjes worden meegevoerd, wat uitspoeling en ondermijning van de schutsluis tot gevolg kan hebben. Men spreekt in zo'n geval van onderloopsheid en achterloopsheid. Om dit te voorkomen zullen voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid (7) moeten worden aangebracht, zoals in Figuur 2-2 aangegeven in de vorm van damwandschermen.

### **c. waterafvoerfunctie**

De belangrijkheid van deze functie wordt in hoge mate bepaald door de hoeveelheid water, die moet worden doorgelaten. In het algemeen kan worden gesteld dat de waterafvoerfunctie een verstoring van de scheepvaartfunctie betekent, zodat een combinatie van beide functies weinig gelukkig genoemd kan worden.

Bij grote afvoeren zal de gehele schutkolkdoorsnede gebruikt moeten worden, opdat gedurende bepaalde perioden het water gespuid kan worden. Op die tijden is er derhalve geen scheepvaart mogelijk. De sluis dient dan beurtelings als schutsluis en als spuisluis. In feite is dit alleen maar acceptabel als er zeer weinig scheepvaart voorkomt. Een voorbeeld van een dergelijke sluis is de schutsluis bij Dintelsas, waardoor tevens de afwatering van een aantal riviertjes in West-Brabant op het Volkerak plaatsvindt. Een andere mogelijkheid, waarbij de scheepvaartfunctie en de waterafvoerfunctie geheel worden gescheiden, is de aanleg van een afzonderlijk spuirool, zoals bij de schutsluizen te Tiel in het Amsterdam-Rijnkanaal.

Bij kleinere afvoeren wordt vaak het vul- en ledigstelsel gebruikt voor het afvoeren van water. Ook hier zal echter gelden, dat het schutten en het spuien lang niet altijd gelijktijdig kunnen plaatsvinden. Het spuien moet dan beperkt blijven tot de "rustige" uren voor de scheepvaart, bijv. 's nachts of in het weekend of tot de uren met een laag aanbod, daar waar meerdere schutkolken naast elkaar aanwezig zijn. In dat laatste geval kan een schutkolk (schutsluis) worden gebruikt voor het spuien, terwijl de andere voor de scheepvaart dienst doen. Een voorbeeld hiervan is het schutsluizencomplex bij Wijk bij Duurstede. De nieuwe duwvaartsluis kan benut worden voor het spuien, terwijl de scheepvaart de naastgelegen "oude" sluis gebruikt.

Het spuien via de schutsluis kan op verschillende manieren gebeuren, o.a. door de vulopeningen in de afsluitmiddelen en via een riolenstelsel. Bij de duwvaartsluis te Wijk bij Duurstede wordt het water ingelaten door de vulopeningen in de sluisdeur van het bovenhoofd. De sluisdeur in het benedenhoofd staat dan open om zo het volle verval te kunnen benutten. Op deze wijze kan ca.  $100 \text{ m}^3/\text{sec.}$  worden ingelaten.

Bij de grote zeeluis te Terneuzen kan het langsriool van het vul- en ledigstelsel worden gebruikt voor het spuien van het overtollige oppervlaktewater op de Westerschelde. Tijdens het vullen en ledigen van de schutkolk kan door het langsriool niet worden gespuid. Het langsriool heeft ook als functie het afvoeren van het binnengedrongen zoute water.

In het verdere verloop van dit college zal bij wijze van voorbeeld van het afvoeren van water via de vulopeningen in de sluisdeuren worden uitgegaan.

Door de stromingen tengevolge van het vullen, maar vooral het ledigen van de schutkolk en ook tengevolge van de schroefbeweging door de scheepvaart, kunnen er ontgrondingen voor en achter de schutsluis optreden. Daardoor kan de stabiliteit van de sluis in gevaar worden gebracht. Daar waar nodig zullen dan ook bodembeschermingen (8) moeten worden aangebracht.

De belangrijkste functionele onderdelen van de schutsluis, bij de analyse van de verschillende functies gevonden, zijn dus:

- (1) wachtplaatsen
- (2) geleidewerken
- (3) afsluitmiddelen of sluisdeuren
- (4) sluishoofden
- (5) schutkolk
- (6) vul- en ledigsysteem
- (7) voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid
- (8) bodembescherming

Dit wil niet zeggen dat de bovenstaande volgorde ook voor het ontwerpen van de verschillende onderdelen moet worden aangehouden. Het is niet mogelijk de onderdelen los van elkaar te zien, omdat tussen alle genoemde onderdelen relaties bestaan. Daardoor beïnvloedt de keuze, gemaakt voor een bepaald onderdeel, mede de keuze die bij de andere onderdelen gedaan moet worden.

Om enig inzicht te krijgen, hoe de verschillende onderdelen met elkaar in verband staan, kan men een relatieschema gebruiken. Het blijkt dat de onderlinge relaties tussen de verschillende onderdelen afhankelijk zijn van het concrete project, zodat een eenduidig relatieschema voor het geval schutsluis niet op te stellen is.

Een voorbeeld daarvan kan worden gegeven met het vul- en ledigsysteem. Kiest men bijv. voor een systeem met vul- en ledigopeningen in de sluisdeuren, dan zal de verdere uitwerking van het vul- en ledigsysteem (bijv. aan de hand van modelproeven) en van de constructie van de sluisdeuren in onderlinge wisselwerking gelijktijdig moeten geschieden. De schutkolk kan nagenoeg los hiervan worden ontworpen.

Kiest men daarentegen een systeem met riolen over de gehele lengte van de schutkolk, dan ontstaat er een nauwe relatie tussen het ontwerp van het vul- en ledigsysteem en de constructie van de schutkolk. Nu moeten deze twee onderdelen gelijktijdig worden uitgewerkt, terwijl de constructie van de sluisdeur min of meer onafhankelijk daarvan kan plaatsvinden.

Hieruit blijkt eveneens dat een eenduidige ontwerpvolgorde niet te geven is. Dat is eerst mogelijk in een concrete situatie.

Wel kan men stellen dat ieder ontwerp moet beginnen met het vastleggen van de algemene vormgeving en de afmetingen van het kunstwerk aan de hand van de functionele eisen (de geometrie van de schutsluis). Daarom zal in het volgende hoofdstuk hier eerst enige aandacht aan worden besteed, waarna in de daaropvolgende hoofdstukken het ontwerp van de diverse functionele onderdelen zal worden behandeld in de volgorde:

- vul- en ledigsysteem
- schutkolk
- afsluitmiddelen (sluisdeuren)
- sluishoofden
- voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid
- bodembescherming
- wachtplaatsen en geleidewerken



### 3. Geometrie van de schutsluis

In dit hoofdstuk zullen de volgende punten kort worden behandeld:

- situering van de schutsluis
- algemene vormgeving
- hoofdmaten van de schutkolk
- belangrijkste peilen

#### 3.1 situering

Wat de situering betreft kan in algemene zin worden gesteld dat de afwikkeling van het scheepvaartverkeer zo min mogelijk gestoord moet worden. Dit houdt bijv. in dat zo mogelijk de lengte-as van de schutsluis en die van de scheepvaartweg moeten samenvallen. Waar dit niet kan (zoals soms bij de kanalisatie van een rivier, waar de stuw in het stromingsbed ligt en de schutsluis daarnaast) zal men moeten zorgen voor voldoende lange voorhavens, waarvan de lengte-assen weer moeten samenvallen met die van de schutsluis (zie ook Figuur 2-2).

Voor een vlot verloop van het schutproces is het verstandig de geleidewerken aan de beide sluisseinden tweezijdig uit te voeren.

Afhankelijk van het scheepsaanbod kan worden besloten tot meerdere schutsluizen naast elkaar. Zo zijn bij de Volkeraksluizen drie schutsluizen gebouwd. Uit het oogpunt van overzichtelijkheid van het sluisbedrijf en van de totale bouwkosten (grondaankoop, grondverzet) verdient het aanbeveling de sluizen naast elkaar en bijv. niet verspringend te projecteren.

#### 3.2 Algemene vormgeving

Voor de vormgeving van de schutsluizen is vooral van belang de in hoofdstuk 2 gedefinieerde schutcapaciteit van de sluis. Uit de vereiste capaciteit kan onder meer het benodigde kolkoppervlak worden afgeleid, rekening houdende met het feit dat bij toenemende schutkolk lengte er sprake is van afnemende capaciteitswinst.

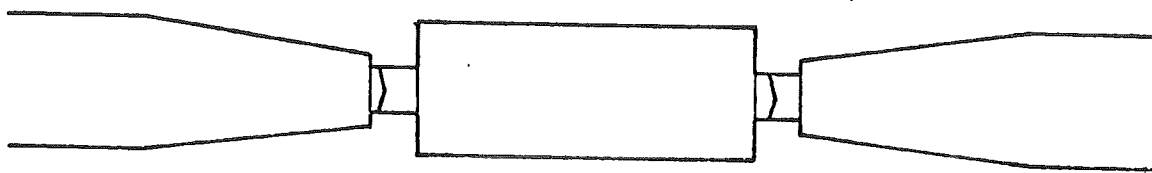
Men kan zelfs besluiten tot meerdere schutkolken. Dit heeft o.a. voordelen bij onderhoud en reparaties aan de schutsluis. Een schutkolk is dan buiten gebruik, maar de scheepvaart kan van de andere gebruik maken. Men moet echter niet alleen rekening houden met het gelijktijdig schutten van meerdere kleine schepen, maar ook met de afmetingen van het grootste, in de toekomst te verwachten, schip. Dit laatste speelt vooral bij de zeevaartsluizen, waarbij ook nog rekening moet worden gehouden met de sleepboten, die vaak nodig zijn. Uitgaande van het benodigde kolkoppervlak en rekening houdend met de afmetingen van het grootste schip kan men komen tot een bepaalde lengte-breedte verhouding van de schutkolk, met als uitersten een lange, maar smalle en een korte, maar brede kolk.

Voor een smalle kolk pleit, dat de sluisdeuren en het sluishoofd (beide relatief dure onderdelen) minder zwaar behoeven te worden uitgevoerd (immers  $M \propto b^2$ ) en daardoor goedkoper zijn. Ook de sluisvloer zou in bepaalde gevallen lichter kunnen worden.

Voor een brede kolk vallen de volgende criteria gunstig uit:

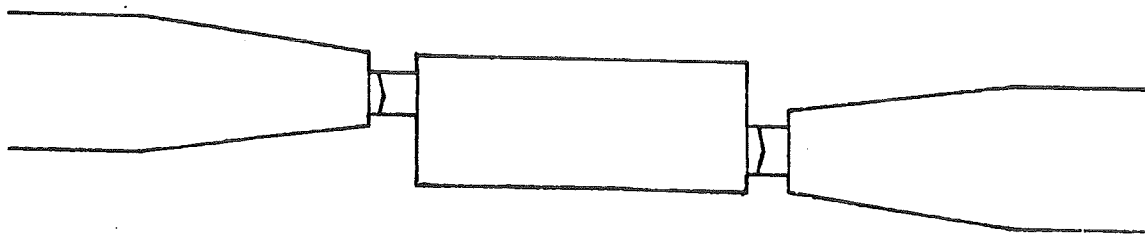
- het in- en uitvaren van de schepen verloopt vlotter
- de verhouding tussen de omtrek en het oppervlak van de schutkolk is voordeliger in verband met materiaalverbruik (minder kolkmuur; minder ontgraving en aanaarding)

Bij de uiteindelijke keuze zullen de bouwkosten een belangrijke rol spelen. Verder zullen de soorten schepen, met onderscheid naar hun afmetingen, en de daarbij te verwachten verdeling over de diverse soorten van belang zijn. Het verdient in dit verband vaak aanbeveling ervoor te zorgen, dat meerdere schepen zowel achter als naast elkaar in de schutkolk kunnen liggen. Dat is in het verleden soms aanleiding geweest om te proberen de voordelen van beide oplossingen te combineren. Men kreeg dan een sluis met een smalle in- en uitvaartopening in het sluishoofd, maar met een brede schutkolk (zie Figuur 3-1).



• Figuur 3-1 Sluis met smal sluishoofd en brede kolk

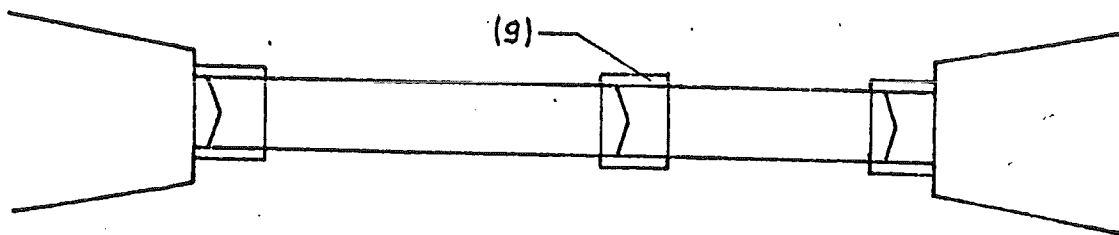
Een capaciteitsvergroting werd echter niet bereikt omdat het schutten langer duurde; het in- en uitvaren vergde aanzienlijk meer tijd. Er trad integendeel juist een capaciteitsverlaging op. Een ander probleem bij deze oplossing was dat de schepen die het eerst waren binnengevaren en aan de schutkolkwand moesten vastleggen, niet als eerste weer de schutkolk verlieten. Dat gaf uiteraard boze schippers. Er is toen een bijzondere vorm voor de schutkolk ontwikkeld om dat probleem te omzeilen, de z.g. bajonetsluis (zie Figuur 3-2).



• Figuur 3-2 Bajonetsluis

Het probleem van de capaciteitsvermindering werd ook kleiner, maar bleef bestaan. In ons land zijn toch de nodige bajonetsluizen gebouwd o.a. in Scheveningen en rond de stad Utrecht (Keulse vaart).

Als algemene regel kan gelden dat bij moderne schutsluizen de sluishoofddoorvaartbreedte gelijk is aan de schutkolkbreedte, zodat van een doorgaande wand kan worden gesproken. Zijn er bepaalde pieken in het scheepsaanbod of komen af en toe grote schepen voor, dan kan men overwegen een tussenhoofd (9) aan te brengen (zie Figuur 3-3).



• Figuur 3-3 Sluis met tussenhoofd

Voordelen van het gebruikmaken van een tussenhoofd zijn o.a.:

- doordat maar een gedeelte van de totale schutkolk hoeft te worden gevuld, wordt de vul- en ledigtijd bekort en daarmee de totale schuttijd.
- het binnendringen van zout water zal worden beperkt, terwijl ook minder zoet water naar de zee of van het hoge pand naar het lage pand verloren gaat.
- bij beschadiging van de sluisdeuren door aanvaring of bij onderhoud aan de afsluitmiddelen behoeft de schutsluis niet geheel buiten gebruik te worden gesteld.

In de verdere beschouwingen over het ontwerp van de schutsluis wordt uitgegaan van een enkele schutkolk, die per schutting een schip van het "Europatype" moet kunnen verwerken.

### 3.3 Hoofdmaten van de schutkolk

Van de hoofdafmetingen van de schutkolk kan het volgende worden gezegd:

#### **lengte**

De standaardlengte van het Europaschip bedraagt 80 m. Bij de binnenvaart geldt als globale richtlijn, dat de nuttige schutkolk lengte gelijk is aan de scheepslengte + 10%. Dit percentage is o.a. gebaseerd op het feit dat de invaartijd wezenlijk langer wordt bij kleinere speling en wordt verder beïnvloed door de voorkomende afwijkingen van de standaardlengte. Men moet hierbij bedenken dat er sprake is van een maatgevend schip en niet van een maatgevende combinatie van schepen. Onder de nuttige schutkolk lengte wordt verstaan de afstand, tussen de deurkas van het benedenhoofd en die van het bovenhoofd of de verhoogde vloer in het bovenhoofd, verminderd met enige meters speling aan iedere zijde. Deze speling is nodig om de kans kleiner te maken op beschadiging van de sluisdeuren of van het schip bij een verhoogde vloer. Schade zou kunnen ontstaan bij het doorschieten van een schip, het slippen van de tros, of iets dergelijks.

De nuttige schutkolk lengte wordt veelal aangegeven door middel van stopstrepen op de sluiswand. Bij Europaschepen is  $L = 88$  m (zie Figuur 2-2). Er wordt voorbijgegaan aan de vraag of twee kleinere schepen niet maatgevend kunnen zijn voor de kolk lengte.

#### **breedte**

Ook bij de bepaling van de nuttige kolk breedte zal men een zekere speling moeten introduceren. Factoren die daarbij een rol spelen zijn o.a. de kwaliteit van het geleidewerk (een goede vormgeving hiervan maakt zelfs het binnenvaren van zeer nauwe sluisen mogelijk) en het natte dwarsprofiel van het maatgevende schip, zowel qua vorm als grootte. Wat dat laatste betreft, moet men bedenken dat bij het binnenvaren van een sluis het schip een retourstroom veroorzaakt vanuit de sluis naar het kanaalpand. Is er weinig speling tussen de huid van het schip en de wanden en de vloer van de sluis, dan zal het schip een grote weerstand ondervinden. Daardoor wordt de invaartijd en als gevolg daarvan de schuttijd verlengd. Voor de uitvaartijd geldt hetzelfde.

Het maakt groot verschil uit of de natte doorsnede van het schip min of meer rechthoekig van vorm is, zoals bij de duwvaartschepen, of enigszins afgerond, zoals bij de conventionele binnenvaart (sleepschepen en de gebruikelijke motorschepen). Het is duidelijk dat bij de duwvaart daarom meer speling gewenst is.

Nu kan men deze speling zoeken in de breedte of in de diepte. De nadelen van een bredere sluis zijn weer de zwaardere sluisdeuren en de bredere, eventueel zwaardere vloer. De nadelen van een diepere sluis zijn de hogere en zwaardere wanden en de extra kosten voor ontgraving en eventuele bemaling.

De keuze zal afhangen van de kostenvergelijking, waarbij men tevens rekening moet houden met de terechte wens tot standaardisatie van de sluisafmetingen in het betrokken gebied of in de binnenvaartwegen. Indien geen bijzondere aandacht wordt besteed aan de vormgeving van de geleidewerken wordt voor het Europaschip vaak een extra breedte aangehouden van 25%. Bij een breedte van het Europaschip van 9,50 m komt de nuttige sluisbreedte dan op 12 m.

Ook hier geldt dat geen rekening is gehouden met twee kleinere schepen naast elkaar. Uit het oogpunt van schutcapaciteit verdient het aanbeveling een minimum kolk breedte van 12 m toe te passen.

### 3.4 Belangrijkste peilen

Tenslotte nog iets over enkele belangrijke peilen van de schutsluis. De drempeldiepte, dat is de ligging van het hoogste vaste deel van de vloer van de sluishoofden of van de schutkolk, wordt bepaald door de laagste waterstand in de schutsluis, de diepgang van het schip en de benodigde overdiepte (voor retourstromen, ongelijkheden van de bodem, scheepsbewegingen, enz.). De diepgang van het Europaschip bedraagt 2,60 m geladen. Een gebruikelijke toeslag voor de overdiepte is 30 à 40%. Opgemerkt dient te worden, dat dit percentage, evenals dat vermeld voor de breedte en de lengte van de schutkolk, betrekking heeft op schutsluisen voor de conventionele binnenvaart. Voor duw- en zeevaartsluisen gelden vaak andere waarden. Als vaardiepte voor het Europaschip kan dus ca. 3,50 m worden aangehouden.



Bij een nagenoeg constante waterstand is de drempeldiepte nu gemakkelijk te bepalen. Als er echter sprake is van variabele waterstanden, zoals bij getijrivieren aan zee, dan zal men moeten kiezen voor de laagste waterstand waarbij nog geschut moet worden. Men spreekt dan van het LSP (Laagste Schut Peil). De keuze hiervan is een kostenkwestie. Hoe hoger men het LSP kiest, des te kleiner worden de aanlegkosten, maar des te groter de verliesposten voor de scheepvaart i.v.m. de langere wachttijden. Men zal in zo'n geval naar een optimum dienen te zoeken.

De drempeldiepte wordt derhalve gekozen op LSP-vaardiepte. Omdat de waterstanden aan beide zijden van de schutsluis ongelijk zijn, zijn verschillen in drempelligging mogelijk. De drempeldiepte in het benedenhoofd en die in de schutkolk dienen op dezelfde hoogte te liggen, maar de drempel in het bovenhoofd zou men ongeveer het verval over de schutsluis hoger kunnen leggen (zie Figuur 2-2). Dit geeft een besparing in de aanlegkosten, omdat toch een overgang naar de kanaalbodem in het hogere pand gerealiseerd moet worden. De nadelen van deze oplossing zijn:

- de sluisdeuren in het boven- en benedenhoofd zijn niet meer even hoog. Indien men over reservedeuren wil beschikken met het oog op beschadigingen door aanvaringen en voor onderhoud, dan zal men in plaats van een sluisdeur er twee moeten maken.
- de drempel in het bovenhoofd vormt een onzichtbaar obstakel, dat tot beschadiging van schepen kan leiden tijdens het ledigen van de kolk. Een duidelijke markering, bijv. stopstrepen op de wanden, is dan ook noodzakelijk.

Bij vervallen van minder dan ongeveer 5 m zal daarom vaak de drempeldiepte in de gehele schutsluis gelijk worden gehouden.

Een andere hoogtemaat die van groot belang is voor de schutsluis, is de ligging van de bovenkant van de sluishoofden, de schutkolk en de sluisdeuren. Deze ligging wordt bepaald door de hoogste te beschouwen waterstand, vermeerderd met de opwaaiing en met de golfhoogten die ter plaatse te verwachten zijn.

