



Technische Hogeschool Delft

Afdeling der Civiele Techniek

De praktijk van de civiel ingenieur

fc1 collegeserie: natte waterbouw

door

prof. ir. H.P.S. van Lohuizen

Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek

	uitgave april 1978			951020					f 2,75
--	-----------------------	--	--	--------	--	--	--	--	--------

L.S.

Bij de samenstelling van elk diktaat wordt er uiteraard naar gestreefd om fouten te voorkomen en de inhoud zo overzichtelijk mogelijk aan te bieden.

Niettegenstaande dat kunnen toch onduidelijkheden voorkomen en kunnen fouten zijn ingeslopen.

Indien U dan ook bij de bestudering van dit diktaat:

- onjuistheden ontdekt
- op onduidelijkheden stuit
- of gedeelten ontmoet, die naar Uw mening nadere uitwerking behoeven, verzoeken de samenstellers U dringend hen daarvan mededeling te doen.

Bij de volgende drukken kunnen dan op- en aanmerkingen worden verwerkt ten gerieve van toekomstige gebruikers.

Zonodig kan ook nog in de lopende cursus voor verduidelijking worden gezorgd.

Inhoudsopgave

Inl.	-	INLEIDING
Wo.	-	WATERSTAATKUNDIGE ORGANISTATIE
G.	-	GROND EN GRONDWATER
D.	-	DIJKEN
P.	-	POLDERS EN BOEZEMGEBIEDEN
W.	-	WATERSCHAPPEN
K.	-	KANALEN
KW.	-	KANAAL OM DE WEST
S.	-	SLUIZEN

NATTE WATERBOUW

INLEIDING

Zoals we hebben gezien in de inleidende colleges worstelden de Egyptische "c.i.'s" al met water.

Enerzijds moesten zij zich beschermen, moesten zij droge voeten houden, anderzijds was het water een absolute levensnoodzaak voor hen. Het land werd vruchtbaar door de na de overstroming achterblijvende klei en slib-lagen. We hebben gezien hoe de Egyptische bouwers de eigenschap gebruikten van de vrije waterspiegel om altijd horizontaal te gaan staan (waterpas), om daarmee te meten, om er een terrein waterpas mee af te werken.

Het voornaamste transport vond op vloten en schepen over het water plaats. Maar niet alleen bij de Egyptenaren, overal ter wereld, en steeds weer blijkt het water uitermate belangrijk te zijn. Het is dan ook zeker een van de belangrijkste "materialen" waar de civiel ingenieur in zijn praktijk mee te maken krijgt.

Prof. Bos, mijn voorganger, heeft over het fenomeen water een uiterst boeiend diktaat samengesteld. Ik zal dit laten herdrukken en ik zou U willen vragen het met aandacht te lezen, omdat ingegaan wordt op de eigenschappen en de samenstelling.

Veel van de eigenschappen, plezierige zowel als lastige, worden duidelijk verklaard, zodat een en ander tot beter begrip van het materiaal water leidt. Ook voor de Nederlandse civiel-ingenieur is water een belangrijk onderdeel.

Het hoofd boven water houden is letterlijk de konstante strijd geweest die de Nederlandse waterbouwers moesten strijden. De wapenspreuk van Zeeland, Luctor et Emergo, (ik worstel en kom opduiken,) is een teken aan de wand.

Hoe houdt men het land droog, dus het water onder het land of het land boven het water, is steeds de grote uitdaging geweest die aan de civiel-ingenieurs is gesteld.

Het begrip hoogte van land en water is trouwens erg relatief. Men moet nl. een vergelijkingsvlak hebben om van een bepaalde hoogte te spreken.

Dit vergelijkingsvlak wordt Nieuw Amsterdams Peil (N.A.P.) genoemd. Deze hoogte is de hoogte van de halfbolvormige bronzen bout die zich op een 22 m lange heipaal onder de Dam in Amsterdam bevindt; en wel

op 0,90 m onder het straatoppervlak.

Alle hoogte maten in Nederland worden aangegeven t.o.v. N.A.P.
bijvoorbeeld 3,50 + N.A.P. of 2,10 - N.A.P.

Verder bevinden zich in geheel Nederland verspreid bouten waarvan de hoogte t.o.v. N.A.P. bekend is. Met behulp van deze bouten kan door nauwkeurige waterpassing elke andere gewenste hoogtemaat worden bepaald. (zie het tweede jaarsvak Landmeten).

De eerste nauwkeurige waterpassing in Nederland vond plaats in de periode van 1875-1885.

In de langsdoorsnede van Nederland vanaf de duinen tot het IJmeer (zie fig. Inl.-I) ziet men duidelijke hoogte verschillen. Let wel de hoogte- en lengte schaal zijn verschillend. Hoe zijn deze hoogte verschillen tot stand gekomen. Vroeger waren er veel meren en inhammen. Het oer IJ is gevuld met slibafzettingen. Door het water wordt slib, klei en zand meegevoerd en zal op andere plaatsen afgezet worden. Hierdoor ontstaan dus van nature al niveauverschillen.

Hoe het lage deel van Nederland er eens heeft uitgezien, blijkt uit fig. Inl.-II. Geleidelijk aan is de mens gaan ingrijpen om er te kunnen leven en om niet voortdurend door water bedreigd te worden bij hoogwater perioden. Hierdoor ontstaan er indijkingen. Om een bepaald gebied legde men dijken aan en zorgde ervoor dat het ingesloten gebied droog bleef door middel van bemaling.

Een dijk houdt dus het land erachter droog. (zie fig. Inl.-III).

Dit in tegenstelling tot het begrip dam. Een dam scheidt nl. twee verschillende waterpeilen (zie fig. Inl.-IV). De Afsluitdijk is dus eigenlijk een dam evenals de Oosterschelde dam.

Een gebied dat omsloten is met dijken, en waar het waterpeil kunstmatig lager wordt gehouden dan in de omgeving noemt men een polder. Het betreft hier veelal een vroeger meer dat werd drooggelegd, om het als land te kunnen gaan gebruiken.

Een polder bestaat uit:

- een ringvaart
- een dijk
- sloten en tochten
- een gemaal

Het gemaal zorgt ervoor dat de polder droog blijft

Vroeger waren er nog geen gemalen zoals men ze tegenwoordig kent. Eerst vond de bemaling nl. plaats met behulp van windmolens en in de loop van de tijd werden deze vervangen door stoomgemalen en weer later door dieselmolens.

Het water dat uit de polder moet worden gemalen komt via sloten en tochten (de verbinding tussen sloten zie fig. Inl.V bij het gemaal. Deze pompt het water uit de polder in de ringvaart welke voor verdere afvoer van het overtollige water zorgt. Men kan zich afvragen waarom er vrij regelmatig gemalen moet worden en niet na de polder de eerste keer drooggemalen te hebben ermee op kan houden.

Dit komt omdat er normaal een konstante watertoevoer is. Deze bestaat o.a. uit:

- neerslag (regenval, sneeuw, hagel)
- kwel (grondwaterstroming door wet van de communicerende vaten)

Daarnaast is er ook afvoer van water en kwel door de bemaling maar ook door verdamping (zie fig. Inl.VI en VII).

De kwel of grondwaterstroming is o.a. afhankelijk van de grondsoort, de samenstelling en de grondeigenschappen.

Alvorens nu verder in te gaan op de polder problematiek wilde ik eerst wat gaan zeggen over de waterstaatkundige organisatie in Nederland. Daarna wordt een inleiding gegeven over grond, grondeigenschappen, bodemsamenstelling, grondwater en de stroming van grondwater door de grond.

Aan de hand van deze gegevens kan dan nader worden ingegaan op doel en werking van een dijk en op de verdere technische problemen bij het laten functioneren van polders.

In volgende hoofdstukken worden kanalen voor scheepvaart en watertransport behandeld, evenals sluizen; rioleringen en het ophogen van terreinen, waarmee de serie natte waterbouw wordt afgesloten, komt in een aanvulling uit.

Inl. 4

Gemiddelde vloed 0,75 +
 gemiddelde eb 0,87 +
 laag water 2,50 +
 stormvloed 3,68 +

	Sluizen	
Noordzeekanaal	0,40 tot 0,50 +	
Ringvaart Haarlemermeer	0,60 +	
Schiphol	6,30 +	
Amsterdamse Bos	5,50 +	
Tuindersgebied Sloten	2,16 +	
Sloterbinnen en Middelveldsche gekombineerde polders	Nieuwe Meer 0,60 + (Tuinsteden Amsterdam West) 2,10 + Riekerpolder 1,80 +	
	Tuinsteden Amsterdam-West	
Hoogwaterkering 2,00 +	Osdorper binnenpolder 2,12 + Osdorper bovenpolder 4,30 + Luikenmeerpolder 5,70 + Havengebied 1,00 + Tuindorp Oostzaan 3,45 +	
	Noordzeekanaal (diepte 15 m.) 0,40 tot 0,50 + Westelijk havengebied 1,20 + Overbrakerbinnenpolder 2,15 + Stedelijke bebouwing binnenstad 0,70 +	
	Metro (bovenkant rail) 8,50 +	
	Stadsgrachten 0,40 tot 0,50 +	
	Vondelpark 2,45 +	
	Amstel en Ringvaart (watergraafsmeer) 0,40 tot 0,50 + Binnendijksche buitenveldertsche polder (tuinstad Buitenveldert) 2,00 + Groot-Duivendrechtsche polder 2,48 + Amsterdam Noord (oud gedeelte) 1,00 +	
	Broekermeer 5,31 + Beilmermeer 4,83 + Polder de Burgerdammer Die 3,30 + Buikmeer 4,45 + Blijkmeer 3,75 + Hoogwaterkering 1,00 +	
	Watergraafsmeer 5,50 + Kade van de Watergraafsmeer 0,70 + Amsterdam-Rijnkanaal 0,40 tot 0,50 +	
	Oranje sluizen 3,50 +	
	IJsselmeer 0,20 tot 0,40 +	



De hoogtelijging van Amsterdam

fig. Inl.-I

Inl - 5

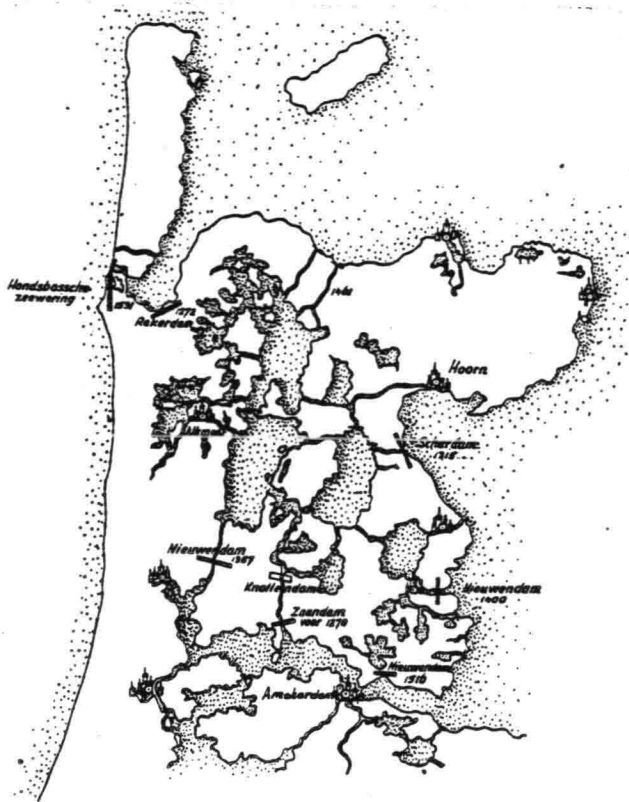


fig. Inl. - II

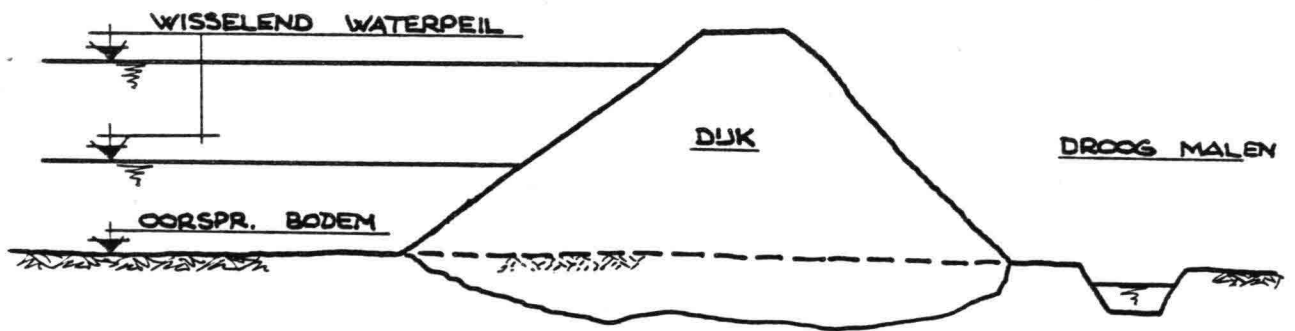


fig Inl. - III

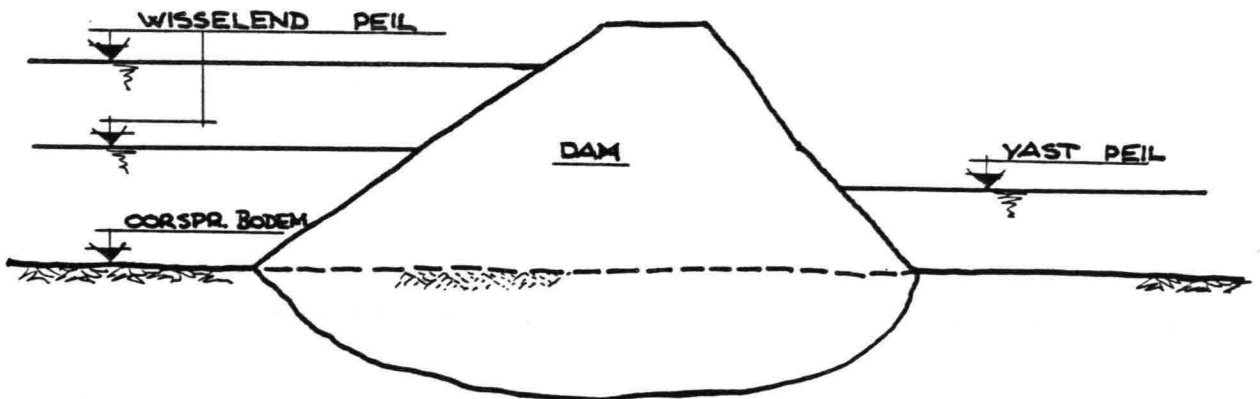


fig. Inl. - IV

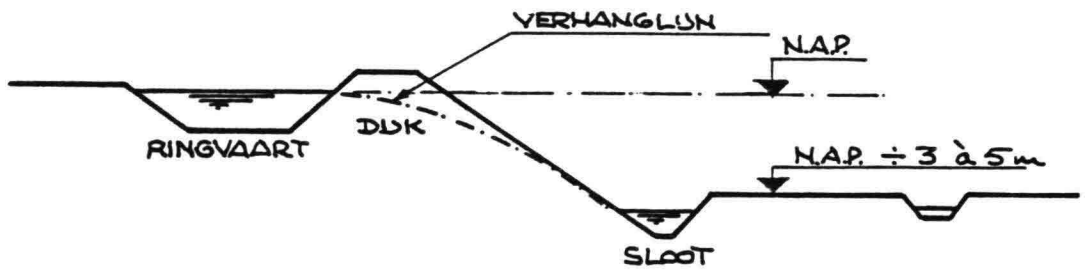
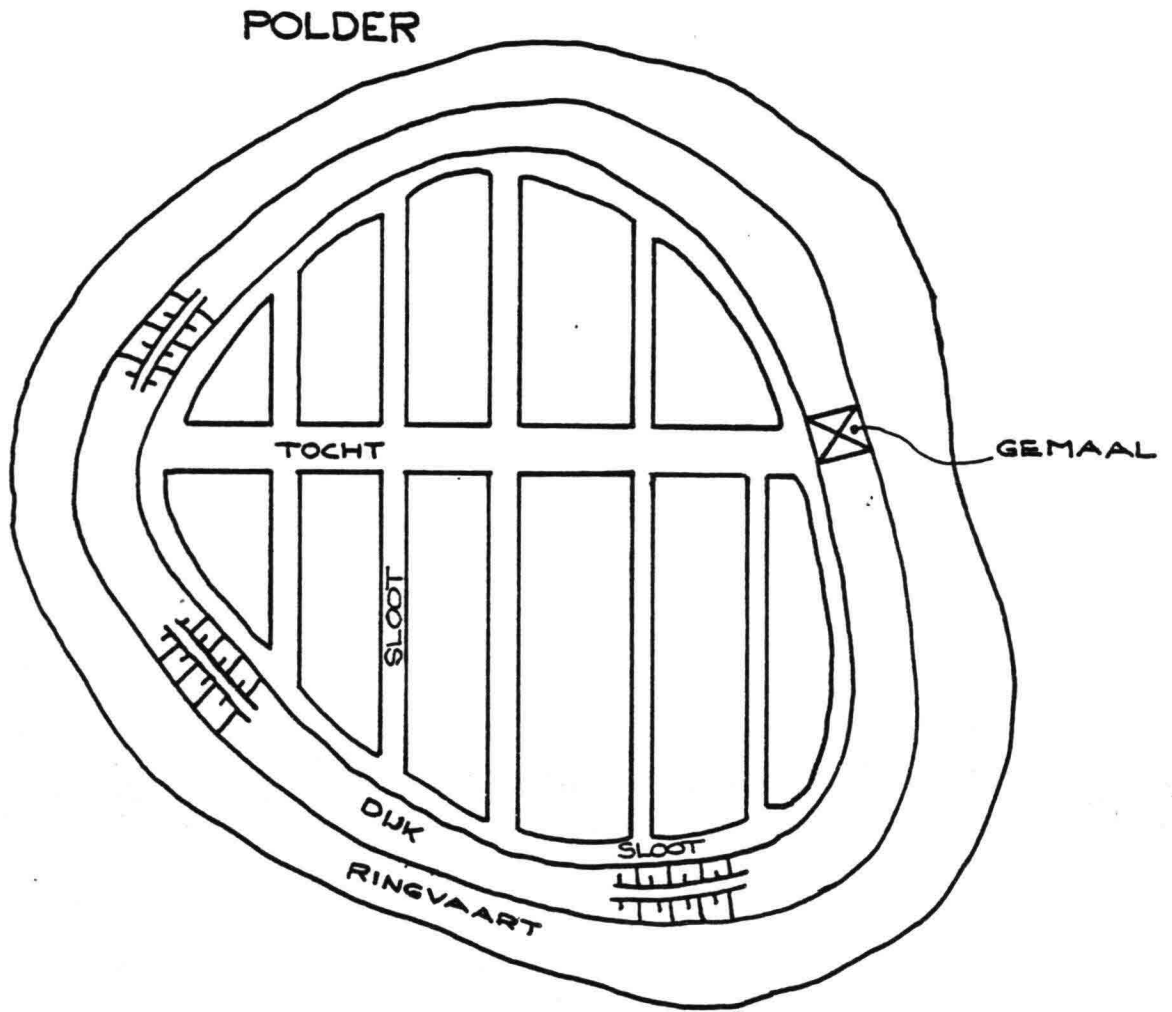
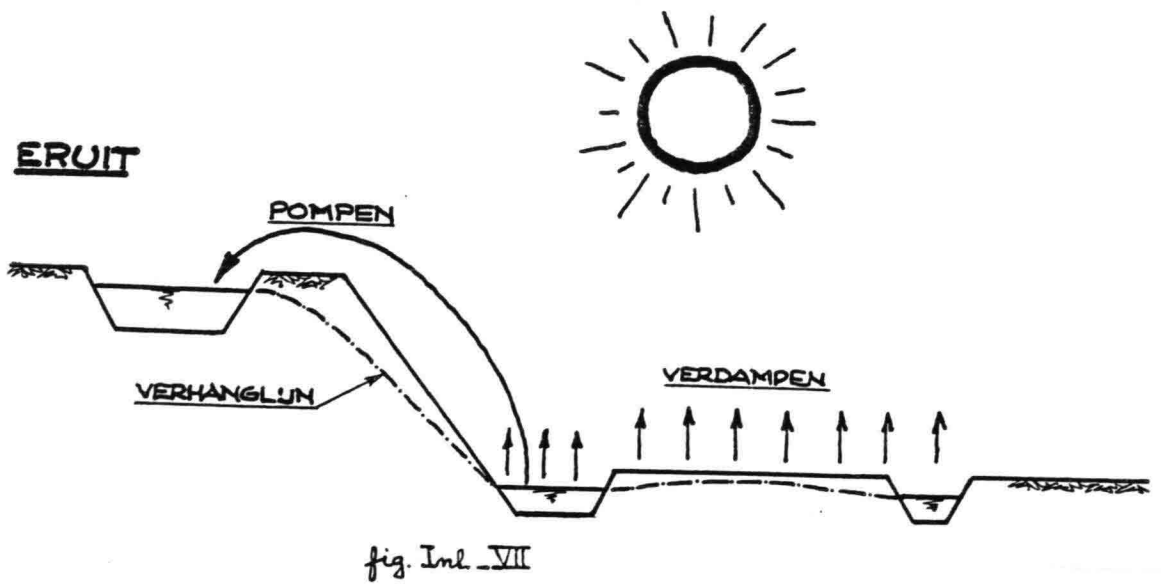
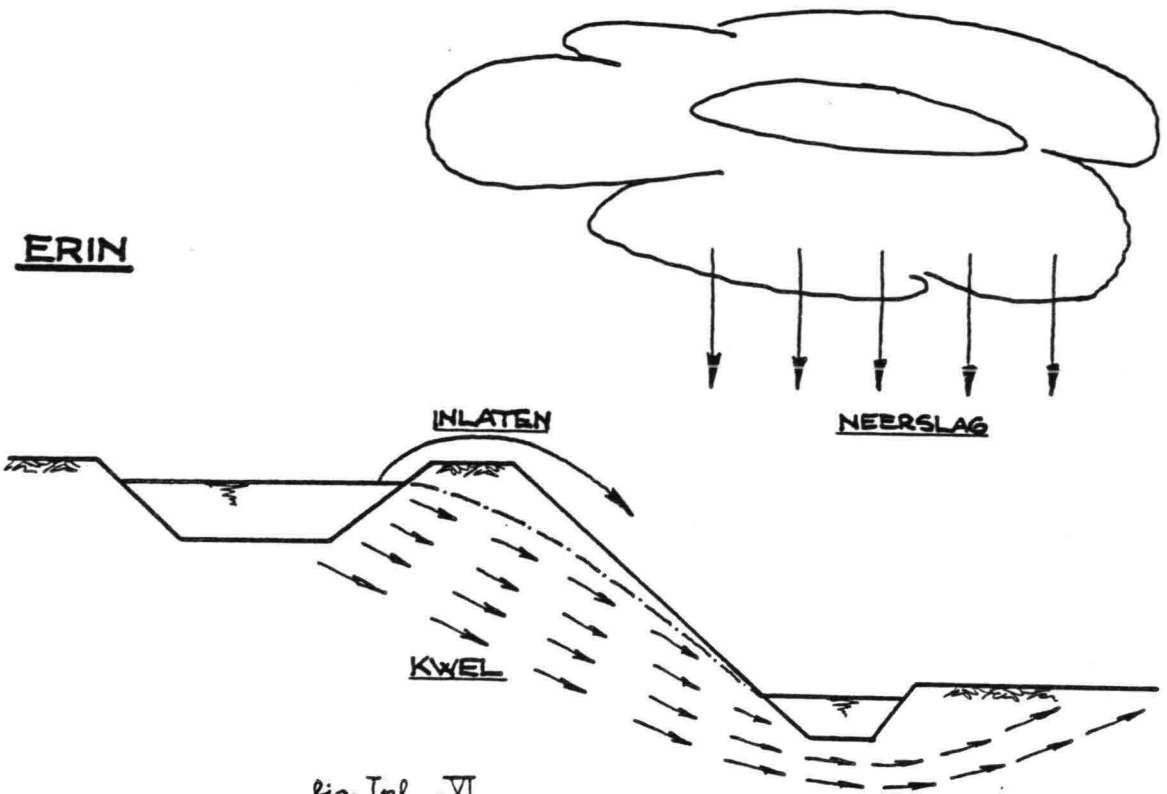


fig. Inl - V



Organisatie van de Waterstaat in Nederland.

De Nederlandse overheidsorganisatie kent globaal gesproken drie niveau's: Rijk, Provincie en Gemeente. Alle drie vervullen zij waterstaatstaken; de gemeenten hebben doorgaans slechts weinig waterstaatstaken te vervullen, vnl. op het terrein van de wegen en eventuele havens. Veel taken m.b.t. de waterstaat op lokaal niveau zijn toevertrouwd aan waterschappen.

Organisatie van het waterbeheer in Nederland.

a. Het beheer van oppervlaktewater (kwantitatief).

Het oppertoezicht over de waterstaat berust bij de Rijksoverheid. Uitvoerend apparaat is de Rijkswaterstaat. Grote rivieren, zeearmen en belangrijke scheepvaartkanalen vallen onder beheer van het Rijk. Aan Provinciale Staten (Gedeputeerde Staten) komt het toezicht toe over alle waterstaatswerken, waterschappen, veenschappen en veenpolders, voorzover het toezicht op bepaalde werken niet aan anderen is opgedragen. G.S. beschikken over provinciale waterstaatsdiensten. De rechtstreekse zorg voor afwatering van gronden en het handhaven van een optimaal grondwaterpeil berust veelal bij waterschappen.

b. Het beheer van oppervlaktewater (kwalitatief).

In enkele gevallen berust het kwalitatieve waterbeheer bij provincies (Groningen, Friesland en Utrecht). Elders geschiedt dit beheer bij grote waterschappen (o.a. hoogheemraadschappen) of bij speciaal daartoe opgerichte zuiveringsschappen.

De "wereld" van de waterhuishouding en het waterbeheer is momenteel nogal in beroering. De behoefte aan een integraal waterbeheer begint zich steeds duidelijker te manifesteren. Er zijn vele en tegenstrijdige belangen bij dit beheer betrokken, die elkaar in meerdere of mindere mate beïnvloeden. Er bestaan plannen tot

a. Een bestuurlijke herindeling van Nederland (24? mini-provincies).

b. Een herindeling van Nederland in hoofd- en binnen waterschappen.

Een voorbeeld van een versnipperd beheer van een van de oppervlaktewatereën is de Waddenzee.

Momenteel is de Waddenzee in beheer bij 31 gemeenten. De Raad van Advies voor de ruimtelijke ordening heeft in september 1977 gepleit voor een beheer, verdeeld over de 3 betrokken provincies. De provincies werken aan een interprovinciaal structuurplan voor het gehele Waddengebied.

GROND EN GRONDWATER

Grond bestaat uit korrels + water + lucht.

Men onderscheidt verschillende grondsoorten zoals steen, grind, zand, klei, veen en slib.

De belangrijkste voor onze nederlandse omstandigheden zijn:

a) zand

b) klei

c) veen

ad a)

zand bestaat uit korrels van SiO_2

ad b)

klei heeft een plaatjes structuur zoals leisteen en bevat o.a. de volgende elementen:

SiO_2 MgO

Al_2O_3 CaO

Fe_2O_3 K_2O

H_2O Na_2O en humus

ad c)

veen bestaat voornamelijk uit organische stoffen zoals plantenresten.

Tussen de vaste bestanddelen in de grond is holle ruimte aanwezig, in die holle ruimte bevindt zich of lucht of water.

Naast het z.g.n. open water in rivieren, kanalen, meren, zeeën etc. is het water dat zich in de grond bevindt, het z.g.n. grondwater.

Al naar gelang de hoogte van de grondwaterstand, kom je dat op een ogenblik tegen, als je gaat graven bv. in de tuin of op het strand.

Het grondwater heeft een relatie met het open water eromheen die afhankelijk is van o.a. de doorlatendheid van de grondlagen. Die doorlatendheid wordt bepaald bv. door de grondsoort. Klei en veen zijn vrijwel ondoorlatend, zand is beter tot zeer goed doorlatend.

De hoeveelheid vrije ruimte tussen de grondkorrels is hiervoor maatgevend, dat is het z.g.n. poriëngehalte.

Dit kan worden uitgelegd aan de hand van het volgende voorbeeld:

stel we willen een dam nabootsen in een grote aquariumbak. Wanneer we die dam zouden maken van knikkers en we proberen vervolgens het water aan één zijde weg te halen dan loopt het water van de andere zijde door onze knikkerdam heen als door een vergiet, en zijn op grond van de wet van de communicerende vaten binnen de kortst mogelijke tijd de waterstanden aan beide kanten van de knikkerdam weer gelijk geworden. De conclusie moet luiden dat we van

knikkers, of daarvoor ingevuld, grove korrels grond (bv. zand) geen waterdichte dam kunnen bouwen.

Het poriëngehalte is gelijk aan het volume van de poriën gedeeld door het totaal volume van de grond maal 100% dus in symbolen:

$$n = \frac{V_p}{V} \times 100\%$$

n = poriën gehalte

V_p = volume poriën

V = totaal volume van de grond.

Bij stroming van grondwater is het werkzame deel van het poriëngehalte kleiner dan n. Dit wordt veroorzaakt door gebonden water dat aan de korrels kleeft.

De holle ruimte tussen de korrels (het poriëngehalte) moet klein zijn om water tegen te kunnen houden. Hoe kan de holle ruimte verminderd worden? Door die bv. met ander vast materiaal, met fijnere korrels te vullen.

Grond samengesteld uit korrels van uiteenlopende diameter kan al beter water tegenhouden. Niettemin blijft het water nog door de overgebleven holle ruimte heen stromen al gaat dat veel langzamer dan door de knikkerdam; er treedt een vertragingseffect op.

Naast het poriën volume is dus de zgn. korrelgradatie van belang. De korrelgradatie van een grondsoort wordt aangegeven door er een zgn. korrelverdelingsdiagram van te maken. (zie fig. **6-I**).

Dit diagram wordt verkregen door een grondmonster te zeven over genormaliseerde zeven. De zeven zijn opgestapeld en wel zodanig dat de bovenste zeef de grootste maaswijdte heeft en de onderste de kleinste. Door nu van elke zeef het gewichtspercentage te bepalen van wat door de zeef valt en dit uit te zetten in een grafiek met op de horizontale as de logaritme van de diameter en op de verticale as het percentage doorval, ontstaat het korrelverdelingsdiagram.

Een andere belangrijke factor is de dichtheid of korrelrangschikking van de grondsoort. Er zijn nl. meerdere dichtheden mogelijk. Deze worden bepaald door:

- grootte en aard van de gronddeeltjes
- wijze van afzetting (stuifzand of gesedimenteerd)
- effect van trillingen
- drukverhoging (verschillend voor klei en zand)

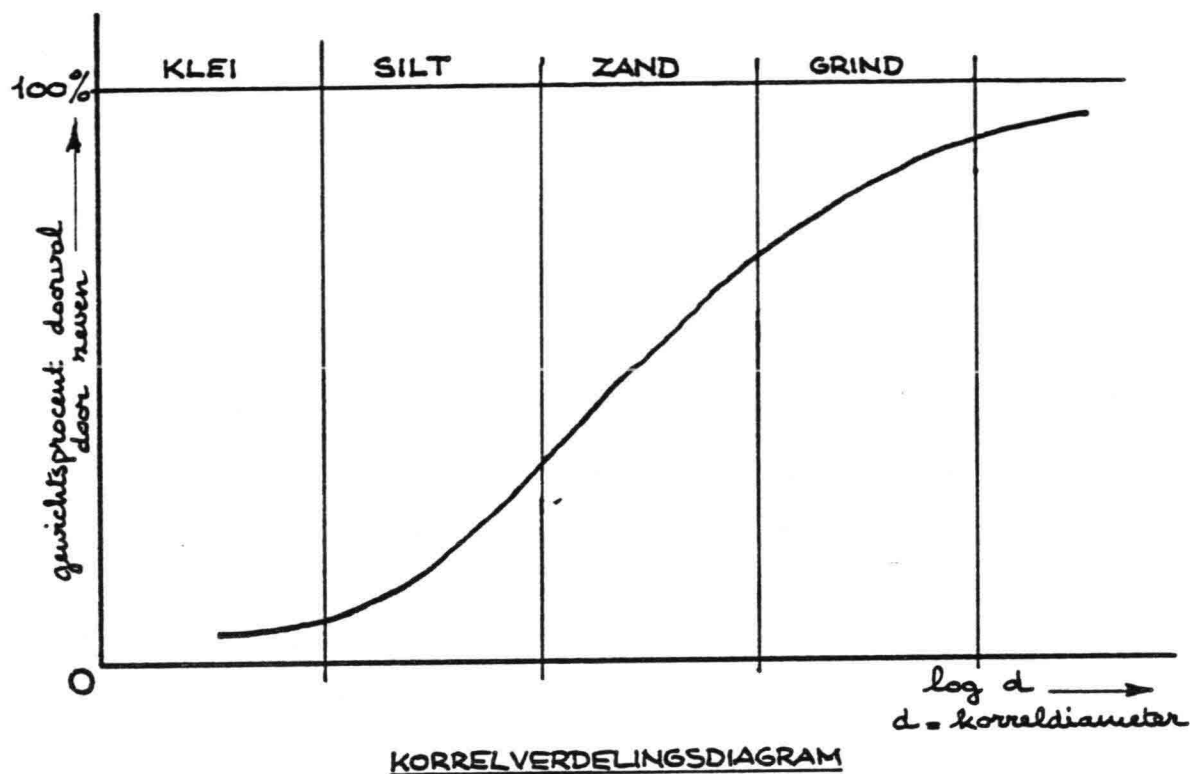


fig. G-I

De druk verhoging wordt opgenomen door wrijvingskrachten in de raakvlakken van de korrels.

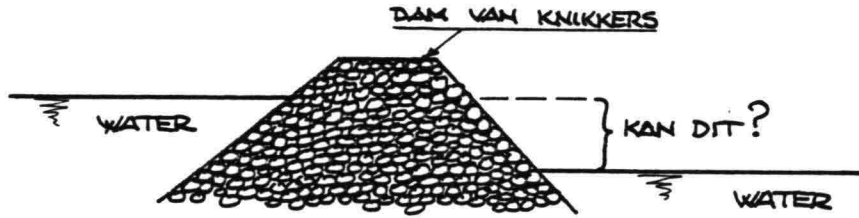
Het effect van de pakkingsdichtheid op het poriënvolume kan het best weer met het voorbeeld van de knikkers worden toegelicht.

In fig. G-II is in de knikkerdam in een detail aangegeven de zgn. losse pakking, de dichte pakking en de holle ruimte gevuld met fijner materiaal. De dichtere pakking kan uit de lossere pakking ontstaan door bv. de bak met knikkers te schudden. De knikkers gaan dan dichter in elkaar liggen. Vanuit een dichte pakking zou echter ook door trillen weleens een lossere pakking kunnen ontstaan. Klei en zand reageren door hun specifieke structuursverschil heel anders.
Klei: wijze van afzetting heeft invloed op de dichtheid.

Klei is samendrukbaar als een "spons", het poriënwasser stroomt er nl. uit bij belastingsverhogingen. Dit heeft als gevolg dat bij ophogingen op dieper liggende kleilagen er samendrukking plaats vindt (zettingen).

Poriëngehalte wel tot 60% of meer.

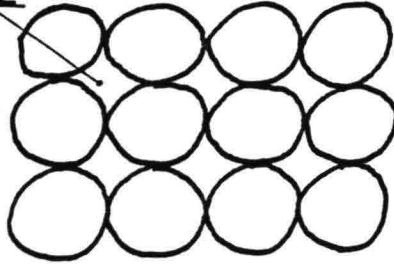
Zand Bij zandlagen veroorzaken ophogingen vrijwel geen zettingen. Hier neemt nl. de korrelstructuur de belasting op. Poriëngehalte bedraagt gemiddeld ongeveer 40%. Bij losse pakking kan echter door verandering van de pakkingsdichtheid wel een aanzienlijke zetting optreden.



PORIËN VOLUME

LOSSE PAKKING

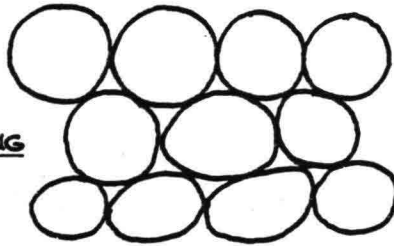
VEEL HOLLE RUIJTE



GROND =
KORRELS +
WATER +
LUCHT

VASTE PAKKING

WEINIG HOLLE RUIJTE



$$n = \frac{V_p}{V} * 100\%$$

n = poriëngelalte

V_p = por. volume

V = totale volume

HOLLE RUIJTE
GEVULD MET
FJNER
MATERIAAL

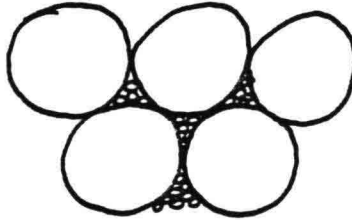


fig. G - II

De stroming van water door grond vindt meestal nogal sterk vertraagd plaats doordat de grondsamenstelling snellere doorstroming verhindert. Grond is geen verzameling kniekers. De grondwaterstroming ontstaat doordat er ter weerszijden van het beschouwde grondgedeelte een waterstandsverschil is en de wet van de communicerende vaten eist dat het water gelijk wil komen.

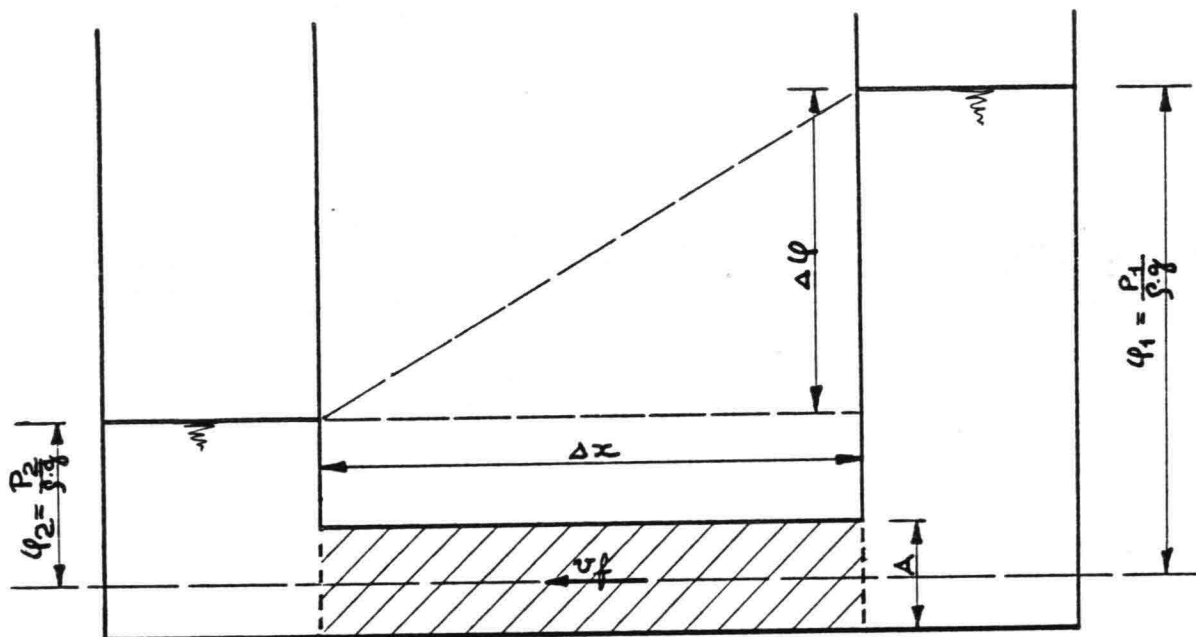
G-5

De verhouding van hoogte verschil tussen het water aan de ene zijde en aan de andere zijde en de afstand tussen de beschouwde plaatsen wordt het verhang genoemd.

Dit verhang en de doorlatendheid van de grond bepalen de hoeveelheid water die per tijdseenheid zich kan verplaatsen en dus de snelheid waarmee dit gebeurt. Een en ander voldoet aan de wet van Darcy (1856), mits het verhang niet te groot is en het water niet te hard stroomt.

Darcy vond de volgende wetmatigheid:

$$Q = Ak \cdot \frac{d\phi}{dx} \quad (\text{zie ook fig. G-III})$$



debiet $Q = A \cdot k \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta x}$ (DARCY)

$v_f = \frac{Q}{A}$ (ideële filtersnelheid)

$v = \frac{Q}{n \cdot A}$ (niet de gehele opening doet mee aan de doorstroming)

A = filteropp.
 k = doorlatendheidscoëff.
 $\Delta\phi$ = potentiaalverschil
 Δx = filterlengte

fig. G-III

$$Q = A \cdot k \cdot \frac{d\phi}{dx} \text{ (zie fig. G-III)}$$

waarin:

A = Doorstroomde doorsnede in m^2

Q = debiet in m^3/sec

dx = filterlengte in m

$d\phi$ = potentiaal verschil (verschil in stijghoogte) in m., of het verschil in waterhoogte tussen de twee beschouwde punten.

k = doorlatendheidscoëfficiënt in m/sec

$$i = \text{verhang} = \frac{d\phi}{dx}$$

Verder is de ideale filtersnelheid $v_f = Q/A$. Daar het water niet door de gehele doorsnede kan stromen maar alleen door de poriën is de werkelijke snelheid van het water $v = Q/nA$, waarbij $n < 1$.