Ingeval van wisselende waterstanden aan het bovenhoofd zal de waterkerende functie van de schutsluis eisen dat de hoogste te verwachten waterstand gekeerd moet kunnen worden. Deze waterstand moet worden gekoppeld aan de te verwachten schade ingeval van overschrijding. De overhoogte als gevolg van golven e.d. is mede afhankelijk van de eisen die men stelt met betrekking tot de mate van golfoverslag.

Men zal in het algemeen bij een schutsluis meer overslag accepteren dan bij een dijk. Golfoverslag bij een dijk kan immers gauw de stabiliteit van het dijklichaam in gevaar brengen.

Een algemeen geldende maat voor deze overhoogte is moeilijk te geven. Naast het LSP kent men bij de schutsluis ook het begrip HSP (Hoogste Schut Peil). Naar analogie met het voorgaande is dit de hoogste waterstand, waarbij nog geschut moet kunnen worden. Bij extreem hoge waterstanden immers is vaak door windgolven of sterke stromingen geen scheepvaart meer mogelijk. Voor de binnenvaart zou men als vuistregel kunnen aanhouden, dat het LSP en het HSP zo'n 5 à 10 maal per jaar mogen worden overschreden resp. overschreden. Op die ogenblikken kunnen dus geen schepen worden geschut.

Wat betekent dit alles nu voor de hoogteligging van de verschillende onderdelen van de schutsluis?

De bovenkant van het bovenhoofd met bijbehorend afsluitmiddel wordt bepaald door het hoogste te verwachten peil, terwijl de schutkolk en het benedenhoofd aan een hoogteligging van  $HSP + 1,00$  m voldoende hebben. De overhoogte van 1,00 m geldt voor de conventionele schepen en wordt o.a. bepaald door de mogelijkheid van geleiding van vooral lege, overstekende schepen bij het ledigen van de schutkolk. Voor duwvaartconvooien moet deze maat tenminste 1,50 m bedragen en voor zeeschepen nog meer.

Het voordeel van de oplossing met verschillende hoogteliggingen van binnen- en buitenhoofd is dat een groot gedeelte van de sluisconstructie lager kan worden uitgevoerd, waardoor op de aanlegkosten wordt bespaard.

Het nadeel is, dat ingeval van beschadiging van de sluisdeuren in het bovenhoofd, die in het benedenhoofd niet hoog genoeg zijn om de hoogste optredende waterstand te keren. Deze gevaarlijke situatie kan worden vermeden door de bovenkant van de schutkolkmuur, van het benedenhoofd en van de zich daarin bevindende sluisdeuren dezelfde hoogte te geven als die van het buitenhoofd. Men beschikt dan over een tweede kering.

Bij grotere verschillen tussen de hoogste te keren waterstand en het HSP zal deze oplossing echter duur worden en zou men toch kunnen overwegen verschillende niveaus toe te passen. Of men in dit geval voorzieningen zal treffen, hangt onder meer af van de kans van voorkomen van het nagenoeg gelijktijdig optreden van een ernstige beschadiging door aanvaring van de sluisdeur in het bovenhoofd en van de hoogste waterstand. Tevens zal men in de overwegingen de consequenties van een eventuele overstroming moeten betrekken.

Bedoelde voorzieningen kunnen bijv. zijn:

- het aanbrengen van een tweede afsluitmiddel in het bovenhoofd, zoals vaak wordt toegepast bij de zeevaartsluizen.
- het opslaan van een reserve-afsluitmiddel in de omgeving, waarbij men moet bedenken dat het aanbrengen daarvan tijd kost. Maar hoe groot is de kans op een aanvaring van de sluisdeur vrijwel onmiddellijk gevolgd door een extreem hoge waterstand?
- het maken van een beschermingsconstructie tegen het aanvaren van de sluisdeuren.
- eventueel kan het storten van steen of een andere provisorische dichting met bijv. schotbalken voldoende zijn.

Tweede deuren en reservedeuren zijn niet alleen van belang voor de waterkerende functie van de schutsluis. Zij kunnen er ook voor zorgen, dat bij kleinere beschadigingen of bij onderhoud van de sluisdeuren het schutbedrijf vrijwel ongestoord kan doorgaan. De meeste moderne, grote zeevaartsluizen hebben daarom zowel in het buiten- als in het binnenhoofd een tweede afsluitmiddel. Oponthoud voor zeeschepen is immers een kostbare aangelegenheid.

Bij het verdere ontwerp van de schutsluis zal worden uitgegaan van:

- een nuttige schutkolk lengte van 88 m
- een nuttige schutkolk breedte van 12 m
- de drempeldiepte is over de gehele schutsluislengte gelijk de ligging van de bovenkant van de sluis is ook overal gelijk.



## 4. Vul- en ledigsystemen van schutsluizen

### 4.1 Algemeen

Voor een schutsluis is de grootte van de kolk en de schuttijd bepalend voor de capaciteit. De tijd voor in- en uitvaren en voor afmeren in de sluis bepalen met de tijd benodigd voor vullen of ledigen de schuttijd. Per richting vraagt één schutting voor een duwvaartsluis 30 à 45 minuten, waarvan het vullen of ledigen circa 10 minuten; eventuele tijdwinst zit dus maar voor een deel in het vullen en ledigen.

Een belangrijke eis t.a.v. het vul- en ledigstelsel is een groot debiet terwille van de snelheid van schutten bij het normaal aanwezige verval, zonder dat ontoelaatbare krachten op de schepen in de kolk of in de voorhaven worden uitgeoefend.

Daarnaast kan geëist worden dat het waterverlies van bovenpand naar benedenpand zo klein mogelijk is; dat de zoutwaterpenetratie wordt belemmerd en daarmee het zoetwaterverlies wordt beperkt; dat er een mogelijkheid is door de sluis te spuien.

Vullen en ledigen gebeurt in het algemeen door:

- openen van schuiven in de deur, of langzaam openen van de deur zelf (hefdeur).
- omloopriolen met schuiven om de deur, uitkomend in wand of vloer van het sluishoofd.
- een door schuiven bediend kanalsysteem met openingen in wand of bodem van de sluis kolk.

Genoemde bijkomende eisen kunnen leiden tot bijzondere systemen waarbij b.v. pompen, spaarbekkens naast de sluis kolk, zoutwaterkelders onder de kolkbodem, een beweegbare bak in de kolk, of combinatie met een spuikanaal worden toegepast.

Voorzieningen om de krachten op de schepen in de kolk te beperken zijn:

- schuiven die geprogrammeerd worden bewogen om de opening geleidelijk vrij te geven, of verlopende vorm van de opening, waardoor het debiet bij lineair heffen niet lineair toeneemt.
- spreidingsbaiken voor de opening.
- woelkelders met breekbalken om de energie te vernietigen.

Er is een wisselwerking tussen eisen en kosten van aanleg en exploitatie. Systemen met langsriolen, spaarbekkens of zoutwaterkelders vragen hogere aanlegkosten, en als bovendien pompen worden toegepast, ook hogere exploitatiekosten.

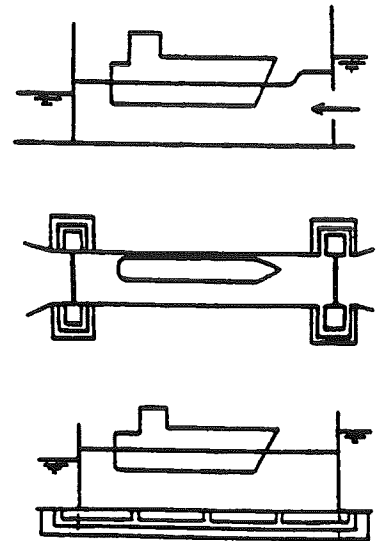
### 4.2 Krachten op het schip

Bij het vullen van de kolk door de deur wordt het water vertraagd en wordt energie vernietigd waardoor krachten op het schip worden uitgeoefend.

Bij het ledigen wordt het water in de kolk versneld waarvan de schepen in de kolk als regel weinig hinder ondervinden; soms geeft dit wel bezwaren.

Een kanalsysteem met regelmatig over de kolkvloer verspreide inlaatopeningen geeft de kleinste krachten op het schip en wordt toegepast bij zeer grote vervallen (bijv. vanaf 20 m).

Een langsriool met laag in de wand in een sleuf in de bodem geplaatste inlaatopeningen geeft ook kleine krachten en wordt toegepast bij vervallen tot circa 25 m.



• Figuur 4-1 Vullen en ledigen

Bij vervallen tot 6 m kan de kolk gevuld en geledigd worden in langsrichting door openingen in de deuren, die door schuiven worden bediend. Dit is vaak de goedkoopste oplossing en de deuren zijn uitwisselbaar.

Bij vulling door de deur ontstaan op het schip langskrachten door:

- de vulstraal tegen de boeg van het schip dat dicht bij de schuifopening ligt.
- een translatiegolf van boven- naar benedenhoofd die weer wordt teruggekaatst.
- een negatieve helling van de waterspiegel, door de afzinking ter plaatse van de vulstraal waar de snelheid van het water het grootst is, terwijl die snelheid bij het benedenhoofd nul is.
- wrijving van het water langs de scheepshuid; deze speelt nauwelijks een rol.

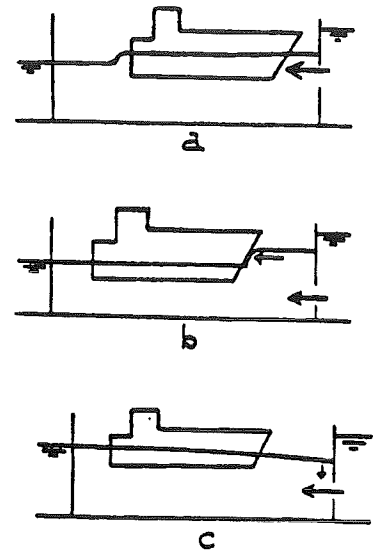
Opgemerkt wordt dat vullen van een zoute kolk met zoet water of andersom, ten gevolge van het dichtheidsverschil, veel wijzigt in het krachtenspel. Ook bij het openen van de deuren ontstaat een stroming door de uitwisseling van zoet met zout water. Het vullen van een zoute kolk met zoet water geeft een sterke bovenstroom en een extra kracht in de richting van het benedenhoofd.

Het vullen van een zoete kolk met zout water geeft een sterke onderstroom met een extra kracht op het schip in de richting van de vuldeur in het bovenhoofd. Ten opzichte van de homogene toestand kunnen dichtheidsverschillen de krachten verdubbelen. Eén en ander geldt voor de kopvulling, d.w.z. vullen door schuiven in de deuren of door omloopriolen in het sluishoofd.

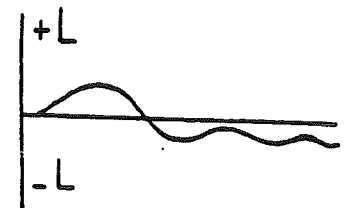
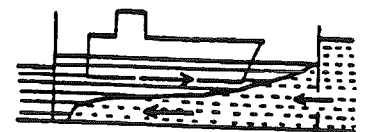
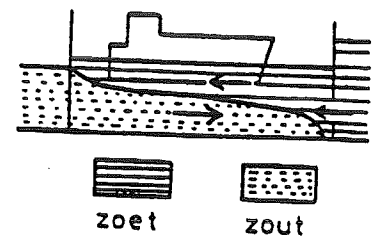
De resulterende langskracht op het schip moet zo klein mogelijk blijven. Tengevolge van de translatiegolf die wordt teruggekaatst wisselt deze van teken. Het streven is de grootste positieve langskracht en grootste negatieve langskracht (resultierend uit translatiegolven stromingskrachten) ongeveer gelijk te krijgen, met slechts één keer wisseling van teken tijdens het vullen.

Behalve de krachten op het schip nadat het in de kolk is gemeerd tijdens het vullen, moeten we de troskrachten tijdens het tot stilstand komen en meren beschouwen. Voor het schip is dit een normale procedure waarvoor geëigende kabels aan boord zijn.

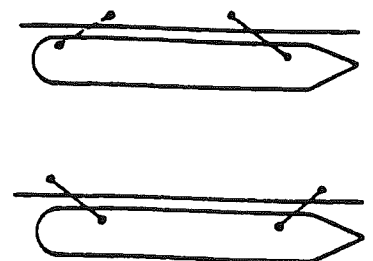
Een binnenschip meert, door de voortros om de bolder op de sluis te leggen en het losse eind wordt met een paar slagen om de scheepsbolder gelegd. Al vierend wordt het schip geleidelijk afgeremd door de wrijving tussen tros en scheepsbolder, waarbij de troskracht in de hand wordt gehouden door straktrekken of laten slippen van het losse eind. Als het schip stilligt wordt ook de achtertros symmetrisch uitgelegd, vaak nadat eerst de voortros opnieuw naar voren is uitgelegd. Bij deze wijze van meren kan het schip weinig dwarskracht opnemen, vooral bij de aanwezigheid van vaste bolders, als het schip gaat stijgen. Daarom is het gewenst dat de hydrodynamische krachten naar de wand toe zijn gericht.



• Figuur 4-2 Vulling door de deur



• Figuur 4-4 Langskracht



• Figuur 4-5 Trossen binnenschip

De toelaatbare hydrodynamische kracht is gerelateerd aan de toelaatbare kracht in de kabel. De zwaarste kabels die nog met de hand kunnen worden bediend zijn staalkabels Ø 22 mm met een breukbelasting van 105 kN. Als er handwinches aan boord zijn, zoals bij duwbakken, kunnen zwaardere kabels worden gebruikt. Nylon trossen absorberen door een grotere rek meer energie.

Bovengrenzen voor de hydrodynamische langskrachten op het schip zijn:

schepen tot	600 ton	1,5 ‰ van de waterverplaatsing
schepen tot	2.000 ton	1,0 ‰ van de waterverplaatsing
4-baks duweenhed	tot 10.800 ton	0,7 ‰ - 1,0 ‰ van de waterverplaatsing

Zeeschepen vragen een afzonderlijke beschouwing, ze kunnen niet onder een algemene regel worden gevat. Het meren van zeeschepen gebeurt meestal met 4 trossen die op constante spanning strak worden gehouden door winches op het schip.

Soms worden bij dwarswind één of twee kabels extra dwars uitgezet.

Troskrachten (orde van grootte, vooral bepaald door de tensionwinch) :

20.000 DWT (Dead Weight Tons)	: 0,25 ‰
100.000 DWT	: 0,12 ‰

Tenslotte wordt opgemerkt dat het ledigen van de kolk een translatiegolf in de voorhaven geeft. De krachten op de daar wachtende schepen zijn beperkter dan op de schepen in de kolk, maar mogen ook niet groot zijn.

Verder staat het stortebed buiten de sluis bloot aan de krachten door de uitstroming (dit is ook het geval door de retourstroom als het schip de sluis binnenvaart).



• Figuur 4-6 Trossen zeeschip

### 4.3 Berekening van troskrachten

De grootste langskrachten op het schip ontstaan bij langsvulling van de kolk (door deuren of door omloopriolen in de hoofden). Het instromende water geeft een niveauverhoging die zich als translatiegolf voortplant. De zich voortplantende golf oefent een langskracht op het schip uit, die zal blijven werken tot de golf het schip heeft gepasseerd. De golf keert tegen het benedenhoofd om en passeert het schip in omgekeerde richting. De langskracht op het schip werkt dus eerst in de richting van het benedenhoofd en vervolgens in die van het bovenhoofd, enz. (na de eerste terugkaatsing is de resulterende helling vaak nul).

Voor de translatiegolf geldt bij een niveauverhoging  $z$  die zich voortplant met snelheid  $c$ , debiet  $Q$ , waterdiepte  $h$  en kolkbreedte  $b$ , dat

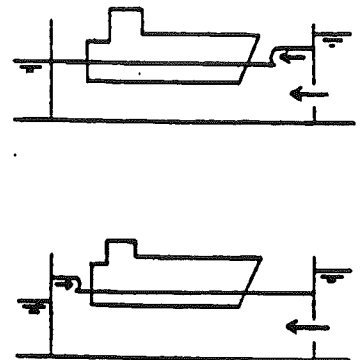
$$z = \frac{Q}{bc} = \frac{Q}{b} \sqrt{\frac{1}{gh}}$$

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dt} \frac{dt}{dx} = \frac{dz}{dt} \sqrt{\frac{1}{gh}} = \frac{dQ}{dt} \frac{1}{ghb}$$

Dit geldt zolang de golf niet is teruggekaatsd.

Aangezien  $\frac{dz}{dx}$  geldt voor een kolk zonder schip, is nu slechts bij benadering:

kracht op het schip = scheepsgewicht maal  $\frac{dz}{dx}$ .



• Figuur 4-7 Translatiegolf

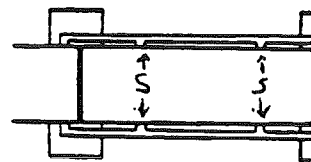
De verstoring door het schip kan in rekening worden gebracht door voor de voortplantingssnelheid  $c = \sqrt{gh}$  te schrijven:

$$c = \sqrt{\frac{g(F-n)}{b}}$$

met F en n als natte doorsnede van respectievelijk kolk en schip.

Er bestaat een rekenprogramma voor een nauwkeurige berekening gedurende het gehele vulproces (Waterloopkundig Laboratorium te Delft).

Een langsruiol met meerdere aftappunten met één inlaatschuif aan het begin is ongunstig omdat aanvankelijk het meeste water door het eerste aftappunt gaat tengevolge van het traagheidseffect (het water in een lang ruiol komt trager op gang). Dit wordt ontlopen door elk aftappunt van schuiven te voorzien waardoor het debiet bij alle aftappunten gelijk wordt gehouden en de langskrachten meer beperkt worden. Door het aanbrengen van bijvoorbeeld 2 inlaatpunten op  $\frac{1}{4}$  en  $\frac{3}{4}$  van de kolk lengte wordt de kolk a.h.w. opgedeeld in 4 deelkolken, elk met een kopvulling van  $\frac{1}{4} Q$ , wat optimaal is voor verminderen van de langskrachten.



• Figuur 4-8 Langsruiol met meerde tappunten

De troskracht kan ook verkleind worden door  $\frac{dQ}{dt}$  te

halveren en pas na tijd  $t = \frac{L}{\sqrt{gh}}$  de andere helft bij te

voegen, bijv. door een getrapt hefprogramma ( $L$  = kolk-lengte).

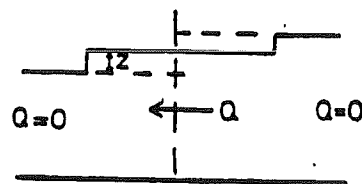
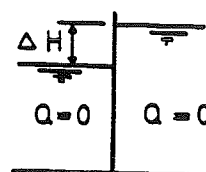
Een tijdwinst wordt verkregen door de deuren te openen voordat het water aan weerszijden gelijk is. De kracht op het schip bij een niveauverhoging  $z$  van de translatiegolf is  $\rho \cdot g \cdot z \cdot n$ , waarin  $n$  is natte doorsnede schip.

Bij benadering  $\rho g \frac{z}{L} n L \approx \frac{z}{L} \cdot \text{scheepsgewicht}$ .

Het criterium voor de troskracht is  $\frac{z}{L}$ .

Als het restverval  $\Delta H$  is, is de niveauverhoging  $z$  kleiner dan  $\Delta H$  door het reducerend effect van de negatieve golf in het bovenpand, maar de golf die tegen het schip gedeeltelijk terugkaatst geeft een groter verhang, wat het effect vergroot. Als beide effecten elkaar opheffen is het criterium  $\frac{\Delta H}{L}$ .

Bedacht moet worden dat deze troskracht ontstaat op een moment dat de schipper er niet meer op rekent.



• Figuur 4-9 Openen deuren

## 4.4 Verkleinen van de hydraulische krachten

De langskracht tengevolge van de translatiegolf wordt verkleind door het voorste deel van de golf de vorm van een wig te geven met een lengte groter dan de scheepslengte. Dit gebeurt door het debiet  $Q$  zeer langzaam te laten toenemen en geleidelijk te vergroten door een aangepast hefprogramma, of een bijzondere vormgeving. Het grote bezwaar van vullen door het heffen van de deur zelf is, dat in het begin een te grote opening ontstaat. Daarom wordt dit weinig toegepast. Een aangepast hefprogramma wordt verkregen door een zeer langzame beginbeweging van de schuiven, door niet alle schuiven tegelijk te heffen, of door het heffen te onderbreken. Een bijzondere vorm kan men geven aan opening of schuif (a); (zie Figuur 4-11) een breekplaat voor de opening vernietigt energie (b); een jalouzie-schuif zodanig dat één opening later vrijkomt (c).

Het negatief verhang van de waterspiegel wordt verkleind door een goed stroombeeld tengevolge van spreiding van de vulstraal over de kolkbreedte. Dit wordt bereikt door:

- de schuifopeningen in breedterichting te spreiden (d)
- de openingen evenwijdig aan de sluisas te richten
- verticale breekbalken of eten breekplaat (e)
- een geperforeerde plaat voor de opening (f)

Een risico is dat drijvend vuil zich vastzet. Dit pleit voor laaggeplaatste openingen en grote mazen in het breekrooster.