Doorlatendheidscoëfficiënt k (orde van grootte zie tabel G-IV)

Deze is afhankelijk van:

- korrelgradatie
- korrelvorm
- pakkingsdichtheid
- bindingskrachten
- temperatuur van het water
- poriëngrootte

De doorlatendheidscoëfficiënt wordt bepaald uit het korrelverdelingsdiagram en door middel van proeven. Doordat de grond een gelaagde opbouw heeft is de bepaling van k erg moeilijk. De grond heeft nl. geen homogene laag verdeling. In een laag zand kunnen bijv. kleilenzen optreden welke ontstaan zijn tijdens de sedimentatie. (zie fig. G-V)

Vertikale grond-, korrel-, en waterdruk

Het verband tussen deze drie drukken is: $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w$

waarin σ_g = grondspanning

σ_k = korrelspanning

σ_w = waterspanning

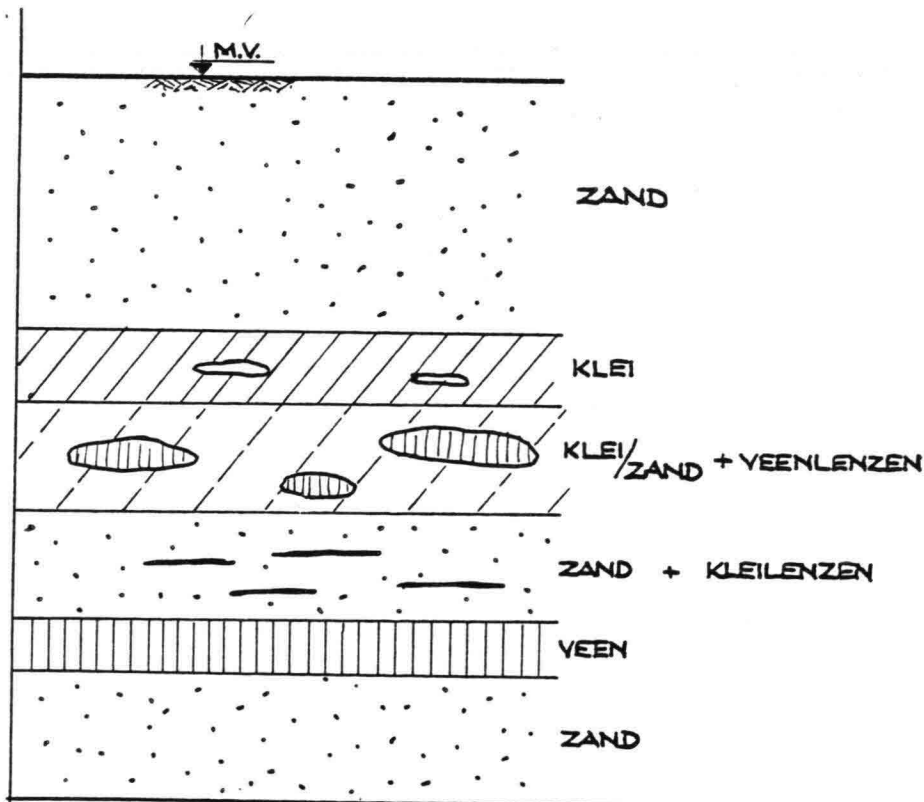
Het feit dat grond belasting kan dragen wordt veroorzaakt door het skelet van de korrelopbouw.

Bij het belasten van bijv. een bak met knikkers (zie fig. G-VI) zal de kracht G opgenomen worden door krachten K die werken in de raakvlakken tussen de afzonderlijke knikkers.

Als nu die bak tevens met water gevuld is zal de waterspanning tegen de korrels in alle richtingen gelijk zijn.

GEMIDDELDE K-WAARDEN TABEL	
Grondsoorten	Gem. k-waarden in m/sec
-Grind	$> 1,0 \cdot 10^{-2}$
-Grof zand met fijn grind	$1,0 \cdot 10^{-2} - 1,0 \cdot 10^{-3}$
-Grof zand	$1,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-4}$
-Fijn zand	$1,0 \cdot 10^{-4} - 1,0 \cdot 10^{-5}$
-Zeer fijn zand	$1,0 \cdot 10^{-5} - 1,0 \cdot 10^{-6}$
-Klei/sterk leem houdend zand	$1,0 \cdot 10^{-6} - 1,0 \cdot 10^{-8}$
-Zandige klei	$1,0 \cdot 10^{-8} - 1,0 \cdot 10^{-10}$
-Klei	$> 1,0 \cdot 10^{-10}$

tabel G-IV



M.V. = moaiveld = bekaand grondopp.

SEDIMENTLAGEN
lenzen in diverse grondlagen

fig. G-V

$$\text{SPANNING } (\sigma) = \frac{\text{DRUK}}{\text{OPP.}}$$

$$\sigma_g = \sigma_w + \sigma_k$$

σ_g = grondspanning

σ_w = waterspanning

σ_k = koerelspanning

koerelspanning is bepalend
voor evenwicht en vervorming
van de grond

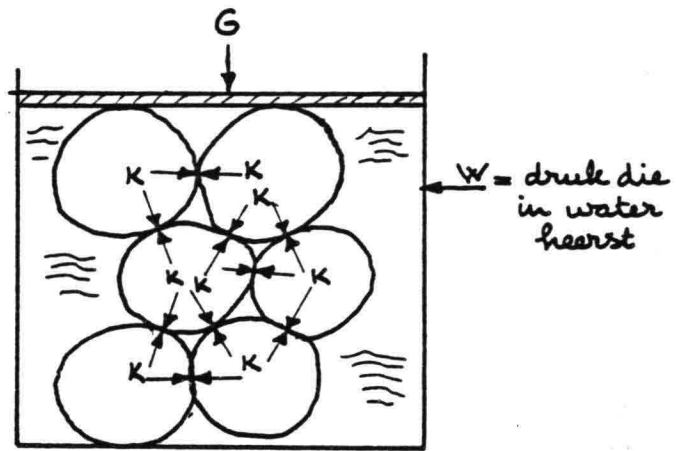
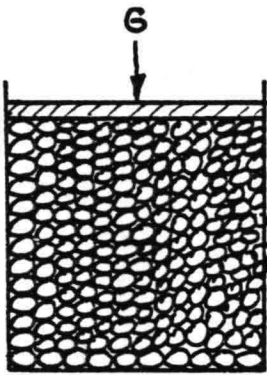


fig. G-VI

Het bepalen van verticale grond-, water- en korrelspanningen

a. Zonder grondwater

Het gewicht van een kolom grond oefent op het oppervlak dA op een diepte z een kracht uit van $F = \gamma_d z \cdot dA$

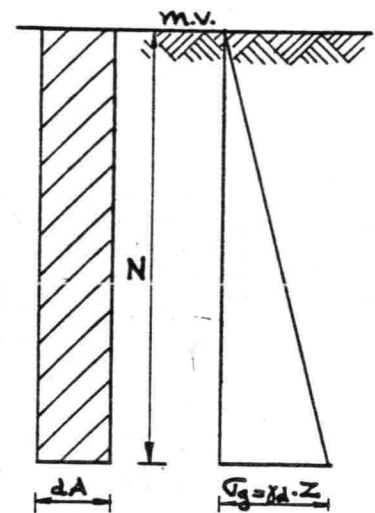
De grond spanning = (F/A) is dus

$$\sigma_g = \frac{F}{dA} = \frac{\gamma_d z \cdot dA}{dA} = \gamma_d z$$

Hieruit ziet men dus dat σ_g lineair verloopt met de diepte z .

γ_d = het droog volume gewicht van de grond.

Daar $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w$ en $\sigma_w = 0$ is $\sigma_g = \sigma_k$



b. Met grondwater

Het gewicht van de grond op h m diepte is

$$F_1 = h \gamma_d \cdot dA \rightarrow \sigma_{g1} = \sigma_k = h \gamma_d$$

Op een diepte z ($\geq h$) geldt

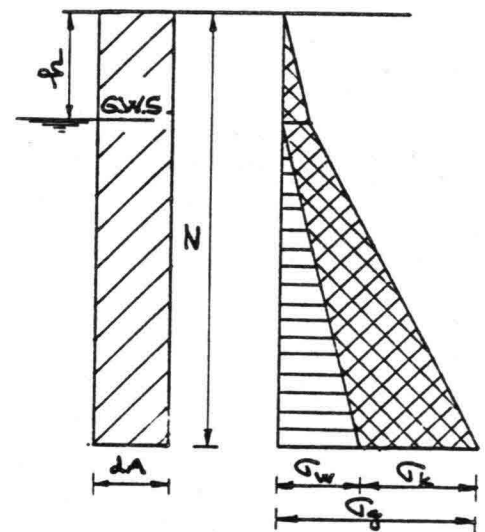
$$F_2 = h \gamma_d \cdot dA + (z-h) \gamma_n \cdot dA$$

γ_n = het natte volume gewicht

ofwel

$$\sigma_{g2} = h \gamma_d + (z-h) \gamma_n$$

Ook hier ziet men dat de grondspanning lineair verloopt met de diepte.



Op de diepte z is de waterspanning $\sigma_w = \gamma_w(z-h)$
(γ_w = volume gewicht van water)

Daar $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w + \sigma_k = \sigma_g - \sigma_w$ geldt voor $z \geq h$

$$\sigma_k = h \gamma_d + (z-h) \gamma_n - \gamma_w(z-h)$$

c. Met grondwater en boven belasting

Op het maaiveld geldt:

$$F = p \cdot dA \rightarrow \sigma_g = \sigma_k = p$$

Op diepte h :

$$F = p \cdot dA + \gamma_d \cdot h \cdot dA \rightarrow \sigma_g = \sigma_k = p + \gamma_d h$$

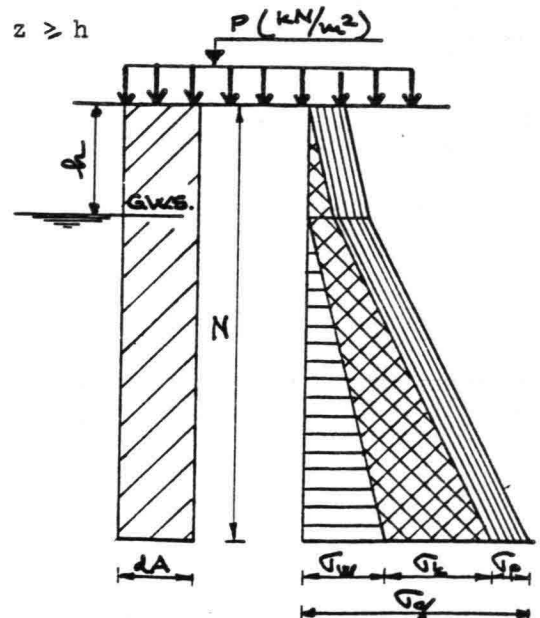
Op diepte $z \geq h$:

$$F = p \cdot dA + \gamma_d \cdot h \cdot dA + (z-h) \gamma_n \cdot dA$$

$$\rightarrow \sigma_g = p + \gamma_d \cdot h + (z-h) \gamma_n$$

$$\sigma_w = \gamma_w(z-h)$$

$$\text{dus } \sigma_k = p + \gamma_d h + (z-h) \gamma_n - \gamma_w(z-h)$$



Bij vergelijking van de formules gevonden onder b resp. c blijkt dat de bovenbelasting zich manifesteert door alle grondspanning te verhogen met p.

Rekenvoorbeeld

Gegeven: mv = 0.000 N.A.P. $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_d = 16 \text{ kN/m}^3$
 GWS = M - 1,000 N.A.P. $\gamma_n = 20 \text{ kN/m}^3$

Gevraagd: verticale grond, water en korrelspanningsverloop

Oplossing: op het maaiveld $\sigma_g = \sigma_k = \sigma_w = 0$

op 1 m. diepte

$$\sigma_g = \sigma_k = h \times \gamma_d = 1 \times 16 = 16 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_w = 0$$

op 3 m. diepte:

$$\sigma_g = h \times \gamma_d + (z-h)\gamma_n$$

$$= 1 \times 16 + (3-1)20 = 56 \text{ kN/m}^2$$

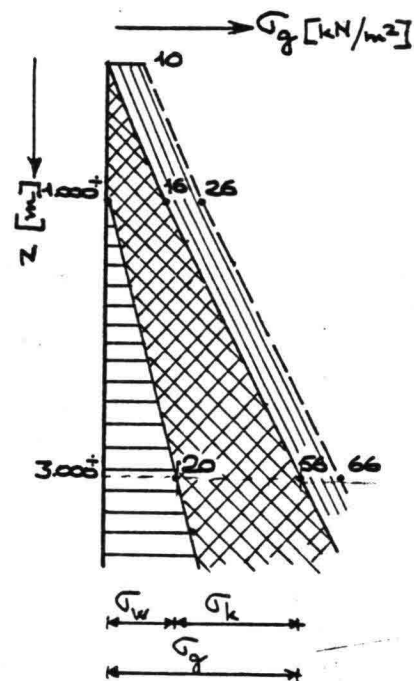
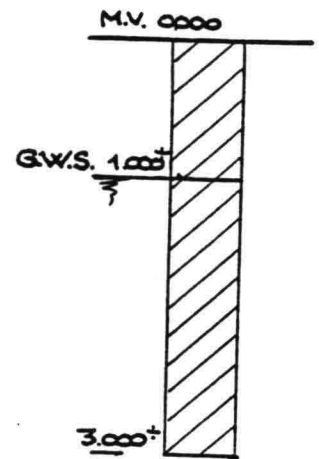
$$\sigma_w = \gamma_w(z-h) = 10 \times (3-1) = 20 \text{ kN/m}^2$$

Het gevraagde verloop is dus als volgt:

Indien nu hierop een bovenbelasting van 10 kN/m^2 wordt geplaatst wordt het spanningsverloop zoals in de figuur is aangegeven met een stippellijn.

σ_g verandert waardoor ook σ_k .

Immers: $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w$ en σ_w is konstant.



Bij het verlagen van de waterstand wordt σ_k groter daar $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w = \text{konstant}$ en σ_w kleiner wordt. Bij het verhogen van de waterstand wordt σ_k kleiner immers $\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w = \text{konstant}$ en σ_w wordt groter. Men kan zich dit ook als volgt voorstellen:

Bij het verhogen van de waterstand werden de korrels uit elkaar gedrukt en omgekeerd bij het verlagen van de waterstand tegen elkaar.

Dit heeft als gevolg dat het poriënvolume toe- resp. afneemt, tenzij het water snel kan wegstromen. Bij dit wegstromen van het water is de doorlatendheid van zeer groot belang en is tevens tijdsafhankelijk. Indien het water niet stroomt dan heerst er een hydrostatisch drukverloop, welke aangenomen is in bovenstaand rekenvoorbeeld. Bij het stromen van het water is het drukverloop anders. Hierdoor kan nl. σ_w groter worden dan hydrostatisch berekend.

Hierdoor is het mogelijk dat σ_w gelijk wordt aan σ_g . Daar $\sigma_g = \sigma_w + \sigma_k$ wordt $\sigma_k = 0$.

De korrels worden dus niet meer tegen elkaar gedrukt en er ontstaat het zgn. drijfzand. Het is dan ook van zeer groot belang dat bij dijken en dammen een dergelijk verschijnsel niet optreedt. De dijk of dam verliest dan nl. zijn evenwicht. De stabiliteit in het dijklichaam wordt nl. veroorzaakt door het skelet van korrels waarbij de krachtsoverdracht via de aanrakingsvlakken plaats vindt. De krachten, zowel drukkrachten als wrijvingskrachten worden bij het ontstaan van drijfzand = 0, omdat de aanrakingsvlakken er dan niet meer zijn doordat de korrels door de sterk gestegen waterdruk van elkaar zijn gedrukt.

Het is duidelijk dat dan de hele draagconstructie van het korrelskelet in elkaar kan zijgen, en de dijk zijn geraamte kwijt is.

D-1

DIJKEN

In een vorig hoofdstuk hebben we gezien hoe onze voorouders kwamen tot het bouwen van dijken en dammen. Tot op de dag van vandaag,

en dat zal zeker voor de toekomst ook nog zo blijven, is het bouwen van dijken een noodzaak gebleven. Niet alleen hier, maar overal ter wereld waar de civiele ingenieur werkzaam is kan hij en zal hij geconfronteerd worden met het probleem hoe een dijk te bouwen.

In principe moet dat gebeuren uit ter plaatse voorhanden zijnde materialen.

Hier zal worden nagegaan welke eisen men aan een dijk moet stellen en welke materialen daaraan kunnen beantwoorden.

De primaire eis, aan een dijk gesteld is:

hij moet water tegenhouden (= keren)

Dat leidt tot twee functies:

- het water mag er niet doorheen lopen
- de waterdruk tegen de dijk mag die niet omverduwen.

We hebben gezien dat de dam van knikkers niet aan de eerste eis voldeed maar men kan zich wel voorstellen dat hij aan de tweede eis zou kunnen voldoen (zie fig D-I).

Wanneer men echter in de knikker dam of ertegen aan een plastic folie zou leggen, dan voldoet de dijk aan de twee functies (zie fig D-II).

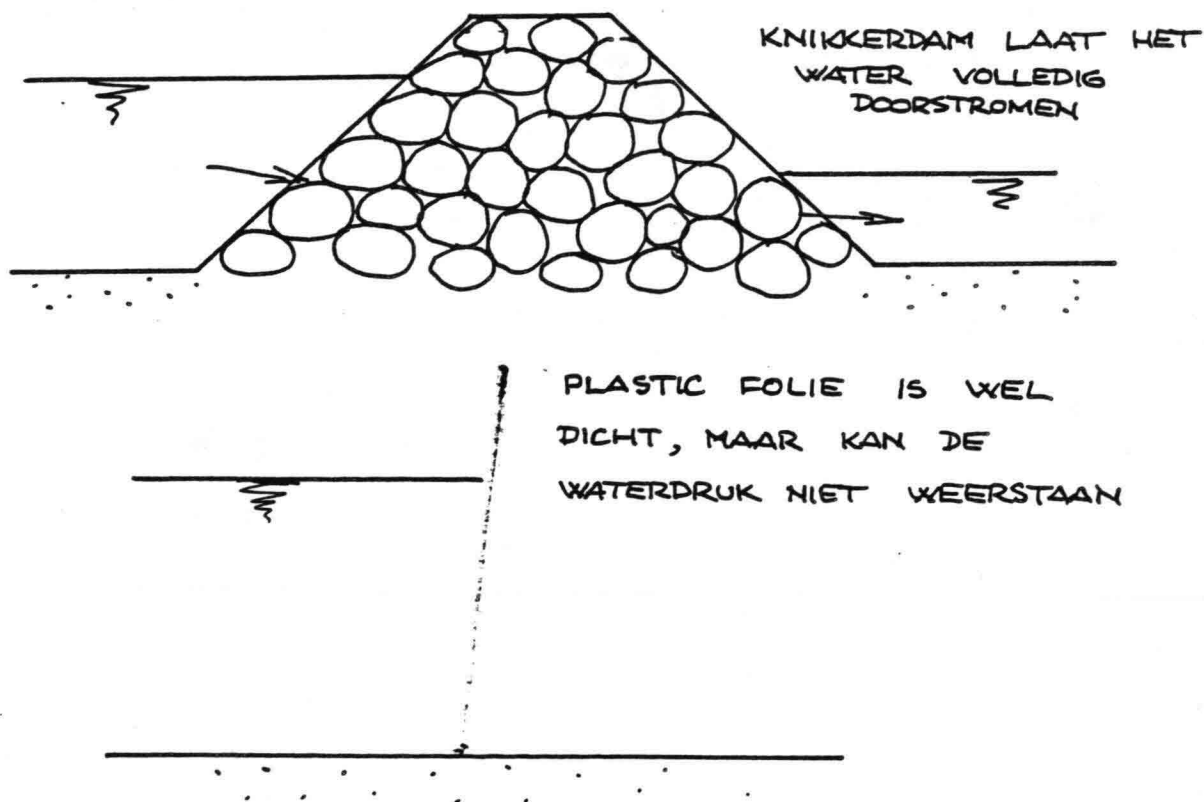


fig. D-I

D-2

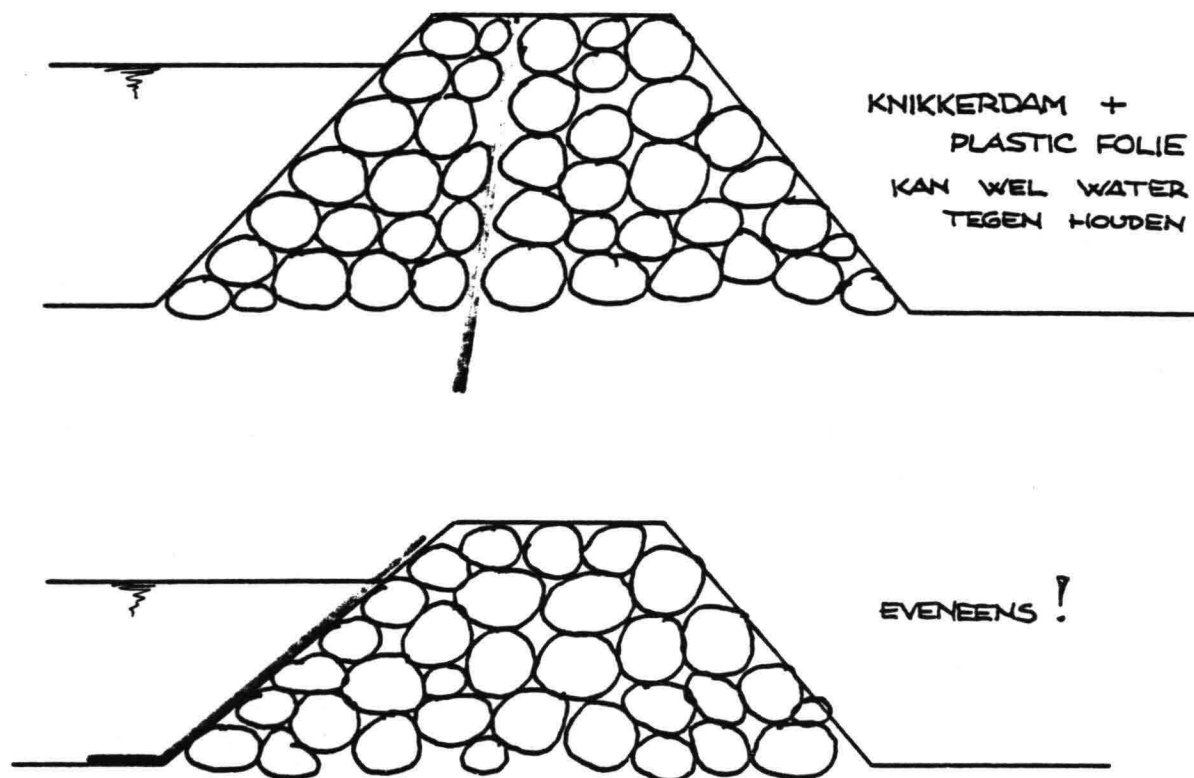


fig D-II

Alleen moet men het plastic wel zodanig neerleggen dat het binnen in de dam zit, of erbuiten tegenaan daar waar het water het hoogste staat. Dan wordt nl. het plastic door de wateroverdruk tegen het raamwerk van knikkers aangedrukt. (zie fig D-II)