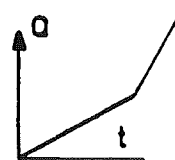
Bij het vullen door openingen in de wand, die in een bodemsleuf uitkomen, zijn de stromingskrachten klein, maar deze dwarskrachten kunnen door de stand van de trossen ook moeilijk worden opgenomen. Als bij vullen door één wand de vulstroom onder het schip door schiet, dan wordt het schip tegen de vulwand gedrukt, wat gunstig is. Bij vullen door de kolkvloer over een redelijk deel van de lengte zijn de krachten gering.

## 4.5 Het debietprogramma bij vullen en ledigen

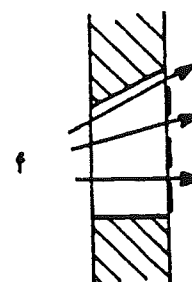
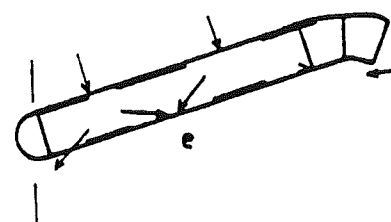
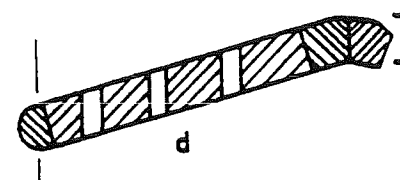
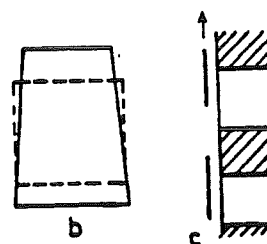
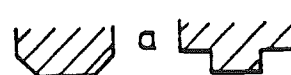
### 4.5.1 Schuifopening in de deur

De helling van de waterspiegel is klein en bij benadering geldt dat het verval  $z$  over de opening bepaald wordt door de gemiddelde kolkwaterstand  $h$  en de buitenwaterstand  $h_0$ .

Voor het instroomdebiet  $Q$  geldt bij een kolk met verticale wanden en oppervlak  $A$  dat  $q = -A \frac{dz}{dt}$ .



• Figuur 4-10 Reduceren langskracht



• Figuur 4-11 Vorm opening en schuif



Bij de berekening van het debiet mag de traagheid van het water in de openingen worden verwaarloosd, zodat het debiet zich aanpast aan het momentane waterstandsverschil  $z$  en ook aan de momentane effectieve schuifopening  $\mu f$ ,

$$Q = \mu f \sqrt{2gz} \quad (1)$$

Als aangenomen wordt dat de vulopening  $\mu f$  constant blijft (oneindig snel geheven schuif) neemt  $Q$  lineair met de tijd af en wordt tenslotte  $Q = 0$ .

$$\mu f \sqrt{2gz} = -A \frac{dz}{dt} \quad (2)$$

Uit (1) en (2) is op te lossen:

$$\frac{\mu f \sqrt{2g}}{A} t = -2\sqrt{z} + \text{const.} = -\frac{2Q}{\mu f \sqrt{2g}} + \text{const.}$$

De sluis is vol als  $Q = 0$ ; heftijd schuif is  $t_h$ .

Als  $\Delta H$  het initieel verval is tussen boven- en benedenpand,

dan is de vultijd  $T$  bij lineair geheven schuif met  $\mu f = \mu f_o \left(\frac{t}{t_{hef}}\right)$ :

$$T = \frac{1}{2} t_h + \frac{2 A \Delta H}{\mu f_o \sqrt{2g \Delta H}} \quad (3)$$

of in woorden :

"De vultijd is gelijk aan tweemaal schutschijf, gedeeld door het debiet dat bij getrokken schuif en volledig verval zou ontstaan, vermeerderd met de halve heftijd".

Bij een oneindig snel geheven schuif geldt:

$$T = 2t_o = \frac{2 \cdot \text{schutschijfinhoud}}{Q_o} = \frac{2 A \cdot \Delta H}{\mu f_o \sqrt{2g \Delta H}} \quad (4)$$

Komt de effectieve opening vrij met snelheid  $\mu f = \mu f_o \left(\frac{t}{t_{hef}}\right)$  dan

volgt uit

$$Q = \mu f \sqrt{2gz}$$

dat

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\mu f_o}{t_h} \sqrt{2g \Delta H} \quad (5)$$

Hiervan wordt gebruik gemaakt voor een eerste schatting van hellingen tengevolge van translatiegolven en de daardoor veroorzaakte troskrachten.

#### 4.5.2 Riolen

Als de sluis gevuld of geleidigd wordt door riolen, kan de traagheid van het water in het riool niet worden verwaarloosd. Er is een verval  $p$  nodig om het water te versnellen.

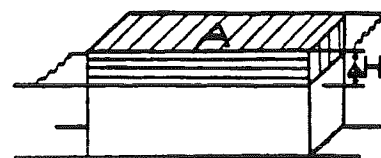
Omdat geldt  $\frac{dp}{dx} = -\rho \frac{dv}{dt}$  is bij rioollengte  $L$  en initieel verval  $\Delta H$  nu een extra verval benodigd volgens

$$\rho g \Delta H = \rho L \frac{dv}{dt} \quad (6)$$

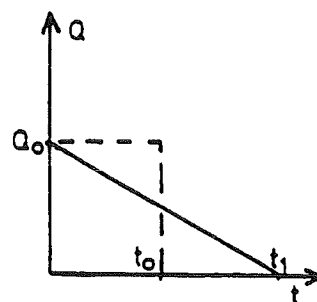
Inplaats van  $Q = \mu f \sqrt{2gz}$  komt de vergelijking

$$z = \xi \frac{Q^2}{2g f_r^2} + \frac{L}{g} \frac{dv}{dt} \quad (7)$$

waarin  $f_r = f_{\text{riool}}$  en  $\xi$  het gesommeerde verlies over het riool, dat varieert met de tijd tijdens het heffen van de schuif.



• Figuur 4-12 Schutschijfinhoud



• Figuur 4-13 Vultijd

Bij lineair heffen neemt het debiet lineair toe met de tijd:

$$Q = \alpha t \text{ of } \frac{dQ}{dt} = \alpha.$$

In het begin is alleen het schuifverlies  $\xi_s$  van belang, en het volledige verval  $\Delta H$  is nog aanwezig.

Uit (7) volgt nu :

$$z_s = \xi_s \frac{Q^2}{2gf_r^2} = \Delta H - \frac{L\alpha}{gf_r} \quad (8)$$

We voeren in:

$$Q = \mu f \sqrt{2gz_s} = \mu f \sqrt{2g(\Delta H - \frac{L\alpha}{gf_r})} \quad (9)$$

Aangezien  $f$  in het begin, zoals is gesteld, lineair met de tijd toeneemt en  $\mu$  niet sterk varieert, kan men schrijven  $\mu f = \beta t$  en dan is

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha = \beta \sqrt{2g(\Delta H - \frac{L\alpha}{gf_r})} \quad (10)$$

waaruit  $\frac{dQ}{dt} = \alpha$  kan worden berekend.

Voor de complete berekening moet het schuifverlies over de gehele hefhoogte bekend zijn; in het begin is de snelheid  $v_r$  in het riool klein en zijn overige verliezen verwaarloosbaar. Vlak achter de schuif is de snelheid in de gecontraheerde straal  $v_c$ .

Aangezien de verliezen zich bij de stroomvertraging afspelen, geldt volgens Carnot (volgt uit impulswet als alle debiet onder schuif stroomt):

$$z_s = \xi_s \frac{v^2 r}{2g} = \frac{(v_c - v_r)^2}{2g} \quad (11)$$

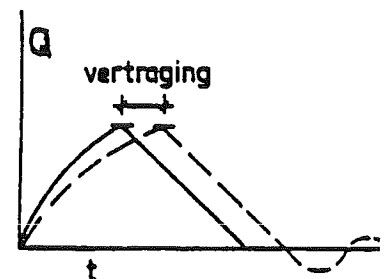
$v_c$  kan met schatting van de contractiecoëfficiënt als functie van de schuifhoogte worden bepaald.

Als de andere rioolverliezen bekend zijn dan worden vullen en ledigen bepaald door:

$$Q = -A \frac{dz}{dt} \text{ en } z = \xi \frac{Q^2}{2g \cdot f_r^2} + \frac{L}{g} \frac{dv}{dt}$$

Resumerend blijft in het begin van het heffen het debiet iets achter door de traagheid van het water. Het maximum debiet blijft kleiner door de overige rioolverliezen. Als de schuif geheel geheven is neemt het debiet lineair af; de  $\frac{dQ}{dt}$  is gelijk aan wat

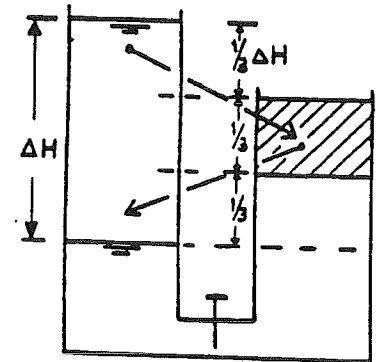
in formule (5) zonder traagheid is gevonden. Bij kleiner debiet overheerst de traagheid bij begin en eind van het vullen en ledigen. Kolk en riool vormen een laaggedempt systeem van communicerende varen: het water schiet door ("overtravel").



• Figuur 4-14 Traagheid water

## 4.6 Spaarbekkens

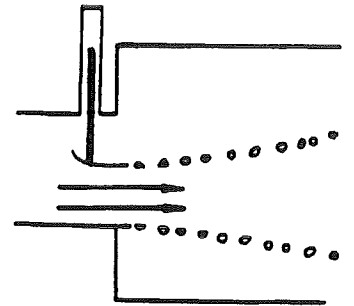
Om het waterverlies te beperken bouwt men één of meer spaarbekkens, waar een deel van het schutwater inloopt bij het ledigen van de kolk en bij het vullen weer wordt onttrokken. Een sluis met een verval  $H$  verbruikt tweemaal zoveel water als twee sluizen in serie elk met verval  $\frac{1}{2} H$ . Eén bekken met oppervlak gelijk aan dat van de schutkolk spaart 33% water. Bij ledigen van de kolk loopt  $\frac{1}{3}$  deel van de schutkolk in het bekken, de rest gaat naar het benedenpand. Bij vullen komt  $\frac{1}{3}$  deel uit het bekken, de rest komt uit het bovenpand. Twee spaarbekkens geven een besparing van 50%. Dit laatste wordt ook bereikt bij twee parallelsluizen, waarvan de riolen zijn verbonden; hiervan is de schutcapaciteit uiteraard veel groter.



• Figuur 4-15 Spaarbekkens

## 4.7 Groot-verval sluizen

Bij sluizen met verval groter dan 10 m zal cavitatie bij de schuiven optreden. Bij grotere vervallen kan hierbij schade ontstaan. Er ontstaan bellen gevuld met waterdamp, waarbij ook luchtbelllen vrijkomen; het water kookt bij atmosferische druk. De schade die ontstaat bij het imploderen van de bellen kan bij ledigingsschuiven worden beperkt door fijnverdeelde lucht in het water te brengen; bij vullen via een riool met meerdere verbindingen naar de kolk raakt echter de debietverdeling ontregeld als er lucht in het water wordt meegenomen. Cavitatieschade wordt verkleind door een staalbekleding, of door staalvezelbeton toe te passen. Een plotselinge rioolverwijding benedenstrooms van de schuif is ook gunstig omdat de implosie van de bellen zich wat verder van de wand afspeelt.



• Figuur 4-16 Cavitatie bij groot-verval sluizen

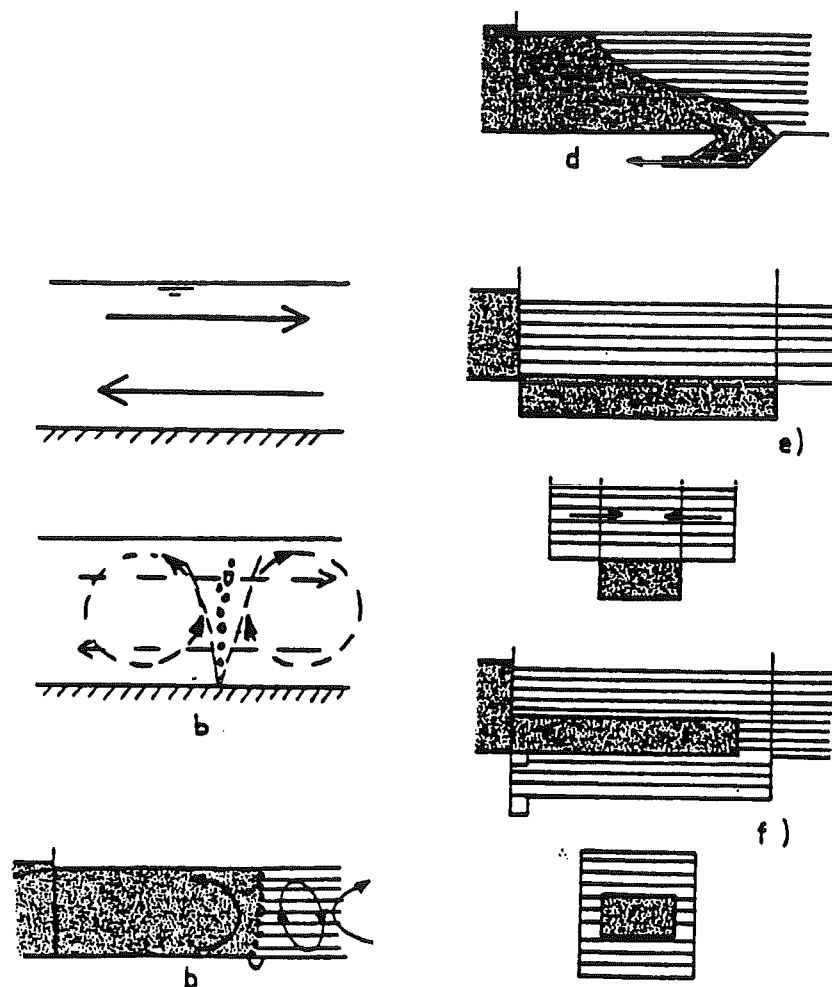
## 4.8 Zout-zoet scheidingssystemen

Als een schutsluis een scheiding vormt tussen wateren met verschillend peil die ook verschil in dichtheid bezitten, bijv. een zoet kanaal en een zoute zeearm, vindt er volledige uitwisseling plaats.

Doordat na het openen van de deuren het zoute water naar de bodem zakt en het zoete water naar het oppervlak gaat ontstaat een horizontale twee-lagenstroming in de schutkolk waardoor niet slechts de schutschijf maar het gehele kolkvolume bij elke schutting van het ene pand naar het andere worden gebracht.

Het uitgewisselde volume kan worden beperkt door:

- terugpompen van de schutschijf naar het bovenpand.
- een vertikaal luchtbellenscherm nabij de deuren dat de horizontale twee-lagenstroming afremt (Volkerak).
- een verdiept bekken buiten de sluis, waar het zoute water inzakt dat wordt teruggespuid met klein debiet via een laaggelegen spleet.
- een verdiept bekken buiten de sluis waaruit het zoute water wordt teruggespuid met hetzelfde debiet als het inkomende debiet (Terneuzen).
- ledigen van zoutwaterkolk via de geperforeerde bodem, terwijl aan het oppervlak zoet water wordt toegevoerd (Kreekrak, Philipsdam).
- een liftsluis waarbij een liftbak met zout water beweegt in een wijdere kolk met zoet water (Oesterdam).



• Figuur 4-17 Beperking uitwisseling kolkvolume



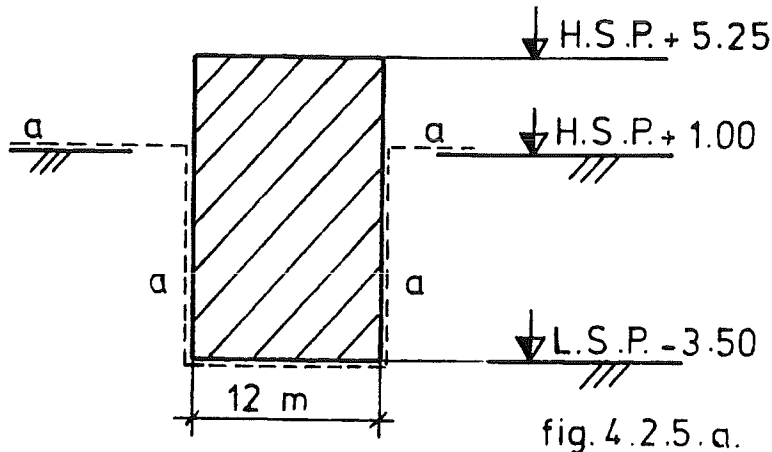
## 5. Schutkolk

### 5.1 Algemeen

De schutkolk is het onderdeel van de schutsluis waarin de schepen liggen tijdens de verandering van het waterniveau: de afsluitbare ruimte dus in de definitie van de schutsluis. In hoofdstuk 3 zijn een aantal verkeerswaterbouwkundige randvoorwaarden voor de schutkolk aan de orde geweest. Aannemende dat er sprake is van een schutkolk, waarin een binnenvaartschip van het "Europa-type" moet kunnen liggen, komt men tot de volgende uitgangspunten voor het meest wenselijke profiel van vrije ruimte:

- nuttige schutkolk lengte 88 m
- nuttige schutkolk breedte 12 m
- drempeldiepte over de gehele schutsluis gelijk en wel op ca. 3,50 m onder het laagste schutpeil (LSP)

In wezen ontbreekt alleen nog de bovengrens van het profiel van vrije ruimte. Dit peil wordt bepaald door de vereiste vrije doorvaarthoogte van het Europaschip boven de hoogste waterstand, waarbij nog geschut moet worden (HSP). Dit gegeven is verder voor het ontwerp van de schutkolk van minder belang. Het speelt wel een rol bij het ontwerp van de afsluitmiddelen, speciaal bij omhoog bewogen sluisdeuren (bijv. hefdeuren) in geopende (geheven) stand, zie daarvoor hoofdstuk 6. Voor het Europaschip wordt een vrije doorvaarthoogte van 5,25 m boven het HSP aangehouden. Wel van belang voor de schutkolk is de hoogte van de bovenkant van de zijwanden. Zoals in hoofdstuk 3 is besproken, zijn daarvoor verschillende mogelijkheden, maar m.h.o. op het "Europa-schip" is gekozen voor HSP + 1,00 m, zie Figuur 5-1.



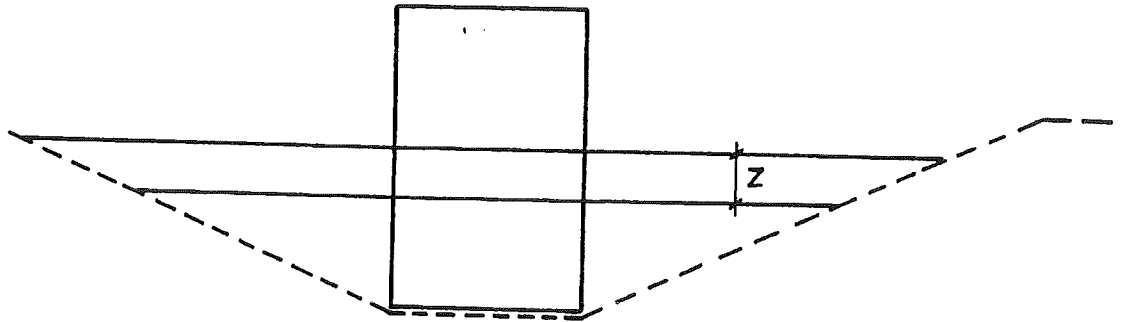
• Figuur 5-1 Peilen

Omdat het profiel van vrije ruimte over de gehele lengte van de schutkolk gelijk is aangenomen, wordt het ontwerpen van de schutkolk een tweedimensionaal probleem.

Een minimale omgrenzing van dit dwarsprofiel uit Figuur 5-1 kan verkregen worden door de lijn a-a. De moeilijkheid daarbij is het verticale gedeelte, dat in grond uitgevoerd, op zich niet stabiel is, tenzij de schutkolk gebouwd zou moeten worden in rots van goede kwaliteit. Overigens zal men in dat geval toch een bekleding moeten aanbrengen wegens de ruwe wand en het mogelijke loslaten van brokken bij aanvaring.

Hoe is de stabiliteit van het verticale gedeelte te bereiken?

- door de korrels van de grond kunstmatig vast te houden, bijv. met behulp van injectiemethoden. Financieel en technisch is dit geen reële oplossing.
- door inplaats van een verticale begrenzing een helling onder natuurlijk talud aan te brengen (Figuur 5-2).



• Figuur 5-2 Verticale begrenzing onder een talud

Het voordeel van deze oplossing zou de goedkopere kolkconstructie moeten zijn. Men moet echter niet vergeten dat toch een taludverdediging moet worden aangebracht i.v.m. stromingen en golven door de scheepvaart en het vul- en ledigsysteem teweeggebracht. Bovendien is een geleidingsconstructie voor de schepen nodig teneinde te voorkomen, dat de schepen aan de grond raken als het water in de kolk gaat zakken. Een nadeel van deze oplossing is zeker, dat veel meer water nodig is om de schutkolk te vullen en te ledigen, doordat het kolkoppervlak groter is geworden. Dit betekent langere schuttijden, meer waterverlies uit het hoge pand, etc.

Oplossing b. staat bekend als de schutsluis met groene kolk. Dit type is in Nederland wel toegepast voor sluisen die normaal open staan en alleen onder bijzondere omstandigheden als schutsluis werken (b.v. Ravenswaay; enkele sluisen in de Zuid-Willemsvaart).

Zo'n schutsluis wordt tegenwoordig hier niet meer gebouwd.

- door een grondkerende constructie aan te brengen.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt alleen ingegaan op oplossing c. Daarbij wordt eerst een globale opzet voor de wandconstructie gegeven, waarna de bodemconstructie wordt behandeld. Tenslotte wordt iets verteld over de oplossingen, waarbij de wanden en de vloer als een gecombineerde constructie worden uitgevoerd.

## 5.2 Schutkolkwand

### 5.2.1 Functies

Uitgaande van de functies van de wand zijn een aantal ontwerpeisen te formuleren.

- grondkerende functie

De wand zal grond dicht moeten zijn en in staat de belasting, door de grond veroorzaakt, op te nemen. Of de wand ook het grondwater moet tegenhouden, is o.a. afhankelijk van de mate van wateraandrang. Een bepaalde en meestal hoge graad van waterdichtheid zal echter altijd vereist zijn, waardoor de wand eveneens waterdrukken moet kunnen opnemen.

- scheepvaartgeleidende functie

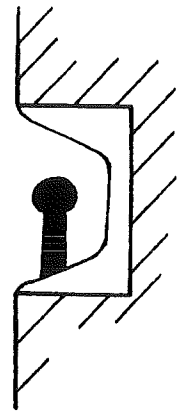
De wand zal zowel in de hoogte- als in de lengterichting van de sluis glad moeten zijn. In de hoogterichting vooral, omdat anders bij het vullen van de kolk de scheepsboorden onder uitstekende randen of punten kunnen blijven steken met gevaar voor gedeeltelijk kantelen van het schip. Oneffenheden moeten worden vermeden, omdat dit tot beschadiging aan het schip en de constructie leidt. Men kan eventueel een geleidingsconstructie in de schutkolk aanbrengen, maar dat betekent wel verlies in

beschikbare breedte. Bij zeevaartsluizen worden soms drijfrahmen of fenders toegepast, onder meer om schade aan de muur en het schip bij het aanleggen te voorkomen.

c. verbindingsfunctie tussen schip en wal.

Het schip moet kunnen afmeren en tijdens het vullen en ledigen van de kolk met de wal verbonden blijven om een rustige ligging te behouden. In het algemeen zullen bij binnenvaartschepen bolders worden gebruikt die, wegens de eis van een gladde wand, in de kolkwand ingekast zijn; de zg. haalkommen (zie Figuur 5-3).

Omdat het schip met het waterniveau meebeweegt, worden een aantal haalkommen vertikaal boven elkaar aangebracht. De trossen moeten dus telkens worden verplaatst tijdens het schutten. Bij grote vervallen wordt daarom wel gebruik gemaakt van drijvende bolders, die in sponningen in de schutkolkwand met de waterstand mee op en neer bewegen.



• Figuur 5-3 Haalkommen

## 5.2.2 Belastingen

Hiermee zijn de voornaamste functies aangeduid en zal er nog wat dieper worden ingegaan op de verschillende belastingen, die op de kolkwand uitgeoefend kunnen worden.

1. gronddruk

De kolkwand dient de achterliggende grond tegen te houden. Men zal verschillende glijvlakken dienen te onderzoeken om tot de maximum optredende gronddruk te komen. Uit de grondmechanica is bekend dat, al naargelang de stijfheid van de constructie, rekening moet worden gehouden met actieve (slappe constructie) of neutrale gronddruk (bij stijve, starre constructies). Vooral bij na de bouw aan te aarden constructies dient men te rekenen op klink van de aangevulde grond. Daaruit resulteert een negatieve kleeft op de kolkwand.

2. waterdruk

Aan de ene kant van de wand bevindt zich het grondwater, aan de andere kant het water in de schutkolk. Maatgevende belastingcombinaties zijn:

- een hoge grondwaterstand en een lage waterstand in de schutkolk. Vroeger werd vaak rekening gehouden met het geheel droogzetten van de schutkolk met het oog op reparaties. Dit betekende een zeer zware belasting op de wanden en op de vloer. Tegenwoordig zijn de enige onderdelen die men zou willen bereiken in het sluishoofd gelegen, nl. de draaipunten of de geleiderails en de aanslagen van de sluisdeuren. Men kan dan volstaan met het plaatselijk droogzetten van de sluis (zie hoofdstuk 6, Afsluitmiddelen (sluisdeuren)).
- een lage grondwaterstand en een hoge waterstand in de schutkolk. Deze laatste kan zijn het hoogste schutpeil (HSP), maar ook de hoogste te verwachten buitenwaterstand indien het benedenhoofd met de daarin aanwezige sluisdeuren als tweede waterkering fungeert.

Overigens moet men niet vergeten dat er naast het gebruiksstadium van de schutkolk nog andere fasen voorkomen. Vooral in de bouwfase zal men attent moeten zijn op bijzondere, eenmalig voorkomende belastingssituaties. (Dit geldt in nog sterker mate bij het ontwerp van de vloer).

3. eigen gewicht van de wandconstructie.

4. eventuele tijdelijke bovenbelastingen naast en op de schutkolkwand.

5. troskrachten van afgemeerde schepen via de bolders of haalkommen.

6. eventuele scheepsstoten



Uit allerlei mogelijke combinaties van deze belastingen resulteert telkens een horizontale en een verticale kracht.

### 5.2.3 Oplossingsprincipes

Wil men de wandconstructie zelf deze krachten laten opnemen, zonder gebruik te maken van de sluisvloer en van de tegenoverliggende wand, dan zal men ervoor moeten zorgen dat het uitwendig evenwicht verzekerd is.

Dan moet er aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

$$\sum H = 0$$

$$\sum V = 0$$

$$\sum M = 0$$

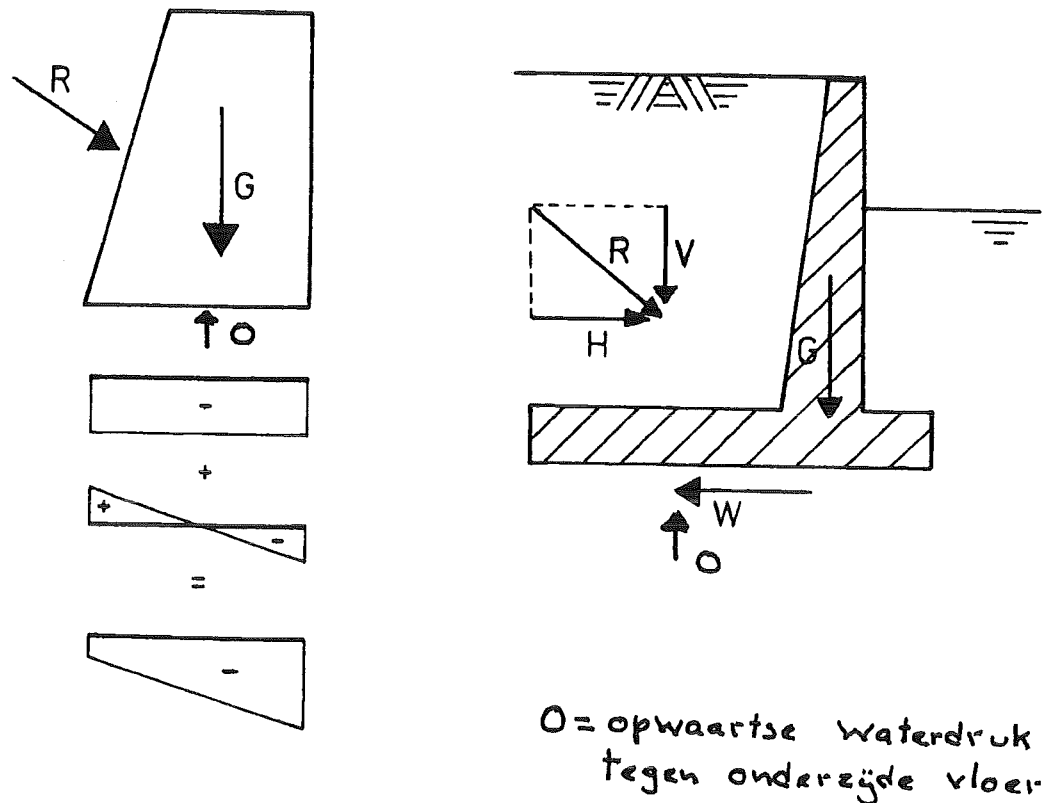
Hoe kan nu een horizontale kracht worden opgenomen?

Men kan bijv. gebruik maken van een aantal systemen die bekend zijn uit de toegepaste mechanica: Daarbij valt te denken aan een vrij uitkragende ingeklemde ligger, aan een ligger op twee of meer steunpunten of aan een gewichtsconstructie.

Voor het opnemen van een verticale kracht zou men bijv. gebruik kunnen maken van een gelijkmatig verdeelde oplegging of van een aantal geconcentreerde oplegpunten.

Door combinaties te vormen van bovengenoemde oplossingen kan men tot constructieschema's van de gewenste wandconstructie komen. Men kan de mogelijkheden nog vergroten door andere principes voor het opnemen van de horizontale krachten in te voeren. Er zal worden volstaan met het aangeven van enkele, in de praktijk voorkomende, constructies.

A. Gewichtsconstructie (gelijkmatig verdeelde oplegging)



• Figuur 5-4 Krachten op een gewichtsconstructie

De horizontale kracht H moet worden opgenomen door de wrijving tussen de onderkant van de wand en de grond. In ieder geval moet gelden:

$$W \geq n \cdot H$$

waarin:  $W = f \cdot (G + V - O)$   
 $n =$  veiligheidscoëfficiënt (1,2 à 1,5)  
 $f =$  wrijvingscoëfficiënt

De verticale krachten G en V verminderd met O worden gecompenseerd door een min of meer gelijkmatige gronddrukverdeling onder de wandconstructie. Daarnaast ontstaat er een uitwendig moment op de constructie, dat kan worden opgenomen door de gronddrukverdeling onder de voet van de constructie zodanig aan te nemen als is aangegeven in Figuur 5-4. Een voorwaarde die vaak voor de stabiliteit wordt gesteld is, dat de resultante van de uitwendige krachten binnen de kern van de voetplaat moet vallen. Een belangrijke randvoorwaarde voor het evenwicht van de constructie was:

$$n \cdot H \leq f \cdot (G + V - O)$$

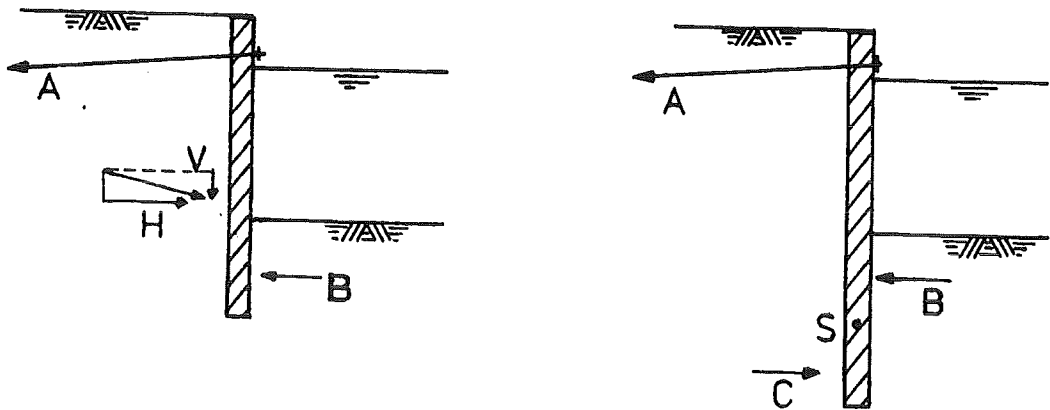
Hieraan kan op verschillende manieren worden voldaan:

- door er voor te zorgen dat de wrijving tussen onderzijde keermuur en grond groter is dan  $\tan \phi$  (hoek van inwendige wrijving grond). De  $f$  is dan gelijk aan  $\tan \phi$ .
- zorgen voor een voldoende groot eigen gewicht G. Voor het verkrijgen van het benodigde gewicht kan men de constructie forse afmetingen geven en/of zware (toeslag)materialen gebruiken. Dit soort constructies wordt wel toegepast in gebieden waar natuursteen vrijkomt bij het ontgraven van het scheepvaartkanaal of bij de bouw van de schutsluis zelf. Het gebroken materiaal wordt dan verwerkt in de meestal ongewapende betonconstructie.

- c. zorgen voor grote uitwendige kracht  $V$  door bijv. gebruik te maken van de grond achter de schutkolkwand (zie Figuur 5-4). De, in gewapend beton uitgevoerde, constructie heeft dan meestal de gedaante van een L-vormige keermuur, waarvan de voetplaat zover mogelijk naar achteren steekt om zodoende het gewicht van de bovenliggende grond te benutten.

Tenslotte moet erop gewezen worden dat de horizontale kracht ook geheel of gedeeltelijk door de vloerconstructie geleverd kan worden (zie par. 5.4).

## B. Damwandconstructie



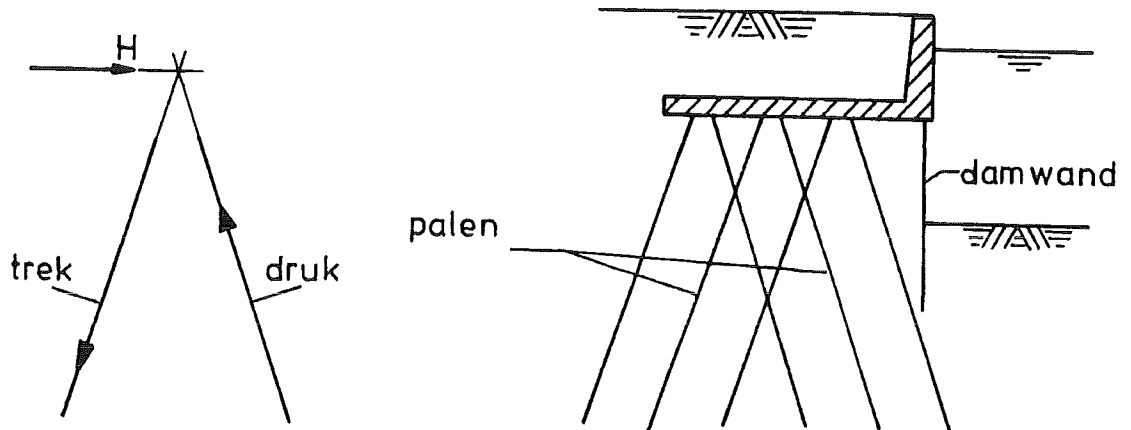
• Figuur 5-5 Damwandconstructie

Een eenvoudige vorm van krachtoverdracht is via de ligger op twee steunpunten. De horizontale belastingkracht  $H$  wordt dan opgenomen door de reacties  $A$  en  $B$  (zie Figuur 5-5, links). De horizontale reactie  $A$  kan bijv. worden geleverd door een ankerkracht, terwijl de reactie  $B$  door de passieve korreldruk gevormd kan worden. De verticale belastingkracht  $V$  kan worden opgenomen door de wandwrijving langs de damwand. Er zullen dus buigende momenten in de damwand optreden, waardoor als materiaal staal in aanmerking komt. Om de buigende momenten zo klein mogelijk te houden, kan men op verschillende manieren tewerk gaan.

- a. plaats van de ankerkracht  $A$  gunstig kiezen.  
Door deze plaats meer naar beneden te kiezen, wordt de overspanning verkleind, waardoor het veldmoment kleiner wordt. Een optimum zou te vinden zijn door het veldmoment gelijk aan het steunpuntsmoment te laten zijn. Er zijn echter nog andere overwegingen, zoals het groter worden van de ankerkracht  $A$ , zodat de ankerconstructie zwaarder zal moeten worden uitgevoerd.
- b. meer dan één ankerkracht aanbrengen
- c. de horizontale reactiekracht  $B$  zo hoog mogelijk laten aangrijpen.  
Een gunstige plaats daarvoor zou ter hoogte van de bodemconstructie van de schutkolk zijn. Men zou hierbij de sluisvloer zelf of de tegenoverliggende schutkolkwand (stempelraam) kunnen in schakelen (zie hiervoor par. 5.4).
- d. een ander constructieschema voor de schutkolkwand kiezen.  
Door de damwand dieper in de grond te brengen, zal de damwand gaan draaien om het punt  $S$  (zie Figuur 5-5, rechts). Door deze draaiing wordt in de grond nog een andere passieve korreldruk ( $C$ ) opgewekt. In combinatie met  $B$  zorgt  $C$  voor een inklemming van de damwand in de grond. De wandconstructie is dan statisch onbepaald geworden. In wezen is de ankerkracht nu niet nodig voor de stabiliteit. Maar door de grotere vervormingen van de wand en door de zwaardere uitvoering ervan i.v.m. de grotere buigende momenten wordt toch meestal een verankerde damwand toegepast. Bij gebruikmaking van stalen damwandprofielen wordt niet meer aan de ontwerpeis van een gladde wand voldaan. Daarom moet deze damwand worden bekleed met houten

stijlen en regels, teneinde te voorkomen dat de schepen beschadigingen oplopen bijv. bij de inspringende kassen. Er zal regelmatig onderhoud aan deze bekleding nodig zijn. Voorts moet men rekening houden met de beperkte levensduur van stalen damwanden in vergelijking met die van betonconstructies.

### C. Hooggefundeerde keermuur



• Figuur 5-6 Hooggefundeerde keermuur

Als de draagkrachtige laag op een veel dieper niveau is gelegen en als de vaardiepte in de schutsluis groot is, wordt wel de in fig. Figuur 5-6 geschetste oplossing toegepast. Dat zal in feite alleen het geval zijn bij zeesluizen. De horizontale en de verticale krachten op de keermuur worden door de palen opgenomen. De damwand onder de keermuur dient om de grond en eventueel het water te keren en oefent dus een horizontale kracht op de keermuur uit. Eventueel zou men de damwand ook een dragende functie kunnen geven.

## 5.3 Schutkolkbodem (sluisvloer)

De voornaamste ontwerpeisen, die volgen uit de verschillende mogelijke functies van de vloer, zijn:

- de waterkerende functie.  
Al naargelang de mate van wateraandring kan worden geëist dat de vloer waterdicht moet zijn of niet. Als een waterdichte vloer aangebracht moet worden, dan moet ook de waterdruk onder alle omstandigheden kunnen worden opgenomen. Als de vloer niet waterdicht behoeft te zijn, dan geldt in verband met
- de stabiliteitsfunctie van andere functionele onderdelen van de schutsluis, zoals het sluishoofd en de schutkolkwand, dat de vloer een vaste ligging moet hebben, m.a.w. dat er geen ontgrondingen mogen optreden.  
Waardoor kan die vaste bodemligging worden verstoord?
  - Door de grondwaterstroming naar de schutkolk toe, dus bij hoge grondwaterstand en LSP in de kolk.
  - Door de stromingen en turbulenties veroorzaakt door het vul- en ledigsysteem
  - Door de stromingen en de turbulenties veroorzaakt door scheepsbewegingen en scheepsschroeven.
- de krachtsoverdrachtfunctie  
Tot de mogelijke oplossingen voor de kolkwandconstructie behoort ook die, waarbij de vloer een reactiekracht moet leveren; de reactiekracht B in Figuur 5-5. Deze functie wordt hier even buiten beschouwing gelaten, maar meegenomen in par. 5.4.

Bij het zoeken naar mogelijke oplossingsprincipes kan dan een onderscheid worden gemaakt tussen waterdichte en niet-waterdichte constructies. Bij waterdichte vloeren kan in het algemeen worden aangenomen dat aan de stabiliteitseis wordt voldaan, dus dat geen ontgroning mogelijk is.

### A. Waterdichte vloer

De extreme belastinggevallen zijn:

1. een lage grondwaterstand en HSP in de schutkolk. Dit levert een resulterende neerwaarts gerichte kracht, die samen met het eigen gewicht van de vloer, door de onderliggende grond moet worden opgenomen. Dit leidt tot een fundering op staal indien de ondergrond voldoende draagkrachtig is of tot een fundering op palen in andere gevallen.
2. een hoge grondwaterstand en LSP in de schutkolk.  
De schutsluis hoeft immers niet drooggezet te worden. De resulterende verticale belasting is hierbij gelijk aan  $g \times$  het verschil tussen de stijghoogte van het grondwater onder de vloer en de hoogte van de waterkolom boven de vloer, het totaal verminderd met het eigen gewicht van de vloer.  
Is deze belasting positief, dus opwaarts gericht, dan kunnen onder meer de volgende oplossingsprincipes worden overwogen:
  - a. de vloer zwaarder maken dan eigenlijk noodzakelijk is. Dit kan gerealiseerd worden door een dikkere vloer te maken, of door zwaarder materiaal te gebruiken, zoals zwaardere toeslagstoffen in beton.
  - b. de vloer voorzien van trekankers of trekpalen. Met verticale trekankers wordt de vloer a.h.w. tegen de grond gespannen. Bij de toepassing van verticale trekpalen moet men eraan denken dat bij het dalen van de hoge grondwaterstand en/of het vullen van de schutkolk de opwaartse belasting zal omslaan in een neerwaartse belasting, waardoor de trekpalen als drukpalen moeten kunnen werken.
  - c. de vloer een verbinding geven met de wandconstructies. De opwaartse kracht kan nu geheel of gedeeltelijk naar de wand worden afgevoerd (zie ook par. 5.4).
  - d. een combinatie van de oplossingen a, b en c toepassen.