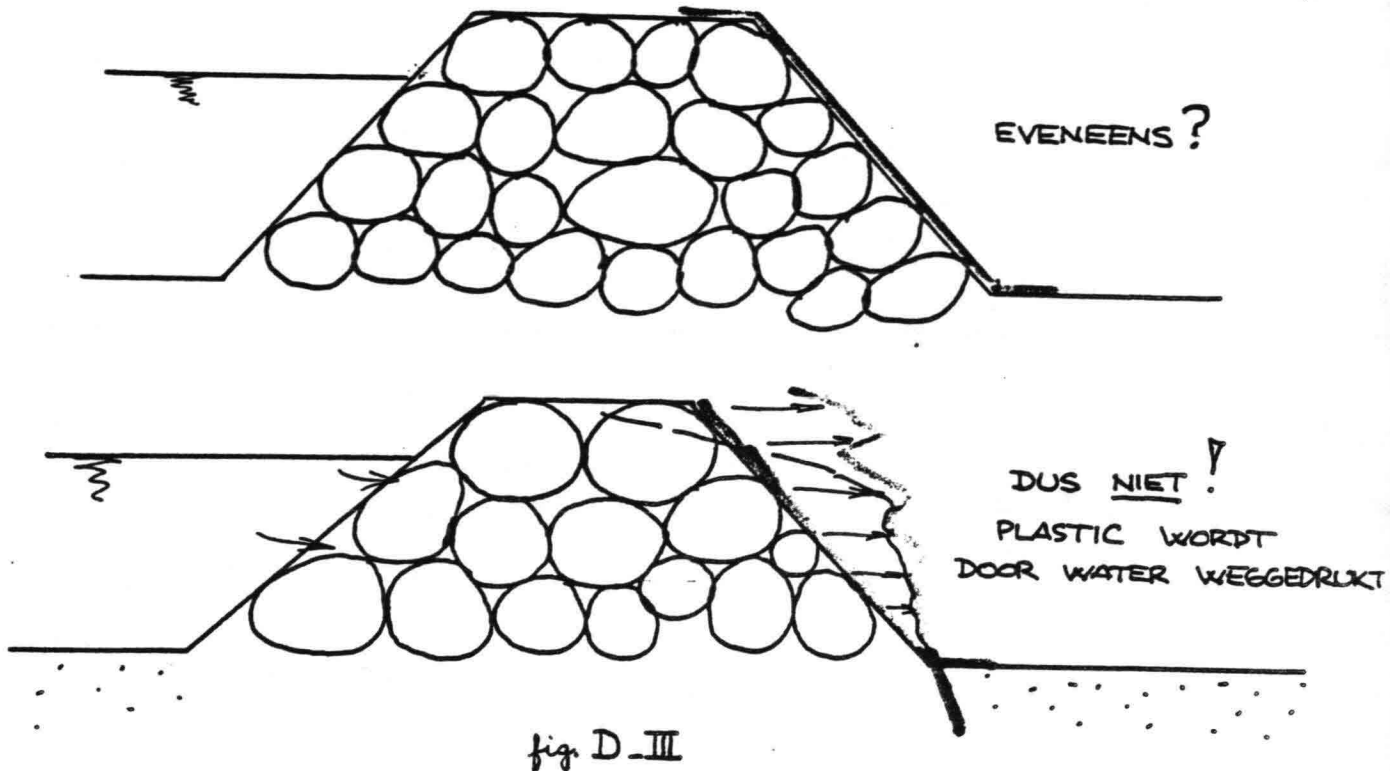
De dijk heeft dus gescheiden functies:

- waterdichtheid
- sterkte of draagvermogen van respectievelijk het plastic en de knikker.

Dezen moeten goed samenwerken om zodoende aan het doel - waaraan de dijk moet voldoen - te kunnen beantwoorden.

Legt men echter het plastic folie aan de andere kant buiten tegen het dijktalud, daar waar geen water komt te staan, dan wordt het daar door het door de dam stromende water weggedrukt. De twee functies gaan niet samen en de constructie faalt (zie fig D-III).

D-3



Geschematiseerd wordt op deze wijze aangetoond hoe een dijk wel of niet kan functioneren.

Zand en grind hebben een vergelijkbare structuur als die van de knikkers; de doorlaatbaarheid en het poriëngehalte zijn groot. Er zijn andere materialen als klei, leem, veen e.d. die slecht tot zeer slecht waterdoorlatend zijn.

Een dijk wordt dan ook in het algemeen opgebouwd uit een combinatie van beide soorten materialen. Afhankelijk van de plaats en het doel van de dijk of de dam zal de materiaal keuze dan ook plaats vinden.

Dit houdt dan weer verband met het feit, dat vaak de bouw van een dijk in het water en dus grotendeels onder water moet gebeuren. Dat water staat meestal niet stil. Het stroomt in één richting bv. in een rivier, of periodiek heen en weer in een zee-arm, door de beweging van het getij, eb en vloed.

Als stromend water in staat is zo sterk uitschurend te werken, dat dalen ontstaan, dat rivierbeddingen zich verleggen, dat rotsblokken worden meegesleurd en fijngemalen tot zand in allerlei gradaties, dan is het duidelijk dat al naar gelang de stroming sterker is, zwaarder materiaal moet worden gebruikt om het eerste deel van de dam te kunnen bouwen.

Naarmate het water sneller stroomt zal het meer en grover materiaal kunnen meeslepen.

Ook water dat door de korrels structuur van een dijk heen stroomt kan zo hard gaan stromen dat het grond korrels gaat meeslepen. Als dat gebeurt is de dijk al heel snel zijn stabiliteit kwijt en stort in elkaar. Dit kan alleen voorkomen worden door te zorgen dat er geen stromend water uit het binnen talud van de dijk kan treden. De verhanglijn die het verloop van de grondwaterstand in de dijk aangeeft mag dan nergens het binnen talud snijden, en er ook niet zo dichtbij komen dat de korrels te weinig boven belasting overhouden om nog voldoende tegendruk te kunnen geven tegen de stromings druk van het water die ze wil meeslepen.

Nu zijn de stromings snelheden in een dijk erg gering, maar niettemin is het gevaar dat hier gesignaleerd wordt wel degelijk reeël.

Daarom ook is het noodzakelijk dat de korreldruk ten alle tijden gehandhaafd blijft in voldoende grootte. Alleen dan blijft het geraamte, de draagconstructie instand, die de waterdruk op de dijk kan tegenhouden.

De stromingsdruk is een deel van de waterdruk die probeert "drijfzand" van de constructie te maken.

Het is dan ook uitermate belangrijk het evenwicht van

$$\sigma_g = \sigma_k + \sigma_w$$

goed in de gaten te houden.

De waterspanning (σ_w) wordt n.l. zeker sterk verhoogd wanneer er stroming van enige omvang ontstaat.

Zou een verhanglijn veroorzaken dat er water uit het binnentalud van de dijk loopt dan worden door de stromingsdruk gronddeeltjes meegesleept. Er ontstaat ontgronding. Geleidelijk aan neemt de stroomsnelheid toe. σ_w wordt groter terwijl σ_g constant blijft en er komt een moment dat dus $\sigma_k = 0$ wordt. Dan glijden en glibberen de korrels langs elkaar en zakt de draagconstructie letterlijk ineen. Dit is dan ook de reden dat een dijk nooit van alleen maar zand en grind gemaakt kan worden.

De "dichte materialen" zoals klei, leem e.d. zijn echter moeilijk alleen onder water te verwerken. Ze bezinken erg moeilijk omdat ze fijn verdeeld in het water zweven. Hoe fijner het materiaal hoe langzamer het bezinkt. Klei of leem in grote brokken (graaf maar eens in een klei grond) sluit weer te weinig dicht op elkaar aan om een goede afdichting te geven.

Die bezinkingssnelheid is overigens rechtstreeks afhankelijk van de korreldiameter. De fijne korrel. De fijne korrel diameters kunnen b.v. ook alleen maar gemeten worden door de bezinkingsnelheid in stil staand water te bepalen.

Klei mineralen blijven erg lang zweven en worden dus door stromend water meegevoerd. Wanneer ze echter bezinken en als sedimentlaag aanwezig zijn, zijn ze zo dicht dat ze waterdoorstroming onmogelijk maken. Hieruit blijkt dus dat bij de dijk opbouw moet worden begonnen met grover zwaarder materiaal wat snel bezinkt en niet zo makkelijk door stroming wordt meegesleept.

Wanneer op die wijze een grove nog doorlatende draagstructuur is ontstaan, kan daar tegenaan de fijnere dichtende laag worden gemaakt, om zo dan het hele dijklichaam te laten voldoen aan zijn 2 functies. De stroming door de grove structuur zorgt ervoor dat de doorstroomopeningen dicht slibben en daardoor die stroming steeds meer gaat afnemen.

In een dijk zijn dus veelal de "knikkers" en het "plastic" niet meer zo zeer van elkaar te onderscheiden.

Vroeger werden dijken meestal helemaal uit klei gemaakt. Tegenwoordig begint men in stromend water meestal met steenstortingen waarachter of waartussen dan zand wordt gestort. Ten slotte wordt een waterdichte bekleding van klei aangebracht en dat kan dan op het buiten talud van de dijk gebeuren, dus aan de waterzijde, of als kleikern midden in de zanddijk.

Ook wordt wel een waterdichte laag op een zanddijk aangebracht door er een laag asfalt bitumen gemengd met zand op te brengen.

Wanneer het dijklichaam gereed is zal er een afwerklaag op moeten komen die berekend is op de uitwendige omstandigheden die op de dijk zullen gaan werken.

Wanneer er verkeer over de dijk moet gaan zal er een adequate wegconstructie op moeten komen.

De trillingen veroorzaakt door het verkeer mogen deze echter niet zodanig beïnvloeden dat er "drijfzand" ontstaat.

De dijk dient dus water te keren en zal behalve voor de statische belasting met stilstaand water ook berekend moeten zijn tegen stromend water en tegen golfaanvallen.

Het is duidelijk dat snelle verandering van de waterstand in het dijklichaam waterdrukken kan doen ontstaan. Wanneer bv. het buitentalud van een dijk alleen maar bekleed is met plastic folie en de waterstand zou plotseling dalen dan is het duidelijk dat het plastic folie door de waterstand in de dijk erafgedrukt zal worden.

Een dergelijke waterstandsverloop is heel goed mogelijk door bv. werking van eb en vloed, maar ook door golven.

Men zal de dijk, wanneer de waterdichte bekleding aan de waterzijde aangebracht is, dan ook altijd, in het gebied waar de buitenwaterstand zich kan wijzigen, zodanig moeten bekleden, dat deze er niet afgedrukt kan worden.

D-6

Dat kan door de bekleding zodanig te verzwaren bv. met steen, of met een raamwerk dat in de grond verankert zit (vast pinnen). Het kan echter ook door de bekleding zodanig water doorlatend te maken dat de waterstand in de dijk de waterstand buiten voldoende blijft volgen, zodat geen te grote overdrukken ontstaan. Dan moet echter wel gezorgd worden dat de grond uit het dijk lichaam niet door zo'n filterlaag middels de stroming druk meegenomen kan worden. (fig D-IV)

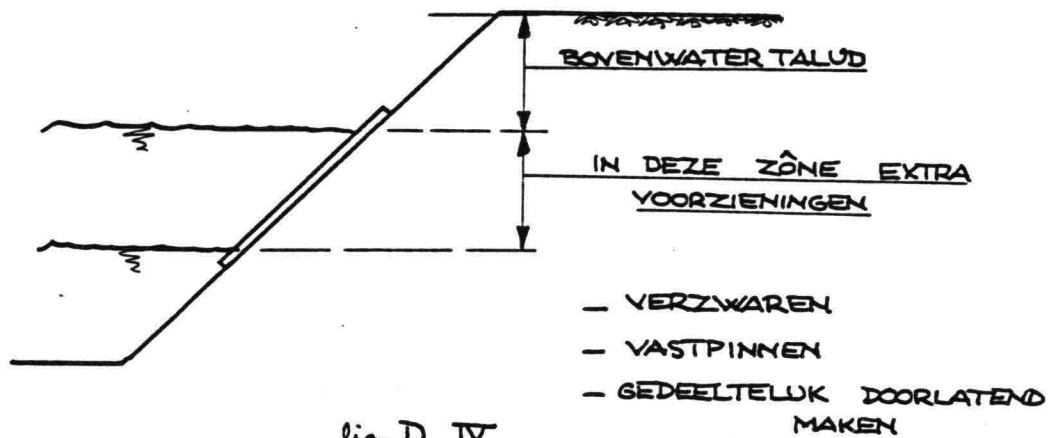


fig. D-IV

We zien dan ook bij de afwerking van dijktaluds beide principes toegepast. Het is nu ook duidelijk waarom niet altijd gekozen zal worden voor een geheel afsluitende laag op het buiten talud.

Meestal ziet men dan ook een in lagen opgebouwde afdekking die ook op het boven water liggende gedeelte anders is dan op het gedeelte dat binnen de zone van wisselende waterstanden valt. Het talud gedeelte dat permanent onder water blijft wordt dan weer geheel anders behandeld.

Wanneer men niet met stromend water te doen heeft hoeft hier weinig aan te gebeuren.

Is er wel stroming, wat bij kanalen en in rivieren, maar ook in de zee armen altijd het geval is, dan moet ook het zogenaamde onderwater-talud goed tegen uitschuring worden beschermd. De dijkvallen in Zeeland zijn berucht. Zij ontstaan doordat de bodem aan de teen van de dijk wordt uitgeschuurd (zie fig. D-V). De helling van het talud wordt dan te stijl waardoor de dijk in feite in zijn geheel in het ontstane gat kan schuiven.

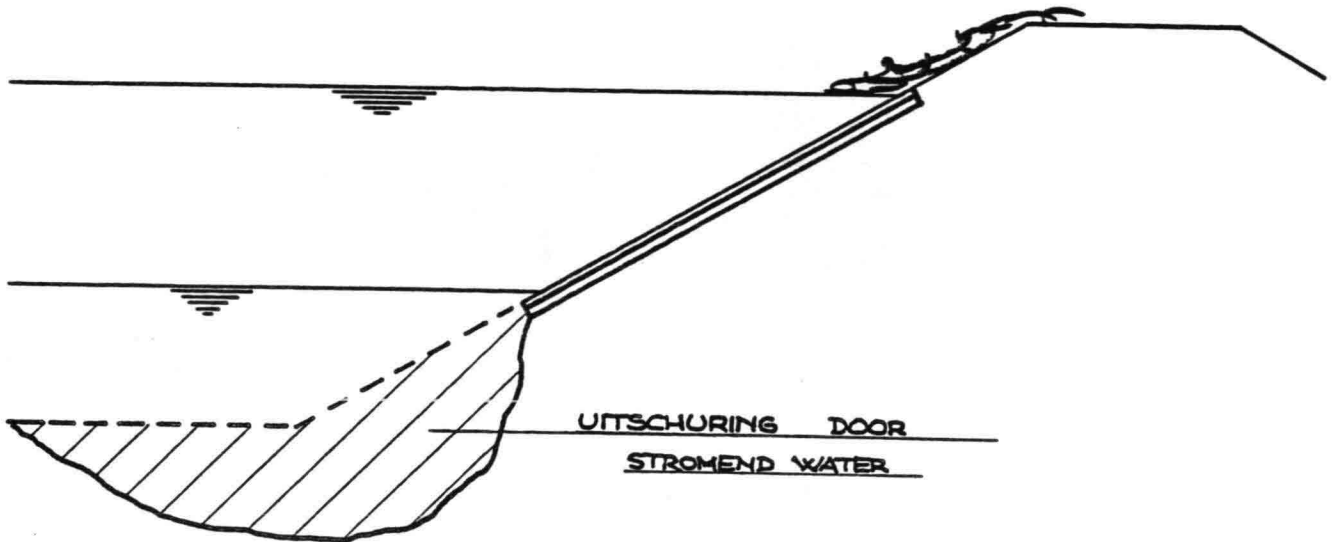


fig. D-V

Het vastleggen van de onder watertaluds gebeurt vaak met zgn. zinkstukken Fig. D-VI^{a, b}. Dit zijn van wilgentenen gevlochten drijvende vloten, die dan door verzwarende met stortsteen op de bodem worden afgezonken en dan zodanig zwaar worden belast dat het zand niet meer kan worden meegevoerd. Maar ook nieuwere vormen zijn ontwikkeld fig. D-VII die in de produktie minder arbeidsintensief zijn. Het zijn feitelijk al of niet doorlaatbare plastic folies waarop betonvlokken zijn geplakt.

Het feit dat uitschuring tot instoring kan leiden wordt veroorzaakt doordat elke grondsoort van nature onder een bepaalde helling kan blijven staan, het zgn. natuurlijke talud, wat men aangeeft met de griekse letter ϕ . Voor zand is deze vaak rond de 30° en wordt ook wel genoemd de hoek van inwendige wrijving.

Er zijn grondsoorten, bv. leemachtig en klei-achtige grond waar men vrijwel loodrecht in kan graven; daar is de ϕ dan dus 90° .

Deze hoek is vooral bij zandgrond een essentieel gegeven. Zowel nodig voor het bepalen van benodigde hellingen bij ontgravingen alsook om na te gaan hoe stijl de wanden van stroom geulen kunnen worden voor ze gaan instorten.

Omdat een dergelijke instorting over grotere afstand in één keer gebeurt heeft het een aanzienlijke spanningsverandering in de grond eromheen ten gevolge, die weer tot verder evenwichtsverlies kan leiden.

Overigens zijn er al naar gelang de belastingstoestand en de opbouw van de bodemlagen meerdere mogelijkheden tot evenwichtsverlies.

Zo kunnen er zgn. glijd vlakken ontstaan waarlangs hele grondlichamen

D-8



fig. D-VI^a

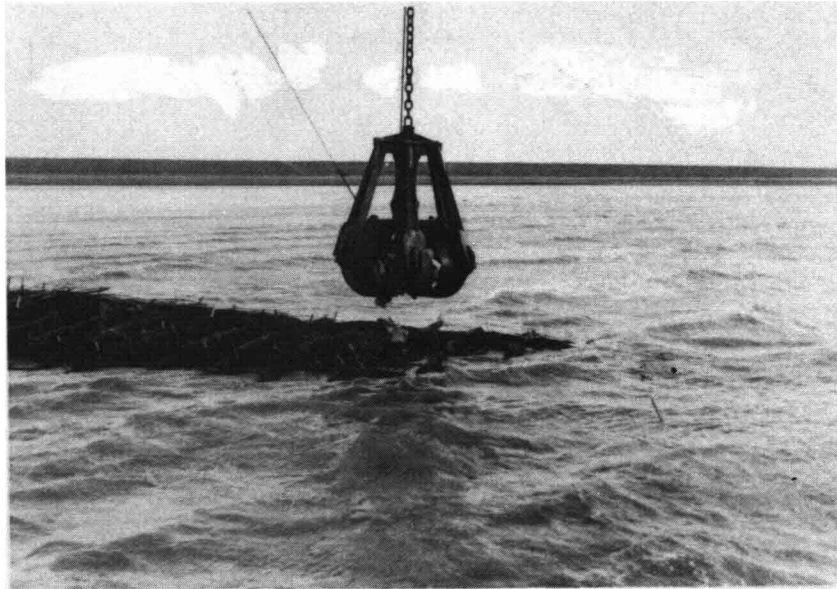


fig. D-VI^b

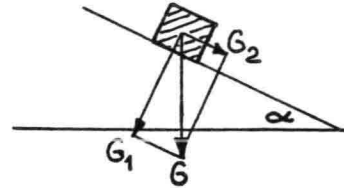


fig. D-VII

kunnen afschuiven. En dit hangt dan samen met de schuifspanningen τ die door de grond kunnen worden opgenomen zolang er voldoende normale druk σ_k tussen de korrels aanwezig is, om de vereiste schuifweerstand op te wekken.