Bij grotere opwaartse krachten blijkt onder Nederlandse omstandigheden oplossing b. op economische gronden te prefereren boven oplossing a. Vooral de oplossing met trekpalen is dan aantrekkelijk. De losse vloer als zodanig wordt hier echter weinig gebruikt. Men geeft, onder meer op grond van de lagere kosten, de voorkeur aan gecombineerde constructies van vloer en wanden.

Is de resulterende belasting op de vloer omlaag gericht, dan kan worden volstaan met een fundering op staal bij voldoende draagkracht van de grond direkt onder de vloer of met een fundering op palen in andere gevallen.

### B. Niet-waterdichte vloer

Bij dit type oplossingen speelt vooral de relatie tussen de doorlatendheid van de ondergrond en die van de vloer een grote rol. Men kan daarbij de volgende gevallen onderscheiden:

1.  $k_{v1} = k_{gr}$   
Met behulp van een vierkantennet of een elektrisch analogon kan men de uittreesnelheid van de grondwaterstroming bepalen. Vervolgens dient men de stabiliteit van de bovenste korrels van de vloerconstructie te onderzoeken. Zelfs indien deze niet worden meegenomen door de grondwaterstroming, moet men zich toch realiseren, dat verstoringen zullen optreden door stromingen en turbulenties, veroorzaakt door schepen of door het vul- en ledigstelsel. Dat de bovenste korrels bestand zijn tegen deze stromingen is een weinig realistisch geval.
2.  $k_{v1} < k_{gr}$   
Zeker in het geval  $k_{v1} \ll k_{gr}$  (d.i. een nagenoeg ondoorlaatbare vloer) zal de totale opwaartse druk door de vloerconstructie moeten worden opgevangen. Denk hierbij bijv. aan een kleilaag bovenop een goed waterdoorlatende zandlaag. Men dient dan rekening te houden met gevaar voor opbarsten. De kleilaag moet voldoende dik zijn en vooral een homogene dikte en structuur vertonen.
3.  $k_{v1} > k_{gr}$   
In dit geval is het verhang over de vloerconstructie erg klein, zodat de vloer als een filterconstructie werkt. De toplaag moet bestand zijn tegen de waterbewegingen veroorzaakt door de scheepvaart, het vullen en ledigen en de grondwaterstroming.

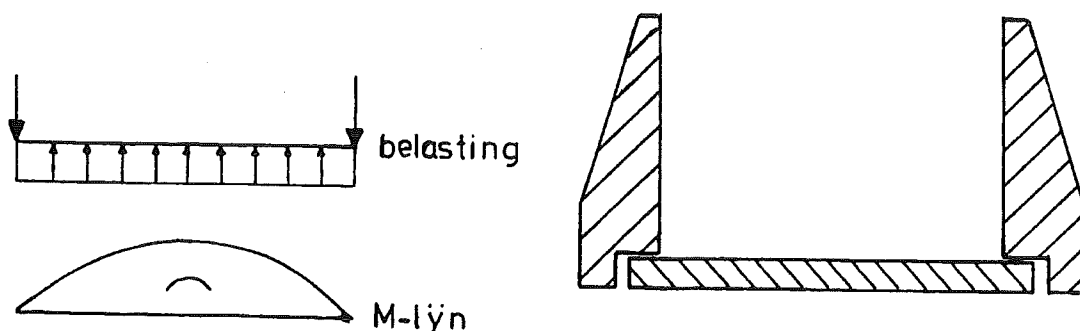
## 5.4 Combinatie wand-vloerconstructie

Voor de verschillende ontwerp-eisen wordt verwezen naar de voorgaande paragrafen. Hierna zullen enige oplossingsprincipes worden besproken, waarbij de mate van samenwerking tussen wand en vloer toeneemt, totdat bij het bakprofiel een volledige monoliet constructie is verkregen.

Allereerst het in par. 5.2.3 onder B.c. vermelde geval, waar de vloer als een stempel tussen de beide kolkwanden dienst doet en dus een normaalkracht moet kunnen overbrengen. Bij een niet-waterdichte constructie van de vloer zal tot splitsing van de verschillende functies moeten worden overgegaan. De normaalkracht kan bijv. worden overgedragen via betonnen balken (stempels), terwijl de stabiliteit van de rest van de vloer wordt verkregen door het aanbrengen van een filterlaag. Men moet er bij deze oplossing voor zorgen, dat de stempels niet onderspoeld worden, maar over de volle lengte ondersteund blijven.

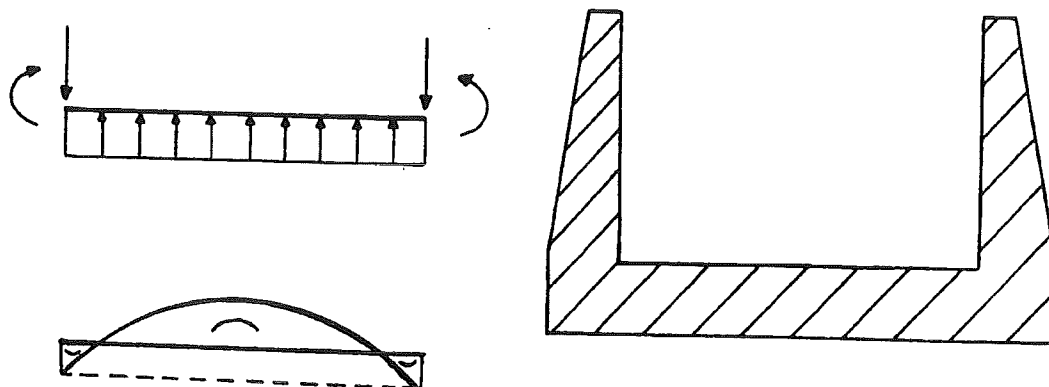
Bij een waterdichte constructie van de vloer kunnen de verschillende functies gemakkelijk worden gecombineerd. De vloer wordt dan bijv. uitgevoerd als een gewichtsvloer in beton, die bovendien een normaalkracht moet kunnen opnemen. Speciale aandacht zal moeten worden besteed aan de voeg tussen de vloerplaat en de kolkwand. Door de normaalkracht en door de wrijving tussen de vloer en de wand kan er gemakkelijk een dwarskracht ontstaan, die niet voorziene momenten in de vloerplaat en extra verticale krachten op de wand oplevert. Wil men dit voorkomen, dan moet een oplegging worden ontworpen, die wel een normaalkracht maar geen dwarskracht kan overbrengen, terwijl voorts de voegconstructie waterdicht moet zijn.

De problemen rond de ongewenste momenten en dwarskrachten bij de voorgaande oplossing leiden al gauw tot de gedachte om in plaats van een gewichtsvloer een vloer te nemen, die wel momenten kan opnemen, dus bijv. uit gewapend beton is vervaardigd. Bij resulterende opwaartse belastingen kan de constructie eruit zien als aangegeven in Figuur 5-7.



• Figuur 5-7 Kolkvloer van gewapend beton

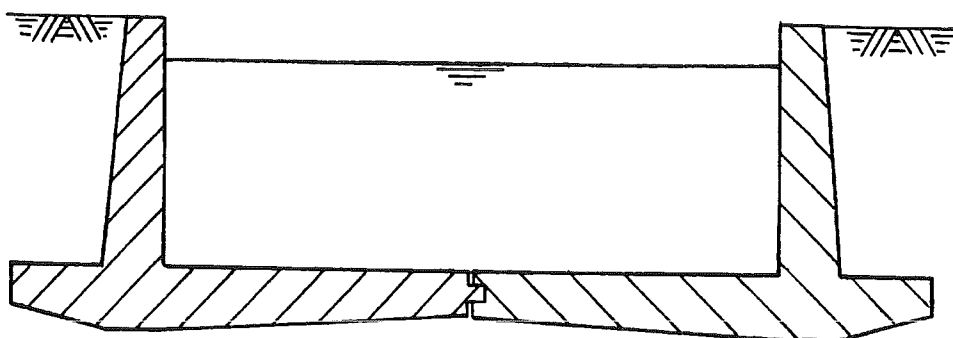
Door de voegconstructie en door het feit dat de veldmomenten bij groter wordende sluisbreedte kwadratisch toenemen (indien er tenminste sprake is van een resulterende opwaartse belasting) is het logisch dat de volgende stap het maken van een stijve verbinding tussen de wanden en de vloer is. Hierdoor worden steunpuntsmomenten geïntroduceerd, die een verkleining van het veldmoment betekenen. Dit leidt tot de in Figuur 5-8 getekende oplossing van het bekende gewapend betonnen bakprofiel.



• Figuur 5-8 Opwaartse krachten bij een gereduceerd veldmoment

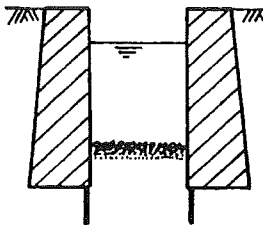
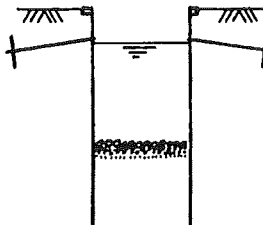
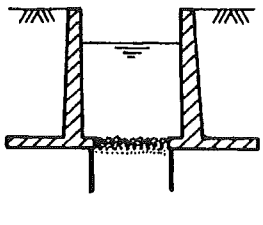
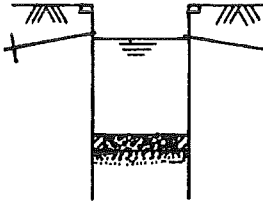
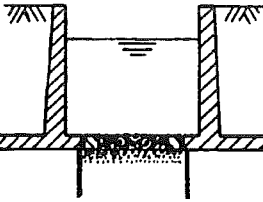
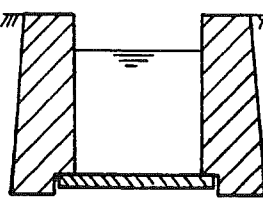
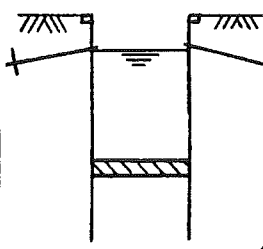
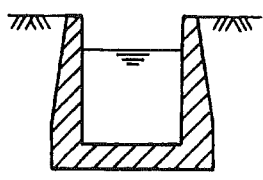
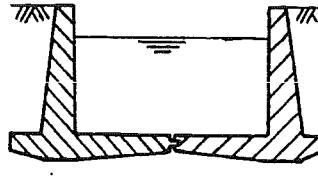
Een ander voordeel is, dat bij deze monolietconstructie het vaak grote gewicht van de kolkwanden, zowel in het bouwstadium als in de perioden van lage grondwaterstanden, een betere spreiding krijgt. Daardoor worden te hoge korreldrukken en verticale verplaatsingen vermeden.

Bij grote zeesluizen, waar de schutkolk niet alleen erg breed maar ook diep is, worden de wanden erg zwaar en kan het gewenst zijn de vloer tot buiten de kolkwanden door te voeren om zo tot lagere verticale korreldrukken te komen. Bij een dergelijke brede sluis is een doorgaande vloer meestal niet erg zinvol. Men past dan vaak voegen toe, die als scharnieren werken, dus wel normaalkrachten kunnen overbrengen (zie Figuur 5-9).



• Figuur 5-9 Brede sluis met voeg in de vloer

Tot slot wordt in Figuur 5-10 nog een overzichtsschema gegeven van de besproken oplossingen voor de schutkolk.

	GEWICHTSMUUR	STALEN DAMWAND	GEWAPEND BETON CONSTRUCTIE
BODEM ALS FILTER			
BODEM MET STEPELS			
GESLOTEN VLOER			 

• Figuur 5-10 Oplossingen schutkolk

In de horizontale lagen is de mate van samenwerking tussen de wanden en de vloer aangegeven: in de bovenste rij zijn de onderdelen geheel onafhankelijk, in de middelste rij is er alleen sprake van het overbrengen van een stempelkracht, terwijl in de onderste laag een grote vorm van samenwerking is aangegeven.

In de verticale kolommen zijn de in par. 5.2.3 genoemde oplossingsprincipes voor de kolkwandconstructie aangegeven met een nadruk op de te gebruiken materialen. In de linker kolom de gewichtsmuur van meestal ongewapend beton, in de middenkolom de stalen damwand en in de rechter kolom de uitvoeringsmogelijkheden in gewapend beton. Speciale vermelding verdienen nog de korte damwandschermen onder de kolkwanden in de twee buitenste kolommen.



Bij de toepassing van een filterconstructie als sluisvloer blijft er een grondwaterstroming aanwezig van achter de kolkwand naar de schutkolk toe. Indien het filter niet goed zou werken, zou er uitspoeling onder de kolkwand constructie kunnen optreden. De stabiliteit van de kolkwand zou dan gevaar kunnen lopen. Het korte damwandscherm voorkomt deze ondermijning en zorgt door de verlenging van de kwelweg bovendien voor een kleinere uittreesnelheid van de grondwaterstroming (zie ook hoofdstuk 8).

## **5.5 Keuzebepaling**

Bij het bepalen van de keuze uit de, in de vorige paragrafen gevonden, oplossingen spelen een aantal factoren een rol, o.a.:

- a. de kosten, de som van afschrijving en onderhoud moet minimaal zijn.
- b. de breedte van de schutkolk, de hoogte van de kolkwanden en hun onderlinge verhouding.
- c. de waterstanden, ook de grondwaterstand.
- d. de grondgesteldheid, zoals de draagkracht van de grond en de doorlatendheid van de bodem.
- e. uitvoeringseisen, zoals de grootte van het beschikbare bouwterrein en het al dan niet toelaatbaar zijn van een grondwaterstandverlaging tijdens de bouw.
- f. beschikbaarheid van materiaal en materieel.

In het verdere verloop van dit diktaat zal worden voortgebouwd op het in Nederland (en vaak ook elders) meest voorkomende type: het gewapend betonnen bakprofiel.

## 6. Afsluitmiddelen (sluisdeuren)

### 6.1 Functies

Onder een afsluitmiddel wordt verstaan een voorziening waarmee twee (verschillende) waterniveaus op gecontroleerde wijze van elkaar kunnen worden gescheiden of met elkaar in contact worden gebracht.

Uit deze definitie kunnen de verschillende functies van het afsluitmiddel, alsmede een aantal ontwerp-eisen worden afgeleid.

1. het scheiden van twee verschillende waterniveaus, d.w.z. dat een zeker niveauverschil in stand moet kunnen worden gehouden.

Dit betekent dat:

- a. verhinderd moet worden, dat water van het hoge naar het lage niveau stroomt. Deze waterafdichtende functie geldt voor het gehele vlak waarover het hoogste waterniveau in contact staat met het afsluitmiddel. In het bijzonder bij de scheiding van zout en zoet water worden aan de waterafdichting hoge eisen gesteld.
  - b. de kracht tengevolge van het verschil in waterdruk moet kunnen worden opgenomen en naar de sluishoofden worden overgedragen. Gekeerd moet worden het verschil in waterhoogte binnen en buiten de schutkolk, waarbij rekening moet worden gehouden met een bepaalde overschrijdingsfrequentie. Wanneer de waterstanden buiten de kolk sterk variëren, moeten de afsluitmiddelen eventueel naar twee zijden kunnen keren.
2. het scheiden of in contact brengen van de waterniveaus op gecontroleerde wijze. Dit betekent dat:
    - c. de beide waterniveaus beurtelings van elkaar gescheiden en met elkaar in contact dienen te worden gebracht, d.w.z. dat het afsluitmiddel verplaatsbaar moet zijn. In geopende stand moet het vereiste profiel van vrije ruimte beschikbaar zijn, zowel in breedte- als in hoogterichting (zie ook par. 5.1). Het afsluitmiddel moet buiten dit profiel kunnen worden gebracht. Deze beweging moet redelijk snel verlopen en mag door de krachtsoverdracht en de waterafdichting niet worden belemmerd.
    - d. het verschil in waterniveau over het afsluitmiddel op een beheerste manier moet kunnen worden verkleind (vullen en ledigen)

Geschiedt het vullen en ledigen niet door afsluitbare openingen in de deuren (zie ook hoofdstuk 4) dan kan deze laatste functie komen te vervallen.

Heeft de schutsluis tevens een waterafvoerfunctie, dan kan men het spuien of inlaten doen plaatsvinden via deze waterdoorlaatopeningen (zie hiervoor hoofdstuk 2).

Het afsluitmiddel moet dus een viertal functies vervullen, nl.:

- beweegbaarheid
- waterkering
- waterafdichting
- eventueel: waterdoorlating

### 6.2 Oplossingsprincipes (deurtypen)

Er is in de voorgaande paragraaf een aantal functies genoemd, waaraan de afsluitmiddelen moeten voldoen. Om snel tot een aantal mogelijke oplossingen te komen, kan het beste worden uitgegaan van de functie die een kenmerkend onderscheid tussen de verschillende deurtypen tot gevolg heeft. Dat is de wijze van verplaatsing van de deur tot buiten het profiel van vrije ruimte.

De bewegingsmogelijkheden bestaan uit translaties in de verschillende richtingen, rotaties om horizontale of verticale assen en eventueel combinaties van deze mogelijkheden.

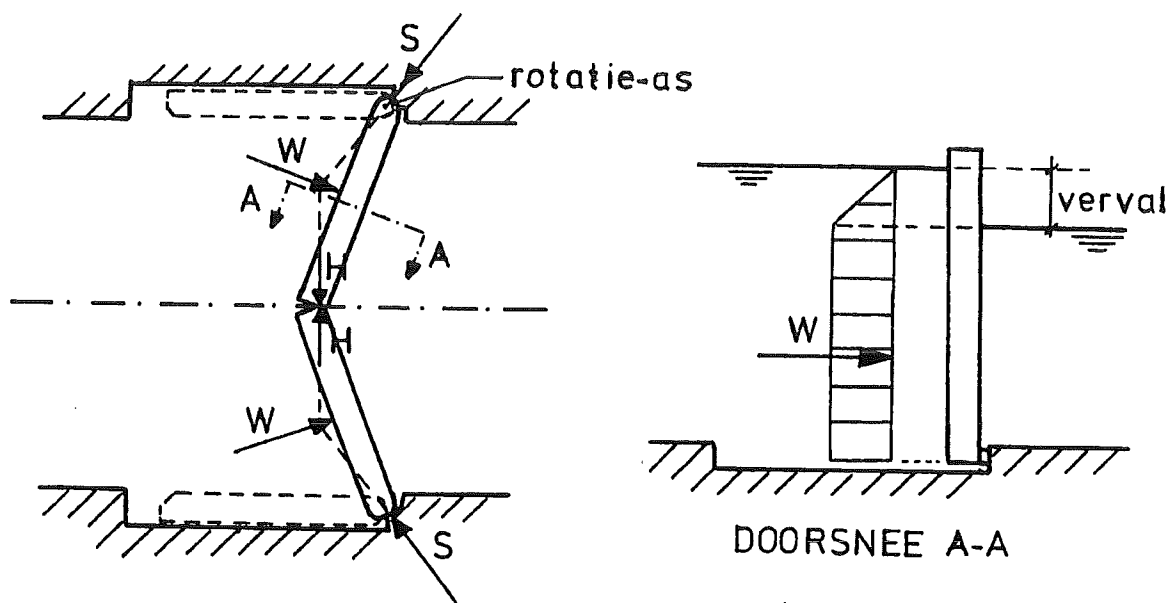
Het zou te ver voeren alle mogelijkheden te bespreken, daarom wordt alleen kort ingegaan op de in Nederland vaak voorkomende deurtypen, nl.

- puntdeuren (rotatie om verticale assen)
- hefdeur (translatie omhoog)
- roldeur (horizontale translatie, dwars op de schutkolk).

## 6.2.1 Puntdeuren

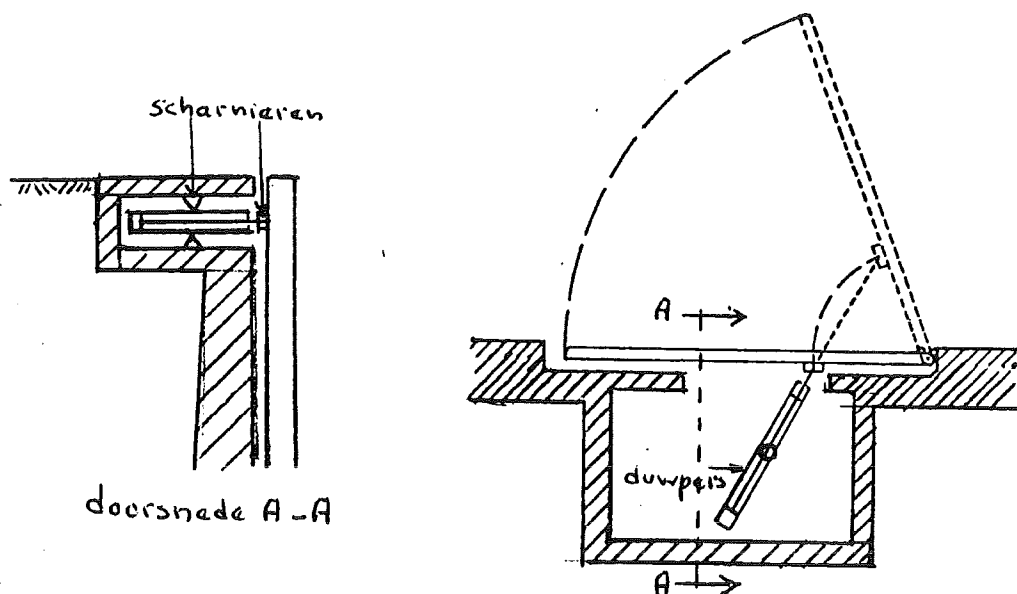
Bij gebruik van puntdeuren als afsluitmiddel van de schutkolk is er altijd sprake van twee deuren, die in gesloten toestand onder een bepaalde hoek tegen elkaar rusten en daarbij een soort driescharnierspant vormen. In de geopende stand bevinden de deuren zich in de deurkassen aan beide zijden van de doorvaartopening in het sluishoofd. De beweging van de gesloten naar de geopende stand (en omgekeerd) vindt plaats via een rotatie om een verticale as in de deurkas. In de verticale as zitten twee draaipunten. Het onderdraaipunt (taats) bestaat meestal uit een in de vloer gestorte pen die in een gespaarde ruimte aan de onderkant van de deur grijpt. Het bovendraaipunt bestaat uit een halsbeugel en een prop. De halsbeugel kan bijv. een ringvormige constructie zijn, die met twee ankers boven in het sluishoofd aan de muur vast zit. De prop is een pen die boven op de deur is bevestigd en die in de ring van de halsbeugel is gestoken.