Om het begrip schuifspanning duidelijk te maken kunnen wij die vereenvoudigd zo voorstellen.

Van een blokje geplaatst op een schuin vlak, helling α , is het gewicht G . Deze kracht is te ontbinden in een kracht loodrecht op het schuine vlak, groot G_1 en een kracht evenwijdig aan het schuine vlak, groot G_2 .



De kracht G_1 veroorzaakt, gedeeld door het oppervlak F van het blokje dat op het schuine vlak rust, een spanning

$$\sigma = \frac{G_1}{F}$$

terwijl $\frac{G_2}{F} = \tau$

de schuifspanning is, die benodigd is om te voorkomen dat het blokje de helling afglijdt. Of dit al of niet gebeurt hangt af van de ruwheid van het blokje en het schuine vlak, maar ook van de helling van het vlak, dus van de hoek α en van het gewicht van het blokje.

τ is o.a. recht evenredig met σ . Ook de zandkorrels in onze dijk oefenen op elkaar normaalspanningen σ_k uit. Naar gelang σ_k kleiner wordt kunnen ook geringere schuifspanningen τ worden opgenomen. Afhankelijk van de ruwheid van de korreloppervlakken en de beschikbare normaalspanning, σ_k , loodrecht op het potentiële afschuifvlak, zal er dus gevaar voor evenwichtsverlies ontstaan. De dijkvallen in Zeeland ontstaan op deze wijze.

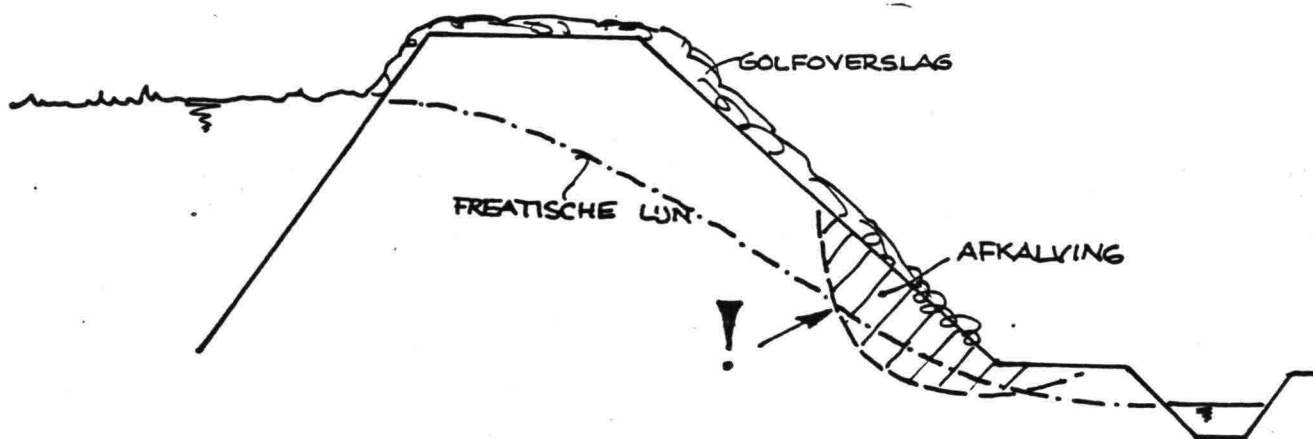
Men ziet dus wel: een dijk is toch wel een met zorg uit te kienen constructie.

Reeds eerder is iets verteld over de dijk hoogte. De frequentie bepaling van hoogste waterstanden heeft te maken met het keuze probleem van: óf accepteren dat één keer in de 50 jaar of één keer in de 100 jaar of één keer in de 1000 jaar een nog hogere stand zal voorkomen; óf een nog veel hogere investering te plegen om nog veiliger te zijn. Kiezen we voor een kans van overstroming in de dijk van bv. één keer in de duizend jaar dan wil dat nog niets zeggen over het tijdstip waarop zo'n extreem hoge waterstand zal voorkomen. Misschien nooit, misschien ook wel morgen al! Immers, het gaat hier om statistische gegevens verkregen uit een kansberekening.

Dat is dan dus weer een van die levensgrote dilemma's waar je als civiel

ingenieur voor geplaatst wordt. Je weet enerzijds dat 100% beveiliging niet te betalen is. Anderzijds besef je heel goed dat er toch een kans is wanneer je je norm lager stelt, dat eens het water hoger zal stijgen, en de dijken wel zullen overstromen.

De kruinhoogte mag echter niet alleen gerelateerd worden aan de frequentie van de hoogst voorkomende waterstanden. Ook de golfoploop speelt een rol. De golfoploop kan aanzienlijk gereduceerd worden, door een ruwe bekleding te maken, zie fig. D-VIII^{a,b}, waardoor de energie van de golf zo goed mogelijk wordt vernietigd. Voorkomen moet worden, dat golven over de dijk heen slaan. Moet hier toch nog rekening mee worden gehouden, dan moeten ook maatregelen aan de kruin en het binnentalud worden getroffen, om te voorkomen dat dit gaat uitspoelen en daardoor afschuivingen en stabiliteitsverlies van de dijk worden ingeleid doordat de verhanglijn dan uit het talud gaat treden. (!)



Een van de redenen dat zoveel dijken bij de stormramp in 1953 bezweken zijn, schijnt met die golfoverslag te maken te hebben.

Bij de aanleg van nieuwe dijken kunnen we voldoende rekening houden met deze kennis, maar bij veel veel oude dijken wordt niet voldaan aan al deze factoren.

Oude dijken uit veen opgebouwd kunnen weer andere grote problemen opleveren, zeker als het bv. secundaire waterkeringen betreft, die normaal geen water keren en dus droog zijn en pas gaan functioneren wanneer de primaire- of eerste waterkering is doorgebroken. Komt er dan wel water tegen slaan dan kan het lichte uitgedroogde veen die druk vaak niet keren. Een ander probleem wordt veroorzaakt doordat veen (turfs) goed brandbaar is. Een tweede waterkering in een polder bij Amsterdam brandde bv. gedeeltelijk af.

Veen is dus geen materiaal dat ideaal is voor dijk-aanleg. Veel oude dijken hebben een veel te steil binnen talud zoals bv. de dijk langs de Amstel, fig. D-IX-XI. Zeer fraai qua begroeiing en erg onveilig sinds daar niet meer enkele 10-tallen boerderijen achter liggen maar een stad van 100.000 inwoners, de Bijlmer, wordt gebouwd. Na veel overleg met alle belanghebbenden is voor deze oude dijk een reconstructie plan vastgesteld.

De taluds zijn aanzienlijk minder steil uitgevoerd. Als materiaal voor de verbreding is zand gebruikt tegen de binnenzijde van de bestaande oude dijk aan. De oeverbescherming is uitgevoerd in plastic-folie met erop gelijkde beton blokjes. Het folie is zodanig poreus dat de oeverbegroeiing er doorheen kan komen en geleidelijk aan weinig meer van de oorspronkelijke matten te zien zal zijn. Zie fig. D-XII. Dat een bestaande dijk soms wel een voldoende profiel heeft maar niet voldoet aan de vereiste hoogte kan soms alleen maar worden opgelost door er een muurtje op te zetten. Weinig fraai! Maar anders hadden een aantal woningen gesloopt moeten worden. Immers dijkverhoging heeft ook tot gevolg dat de dijk breder moet worden, en zeker als ook het binnen talud nog te steil was.

Dat probleem speelt ook levensgroot bij onze rivierdijken en bij de dijken in Zeeland. De discussie laaide daarover weer hoog op toen de vraag aan de orde kwam of niet beter alle bestaande dijken op de z.g.n. delta hoogte gebracht konden worden en de afsluiting van de Oosterschelde dan achterwege zou kunnen blijven.

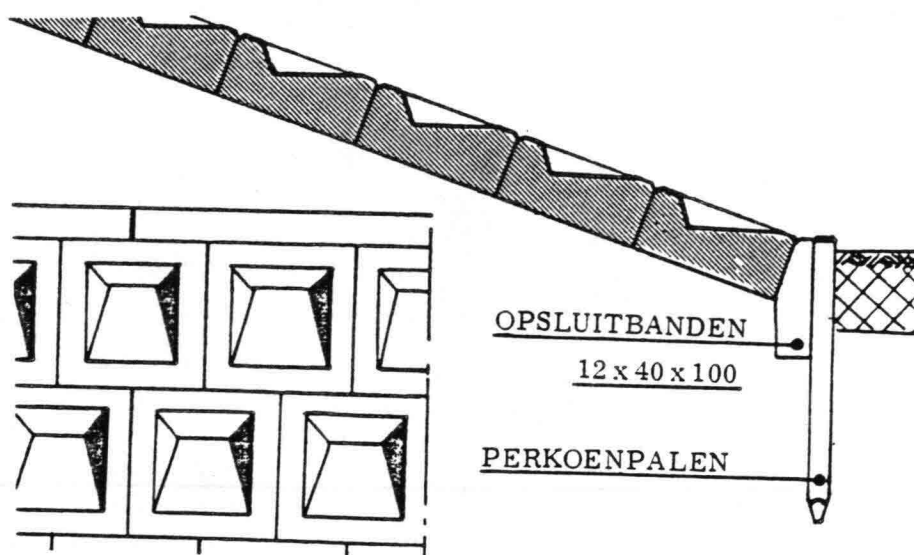


fig. D-VIII^a

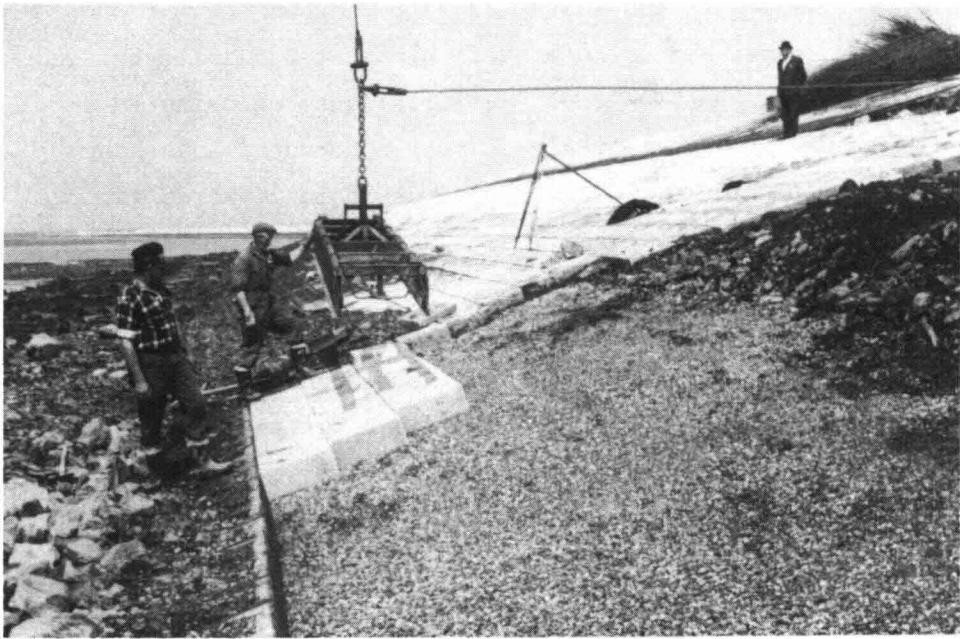


fig D-VIII &



fig. D-IX



fig. D-X



fig. D - XI

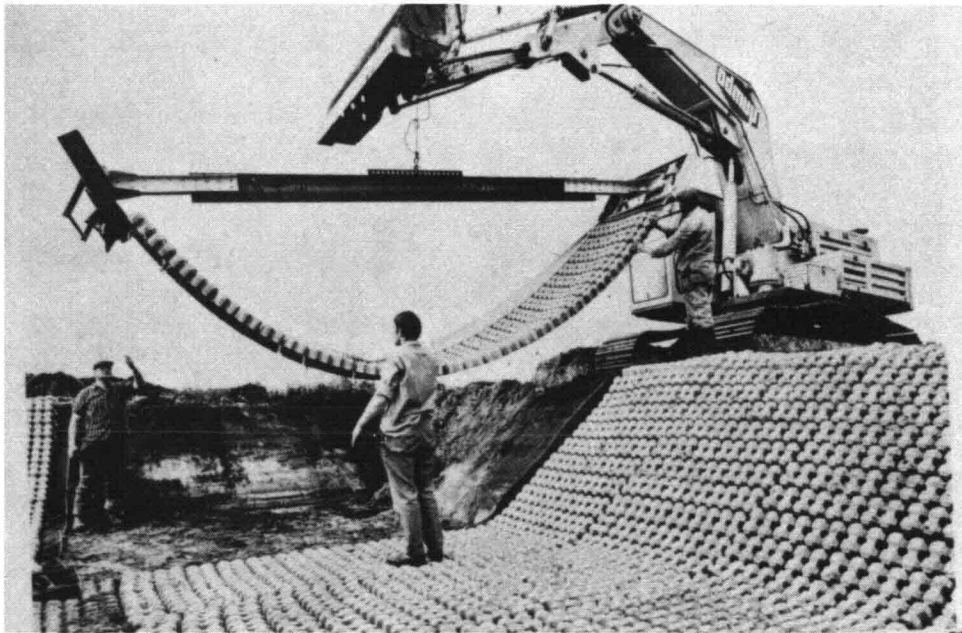


fig. D - XII

POLDERS EN BOEZEMGEBIEDEN

Na enigszins dieper op grond en de daarbij optredende problemen ingegaan te zijn zal nu de polder verder worden bekeken.

We hebben gezien dat het grondwater in verbinding staat met het open water in sloten en via de verhanglijn door de dijk met het buitenwater.

Men onderscheidt dus water in:

- a. open water (sloten, vaarten, zee, e.d.)
- b. grondwater - normaal grondwater
 - capilair grondwater

Via de neerslag komt het water op het maaiveld, dit is de aanduiding voor het aanwezige terrein oppervlak, en in de openwater gangen, (sloten, vaarten). Via het maaiveld zakt (infiltrteert) het water naar het grondwater. Daar waar sloten aanwezig zijn zal het regenwater echter door of over de grond naar de sloot stromen. Vandaar dat het freatisch vlak (=bovenkant van het grondwater) bolvormig is.

Door regenval kan dus het grondwater boven het maaiveld komen, hetgeen niet wenselijk is. Het is daarom erg belangrijk om inzicht te krijgen in de hoeveelheid water die valt en welke hoeveelheid er afgevoerd wordt.

Dit geschiedt m.b.v. een waterbalans. Verder is het van belang om te weten hoe laag of hoog het grondwater mag staan. En mag de hoogte van de grondwaterstand fluctueren?

De grondwaterstand is afhankelijk van het gebruik van de polder, zoals bijv. bij een:

- veepolder
- bouwpolder
- stedelijke bebouwing
- park/bos/begraafplaats
- woningbouw terrein
- industrie terrein
- wegen aanleg
- onderdoorgangen
- maar ook oude stadskernen (houten palen)

Zo zal bij een veepolder de grondwaterstand zodanig moeten zijn, dat het land niet drassig wordt maar wel zo hoog, dat de wortels van het gras voldoende water kunnen trekken. Een bouwpolder zal een zodanige grondwaterstand eisen

dat het gewas, tarwe, rogge, haver, suikerbieten, kool, bloembollen, etc. voldoende water zal kunnen krijgen, als voedingsbron. Dit luistert erg nauwkeurig, omdat elk gewas feitelijk zijn eigen karakteristieke wortel diepte heeft. Wanneer het grondwater te hoog komt dan kunnen de wortels verrotten waardoor de oogst mislukt. Is de grondwaterstand te laag, dan verdroogt het gewas doordat de wortels het water niet bereiken. Het is zelfs zo dat in veel polders met een intensieve bebouwing met gewassen, in de winter en in de zomer er verschillende grondwaterstand wordt gevraagd. Vandaar dat men vaak z.g.n. een zomerpeil en een winterpeil aantreft, die dan vaak wel enkele tientallen centimeters kunnen schelen. Stedelijke bebouwing in een polder gebied vraagt niet om verschillende waterstanden in zomer en winter, maar veel meer om een vaste waterstand, op een bepaalde diepte beneden het straatniveau in verband met de aanleg van kabels en leidingen en het rioolstelsel, waarover later nog meer gezegd zal worden. Bebouwing die staat op houten palen heeft als eis dat deze palen in ieder geval onder de grondwaterstand moeten blijven, omdat anders rotten van het hout optreedt waardoor de palen hun draag kracht verliezen.

Parken en bossen hebben hun specifieke eisen in verband met de wortel diepte van de gewassen. Bomen laten hun wortels nooit verder naar beneden groeien dan tot op de grondwaterstand. Ligt deze te hoog dan staan grotere bomen niet stevig genoeg verankerd zodat ze snel om zullen waaien.

Industrie terreinen hebben evenals woning terreinen dezelfde eisen ten aanzien van kabels en leidingen, rioleringen, riolerings diepte etc. Wegen aanleg, maar ook stads straten zijn erg gevoelig voor het zgn. opvriezen. De waterstand moet zo laag liggen dat neerslag voldoende kan afvloeien en dat 's winters geen accumulatie van grondwater in de funderingslaag van de weg of vlak eronder optreedt. Bij bevriezen van een dergelijke accumulatie treedt het verschijnsel van opvriezen op. Door de uitzetting van de bevrorende met water verzadigde grond, water neemt dan rond 9% in volume toe, wordt het weg dek omhoog gedrukt en barst. Vervolgens wordt het dan kapot gereden door het verkeer, met als gevolg een onbruikbare weg en grote schade.

Bij begraafplaatsen is er een stringente eis, dat de stoffelijke resten na begraven boven het grondwater blijven omdat anders het afbraak proces niet kan plaatsvinden; De grond moet daartoe een vrij groot poriën gehalte hebben om voldoende "luchtcirculatie" toe te laten. Zo heeft elke bestemming zijn specifieke eisen.

Na de behandeling van het principe van een polder en een aantal begrippen die daarbij gehanteerd worden, gaan we weer terug naar een concrete situatie.

Amsterdam, gelegen in dat oude gebied van meren, plassen en inhammen van de zee, werd bewoonbaar gemaakt door o.a. het aanleggen van steeds meer polders. De dijken sloten het gebied definitief af voor de vroeger zo veelvuldige overstromingen.

Zo ligt de gemeente Amsterdam in zijn huidige omvang in ca. 100 apart bemalen gebieden, variërend van grote tot zeer kleine.

Op fig. P-I is nog eens de doorsnede aangegeven van het gebied waarbinnen Amsterdam nu ligt, te beginnen bij de Noordzee bij IJmuiden, de duinen, de sluizen, de poldergebieden en het Noordzeekanaal, Schiphol, het stedelijk gebied en aan de oostkant tenslotte het Amsterdam-Rijn kanaal, de Oranjesluizen en het IJsselmeer (nu het IJmeer).

Watergraafsmeer

Eén van de diepst gelegen polders binnen dit stedelijk gebied is de Watergraafsmeer, met een oppervlakte van 566 ha., een polderpeil van 5,50 - N.A.P.

In fig. P-II is de indeling van dit gebied aangegeven. Het is een gebied waar veel woonbebouwing in voorkomt maar ook grote oppervlakken open terrein dat in gebruik is als begraafplaats, en als sportvelden, een kleine parkstrook en nog wat weiland. Verder wordt een relatief groot gedeelte in beslag genomen door een spoorwegemplacement en door bebouwing in gebruik bij een Wetenschappelijk centrum (Universiteit).

De indeling van de oppervlakte over de verschillende genoemde onderdelen is verdeeld als in tabel I aangegeven, waarbij een indeling is gemaakt in twee compartimenten :

- een ten zuid westen van het spoorwegemplacement
- een ten noordoosten daarvan.

De scheiding door het spoorwegemplacement vindt zijn oorzaak daarin dat de twee gebieden apart bemalen kunnen worden. Het spoorwegemplacement is in zijn geheel boven het zgn. boezempeil gelegen, de doorgangen die in deze "dijk" aanwezig zijn kunnen gesloten worden als dat noodzakelijk zou zijn, doordat bv. in één van de compartimenten overstroming zou dreigen.

P - 4

Gemiddelde vloed 0,75 +
 gemiddelde eb 0,87 +
 laag water 2,50 +
 stormvloed 3,68 +

Sluizen

Noordzeekanaal 0,40 tot 0,50 +

Ringvaart Haarlemermeer 0,60 +

Schiphol 6,30 +

Amsterdamse Bos 5,50 +

Tuindersgebied Sloten 2,16 +
 Sloterbinnen en Middelveldsche
 gekombineerde polders (Tuinsteden Amsterdam West) 2,10 +
 Riekerpolder 1,80 +

Tuinsteden Amsterdam-West

Hoogwaterkering
 2,00 +

Osdorper binnenpolder 2,12 +

Osdorper bovenpolder 4,30 +

Luikenmeerpolder 5,70 +

Havengebied 1,00 +

Tuindorp Oostzaan 3,45 +

Noordzeekanaal (diepte 15 m.) 0,40 tot 0,50 +

Westelijk havengebied 1,20 +

Overbrakerbinnenpolder 2,15 +

Stedelijke bebouwing binnenstad 0,70 +

Metro (bovenkant rail) 8,50 +

Stadsgrachten 0,40 tot 0,50 +

Vondelpark 2,45 +

Amstel en Ringvaart (watergraafsmeer)
 0,40 tot 0,50 +

Binnendijksche buitenveldertsche polder
 (tuinstad Buitenveldert) 2,00 +

Groot-Duivendrechtsche polder 2,48 +

Amsterdam Noord (oud gedeelte) 1,00 +

Broekmeer 5,31 +

Beilmeer 4,83 +

Polder de Burgerdammer Die 3,30 +

Buikmeer 4,45 +

Blijkmeer 3,75 +

Hoogwaterkering 1,00 +

Watergraafsmeer 5,50 +

Kade van de Watergraafsmeer 0,70 +

Amsterdam-Rijnkanaal 0,40 tot 0,50 +

Oranje sluizen 3,50 +

IJsselmeer 0,20 tot 0,40 +

fig P - I

De hoogteligging van Amsterdam

Uitgeverij de Persgroep, Amsterdam, 1964

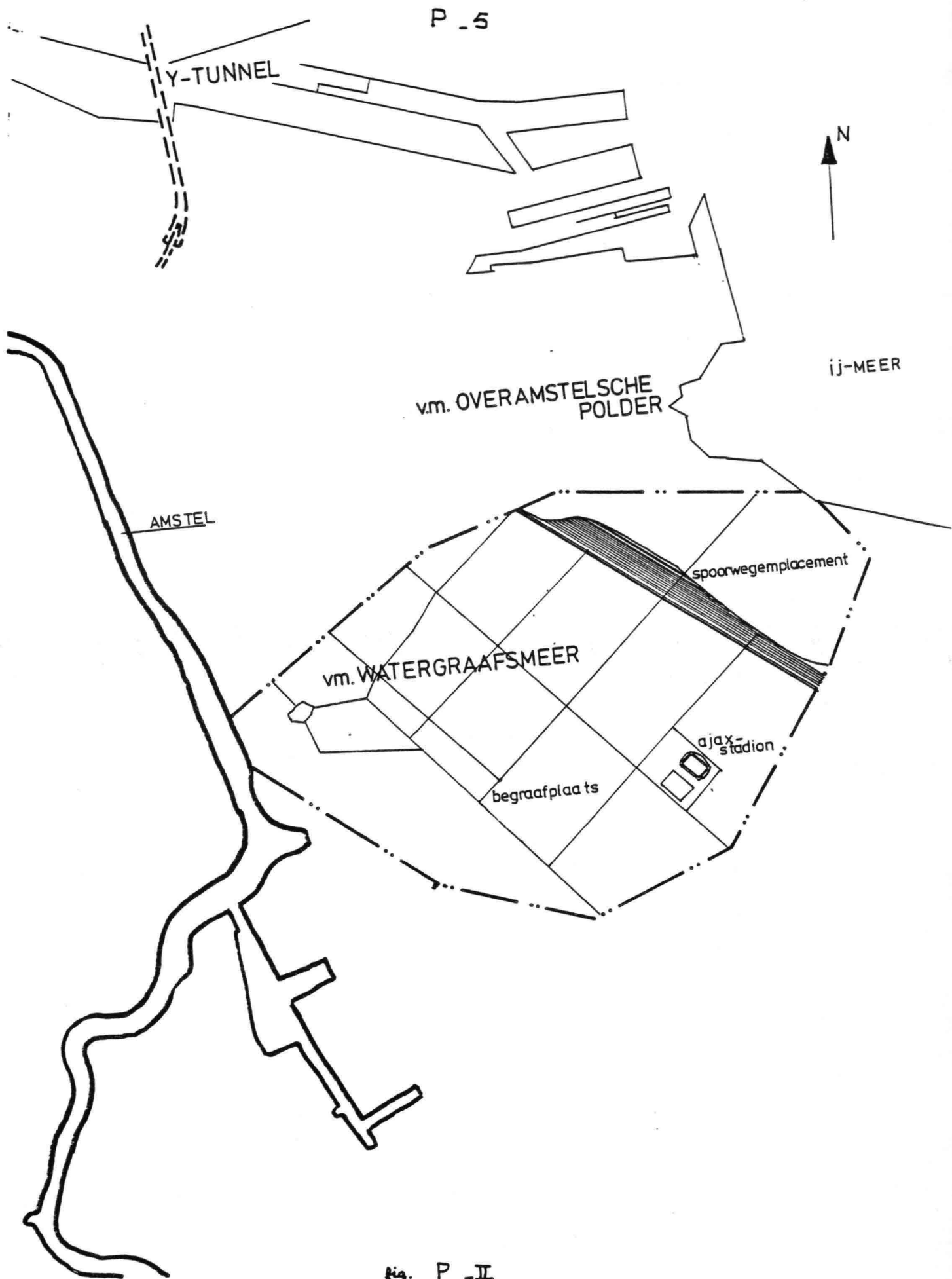


fig. P -II

TABEL I Overzicht huidige indeling watergraafsmeer

	Bruto opp. ha.	Verhard opp. (inclusief water opp.)		Verdeeld in		Onverhard opp.		Op polderpeil		Wateroppervlak niet op polderpeil		
		ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
Ten zuidwesten van het spoorwegemplacement												
Stedelijke gebied	338	169	50%	169	50%	8,9	2,6%	--	--			
Onderbemaling	113							6,0	5,3%			
Ten noordoosten van het spoorwegemplacement												
Wetenschappelijk centrum	23									0,7	3,0%	
Resterend gebied	66	23	35%	43	65%	5,6	8,5%	--	--			
Spoorwegemplacement	26	8	30%	18	70%	--	--	--	--			
Watergraafsmeer (totaal)	566	200				14,5	2,7%					

(zonder wetenschappelijk centrum)

In tabel I staat ook nog een gedeelte van het gebied aangegeven als onderbemalingen. Een onderbemaling is eigenlijk niet meer dan een aparte kleine polder in de grote polder. Dit soort gebieden kan in de ontwikkelingsgeschiedenis van een polder ontstaan doordat voor het gebruik van een dergelijk gebied blijkt dat een lagere grondwaterstand nodig is dan die normaal voor de polder geldt. Dit is met name in de Watergraafsmeer het geval voor een aantal sportvelden en complexen volkstuinen.

Er is reeds op gewezen dat elke bestemming zijn eigen vaak zeer stringente eisen stelt aan de grondwaterstand ter plaatse. Deze eisen zijn vaak met elkaar in strijd. In dergelijke gevallen kan een onderbemaling voor een bepaald gebied een oplossing bieden, wanneer de bodemgesteldheid ter plaatse zo is, dat voldoende waterkerend vermogen kan worden opgebracht of wel dat de grond zo weinig doorlatend is dat niet, als bij de knickersituatie, een zo sterke grondwaterstroming optreedt als er een potentiaalverschil wordt ingesteld door plaatselijk het grondwater lager af te malen, dat in feite de hele polder daardoor lager zou worden afgemalen.

De Watergraafsmeer was vroeger een meer, zoals de naam ook al aangeeft. De volgende figuren geven de ontstaansgeschiedenis aan van het eerste begin, waarbij het meer werd ingedijkt, via een landbouw/veeteelt polder, de eerste bebouwing tegen Amsterdam aan, tot wat de polder nu is, en waarbij alle zgn. agrarische bestemmingen zijn verdwenen. (zie fig. P - III, -IV, -V, -VI)

Deze ontwikkelingsgeschiedenis heeft zich over een periode van ruwweg 500 jaar afgespeeld. Het is dus wel duidelijk dat onze voorvaders bij de vaststelling van het polderpeil uitgingen van de bestemming voor landbouw en veeteelt en van het gegeven dat de natuur opleverde nl. de bodem van het meer.

Daarmee kwam het polderpeil toen al zo ongeveer terecht op het tegenwoordige peil van N.A.P. - 5,50 m.

Zij konden onmogelijk voorzien wat er in de, voor hun nog toekomstige tijd, nog allemaal tot ontwikkeling zou komen en hoezeer het gebruik van de grond in de polder in de loop van de tijd zou gaan veranderen.

Toen dan ook de eerste aanleg van stedelijke bebouwing bij Hogeweg en Middenweg begon, had men daar te maken met het gegeven van de

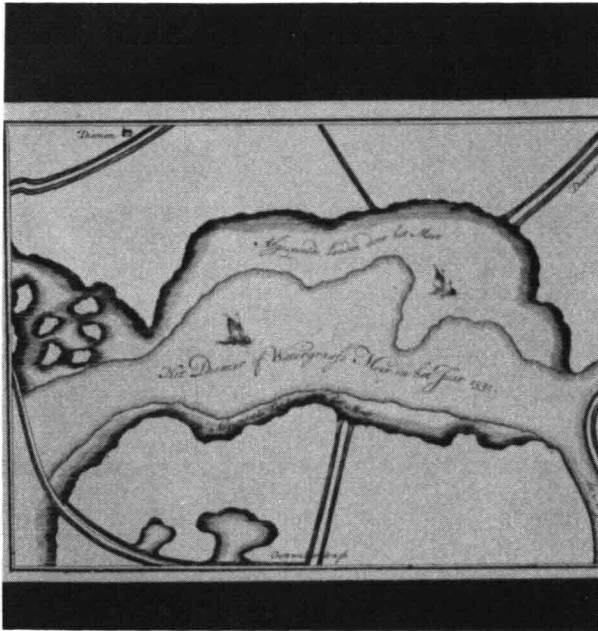


fig. P-III

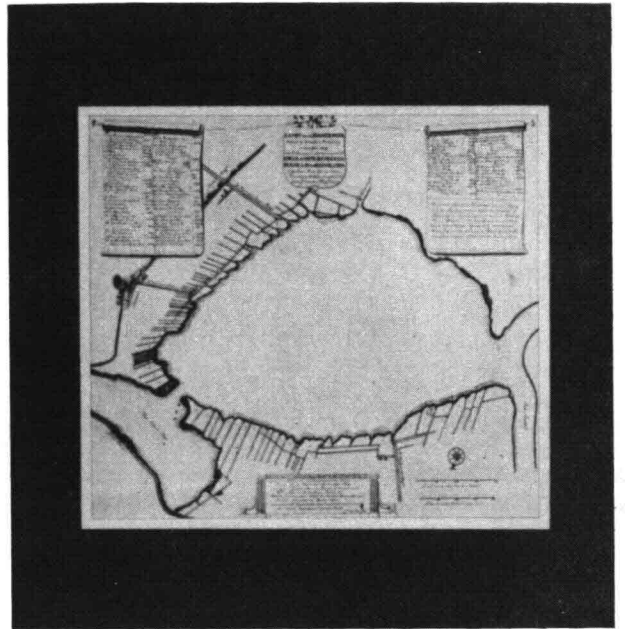


fig P-IV

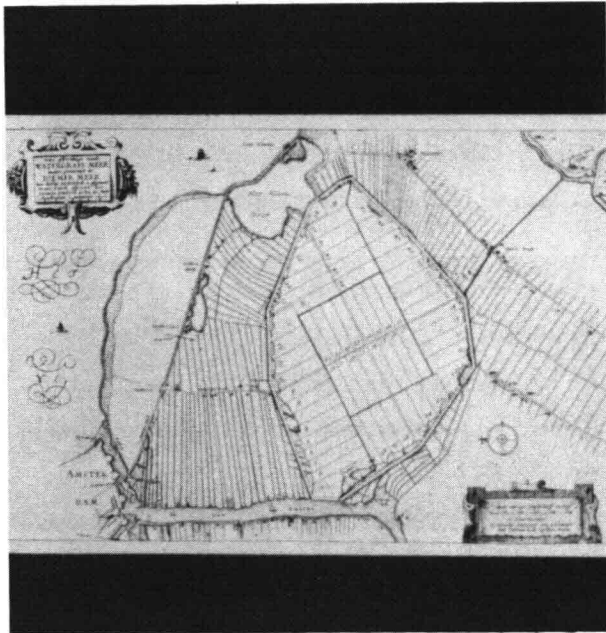


fig. P-V

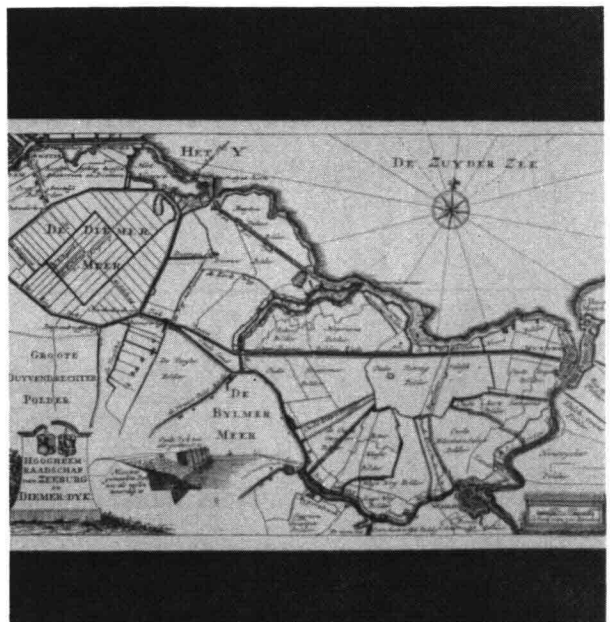


fig P-VI

polderwaterstand en het maaiveld, terwijl men in grote mate verhard oppervlak ging maken in de vorm van straten, pleinen en huizen (daken) De neerslag die tot dan toe in het weiland of in de akkers in de bodem weg kon zakken kon dat nu niet meer en moest dan ook zo snel mogelijk na het neervallen worden opgevangen in een drainagesysteem bestaande uit riolen, die moesten voorkomen dat straten en benedenverdiepingen van huizen onder water kwamen te staan bij stortbuien.

Het water liep dan via die riolen naar het open oppervlaktewater in de polder af en loosde daarop door middel van de uitmondingen van die riolen.

Naarmate de stedelijke bebouwing zich uitbreidde kwam er steeds meer verhard oppervlak en steeds minder weiland en akkerland. Daarmee verdween er steeds meer van de natuurlijke bergingscapaciteit van de grond en kwam er steeds meer van de neerslag direct in het open water van de poldersloten en tochten terecht.

Uiteraard leidde dat tot problemen, omdat het aanwezige oppervlak van het open water dit veel grotere aanbod bij regenbuien niet meer kon bergen, anders dan doordat de waterstand steeds meer ging stijgen.

Op die steeds grotere stijgingen waren de eerste woonwijken niet berekend, zodat het steeds meer voor ging komen dat de polder waterstand zo hoog werd dat de riooluitlaten niet meer als zodanig konden functioneren en het water in omgekeerde richting ging stromen, waardoor straten en kelders in het oudste gedeelte van de Watergraafsmeer bebouwing onder water kwamen te staan.

Nu zou een voor de hand liggende conclusie kunnen zijn dat men dan de bemalingscapaciteit maar zou moeten vergroten. De hoeveelheid neerslag echter die bij een flinke bui op het gehele oppervlak neerkomt levert echter in de huidige situatie een dusdanig waterbezwaar op dat er een zo grote bemalingscapaciteit nodig zou zijn om dit water direct weer weg te malen dat dit niet te realiseren is. Dit wordt geïllustreerd met de volgende berekening:

Het huidige poldergemaal heeft twee pompen met een gezamenlijke capaciteit van $66 \text{ m}^3/\text{min}$. Dit betekent dat er elke minuut 66 m^3 water uit de polder kan worden gemalen.

Het waterbezwaar dat ontstaat bij een flinke bui kan echter wel zo rond de 60.000 m^3 liggen. Er moet dus in feite in de polder tijdelijk 60.000 m^3 water geborgen worden, tot dat de bemaling het over een veel langere periode uitgesmeerd heeft kunnen wegmalen.

Dit betekent dat bij het bestaande oppervlak aan open water van rond 15 ha. (zie tabel I) een waterstandverhoging, de z.g.n. ontstaat van

$$\frac{60.000}{15.000} = 0,4 \text{ m}$$

Een dergelijke stijging van de polder waterstand is niet acceptabel.

De maximaal toelaatbare stijging ligt rond de 0,25 m à 0,30 m.

De enige redelijke manier om dit te bereiken is door de bergingscapaciteit in de polder te vergroten door meer open water aan te leggen, en dat kan alleen wanneer land tot water vergraven wordt. Daar is een plan voor ontwikkeld wat op zichzelf weer op erg veel problemen stuit omdat alle grond al een andere bestemming heeft en die daaraan slecht is te onttrekken.

Een dergelijke berekening wordt gebaseerd op een z.g.n. waterbalans, hoe deze tot stand komt wordt nu nader uiteengezet aan de hand van het voorbeeld van de Watergraafsmeer.

Waterbalans

De Watergraafsmeer is een gebied dat hydrografisch en hydrologisch een eenheid kan worden genoemd.

In dergelijke gebieden kan de waterbalans worden bepaald, waarbij het evenwicht wordt nagegaan tussen de waterbelastende en de waterontlastende factoren. In het geval van de Watergraafsmeer kan de waterbalans, gerekend over een korte periode, als volgt worden geschreven:

neerslag + kwel = afvoer + verdamping + berging.

In het navolgende zullen de verschillende factoren uit deze vergelijking nader worden gezien.

a. De neerslag

De neerslagsom voor geheel Nederland bedroeg over de periode 1891-1930 gemiddeld 725 mm/jaar. Dit jaargemiddelde vertoont een grote spreiding, namelijk van 350 mm in droge jaren tot 1200 mm in uitgesproken natte jaren.

Plaatselijk kunnen de gemiddelde neerslagsommen per jaar grote verschillen vertonen. Het jaargemiddelde over genoemde periode in de omgeving van Amsterdam ligt tussen 750 en 800 mm.

Bij de beschouwing van de waterstandbeheersing in polders zijn niet zozeer de jaar-, seizoen- en maandsommen van belang, maar moeten kortere perioden worden gezien.

Vanwege het grillige karakter van de neerslag wordt gebruik gemaakt van neerslagsommen, welke in een bepaalde periode worden bereikt of overschreden. In het algemeen wordt in agrarische polders als maatstaf gekozen de neerslag in een tijd van 5 dagen, welke éénmaal in een periode van 5 jaar wordt bereikt of overschreden.

In stedelijke polders wordt deze periode korter gekozen, en met name in de Watergraafsmeer, waarin een groot percentage verhard oppervlak aanwezig is, evenals een aantal onderbemalingen, zal bij de berekening van het waterbezwaar worden uitgegaan van een etmaal regenval met een toelaatbare periodiciteit, waarbij binnen een etmaal de sloten weer op peil dienen te zijn.

Volgens de gegevens van het K.N.M.I. zijn in Hoofddorp de onderstaande regenvallen geconstateerd in de periode 1867-1953:

per etmaal : meer dan 20 mm - 4 x per jaar
 meer dan 30 mm - 1 x per jaar
 meer dan 40 mm - 1 x per 6 jaar
 meer dan 50 mm - 1 x per 20 jaar
 per 2 etmalen: meer dan 40 mm - 1 x per jaar
 meer dan 50 mm - 1 x per 3 jaar
 meer dan 60 mm - 1 x per 12 jaar
 meer dan 70 mm - 1 x per 40 jaar
 per 3 etmalen :meer dan 40 mm - 3 x per jaar
 meer dan 50 mm - 1 x per jaar
 meer dan 60 mm - 1 x per 3 jaar
 meer dan 70 mm - 1 x per 8 jaar
 meer dan 80 mm - 1 x per 20 jaar

Voorts zijn in De Bilt in de periode van 1931-1960 de volgende uurregenvallen geconstateerd:

20 mm per uur - 6 x overschreden
 30 mm per uur - 2 x overschreden
 44 mm per uur - 1 x overschreden

De berekening zal voor de bepaling van de pompcapaciteiten der gemalen uitgaan van een hoeveelheid neerslag van 40 mm per etmaal. Voor de berekening van het benodigde waterbergend oppervlak wordt uitgegaan van een neerslag van 30 mm gedurende één uur. Daarbij bepalen de onder c vermelde afvoercoëfficiënten der verschillende oppervlakte-structuren in de polder de tot afstroming komende hoeveelheid water. Aangenomen wordt dat het waterbezwaar in 24 uur moet worden afgevoerd.

b. De kwel

Deze valt te onderscheiden in omtrekskwel en diepe kwel, en zal gedurende het jaar een practisch constante waarde hebben, die overigens niet eenvoudig valt te bepalen.