Doordat de "punt" van de puntdeuren naar de hoogste waterstand is gericht, worden de deuren door de waterdruk tengevolge van het verval tegen elkaar gedrukt. Puntdeuren kunnen dus slechts naar één zijde water keren. (zie Figuur 6-1).



• Figuur 6-1 Puntdeuren

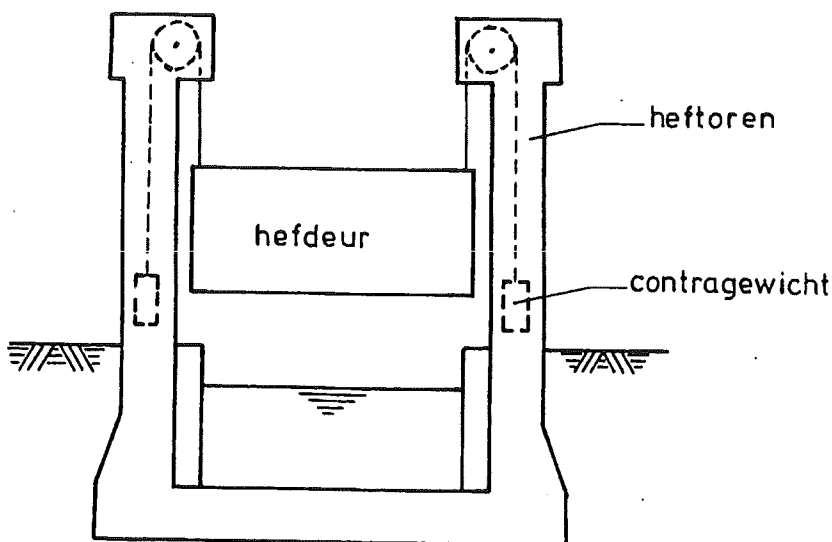
Een modern bewegingsmechanisme voor de puntdeur is de hydraulische trek- en duwpers. Het aandrijvingsmechanisme zelf bevindt zich in de muur van het sluishoofd, terwijl de trek- en duwstang op  $\frac{1}{4}$  à  $\frac{1}{2}$  van de deurlengte, gerekend vanaf de rotatieas, aan de deur is verbonden (zie Figuur 6-2). De kelder waarin de duwpers is ondergebracht is als een console uitgebouwd uit de (grondzijde van de) sluishoofdwand.



• Figuur 6-2 Hydraulische trek- en duwpers van een puntdeur

### 6.2.2 Hefdeur

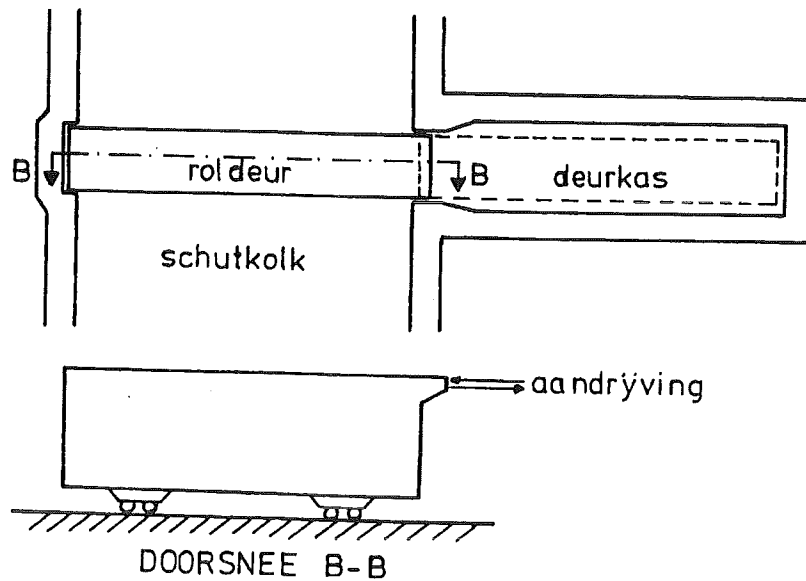
Bij een hefdeur is er sprake van een afsluutmiddel waarbij, om van de gesloten naar de geopende stand te komen, het waterkerende vlak vertikaal omhoog wordt bewogen. De bewegingswerken voor de hefdeur bevinden zich doorgaans in de zogeheten heftoren, die tevens zorgen voor de geleiding van de deur tijdens de verticale beweging. Vaak worden contragewichten toegepast teneinde de voor de beweging benodigde energie te beperken (zie Figuur 6-3).



• Figuur 6-3 Hefdeur

### 6.2.3 Roldeur

Met een roldeur wordt bedoeld een driedimensionaal raamwerk met beplating aan de beide lange zijden, dat over rails wordt voortbewogen in horizontale richting, loodrecht op de as van de schutkolk. In de geopende stand komt de deur in een, aan het sluishoofd gebouwde, deurkas terecht. De bewegingsinstallatie van de roldeur bevindt zich meestal aan de deurkaszijde aan de bovenzijde van de deur (zie Figuur 6-4).



• Figuur 6-4 Roldeur

### 6.3 Keuzebepaling van het deurtype

In de eerste plaats moet worden opgemerkt, dat vrijwel altijd wordt gekozen voor het deurtype, waarvan mag worden verwacht, dat de kosten bij de gegeven omstandigheden het laagst zijn. Naast het kostenaspect kunnen nog een aantal andere factoren een rol spelen bij de keuze van het meest geschikte deurtype.

- a. één of tweezijdig keren  
Zoals in paragraaf 6.2.1 is opgemerkt kunnen puntdeuren slechts één kant uitkeren zodat, wanneer een waterkering naar twee richtingen noodzakelijk is, een dubbel stel puntdeuren moet worden aangebracht. Dat vereist tevens veel langere sluishoofden. Hefdeuren en roldeuren kunnen wel naar twee kanten keren.
- b. openen en sluiten tegen verval of stroming in  
Puntdeuren zijn hiervoor niet geschikt, tenzij kostbare voorzieningen worden getroffen, zoals een speciale bewegingsinrichting. In verband met de stabiliteit zijn ook roldeuren hiervoor minder geschikt.
- c. ruimtebeslag bij de sluishoofden  
Bij hefdeuren kent men beperkingen in de hoogterichting door de deur in geheven stand. Bovendien kunnen de heftoren uit landschappelijk oogpunt minder gewenst zijn. Bij roldeuren kunnen de lange deurkassen naast de schutkolk, vooral bij een grote sluisbreedte, problemen opleveren in verband met de beschikbare ruimte. Bij puntdeuren speelt de grotere lengte van het sluishoofd een rol, met name bij een tweezijdige kering. De extra te vullen en te ledigen ruimte kan soms een bezwaar zijn bij sluisen, die deel uitmaken van een zout-zoetscheiding. Bovendien wordt de schuttijd verlengd.
- d. breedte van de schutkolk  
Hefdeuren en roldeuren overspannen de volle breedte van de schutkolk, wat tot tamelijk zware constructies leidt. Puntdeuren daarentegen zijn opgelegd over iets meer dan de halve kolkbreedte; dit heeft een veel lichtere constructie tot gevolg. Bij grotere kolkbreedte worden puntdeuren een minder aantrekkelijke oplossing. Door het grotere eigen gewicht van de deuren treden er grote krachten in de draaipunten op (zie ook Figuur 6-8). Bovendien worden de sluishoofden langer.

e. bewegingsinrichtingen

Bij hefdeuren verplaatst het zwaartepunt van de constructie zich vertikaal, wat een groot vermogen vereist. Dit kan overigens aanzienlijk worden verminderd door gebruik te maken van contragewichten (zie Figuur 6-3). Roldeuren ondergaan een grote horizontale verplaatsing, hetgeen een lange bedieningstijd met zich meebrengt. Uit Figuur 6-2 valt af te lezen dat het zwaartepunt van de puntdeuren zich horizontaal en over een betrekkelijke korte afstand verplaatst, waardoor de bewegingsduur kort kan zijn.

f. kwetsbaarheid t.o.v. de scheepvaart

Bij puntdeuren zijn vooral de draaipunten de kwetsbare punten ingeval van aanvaring. Dit heeft tot gevolg dat men niet kan volstaan met het vervangen van een beschadigde deur door een reservedeur, maar dat ook de draaipunten moeten worden hersteld. Ook in geopende toestand kan de puntdeur bovendien worden aangevaren door passerende schepen. Door de zware uitvoering van een roldeur is deze vaak beter bestand tegen aanvaringen. In de geopende stand kan deze deur niet worden geraakt door de schepen. Een hefdeur is in geopende toestand niet kwetsbaar voor de normale scheepvaart.

g. onderhoud en reparatie

Met name de bewegende onderdelen van een afsluitmiddel zullen onderhevig zijn aan slijtage, waardoor onderhoud en reparaties van tijd tot tijd noodzakelijk zijn. Hefdeuren komen bij elke schutting uit het water, zodat kleine reparaties bij doorgaand schutbedrijf mogelijk zijn. Roldeuren kunnen tijdelijk worden drooggezet door de deurkas als een soort droogdok in te richten. Om het schutproces te laten doorgaan, ook als een deur gerepareerd moet worden, dienen per sluishoofd twee roldeuren aanwezig te zijn. Voor onderhoud aan de loop- en geleiderails wordt de schutsluis tegenwoordig plaatselijk drooggezet. Men maakt daarvoor gebruik van een stalen afdekking, bestaande uit dak en wanden, die boven de genoemde rails in het sluishoofd wordt neergelaten. Door de ruimte binnen deze afdekking leeg te pompen en te zorgen voor een toegangsschacht kan het onderhoud aan de rails plaatshebben. Bij puntdeuren zullen vooral de draaipunten onderhoud nodig hebben. Als de deur verwijderd is, is het mogelijk om met behulp van een taatskuip een gedeelte van het sluishoofd droog te zetten. Een taatskuip is een koker waarvan een gedeelte van de lange zijde is weggenomen zodat de kuip samen met de schutkolkwand een ruimte vormt, waaruit het water kan worden weggepompt. Er ontstaat dan een schacht, waarbinnen het onderdraaipunt, alsmede de verticale aanslagvlakken van de deur in het sluishoofd, kunnen worden onderhouden. Het bovendraaipunt is normaal gemakkelijk te bereiken omdat het zich boven water bevindt. Voor de horizontale aanslag van de deur in de sluisvloer is een stalen afdekking als die bij de roldeuren noodzakelijk.

Er zijn natuurlijk nog meer factoren te bedenken die bij de keuzebepaling van het deurtype een rol kunnen spelen. De voornaamste criteria zijn in het voorgaande kort behandeld. Bij elk concreet geval zal moeten worden nagegaan, welke factoren dan van belang zijn. Zo zal bij de schutsluizen met een grote kolkbreedte en met schepen met een hoge opbouw, dus bijv. bij zeesluizen, meestal een roldeur worden toegepast.

Voor de schutsluis die in dit collegediktat aan de orde is, geldt een sluisbreedte van 12 m en een eenzijdige waterkering. Op grond daarvan wordt gekozen voor puntdeuren; een type dat in Nederland veelvuldig als afsluitmiddel in een schutsluis wordt toegepast.

## 6.4 Puntdeuren

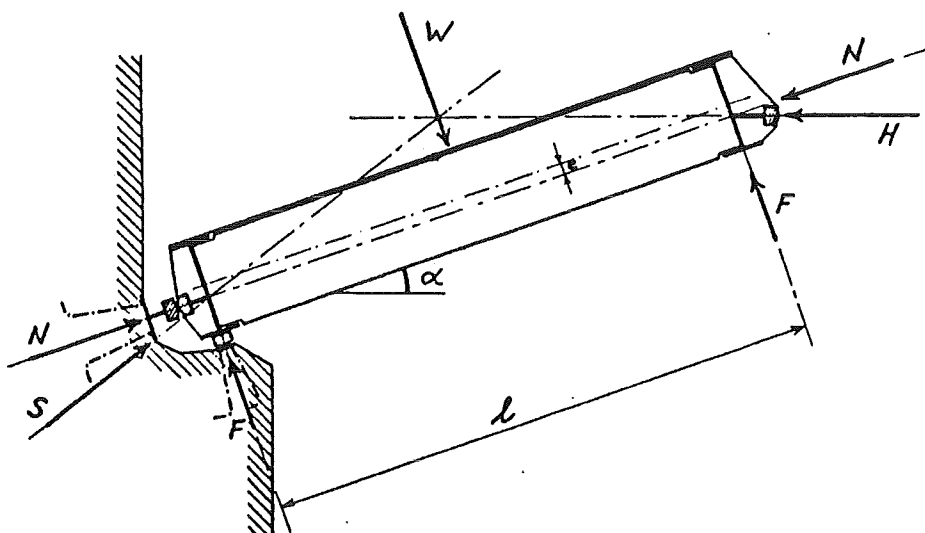
In deze paragraaf worden drie functies van dit afsluitmiddel nader besproken, nl. de waterkering, de waterafdichting en de waterdoorlaat, waarbij de nadruk valt op de waterkering.

### 6.4.1 waterkering

Voor de bepaling van de overdracht van de belastingen, die op en door het afsluitmiddel worden uitgeoefend, naar het sluishoofd, kan de onderstaande ontwerpvolgorde worden aangehouden:

- a. vaststelling van de belastingcombinaties waarop moet worden gerekend.  
In dit geval wordt volstaan met de belasting tengevolge van een verval bij de deur in gesloten toestand en de belasting door het eigen gewicht van de deur in de geopende stand.
- b. keuze van de opleggingen.  
De onderregel van de puntdeur zal men in het algemeen niet als oplegging kiezen omdat dan wringende momenten in de deur ontstaan ten gevolge van ongelijke doorbuigingen in de breedterichting en de hoogterichting van de deur.  
De beide buitenste stijlen van de puntdeur worden har genoemd naar het oudhollandse woord voor scharnier. Daarbij is de achterhar de stijl die in of nabij de draaiingsas is gelegen, terwijl de stijl aan het vrije uiteinde van de deur de voorhar heet.  
De oplegging van de beide verticale stijlen in gesloten stand van de deuren kan zowel gelijkmatig verdeeld als in twee of meer punten geconcentreerd zijn.  
Voor een gelijkmatig verdeelde krachtsoverdracht ter plaatse van de achterhar is het noodzakelijk, dat in de beide draaipunten enige speling aanwezig is. In het onderdraaipunt zit meestal een kleine speling, omdat anders de taats oneindig nauwkeurig t.o.v. de verticale aanslaglijst moet worden gesteld. In het bovendraaipunt moet meer speling aanwezig zijn opdat bij het sluiten de deur door de vervaldruk tegen de aanslag in de sluiswand kan worden gedrukt.  
Is in het bovendraaipunt geen speling aanwezig, dan moeten de reaktiekrachten door de beide draaipunten worden geleverd. In het onderdraaipunt is overigens ook in dit geval een geringe speling gelaten teneinde de taatskom bij het plaatsen van de deur over de taats te kunnen laten zakken.
- c. opstellen van het krachtsoverdrachtschema.  
Hierin wordt schematisch weergegeven hoe de belastingen bij het gekozen oplegsysteem naar de sluishoofden worden afgevoerd.
- d. vaststelling van het constructieschema van de deur.  
Dit komt neer op het vertalen van het verloop van de pijlen in het krachtsoverdrachtschema tot constructieve onderdelen, zoals stijlen en regels.

Eerst wordt nu de deur in de gesloten stand beschouwd, waarbij een belasting door de waterdruk ten gevolge van het verval over de deur optreedt. Deze situatie staat aangegeven in Figuur 6-1. Door de puntdeuren als een driescharnierspant op te vatten, moeten uit symmetrie overwegingen de krachten in het contactpunt van de voorharren elkaar in evenwicht houden, d.w.z. gelijk van grootte maar tegengesteld gericht, loodrecht op de sluisas. De ontbondende van de totale waterdruk ( $W$ ) op een puntdeur naar het sluishoofd wordt de spatkracht genoemd. De reaktiekracht  $S$  door het sluishoofd geleverd is daar gelijk, maar tegengesteld van richting, aan.



• Figuur 6-5 Krachten op puntdeur

De reactiekracht S kan worden ontbonden in een kracht evenwijdig aan de deur (N) en een kracht loodrecht daarop (F). Deze reactiekrachten zijn te schrijven als een functie van de waterdruk W en de hoek  $\alpha$ , die de deuren maken met de normaal op de sluisas (Figuur 6-5).

$$S = H = \frac{W}{2 \sin \alpha}$$

$$F = \frac{1}{2} W$$

$$N = \frac{W}{2 \tan \alpha}$$

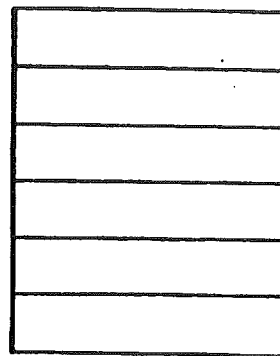
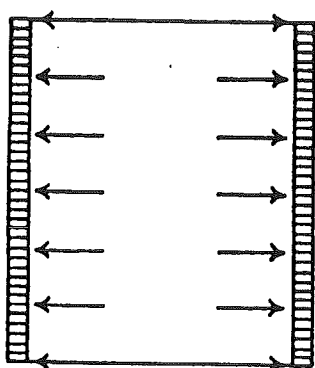
Uit de formules valt af te leiden, dat bij een kleine hoek  $\alpha$  de spatkracht erg groot gaat worden. Dit zou pleiten voor een grote hoek  $\alpha$ . Bij een grote hoek  $\alpha$  evenwel worden de deuren langer en daardoor W groter. Bovendien betekenen langere deuren zwaardere deuren, alsmede langere deuren en sluishoofden.

Op economische gronden wordt meestal gekozen voor de verhouding van  $\tan \alpha = 1 : 3$ . Hoe de reactiekrachten S en H kunnen worden geleverd, hangt nauw samen met de keuze van oplegging langs de verticale zijden.

Een tweetal mogelijkheden zal in het onderstaande worden aangegeven.

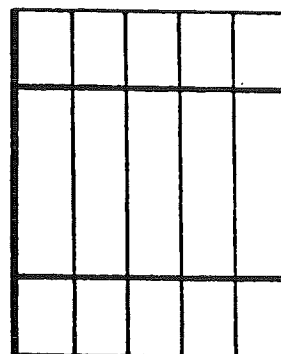
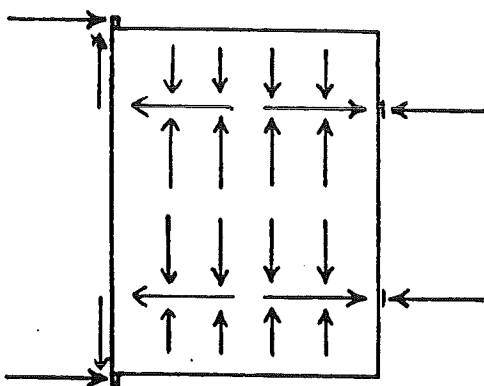
- a. de krachtsoverdracht vindt gelijkmatig verdeeld plaats. Zoals reeds eerder is vermeld, is daarvoor noodzakelijk, dat in beide draaipunten een zekere speling aanwezig is. De krachtsoverdracht bij het sluishoofd vindt dan plaats volgens de lijnbelastingen N en F. Uit constructieve overwegingen wordt bij de voorhar ook voor gelijkmatig verdeelde belasting gekozen, die daar is gericht volgens H. Om de gelijkmatig verdeelde krachtsoverdracht zo goed mogelijk te benaderen, zal men hiervoor een regeldeur kiezen (zie Figuur 6-6).





• Figuur 6-6 Regeldeur

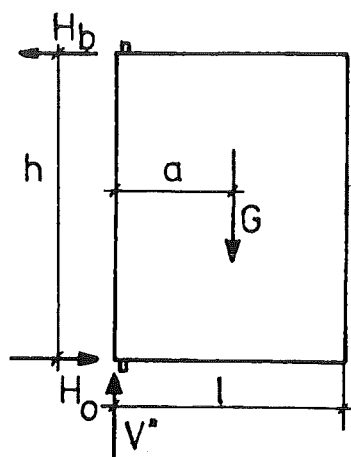
- b. de krachtsoverdracht vindt plaats via puntopleggingen. Om dit te kunnen bewerkstelligen mag er geen speling in het bovendraaipunt aanwezig zijn. Bij de achterhar worden de reaktiekrachten geleverd door de draaipunten en zijn daarbij gericht volgens S. Ook in de voorhar worden 2 opleggingen gemaakt. Het ligt voor de hand twee zware horizontale regels tussen de 4 oplegpunten te maken en de belasting op de beplating via stijlen (stijlen deur) naar deze regels over te brengen. Voor de hoogteligging van deze regels wordt een optimum gezocht tussen momenten in de stijlen en die in de achterhar, zie Figuur 6-7.