De omtrekskwel hangt af van de doorlatendheid van de waterkering, de kwelengte en het verval. Ook de verhouding van de dijk lengte en het polderoppervlak is van belang.

De diepe kwel is onder meer sterk afhankelijk van de mate van doorlatendheid van de ondergrond. Bij de Wieringermeer wordt gerekend met 1,2 mm/etmaal diepe kwel, bij Oostelijk Flevoland met 1 mm/etmaal, d.w.z. dat daar de waterstand in de gehele polder door de kwel in één etmaal/mm zou stijgen.

De totale kwel kan soms aanzienlijke waarden bereiken. Zo werd deze in de polder Broekvelden en Vettenbroek bij Gouda bepaald op 13 mm/etmaal en in de Betunepolder bij s'Gravenland zelfs 16 mm/etmaal.

Ondanks de diepe ligging van de Watergraafsmeer ten opzichte van het omringde boezemwater, en ondanks de minder goede conditie van enkele dijkvakken lijkt evenwel, in verband met de geringe doorlaatbaarheid van de ondergrond, een totale kwel voor de Watergraafsmeer van 2 mm/etmaal een aanvaardbare aanname.

c. De afvoer

Ter berekening van het waterbezwaar dient te worden bepaald welk gedeelte van de neerslag in een zeker tijdsverloop tot afstroming komt.

Hiertoe zou voor elk type oppervlak de mate van afstroming moeten worden bepaald, evenals de vertraging die de gevallen neerslag ondervindt alvorens het open water te bereiken.

Het zal duidelijk zijn dat zeer veel factoren de afvoercoëfficiënten en de afstromingsvertraging beïnvloeden; veel onderzoek is op dit gebied verricht.

Om evenwel zonder invoering van tal van coëfficiënten tot een redelijk resultaat te komen bij de bepaling van het tot afstroming gekomen deel van de neerslag kunnen vereenvoudigde aannamen worden gedaan, welke ook hier worden gehanteerd.

Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verhard en onverhard oppervlak. Aan het verharde oppervlak, waartoe ook het open water wordt gerekend, wordt de afvoercoëfficiënt = 1 toegekend, met een vertraging = 0.

Bij het onverharde oppervlak wordt niet gerekend met een direkte relatie tussen neerslag en afstroming. Voor onverharde, niet gedraineerde terreinen wordt uitgegaan van een constante waterafvoer van 1.5 l/s/ha; voor onverharde, wel gedraineerde terreinen (sportvelden) wordt gerekend op 3 l/s/ha.

Ter bepaling van het waterbezwaar worden de bovenomschreven normen gehanteerd voor de in tabel I gegeven oppervlakte-verdeling van de Watergraafsmeer.

Het tot afstroming gekomen water verzamelt zich in de tochten en veroorzaakt daar een opzetting van het waterpeil.

Het bestaande gemaal aan de Oosterringdijk wordt met de hand bediend. Anders dan bij automatische bediening waarbij het gemaal via een signalering van de gestegen waterstand wordt ingeschakeld, zal het gemaal dus reeds in werking kunnen worden gesteld vóórdat het polderwater bij het gemaal dezelfde opzetting heeft bereikt als het water in het westelijk deel van de polder op datzelfde ogenblik.

Ten gevolge van de opzettingen in de poldertochten en de peilverlaging ter plaatse van het gemaal doordat er water wordt weg gemalen, wordt een verhanglijn gevormd waarvan de gradient een zekere waarde zal moeten bereiken om de stromingsverliezen, door weerstand in de sloten, te overwinnen en de waterafvoer goed op gang te brengen.

Verderop zal blijken, dat zelfs een gemaal waarvan de capaciteit een veelvoud bedraagt van die van het huidige gemaal ($66 \text{ m}^3/\text{min}$), in eerste instantie nauwelijks de opzetting van het polderwater na een hevige bui in gunstige zin kan beïnvloeden.

Dit is een gevolg van het feit, dat de tot afstroming komende hoeveelheid water tijdens een hevige regenbui de bemalingscapaciteit van een gemaal, in een polder met stedelijke gebieden en sportcomplexen, verre overtreft.

Gaat men uit van een gemaal dat in een tijd van 24 uur een bepaald waterbezwaar, gebaseerd op een etmaal regenval met een zekere periodiciteit en intensiteit, eruit kan pompen, of zoals dat heet, kan uitslaan, dan moet gedurende een deel van het etmaal een neerslagoverschot - ten gevolge van een bui van korte duur en van veel grotere intensiteit - in de polder worden geborgen.

De te verwachten opzettingen hangen daarom ten nauwste samen met de aanwezige bergingscapaciteit in de polder (zie punt e)

d. De verdamping

De verdamping is van vele factoren afhankelijk; zij kan een hoog jaarlijks gemiddelde bereiken. Zo is voor het Hoogheemraadschap Rijnland de jaarlijkse verdamping berekend op 550 mm. Daarbij spelen de hoge verdampingscijfers, gevonden voor grasland, een grote rol.

Tijdens de wintermaanden lijkt de verdamping sterk terug te lopen vanwege de geringe intensiteit en duur van de zonnestraling, de lage luchttemperatuur en de hoge verzadigingsgraad van de lucht.

Hier zal voor de verdamping in de Watergraafsmeer een gemiddelde hoeveelheid van 1 mm/etmaal worden aangenomen.

e. De berging

De waterberging speelt, over langere perioden bezien, geen rol van betekenis; zij kan worden beschouwd als een tijdelijke accumulatie van een overschot aan water, afkomstig van neerslag en kwel.

Men onderscheidt grondberging en slootberging - ook wel open berging genaamd.

Globaal gesproken is grondberging de accumulatie van water in het daarvoor beschikbare poriënvolume in de grond boven het freatisch vlak. De grondbergingscapaciteit zal geringer of groter zijn naarmate de aan de beschouwde regenbui voorafgaande periode natter of droger is geweest.

Met deze vorm van waterberging zal in zoverre rekening worden gehouden, dat bij onverharde terreinen wordt uitgegaan van een tot afstroming komende hoeveelheid water van 1,5 l/s/ha, ongeacht de intensiteit en duur van de neerslag. In het geval van gedraineerde velden wordt op een dubbele hoeveelheid gerekend.

De open berging is speciaal in polders met stedelijke bebouwing van groot belang. De snelle afvoer van de neerslag naar het open water veroorzaakt daar een toestroming van water, die in eerste instantie grotendeels in de sloten en vijvers moet kunnen worden geborgen, daar de bemalingscapaciteit in de polder nooit berekend kan zijn op onmiddellijke afvoer van een dergelijk wateraanbod.

De hoeveelheid water die in de poldersloten en -tochten kan worden geborgen is afhankelijk van het beschikbare oppervlak aan open water, de toegepaste taludhellingen van de waterlopen en van de toelaatbare opzettingen.

Zoals duidelijk is komt alleen het wateroppervlak, gelegen op polderpeil in aanmerking als waterbergend oppervlak. De tochten in de onderbemalen delen van de Watergraafsmeer leveren geen bijdrage aan die berging.

Wat betreft de toelaatbare opzetting van het polderpeil is door Amsterdam bij de plannen voor stadsuitbreidingen in polders in de regel uitgegaan van een maximaal toelaatbare opzetting van 25 cm. Hoewel een te accepteren opzetting van bv. 40 cm. een reductie van de waterberging mogelijk maakt, geeft een dergelijke peilverhoging binnen een stedelijk gebied zowel psychologische bezwaren als praktische, zoals de inundatie van oevervoorzieningen en de belemmering van diverse lozingen, waardoor onder meer wateroverlast op laaggelegen plaatsen kan ontstaan. Speciaal bij een kwetsbaar gebied als de Watergraafsmeer is het daarom zinvol, bij de bepaling van de benodigde open waterberging uit te gaan van een maximaal toelaatbare opzetting van 25 cm. bij de aangehouden berekeningsregen.

Als norm voor de stedelijke polders is een waterberging van 6% gehanteerd. Men moet evenwel bedenken dat een dergelijk percentage gebaseerd is op een aantal aannamen ten aanzien van verhard oppervlak, neerslag en opzetting.

Omdat in een polder als de Watergraafsmeer, met een aanzienlijk percentage aan bestaande stedelijke bebouwing een vergroting van de aanwezige waterberging (ca. 2,7%) niet zonder moeilijkheden kan worden gerealiseerd, zal men daar niet zonder meer kunnen uitgaan van een wenselijk percentage aan te verwezenlijken open berging.

Daarentegen zal, rekening houdend met de gegeven structuur van het gebied moeten worden gezocht naar een gunstig compromis tussen verbetering van de waterbeheersing - onder meer door vergroting van de waterberging - én het zoveel mogelijk onaangetast laten van het huidige potentieel aan groen voorzieningen, sportaccomodatie e.d..

a. Opzetting onder de huidige omstandigheden.

Ter bepaling van de opzetting van het polderwater zal worden uitgegaan van een neerslagsom van 30 mm in de tijd van een uur; een dergelijke neerslagsom wordt naar verwachting eens in de 15 jaar bereikt of overschreden.

Verder worden, zoals in het voorafgaande besproken, de volgende uitgangspunten gehanteerd:

onverharde, niet gedraineerde terreinen geven 1,5 l/s/ha;
 onverharde, wèl gedraineerde terreinen geven 3 l/s/ha;
 verharde oppervlakken hebben een afvoercoëfficiënt = 1.
 resulterend waterbezwaar t.g.v. kwel en verdamping
 bedraagt $2 - 1 = 1$ mm/etm.

Rekening houdend met de polderindeling volgens tabel I vindt men voor het waterbezwaar na een uur:

Stedelijke gebied

verhard oppervlak (169 ha) : $0,030 \times 169 \times 10^4 = 50.700 \text{ m}^3$
 onverhard oppervl. (169 ha) : $1,5 \times 10^{-3} \times 3600 \times 169 = 910$

Onderbemalingen (zonder Wetensch. Centrum)

gedraineerd terrein (113 ha, bemalingscap.)
 $20 \text{ m}^3/\text{min.}) \quad 60 \times 20 = 1.200$

Resterend gebied (ten N.O. spoorw.)

verhard opp. (23 ha) : $0,03 \times 23 \times 10^4 = 6.900$
 onverhard opp. (43 ha) : $1,5 \times 10^{-3} \times 3600 \times 43 = 230$

Spoorwegemplacement

verhard opp. (8 ha.) : $0,030 \times 8 \times 10^4 = 2,400$
 onverhard opp. (18 ha) : $1,5 \times 10^{-3} \times 3600 \times 18 = 100$

Kwel-verdamping (= 1 mm/etm.), gerekend over de gehele polder, zonder Wetenschapp. Centrum (543 ha):

$$0,001 \times \frac{1}{24} \times 543 \times 10^4 = \underline{\underline{230}} +$$

Totaal waterbezwaar na verloop van een uur : 62.670 m^3

Uitgemalen door poldergemaal (cap. $66 \text{ m}^3/\text{min}$):

$$66 \times 60 = 3,960 \text{ m}^3$$

Afvoer via gecombineerd rioolstelsel,)[‡]

$$(\text{geschat } 300 \text{ m}^3/\text{uur}) = \underline{\underline{300}} +$$

Tijdelijk te bergen hoeveelheid water:

$$\begin{array}{r} 4.260 - \\ \hline \underline{\underline{58.410}} \text{ m}^3 \end{array}$$

[‡] hierbij werd ook regenwater uit het gebied afgevoerd naar een rioolwaterzuiveringsinrichting

Omdat het totale oppervlak aan open water op polderpeil 14,5 ha bedraagt, zal er, bij de aangenomen neerslag, een opzetting van het polderwaterpeil optreden, gelijk aan:

$$\frac{58.410}{14,5 \times 10^4} \times 100 = \text{ca. } 40 \text{ cm.}$$

b. Invloed wijziging bemalingscapaciteit of waterberging.

Onder (a) is berekend, welke waarde het waterbezwaar zal bereiken bij de gestelde uitgangspunten en onder aanname van een functie met een lineair verloop tussen regenval en tijd. In fig. P-VII is schematisch weergegeven op welke wijze het waterbezwaar in de polder in feite de onder (a) berekende waarde kan bereiken.

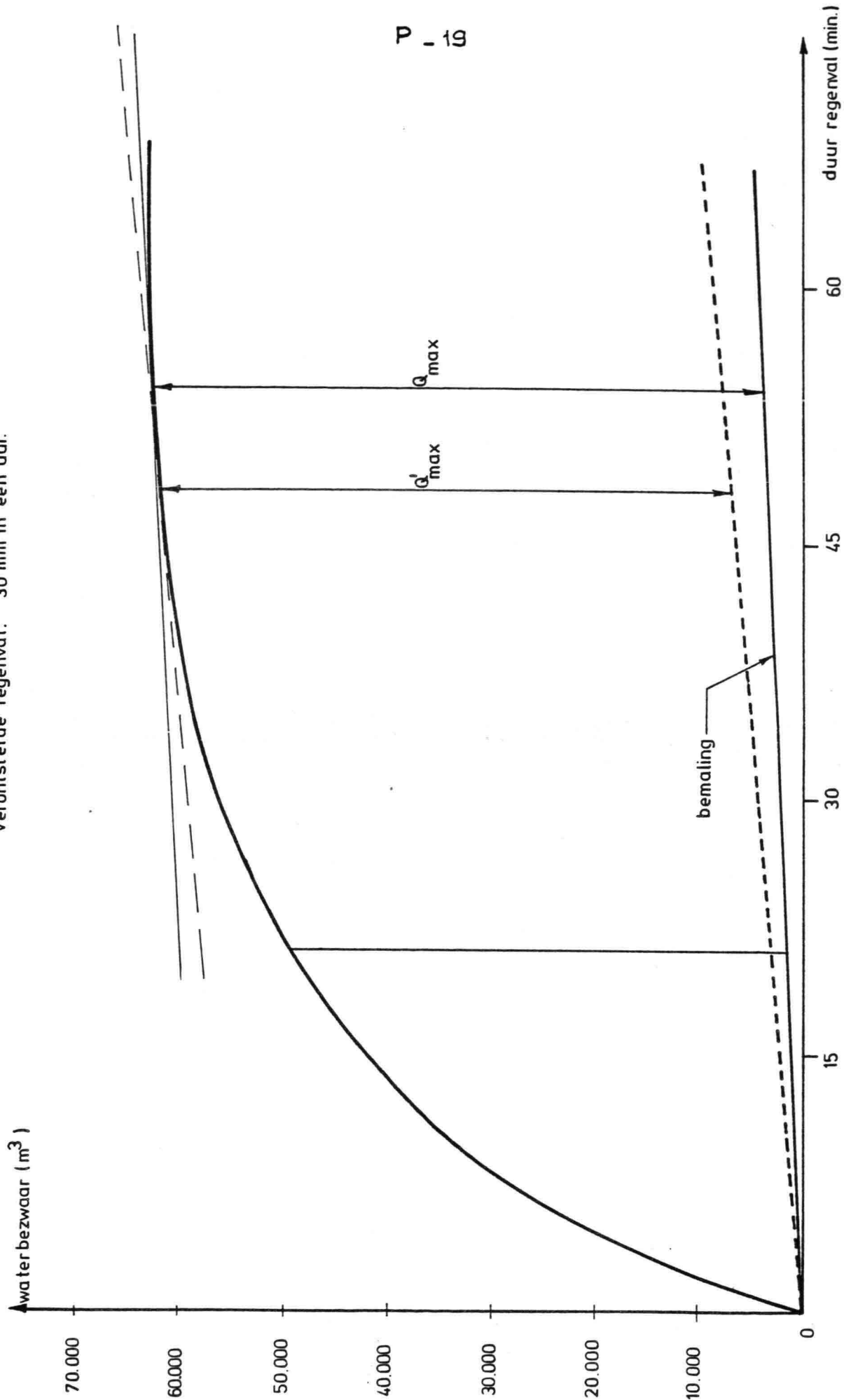
Daarbij is rekening gehouden met de overwegende invloed - via het verharde oppervlak - van de regenval-karakteristiek op het ontstaan van het waterbezwaar. In de regel kan namelijk worden aangenomen dat een regenbui van bv. 30 mm in een uur een met de tijd afnemende intensiteit zal vertonen.

Door in dezelfde grafiek de lineair verlopende bemalingslijn weer te geven, vindt men op elk moment de te bergen hoeveelheid water (Q) als verticale afstand tussen de kromme en de rechte. Q max wordt gevonden, door evenwijdig aan de bemalingslijn een raaklijn aan de kromme te trekken. Het raakpunt geeft het tijdstip aan, waar de maximale ordinaat wordt gevonden.

Bij een bekend waterbergend oppervlak (B) vindt men dan de maximale opzetting (Z) bij de veronderstelde regenval als zijnde Q max/B.

De uit de figuur gevonden maximale opzetting bedraagt, rekening houdend met de aanwezige berging B = 14,5 ha, ca. 40 cm. Zou men ter reductie van de opzetting van het polderwaterpeil, besluiten de bemalingscapaciteit van de polder met niet minder dan 100% te vergroten, dan kan daarvan de konsekwentie worden nagegaan in de grafiek.

FIG P-VII verband tussen tijd en waterbezwaar huidige toestand watergraafsmeer.
verontstelde regenval: 30 mm in een uur.



De rechte stippellijn geeft weer het bemalingsverloop. De daarbij gevonden maximale te bergen hoeveelheid water (Q_{max}), gedeeld door de aanwezige berging $B = 14,5$ ha geeft de bijbehorende maximale opzetting, te weten ca. 37,5 cm, d.w.z. een reductie van de opzetting van slechts 6%, tegen een capaciteitsvergroting van de bemaling met 100%!

Hieruit blijkt dat een vergroting van de bemalingscapaciteit een onevenredig kleine afname van de opzettingen ten gevolge heeft. Een dergelijke kostenverhogende maatregel is dus op zich genomen niet geëigend om de peilbeheersing binnen de polder afdoende te verbeteren.

Een efficiënte maatregel ter verkleining van de opzettingen blijkt te zijn een uitbreiding van de waterberging B.

Immers zal, bij een bepaald waterbezwaar Q , een zekere vergroting van B een evenredige afname van de opzetting Z veroorzaken, immers : $Z = Q/B$.

Uitgaande van een maximale opzetting van 25 cm bij de beschouwde regenbui van 30 mm in een uur, zou men, globaal gesproken, de waterberging moeten vergroten met een factor $40/25 = 1,6$. De beschikbare waterberging zou dan van 14,5 ha moeten worden gebracht op $14,5 \times 1,6$ dit is ruim 23 ha.

De figuren P VIII, XIV geven U tenslotte enige indruk van de dijken om de polder heen en de afsluitbare keringen in en om de polder.

De figuren P VIII, IX en X spreken daarbij voor zichzelf. Fig. P XI geeft een beeld van z.g.n. tweesluis deurtjes, die zich in een watergang bevinden die onder de kering tussen de twee afzonderlijk te bemalen polder delen heen loopt, en deze normaal met elkaar in open verbinding brengt. Wanneer het nodig is de twee delen te scheiden worden deze deurtjes gesloten.