• Figuur 6-7 Deur met puntopleggingen

Deze laatste oplossing wordt tegenwoordig veel toegepast. Het stellen van verticale aanslagvlakken (voor N en F) bij de achterhar, die over de gehele hoogte zo gelijkmatig mogelijk moeten dragen, is erg moeilijk. Bij de in Figuur 6-7 aangegeven oplossing hoeven echter slechts twee punten nauwkeurig geplaatst te worden. Bovendien zijn er technieken ontwikkeld om het bovendraaipunt te voorzien van kogellagers die vrijwel geen speling toelaten en grote krachten kunnen opnemen.

Een andere belastingtoestand ontstaat bij de deur in de geopende stand, waarbij de draaipunten slechts het eigen gewicht van de deur moeten kunnen opnemen. De verticale belasting, dus het eigen gewicht van de deur, wordt vrijwel altijd door het onderdraaipunt opgenomen. Het daarbij ontstane moment heeft in het bovendraaipunt een trekkracht en in het onderdraaipunt een drukkracht tot gevolg (zie Figuur 6-8).



$$\sum V = 0 \rightarrow V^* = G$$

$$\sum H = 0 \rightarrow H_b = H_o$$

$$\sum M = 0 \rightarrow H_b \cdot h = G \cdot a$$

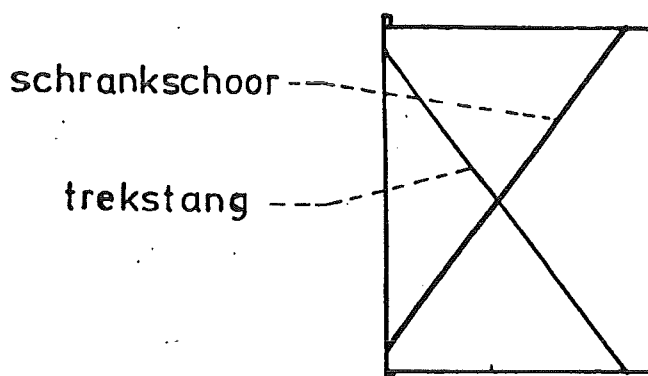
$$\text{of } H_b = H_o = G \cdot a/h$$

$$a = \frac{1}{2} l$$

• Figuur 6-8 Krachtswerking op deur

Bij groter wordende deurlengte heeft de deur de neiging, onder invloed van het eigen gewicht, aan het vrije uiteinde te gaan doorzakken; het zogeheten schranken. Dit probleem komt vooral naar voren bij regeldeuren, die in hout zijn uitgevoerd. Deze zijn namelijk te weinig vormvast.

Het schranken kan worden tegengegaan door het scheppen van vormvaste eenheden, zoals driehoeken. Uitgaande van de draaipunten kan men een driehoek creëren door het aanbrengen van een drukstaaf (schrankschoor). Zie hiervoor Figuur 6-9.



• Figuur 6-9 Deur met schrankschoor

Verdere constructieve maatregelen zijn dan het plaatsen van een trekstang en het aanbrengen van de beplanking volgens de richting van de schrankschoor. Stalen puntdeuren kunnen constructief zo stijf worden uitgevoerd, dat het probleem van schranken geen rol meer speelt.

#### 6.4.2 waterafdichting

Bij de analyse van de waterkerende functie kwam naar voren dat er naast de overdracht van de waterdruk (krachtsoverdrachtfunctie) nog gezorgd moest worden voor een waterafdichtende constructie. Dit levert voor de puntdeur zelf weinig problemen op omdat de beplanking (beplating), die overigens vooral een taak heeft bij het overbrengen van de waterdruk naar de stijlen en de regels, gemakkelijk waterdicht gemaakt kan worden. Waterafdichtingsconstructies dienen echter wel te worden aangebracht op de contactvlakken van de bewegende onderdelen onderling en op die met de vaste constructie, zoals de sluiswand en de sluisvloer.

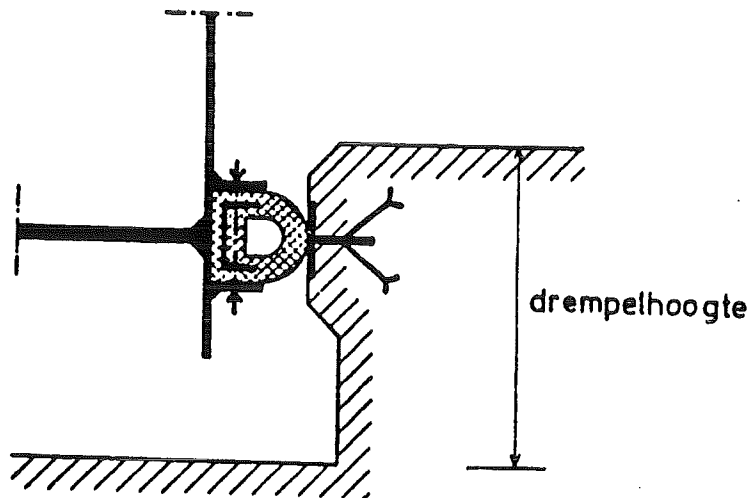
Bij de puntdeuren zijn dat de volgende plaatsen:

- tussen de achterhar en de sluishoofdwand
- tussen de onderregel en de sluishoofd vloer
- tussen de beide voorharren.

Wanneer de krachtsoverdracht gelijkmatig verdeeld is, kunnen de waterkerende en de waterafdichtende functie in principe worden gecombineerd. De eisen, die dit stelt aan het materiaal in het grensvlak van de deur en het oplegvlak zijn evenwel tegenstrijdig. Enerzijds moet het materiaal grote krachten kunnen overdragen, anderzijds moet het materiaal goed vervormbaar zijn, opdat er geen spleetvorming optreedt. Vaak zal men daarom trachten de beide functies gescheiden te realiseren. Is de krachtsoverdracht in enkele punten geconcentreerd of vindt er in het geheel geen krachtsoverdracht plaats, zoals bij de aansluiting van de onderregel aan de sluishoofd vloer, dan is dat zelfs onvermijdelijk. Voor het realiseren van de waterafdichtende functie worden samendrukbare profielen gebruikt van rubber of zacht hout.

Er zal nu in het kort een tweetal voorbeelden van waterafdichtende constructies worden behandeld, nl. de aansluiting van de onderregel met de sluisvloer en de aansluiting van de achterhar met de sluismuur.

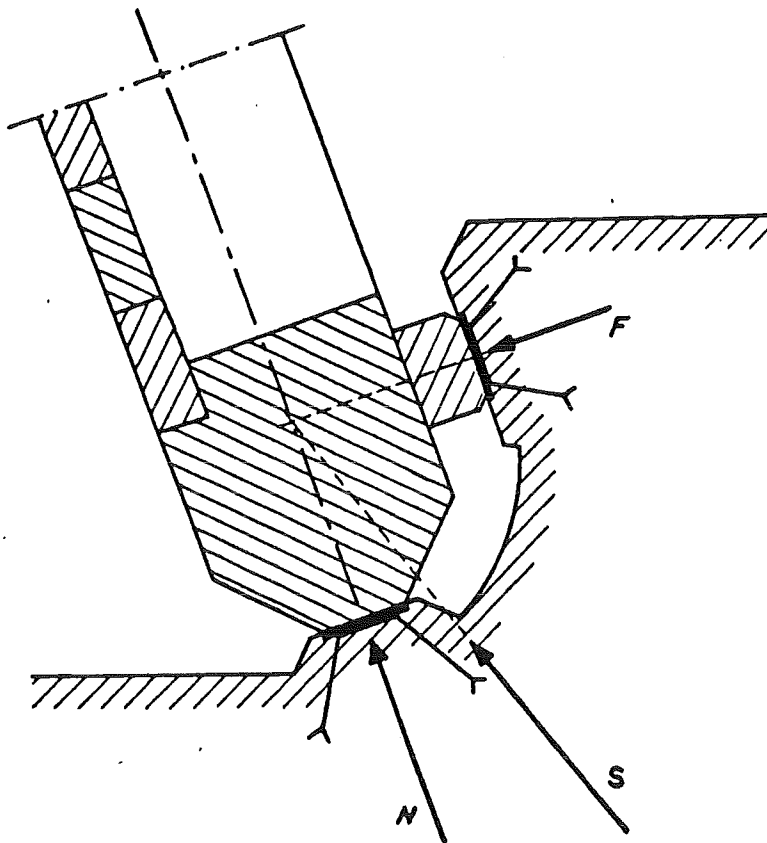
#### Aansluiting onderregel-sluishoofd vloer



• Figuur 6-10 Aansluiting onderregel-sluishoofd vloer

Op de onderregel van de deur is tussen twee opgelaste strippen een holle rubberlijst bevestigd met behulp van een doorgaande bout. Omdat bewegingen van de deur mogelijk zijn anders dan in de normale bewegingsrichting van de deur (denk aan de speling in de taats), is ter versterking een stalen U-profiel in de rubberlijst ingevulkaniseerd.

### Aansluiting achterhar-sluishoofdwand



• Figuur 6-11 Aansluiting achterhar-sluishoofdwand

De getekende oplossing is die waarbij de beide draaipunten enige speling bezitten, zodat de krachtsoverdracht naar het sluishoofd min of meer gelijkmatig verdeeld is. Hoewel dit de mogelijkheid opent tot het combineren van verschillende functies worden met het oog op slijtage de waterkerende en de waterafdichtende functies gescheiden uitgevoerd. Verreweg het grootste deel van de spatkracht wordt ter plaatse van de kracht  $N$  rechtstreeks door de (vaak van tropisch hardhout vervaardigde) achterhar aan het sluishoofd overgedragen (krachtsoverdrachtfunctie). Op zich vormt deze aanslag geen waterdichte afsluiting. De waterafdichtende functie wordt daarom verzorgd door de aanslaglijst ter plaatse van de kracht  $F$ . Deze aanslaglijst maakt men van relatief zacht hout zoals grenen of eiken.

In de beide voorgaande Figuren zijn de ingebetonnerde stalen aanslagstrippen schetsmatig aangegeven. In werkelijkheid wordt voor de aanslagfunctie een nauwkeurigheid vereist, die niet kan worden verkregen bij de normale uitvoering van het betonwerk. Daarom zullen deze strippen bijvoorbeeld nauwkeurig moeten worden gesteld in sparingen, die pas met beton worden gevuld nadat het gehele betonwerk van de sluishoofden is voltooid. Voor waterafdichtingsfunctie geldt dit in iets mindere mate, mits het materiaal, dat voor de afdichting zorgt, voldoende samendrukbaar is om oneffenheden te overbruggen. Denk daarbij aan holle rubberprofielen.

#### 6.4.3 waterafvoer

Twee doeleinden kunnen met het doorlaten van water door puntdeuren worden gediend:

1. het op het gewenste peil brengen van de waterstand in de schutkolk.
2. het spuien of inlaten van water, waarbij de schutsluis dus tevens als spuisluis of als inlaatsluis wordt gebruikt.

De grootte van de doorstroomopeningen is o.a. afhankelijk van het schutkolkoppervlak, van het verval over de sluis, van de vereiste vultijd en van de toelaatbare troskrachten bij de, in de schutkolk afgemeerde, schepen. De tegenstrijdigheid hierbij is dat men enerzijds de openingen zo groot mogelijk wil maken (korte vultijd en gelegenheid tot het aanbrengen van stroombrekers) en anderzijds openingen klein wenst te houden om de deur niet teveel te verzwakken.

Wat betreft de ligging van de doorstroomopeningen kan het volgende worden opgemerkt:

- in de breedterichting moeten de openingen symmetrisch en zoveel mogelijk gespreid worden aangebracht i.v.m. een rustige ligging voor de schepen.
- in de hoogterichting zal men de openingen liefst zo laag mogelijk plaatsen i.v.m. een rustige ligging voor de schepen. Bij de aanwezigheid van een betonvloer in de sluis geeft dit geen probleem, maar anders zou men de openingen liever zo hoog mogelijk aanbrengen i.v.m. de bodembescherming.

Voor het openen en sluiten van de doorstroomopeningen wordt in het algemeen gebruik gemaakt van hefschuiven. Door het aanbrengen van stroomgeleidingsbalken in de openingen kan een zo rustig mogelijke doorstroming van het water worden bewerkstelligd.

## 7. Sluishoofden

### 7.1 Functies

Het sluishoofd is het onderdeel van de schutsluis waarin zich de beweegbare afsluitmiddelen bevinden. Het sluishoofd zorgt dus voor de aansluiting van de sluisdeuren aan de sluisconstructie. Uit deze omschrijving kunnen de volgende functies van het sluishoofd worden afgeleid:

a. krachtsoverdrachtfunctie

In gesloten stand keren de afsluitmiddelen een bepaald verval. De totale waterdruk op de deuren moet door het sluishoofd worden opgenomen en doorgegeven naar de ondergrond.

b. waterafdichtende functie

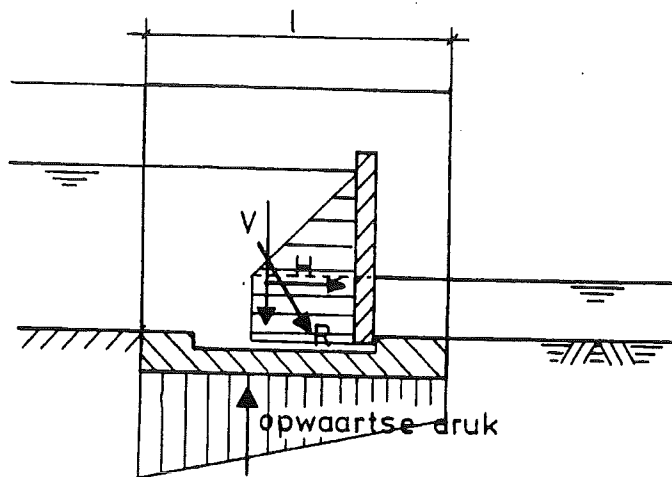
De aansluiting van de deuren met het sluishoofd moet goed waterdicht zijn. Dit betekent, dat hoge eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de uitvoering, terwijl een hoge mate van vormvastheid van het sluishoofd vereist is. In hoofdstuk 6 is reeds aandacht besteed aan het bereiken van een grote plaatsnauwkeurigheid van de aanslaglijsten door sponningen in de ruwbouw te sparen, waarin later de aanslagen ingebetonneerd worden. De vormvastheid kan men bereiken door een zeer stijve constructie te maken. Men zal bovendien moeten voorkomen, dat door het verval al te grote grondwaterstromingen onder en achter langs het kunstwerk zullen optreden. Dit onderwerp komt in hoofdstuk 8 aan de orde.

c. het openen en sluiten van de afsluitmiddelen

In het sluishoofd moeten de draaipunten of de geleiderails voor het bewegen van de deuren worden aangebracht. Ook deze onderdelen moeten zeer nauwkeurig worden gesteld. In het sluishoofd moeten voorts ruimten en voorzieningen voor de bewegingsinrichtingen aanwezig zijn. In geopende stand moeten de afsluitmiddelen dusdanig zijn ondergebracht, dat de kans op aanvaring zo gering mogelijk is.

### 7.2 Constructieve uitwerking

Het ontwerpen van het sluishoofd lijkt veel op dat van de schutkolk, namelijk het zoeken naar een omgrenzingsconstructie voor hetzelfde profiel van vrije ruimte. Alleen zijn de ontwerpeisen voor het sluishoofd veel strenger door de vereiste grote stijfheid van de constructie, alsmede door de grote krachten welke door de afsluitmiddelen en soms door de bewegingswerken worden uitgeoefend. Daarom wordt vrijwel altijd een bakprofiel gekozen. Bij het voorgestelde gebruik van puntdeuren zal er een plaatselijke verdieping in de vloer moeten worden gemaakt teneinde de onderkant van de deuren tegen een drempel te laten aansluiten (zie Figuur 7-1 alsmede Figuur 6-10). Ook in de zijwanden van het sluishoofd moeten deuren worden aangebracht waarin de puntdeuren zich in geopende stand bevinden (zie Figuur 6-1). De wanden en de vloer zullen zwaar moeten worden uitgevoerd, mede in verband met de op te nemen spatkrachten. De lengte van het sluishoofd wordt bepaald door de lengte van de deuren voor de puntdeuren en eventueel door de benodigde afmeting in verband met de stabiliteit.

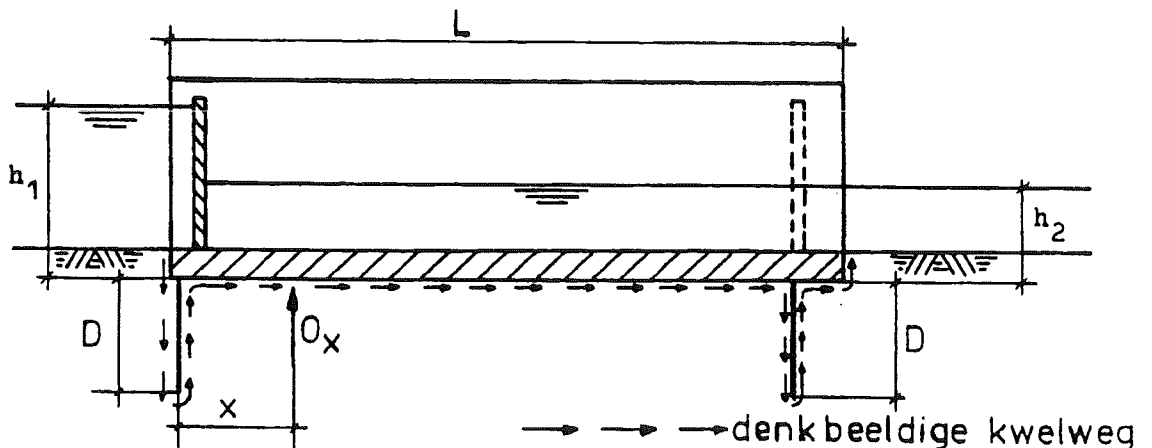


• Figuur 7-1 Belastingen op sluishoofd

Bekijkt men in Figuur 7-1 de belastingen op een sluishoofd, dan kunnen worden onderscheiden:

- H de resultante van de horizontale waterdruk op de puntdeuren in de richting van de sluisas + de resultante van de waterdruk in die richting op de constructie van het sluishoofd zelf.
- V de resultante van de krachten in de verticale richting, t.w.: het eigen gewicht van sluishoofd en puntdeuren, van de bewegingsinstallatie met kelder etc. het eigen gewicht van de watermassa's boven de vloer.

Van deze som van de eigen gewichten moet worden afgetrokken de opwaartse druk van het grondwater onder de vloer. De stijghoogte van het grondwater is hoger aan de zijde van het bovenhoofd van de schutsluis dan aan die van het benedenhoofd, zeker als een schutkolk met gesloten vloer wordt toegepast. Sterk vereenvoudigd wordt soms een lineair verloop van de stijghoogte in de lengterichting van de schutsluis aangenomen. Betreft men mede de schermen tegen de onderloopsheid in de lengte van de denkbeeldige kwelweg, dan vindt men voor de opwaartse druk onder de vloer op een plaats x, (zie Figuur 7-2)



• Figuur 7-2 Onderloopsheid

$$O_x = \left[ h_1 - (h_1 - h_2) \frac{2D + x}{4D + L} \right] \rho g$$

De werkelijke stijghoogten moeten worden bepaald uit een vierkantennet of met behulp van een elektrisch analogon. Tevens moet men rekening houden met vertragsingsverschijnselen.

Zo zullen kortdurende hoge of lage kanaalwaterstanden zich slechts in beperkte mate onder de sluisvloer doen gevoelen.

Uit het bovenstaande volgt dat de plaats van de onderloopsheidschermen mede bepalend is voor de opwaartse druk onder de sluisvloer en daarmee voor de stabiliteit van het sluishoofd (zie hiervoor ook hoofdstuk 8).

De randvoorwaarden voor deze stabiliteit luiden:

- a. De constructie mag niet verschuiven, dus

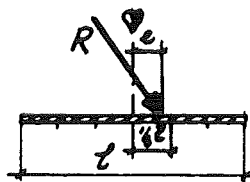
$$H < f \cdot V$$

Als men een veiligheidscoëfficiënt inbouwt (bijv.  $n = 1,5$ ) en voor de wrijvingscoëfficiënt  $\tan \varphi$  aanneemt, waarin  $\varphi$  de hoek van inwendige wrijving van de grond is, dan wordt de genoemde randvoorwaarde

$$n \cdot H \leq V \cdot \tan \varphi$$

- b. De constructie mag niet gaan kantelen, hetgeen betekent dat de resultante  $R$  (zie Figuur 7-1 en Figuur 7-3) bij voorkeur niet buiten de kern van de bodemplaat mag komen, dus

$$e < 1/6 l$$



• Figuur 7-3 Kantelcriterium

Uitgaande van een lineair verloop van de grondspanningen, vindt men dan

$$\sigma_{\max} = \frac{V}{l} + \frac{V \cdot e}{\frac{1}{6} l^2} \quad \text{per m' breedte. (zie ook Figuur 5-4)}$$

Hierbij mag  $\sigma_{\max}$  niet boven de voor de ondergrond toelaatbare waarde uitkomen.

Door te voldoen aan deze beide randvoorwaarden kan men de vereiste lengte van het sluishoofd vaststellen. Men kan dan controleren of de lengte van het sluishoofd, resulterende uit de dimensies van de deurkassen, voldoende groot is.

Men dient wel onderscheid te maken tussen het bovenhoofd en het benedenhoofd van de schutsluis. Omdat er bij de schutkolk gekozen is voor een bakprofiel, kan men aannemen dat de horizontale waterdruk op het bovenhoofd mede door de schutkolkconstructie wordt opgenomen.

Het benedenhoofd is in dit opzicht dus ongunstiger. Daarbij moet wel worden opgemerkt, dat (indien het benedenhoofd niet als tweede kering is ontworpen) dit ook aan minder grote horizontale krachten zal zijn blootgesteld. Immers is in de schutkolk dan HSP maatgevend in plaats van de hoogste te verwachten waterstand in het bovenpand.





## 8. Voorzieningen tegen onder- en achterloopsheid

Door het verval over de schutsluis zal er onder het kunstwerk en langs de zijanten ervan een grondwaterstroming ontstaan. Deze stroming kan zo sterk worden dat gronddeeltjes worden meegenomen en er holle ruimten ontstaan, die de stabiliteit van de schutsluis in gevaar kunnen brengen. Dit verschijnsel noemt men onder- en achterloopsheid. Voor de bestrijding van dit verschijnsel zijn er verschillende oplossingen mogelijk. Als uitgangspunt daarbij kan de formule dienen, die een ruwe benadering voor de snelheid van de grondwaterstroming geeft:

$$v = k \cdot H/L$$

waarin  $k$  = de doorlatendheidscoëfficiënt van de grond  
 $H$  = het verval over de schutsluis  
 $L$  = de lengte van de kwelweg

- a. Een eerste mogelijkheid is het maken van een filterconstructie aan de benedenstroomse zijde van het kunstwerk. Deze moet zodanig van opbouw zijn, dat de fijne gronddeeltjes aan de bovenstroomse zijde van het filter niet door de grondwaterstroming kunnen worden meegenomen.  
Het filter, dat moet worden aangebracht op de bodem en de taluds van de benedenvoorhaven, is kwetsbaar voor scheepsankers en moet verder ruimte bieden voor de bewegingen van de verticale elementen van elastische afmeer- en geleidingsconstructies. Het katastrofale gevolg van een eventuele ondermijning van het benedenhoofd heeft er tot op heden toe geleid, dat geen oplossingen van dit type bij schutsluizen zijn toegepast.
  - b. Men zou kunnen overwegen de doorlatendheidscoëfficiënt van de grond te verkleinen. Daarvoor zou men injectiemiddelen moeten gebruiken, hetgeen in het algemeen te duur is.
  - c. Men kan  $L$  groter maken, dus de kwelweg verlengen. Dit kan op twee manieren gebeuren:
    - c.1. door het kunstwerk te verlengen.
    - c.2. door onder en naast het kunstwerk verticale schermen loodrecht op de sluisas aan te brengen.
- ad c.1. Het verlengen van het kunstwerk zelf, dus de betonnen bak, is een mogelijkheid, die door de daarmee gepaard gaande hoge kosten niet in aanmerking zal komen. Een andere oplossing zou kunnen zijn het aanbrengen van een dichte bekleding over een gedeelte van de aansluitende voorhaven. Bij voorkeur zal dit geschieden aan de zijde van het bovenhoofd, omdat daar het opdrukken van de bekleding door het grondwater geen rol speelt. Tevens leidt dit tot kleinere opwaartse drukken onder de sluisvloer dan dat het geval is bij het aanbrengen van een dichte bekleding aan de zijde van het benedenhoofd (zie ook Figuur 7-2). De kwetsbaarheid voor scheepsankers en de vele aansluitingen en doorbrekingen als gevolg van constructies als remming- en geleidewerken maken ook deze oplossing weinig aantrekkelijk.
- ad c.2. Meestal wordt de voorkeur gegeven aan het plaatsen van damwandschermen, die minder kwetsbaar en veel minder kostbaar zijn dan de eerder genoemde mogelijkheden.

Bij de verdere uitwerking van de schutsluis zal daarom worden gekozen voor damwandschermen, zowel onder als naast het kunstwerk. Deze schermen moeten wel in één doorgaand vlak liggen om zodoende een flens rond de schutsluis te vormen (zie Figuur 2-2.). In sommige gevallen worden de functies van achterloopsheidsscherm en vleugelmuur gecombineerd.

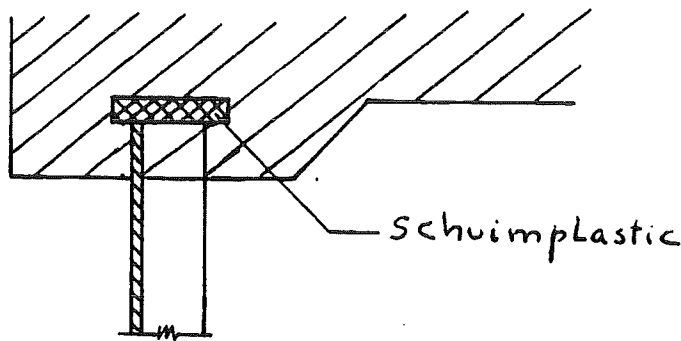
De inheidiepte van de damwandschermen moet worden bepaald uit een hydraulische studie. In de breedterichting moeten de schermen tenminste de volledige aanvulling van de bouwput, waarin de schutsluis is gebouwd, doorsnijden. Dat is noodzakelijk omdat de

aangevulde grond in de regel losser gepakt en daardoor doorlatender is dan de ongeroerde grond.

Tijdens het heien van de damwandschermen moet de nodige zorgvuldigheid worden betracht om te voorkomen dat de damplanken uit het slot lopen.

Een ander punt is de aansluiting van de damwand met de vloer. Daarbij moet een onderscheid worden gemaakt tussen de oplossing bij een fundering op staal en die bij een fundering op palen. Bij een fundering op palen is het denkbaar, dat de grond onder de sluisvloer soms nog iets zakt t.o.v. de sluis. Door de negatieve kleef zou de damwand naar beneden getrokken kunnen worden, waardoor een opening tussen de bovenkant van de damwand en de onderkant van de vloer zou kunnen ontstaan. In dat geval moet men ervoor zorgen, dat de damwand goed in de vloer verankerd wordt.

Bij een fundering op staal doet zich een ander probleem voor. Door zettingen van de ondergrond zal de sluisvloer mogelijk meer willen zakken dan de damwand. Daardoor bestaat de kans dat de damwand een dragende functie gaat krijgen, hetgeen ongewenste momenten in de sluisvloer zal veroorzaken. Om te voorkomen dat de vloer op de damwand gaat dragen, wordt meestal een samendrukbaar materiaal, bijv. kurk of hard schuimplastic, op de kop van de damwand geplaatst (zie Figuur 8-1).



• Figuur 8-1 Aansluiting kolk-damwand

De aansluiting van het damwandscherm op de sluishoofdwand wordt meestal verkregen door een gedeelte van een damwandplank in te betonneren. Het slot steekt dan buiten de sluishoofdwand uit en vormt daardoor de aansluiting met de eerste plank van het te heien damwandscherm.

Tenslotte nog iets over de plaats van de damwandschermen. Voor de berekening van de zekerheid tegen verschuiven van het sluishoofd moet men het eigen gewicht verminderen met de opwaartse druk van het grondwater (zie hoofdstuk 7). Hoe kleiner de opwaartse druk, des te gunstiger is de situatie. Daarom kan het damwandscherm het best worden geplaatst aan de bovenstroomse zijde van het bovenhoofd. Zijn er grotere vervallen aanwezig, dan zal men de kwelweg nog verder willen verlengen. Dit geschiedt meestal door de plaatsing van een tweede scherm, nu aan de bovenstroomse zijde van het benedenhoofd (zie Figuur 7-2 en vooral Figuur 2-2). Juist het benedenhoofd is gebaat met een verdere verlaging van de opwaartse druk, omdat dit sluishoofd niet gesteund wordt door de aangrenzende schutkolk.

Bij schutsluizen in een getijgebied, waar het verval dan in de ene en dan in de andere richting optreedt, ligt het voor de hand altijd (dus ook bij kleine vervallen) van twee damwandschermen gebruik te maken. Zij worden dan aan de buitenzijde van het buitenhoofd en aan de binnenzijde van het binnenhoofd geplaatst.

Eerder is reeds vermeld, dat bij schutsluizen die op palen zijn gefundeerd door zettingen van de ondergrond een spleet kan ontstaan tussen de onderkant van de sluisvloer en de ondergrond. Deze spleet geeft de grondwaterstroming gelegenheid een korte weg te kiezen, wat aanleiding kan geven tot gevaarlijke situaties. Vandaar dat bij op palen gefundeerde sluizen vaak een aantal extra tussenschermen wordt aangebracht onder de schutkolk. Daar hun functie slechts het afsluiten van de spleet betreft, kunnen zij kort zijn, bijv. 1 m diep. Zij behoeven alleen onder de sluisvloer te worden geplaatst.

Opgemerkt dient te worden, dat voorgaande beschouwingen uitsluitend betrekking hebben op schutsluizen met waterdichte schutkolkvloeren. Bij de aanwezigheid van filterconstructies als sluisvloer zullen de damwandschermen anders moeten worden gegroepeerd.

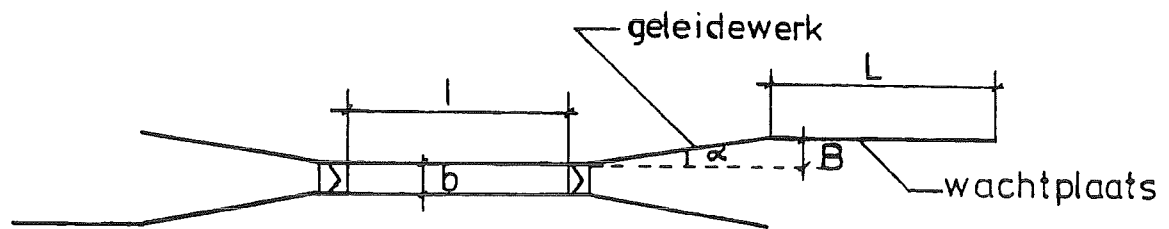
## 9. Wachtplaatsen en geleidewerken

### 9.1 Inleiding

Een wachtplaats is een gelegenheid, waar de schepen, die niet direkt de schutkolk kunnen binnenvaren, de eerstvolgende schutting afwachten.

Een geleidewerk is een constructie, die dient om schepen bij het binnenvaren van de schutsluis een zodanige geleiding te geven, dat een vlotte invaart mogelijk is, terwijl tevens de veiligheid voor het schip en de sluis gewaarborgd is.

Een mogelijke vormgeving voor de wachtplaatsen en de geleidewerken is in Figuur 9-1 in plattegrond aangegeven.



• Figuur 9-1 Wachtplaatsen en geleidewerken

Teneinde de schepen een zo goed mogelijke geleiding te geven bij het binnenvaren van de schutsluis, is het wenselijk de hoek  $\alpha$  klein te maken. Maar een kleine waarde van  $\alpha$  betekent een grotere afstand van de wachtplaats tot aan de schutsluis, waardoor de invaartijd langer wordt en dus de capaciteit van de sluis kleiner. Een verantwoord compromis kan alleen worden gevonden uit praktijkgegevens en modelstudies. In Nederland heeft dit ertoe geleid, dat voor  $\tan \alpha$  vaak 1 : 6 wordt aangehouden bij binnenvaartsluizen, welke voornamelijk door zelfvarende vrachtschepen worden gebruikt, dus niet door duwconvoien. Bij het uitvaren van de schutsluis mogen de schepen niet gehinderd worden door de wachtende schepen. Dit betekent dat de wachtende schepen zich in ieder geval buiten het verlengde van de schutkolkwanden moeten bevinden (zie de streepjeslijn in Figuur 9-1). Enige extra ruimte tussen de gestreepte lijn en de zijkant van de wachtende schepen is vaak aan te bevelen. De uitvarende schepen durven dan wat meer snelheid te ontwikkelen, waardoor de uitvaartijd wordt beperkt en de capaciteit van de schutsluis vergroot. De afmetingen van de wachtplaats ( $B \times L$ ) worden dikwijls gelijkgemaakt aan die van de schutkolk ( $b \times l$ ), opdat alle schepen voor de volgende schutting op korte afstand van de schutsluis komen te liggen. Bij een groot aanbod van schepen zal het nodig zijn de wachtplaatsen te verlengen.

Bij duwvaartsluizen, waar de sluisbreedte nauwelijks meer is dan de breedte van het duwconvoi (24 m sluisbreedte t.o. v. 22,80 m convoibreedte), wordt meestal een gebogen en minder snel vernauwend geleidewerk toegepast. Vooral ook omdat men hier te maken heeft met grote, moeilijk manoeuvreerbare massa's. Ter vergelijking diene het laadvermogen van een Europaschip van 1350 ton met dat van een vierbaks duwconvoi van 8800 ton.

Bij zeevaartsluizen treft men meestal geen doorgaande wachtplaats aan, maar een opbouw van een aantal afzonderlijke meerstoelen. Dit is gedaan om de sleepboten meer manoeuvreerruimte te geven. Deze sleepboten zijn soms nodig bij lagere snelheden van de zeeschepen, zoals bij het afmeren en later bij het binnenvaren van de schutsluis. Uit de aard van zijn functie volgt, dat het geleidewerk wel een gesloten front moet bezitten.

## 9.2 Ontwerpeisen

Enkele van de belangrijkste ontwerpeisen kunnen worden afgeleid uit de definities die aan het begin van dit hoofdstuk zijn vermeld.

- a. De constructie moet de stoot van een varend schip kunnen opvangen, zonder dat schade aan het schip of aan de constructie optreedt (geldt zowel voor de wachtplaats als voor het geleidewerk).
- b. De constructie moet de schepen een rustige ligplaats bieden en de krachten, uitgeoefend door het afgemeerde schip, kunnen opvangen (wachtplaats).
- c. De vormgeving van de constructie moet zodanig zijn, dat de schepen er zonder hapering langs kunnen glijden (zowel bij het geleidewerk als bij de wachtplaats).
- d. De vormgeving van de constructie moet zodanig zijn, dat de mogelijkheid van aanvaring van enig sluisonderdeel moet worden uitgesloten (geleidewerk).
- e. Er moet eventueel een verbinding tussen het schip en de wal aanwezig zijn om de bemanning gelegenheid te geven van boord te gaan (wachtplaats).

Er zal nu verder voornamelijk aandacht worden besteed aan het probleem van het opvangen van de belastingen, door de schepen veroorzaakt.

Uit de ontwerpeis c. valt nog de conclusie te trekken, dat de oplossing vooral gezocht zal moeten worden in doorgaande constructies.

Uit de ontwerpeis e. volgt dat aanvullende voorzieningen nodig zullen zijn, bijv. loopbruggen, ladders etc.

## 9.3 Belastingen

De belastingen, die door een schip op de constructie kunnen worden uitgeoefend, zijn:

### a. Aanvaarbelasting

De bewegingsenergie van het schip zal geheel of gedeeltelijk door de constructie moeten worden opgenomen.

Deze energie kan worden uitgedrukt door de formule:

$$C \frac{1}{2} m v^2 \text{ (Nm)}$$

Hierin is:

C = een dimensieloze faktor, waarin onder meer de meewerkende watermassa en de excentriciteit van het aangrijpingspunt van de botsing tot uitdrukking worden gebracht.

m = massa van het schip (kg)

v = aanvaarsnelheid van het schip (m/s).

Gaat men uit van een elastische constructie met een veerconstante k (N/m), dan geldt voor de energie-overdracht van het schip op de constructie de volgende formule:

$$C \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} F d = \frac{1}{2} \frac{F^2}{k}$$

Hierin is:

d = de verplaatsing van de constructie ter plaatse van het aangrijpingspunt van de scheepsstoot (m)

F = de kracht door het schip op de constructie uitgeoefend ter plaatse van de scheepsstoot (N).

Uit deze formule is F te berekenen. Duidelijk is te zien, dat hoe slapper de constructie is, des te kleiner de kracht F zal zijn.

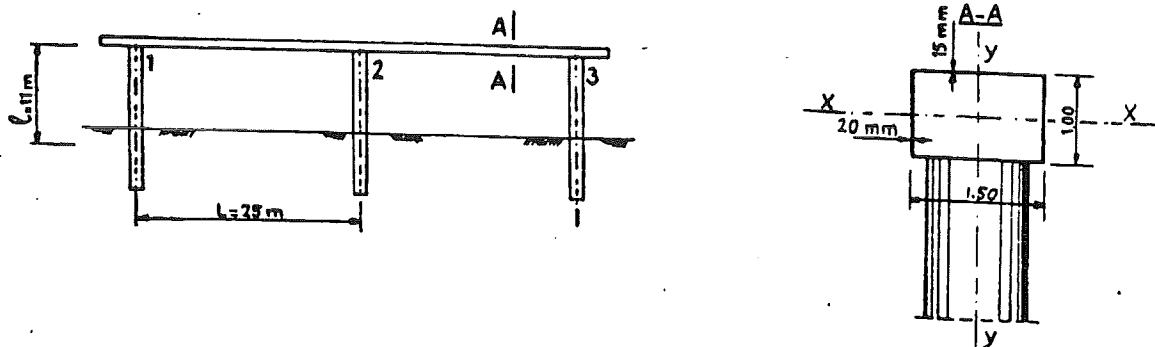
- b. Belastingen door een afgemeerd schip
1. drukkrachten doordat het schip door de wind of door de stroming tegen de constructie wordt geduwd.
  2. trekkrachten door de trossen.

Bij deze belastingen is vrijwel altijd sprake van quasi-statische belastingen, d.w.z. de belasting verandert wel in de tijd gezien, maar zo langzaam dat er toch op ieder moment evenwicht is tussen de uitwendige krachten en de inwendige vormveranderingskrachten van de constructie. Voor de opname van dit soort krachten zou een stijve constructie de beste oplossing geven.

De belastingen genoemd onder a. en b. leiden dus in zekere zin tot strijdige oplossingen. Meestal wordt de constructie berekend volgens belasting a. en later op belasting b. gecontroleerd.

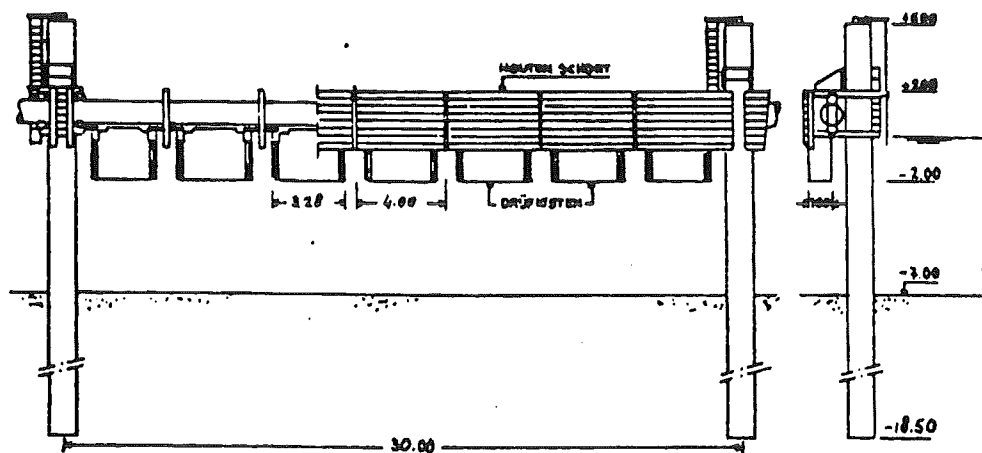
## 9.4 Constructievormen

Om tot oplossingsprincipes te komen, kan men als de kern van het probleem noemen het opvangen van een horizontale kracht. Bij de constructies voor de schutcolkwand in par. 5.2. zijn hiervoor enige mogelijkheden geopperd. In verband met de aantrekkelijkheid van een flexibele constructie en de eis van een, in horizontale zin, doorgaand geheel wordt tegenwoordig vaak gekozen voor een constructie als aangegeven in Figuur 9-2.



• Figuur 9-2 Geleidewerken met stalen liggerconstructie

Deze bestaat uit een aantal verticale stalen palen, ingeheid in de bodem (inklemming) en onderling verbonden door één of meerdere horizontale stalen liggers, afhankelijk van de mogelijke variaties in de waterstand. Voor deze liggers wordt een hardhouten schort opgehangen, dat voor het aanleggen of geleiden van de schepen een beter materiaal vormt dan de, in detail, zeer stugge staalconstructie. Bij grote waterstandsverschillen worden ook wel drijvende constructies aangebracht tussen de palen inplaats van de vaste horizontale stalen liggers (zie Figuur 9-3).



• Figuur 9-3 Geleidewerken met drijvende liggerconstructie

Bij een aantal sluizen worden voor de geleidewerken damwandconstructies toegepast. Dit zijn in het algemeen geen erg flexibele constructies. Om schade aan schepen te voorkomen, zal er een meer flexibele tussenconstructie moeten worden aangebracht. Men gebruikt daarvoor bijv. regels en stijen van azobé.