P - 21

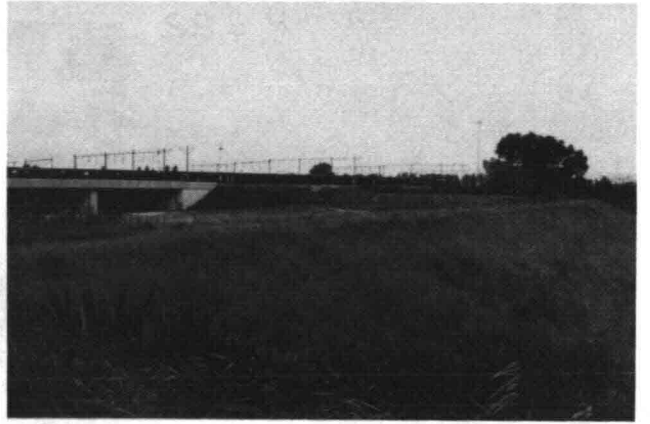


fig. P - VII

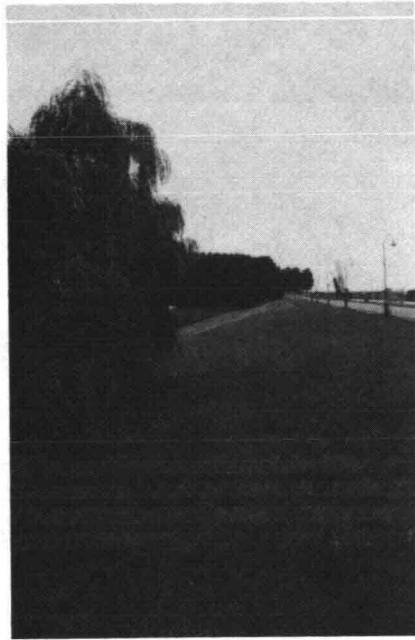


fig P - IX



fig P - X

P -22

fig P -XI

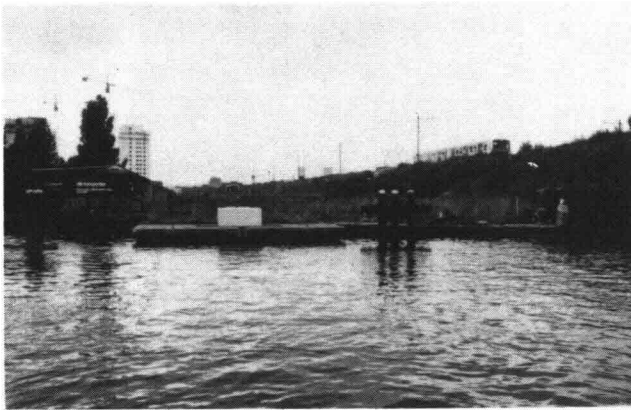


fig. P -XII

fig. P -XIV

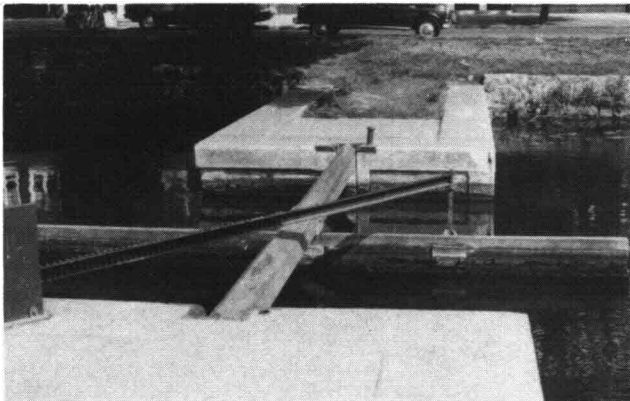


fig P -XIII

Fig. P-XII is een kering die in de Weespertrekvaart ligt en die de Amstel kan afsluiten van de ring vaart om de Watergraafsmeer heen. Deze kering bestaat uit een cilinder vormige rubber zak, die opgepompt kan worden en dan de gehele doorvaart afsluit. Een dergelijke noodvoorziening wordt gebruikt wanneer onverhoopt een dijk door zou breken en de polder onder zou gaan lopen. De waterhoeveelheid die in de polder zou kunnen lopen wordt dan in feite beperkt tot het in de ring vaart aanwezige water.

Fig P-XIII geeft een type deur aan die in een verticale as draait die in het midden van de deur is aangebracht. Een dergelijke deur kan ook in stromend water worden bewogen, evenals de hier voor genoemde opblaasbare rubber zak. Een noodkering tussen de twee polderdelen ter plaatse van de ondergang van een weg onder het spoorweg emplacement, is in fig. P-XIV aangegeven links en rechts van de weg voor de onderdoorgang zijn twee vlakken waarop met witte letters is geschreven verboden te parkeren. Deze vlakken zijn in feite twee deuren die over de weg heen dicht gedraaid kunnen worden en dan de opening volledig afsluiten.

Boezem en boezembemaling

Het water dat uit een polder wordt gemalen moet ook weer ergens naar toe. Het komt dan in het z.g.n. boezemwater terecht. De boezem is het samenstel van afgesloten wateren dat dient tot voorlopige berging van overtollig water uit een poldergebied. Wanneer het polder water niet direct op het z.g.n. buitenwater (b.v. de Noordzee) kan worden gekeerd wordt gebruik gemaakt van berging in boezem water. Dat kan b.v. wanneer de Noordzee te ver weg ligt en het water er dus nog naartoe moet worden gebracht. Wanneer het buiten water laag genoeg is kan het overtollige water via z.g.n. spuisluizen in het buitenwater lozen. Is dit in onvoldoende mate mogelijk dan moet er ook weer een **gemaal** voor worden gebruikt. Het boezemgebied geeft het totaal aan polders en het boven het waterpeil van de boezem gelegen rand, dat allemaal zijn overtollige water loost op dezelfde boezem. Zo lost het hele gebied dat Amstelland heet en een hoogheemraadschap is op de boezem van Amstelland, figuur P-XV

De boezem van Amstelland wordt gevormd door de Amstel en een groot aantal wateren die daarop aansluiten waaronder de Amsterdamse stads grachten.

Om de polder heen ligt de Ringvaart die een waterstand heeft van N.A.P. - 0,40 m (het peil van de boezem van Amstelland)

Normaal staat de ringvaart in open verbinding zowel met dit boezemwater als met het Amsterdam-Rijn kanaal.

Het water dat uit de polder wordt gemalen wordt dan ook toegevoegd aan deze waterhoeveelheid. Op de boezem van Amstelland slaan veel meer polders hun water uit. Dit veroorzaakt weer dat deze boezem ook weer teveel water krijgt. De hele boezem van Amstelland inclusief de bemaling van de stads grachten van Amsterdam, de z.g.n. stadsboezem, wordt door het gemaal Zeeburg gedaan.

Dit gemaal kan het teveel aan water op het IJmeer brengen en zo gaat het steeds door totdat het uiteindelijk allemaal op de Noordzee terecht komt.

De z.g.n. Noordzeekanaal boezem speelt daarbij een essentiële rol. Een groot deel van westelijk Nederland loost zijn overtollige water op deze boezem, die in feite als een hoofdadere loopt van de grote rivieren af via het Amsterdam Rijn kanaal, het IJ en het Noordzeekanaal naar IJmuiden. In IJmuiden bevindt zich het hoofdgemaal met een capaciteit van 150 m³/sec verdeeld over 4 pompen.

Ook bij de Oranjesluizen bevindt zich nog een klein oud gemaal naast het reeds genoemde gemaal.

Alle punten waar westelijk Nederland zijn water op het buitenwater kan lozen staan met pijlen aangeven in fig. P-XVI.

Ons land wordt enerzijds van water voorzien door de Rijn, door neerslag en door diepe kwel. Water wordt verbruikt voor allerlei doeleinden zoals drinkwater en voeding voor vee en landbouw voor weilanden en bossen enz. enz.

Het te veel aan water aanvoer moet uiteindelijk op zee gelost worden, wanneer er te kort is moet er uit aangelegde reserve voorraden worden gesuppleerd. Dergelijke reserve voorraden zijn b.v. aanwezig in het IJsselmeer en de Randmeren, in diverse andere plassen gebieden. Ook in de ondergrond b.v. onder de duinen zijn voorraden zoet water beschikbaar.

Het is duidelijk dat het totaal aan "inkomsten" en "uitgaven" van water en de voor elk doel nodige kwaliteit heel wat kopzorg kost.

Regeling van de nodige toevoer naar alle gebieden moet door malen en een systeem van sluizen en dijken plaats vinden. Ondanks het feit dat we vaak wateroverlast hebben, dat het ons veel moeite kost de voeten droog te houden hebben we toch ook vaak tekort aan water van de kwaliteit die we nodig hebben.

Er wordt erg veel "roet" in het eten of vuil in het water gegooid, door alle lozingen van afvalstoffen in de Rijn en door het opkomen van het diepe brakke grondwater daar waar we teveel zoet water uit de duinen hebben gepompt.

Het gehele systeem waarin deze voorzieningen bestuurd werden heet de waterhuishouding.

De drinkwatervoorziening en de voorziening van de landbouw met voldoende zoetwater levert de civiel ingenieur een goede boterham op.

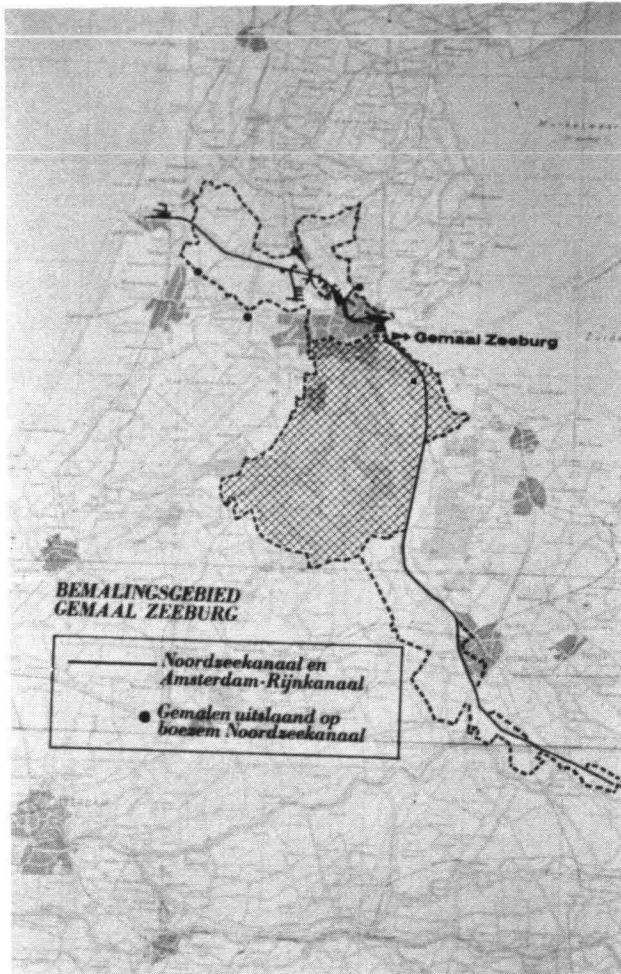
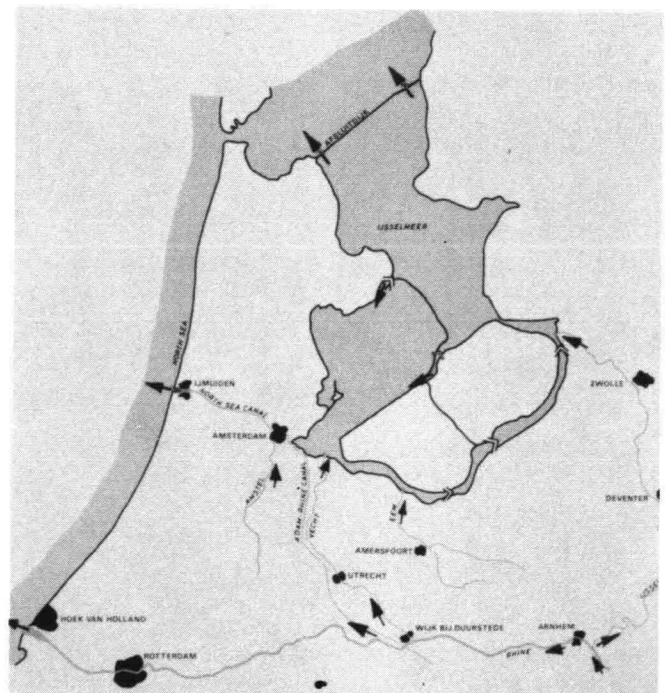


fig P-XV

fig. P-XVI



WATERSCHAPPENInleiding gebiedsindeling.

Land beschermen tegen periodiek overstromen lukte eerst goed naarmate dijk-aanleg technisch uitvoerbaar bleek. Met het via dijkaanleg verwerven van bruikbaar land en het tot stand brengen van dijkverbindingen tussen bestaande opgeworpen (woon)terpen, kwamen bedijkingseenheden tot stand (1000-1300 na Chr.).

Vanwege met name agrarische activiteiten binnen zulke eenheden kwam al snel de wens naar voren de waterstand in zo'n gebied te "controleren".

Dit geschiedde aanvankelijk met dijkgaten, spuikokers en eenvoudige sluizen, maar in de 16e eeuw bracht de komst van de watermolen met zich mee dat er

- a. grotere gebieden beheerst zouden worden en
- b. uitgestrekte meren en plassen droog kon worden gelegd.

Technische ontwikkelingen van de 19e en 20e eeuw hebben aan de verdediging tegen zee en rivier en aan de beheersing van het binnenlands waterpeil opnieuw grotere dimensies verleend (Zuiderzeewerken, Deltawerken).

Wie en wat gaf aanleiding tot het instellen van aparte "lichamen" t.b.v. een goede waterhuishouding?

De landsheer aktiveerde edelen, particuliere ondernemers, kloosters en andere maatschappelijke krachten tot belangrijke prestaties op het gebied van dijk-aanleg, cultuurverbetering of in cultuurbrengen van land waarop deze landsheer rechten had.

Zo waren grenzen van rechtsgebieden voor aanleg van "waterstaatswerken" bepalend.

De hierboven globaal aangegeven technische ontwikkelingen doorbraken (+ 13e eeuw) deze grenzen en dit leidde tot vorming van instellingen met eigen grenzen en eigen bestuur.

Vele waterschappen zijn speciaal in het leven geroepen door het soeverein gezag van de landsheer.

De zogeheten hoogheemraadschappen of hoofdwaterschappen werden bekleed met bevoegdheden van de landsheer, geroepen tot waterstaatswerken van grote schaal, een schaal die niet paste op het rechtsgebied van een bestaand orgaan van algemeen bestuur.

Tevens verleenden deze hoofdwaterschappen al snel vergunningen tot het vormen van bemalingspolders en oefenden de besturen toezicht en rechtspraak uit.

Vele waterschappen zijn voorts ontstaan bij gemeenschappelijke regeling tussen hogere en (of) lagere bestuursorganen, waarbij bevoegdheden en plichten op waterstaatsgebied werden geregeld.

Waren van origine vele waterschappen opgericht door middel van particulier initiatief (privaatrechtelijke doelcorporaties), na de Franse tijd werd het waterschap een publiekrechtelijke instelling.

De Provinciale Staten werden krachtens de Grondwet reglementerende en toezichthoudende instantie voor de waterschappen.

De grenzen van de geschapen provincieën hadden veelal geen waterstaatkundige betekenis zodat er een aantal hoofdwaterschappen in meer dan één provincie kwam te liggen.

Taakomschrijving.

Diende een waterschap aanvankelijk veelal uitsluitend agrarische belangen, al vrij snel werd het takenpakket meer verweven met zaken die het "algemeen belang" diende (scheepvaart, landwegen, bruggen).

Kenmerkend voor een waterschap is dat het een doelcorporatie is. Echter de taken kunnen zeer uiteenlopen. Dit houdt verband met de zeer verschillende grootte van waterschappen (van < 1 ha. tot > 150.000 ha.) Zo bestonden er waterschappen met slechts één taak: onderhoud van één dijk, één afwatering enz. De meest specifieke taken van een waterschap zijn:

- zorg voor waterkeringen: hieronder zijn te rekenen zowel zeekeringen als oevervoorzieningen van rivieren en boezemwateren.
- waterbeheersing: het beheer en onderhoud van tochten en boezemwateren en de regelwerken t.b.v. peilbeheersing.

Naast deze meest specifieke taken zijn er vooral in het westen van ons land een aantal waterschappen met als taak tevens het beheer en onderhoud van veelal regionale wegen (tertiaire en kwartaire wegen). Een geringer aantal waterschappen is daarbij ook nog belast met de zorg voor hun wateren als vaarweg.

Met de toenemende aandacht die het behoud van het natuurlijk milieu en de waterverontreiniging sedert de vijftiger jaren heeft gekregen, is waterzuivering een aktuele zaak geworden.

Toen in 1970 de wet verontreiniging oppervlaktewateren in werking trad werd daarin het kwaliteitsbeheer van de niet-rijkswateren in handen van de provincies gelegd. De provincies hadden wel de bevoegdheid dit kwaliteitsbeheer te delegeren naar waterschappen.

Voor zover er hoofdwaterschappen waren die over een goede technische dienst en over laboratoria konden beschikken, is inderdaad door vele provincies dat kwaliteitsbeheer aan die waterschappen opgedragen. Slechts enkele provincies hielden dit beheer in eigen hand (Friesland, Groningen, Utrecht). Op het moment, begin 1978, is aktueel de wens van de provincie Zuid-Holland om het kwaliteitsbeheer van enige hoofdwaterschappen (o.a. Schieland) terug te vorderen. Volgens de provincie zijn de betreffende waterschappen te klein ten opzichte van de steeds zwaarder wegende taken en lasten om een adequaat kwaliteitsbeheer van hen te mogen verwachten.

Uiteraard leggen de waterschappen zich bij deze stelling name niet zonder meer neer.

Iets over de organisatiestructuur.

De vanouds voor een waterschap kenmerkende koppeling van belang, betaling en zeggenschap, duidt op een algemeen bestuur met daarin stemgerechtigde ingelanden.

De kas van een waterschap werd aanvankelijk gevuld met bijdragen (omslag) van eigenaren van "onbebouwd" (d.w.z. agrarische gronden).

Verplichtingen van waterschappen tot het doen uitvoeren van waterstaatswerken in het algemeen belang leidde er toe dat ook het "gebouwde" eigendom in de omslag werd betrokken (per schoorsteen! of per deur! enz).

Maar ondanks deze ruimere bron van inkomsten konden de over het algemeen kostbare waterstaatswerken niet gefinancierd worden. Subsidieëring van gewesten, later provincies, maakte een steeds meer essentieel onderdeel uit van de begroting van een (hoofd)waterschap.

De uitbreiding van de waterschapspraak met de beheersing van de waterkwaliteit door het treffen van zuiveringsmaatregelen bracht dikwijls nieuwe grenzen en steeds nieuwe categoriën van omslagplichtigen ("de vervuiler betaalt"). Hun vertegenwoordiging in het bestuur vond plaats door middel van getrapte verkiezingen.

Tegenwoordig is het hoogste bestuursorgaan van een hoofdwaterschap de verenigde vergadering, die wordt gevormd door hoofd-ingelanden en het college van dijkgraaf en hoogheemraden. De samenstelling van de hoofdingelanden kan bij een hoofdwaterschap met een zuiveringstaak de volgende zijn:

- . 10 eigenaren van gebouwd onroerend goed
- . 10 eigenaren van ongebouwd onroerend goed
- . 10 vertegenwoordigers van burgerij en bedrijfslevens, zoals:
 - van gemeenteraden
 - van de Kamer van Koophandel
 - van de Gewestelijke Raden van het Landbouwschap.

De hoogheemraden worden op voordracht van de verenigde vergadering via de Kroon benoemd.

Ook hier weer een onderscheid naar de bovengenoemde 3 categoriën.

Algemene Keurenwet.

Op grond van de onlangs (1974) herziene Algemene Keurenwet kan een waterschap aan eigenaren en gebruikers van grond en water bindende regels uitvaardigen.

Deze regels kunnen eventueel met behulp van de sterke arm (politie) gehandhaafd worden. De nieuwe keur omvat verbods- en gebodsbepalingen inzake de zeewering, dijken en kaden, boezem, bijzondere boezembeheer en kunstwerken. Behalve op de "Keurenwet" berusten verordeningen van een waterschap o.a. op de "bevoegdhedenwet".

Tijdens het 4e-jaars college Waterstaatsrecht wordt op deze wetten door de vakgroep recht uitvoerig ingegaan.

"Diepdelversrapport".

Naast de verziltingsbestrijding, de zorg voor de hoeveelheid water, de stand van het water, de loop van het water, is de zorg voor de kwaliteit van het water de laatste decennia zeer belangrijk geworden. Deze zorg voor de waterstaat dient tegenwoordig te gebeuren binnen het kader van het Ruimtelijk-Ordeningsbeleid, waarbij de effecten op recreatie, natuurschoon, landschapsschoon en volksgezondheid moeten worden beschouwd. Het aantal waterschappen in ons land was op een gegeven moment tot boven de 2500 gegroeid, een situatie die tot een concentratie moest leiden. Inderdaad is het aantal waterschappen nu teruggebracht tot om en nabij 700. Een heroriëntatie op de ontstane situatie was vereist.

Bovendien heeft het feit dat waterschappen veelal in 2 provincies liggen nogal eens tot conflicten aanleiding gegeven. Al met al redenen genoeg voor de overheid om een commissie de functie en structuur van de waterschappen te laten onderzoeken.

In het in 1974 uitgebrachte rapport (in de wandelgang het "diepdelversrapport" genoemd) laat de commissie geen twijfel bestaan over de toekomst van waterschappen.

Zij zijn bij uitstek geschikt om de zo belangrijke taken op het gebied van waterbeheer en -beheersing te (blijven) verrichten. Wel bepleitte de commissie een herindeling in hoofdwaterschappen en middelgrote waterschappen, waarbij geen plaats meer zou zijn voor kleinere waterschappen.

Hoe deze bevindingen uit zullen kritalliseren zullen we in de komende jaren vernemen.

Bronnen:

- Het waterschap en zijn toekomst: Rapport van de studiec commissie Waterschappen 1974.
- De waterschappen in Nederland door mr. A.P. v.d. Berge.
- Jaarverslag 1974 hoogheemraadschap Rijnland Waterschapsbelangen nr. 17, 60e jaargang.

KANALEN

Kanalen zijn kunstmatig aangelegde zeer lange "bakken" met water. Zij worden in de grond uitgegraven of er worden op het bestaande terrein twee dijken aangelegd, waartussen dan als ze gereed zijn water kan worden toegelaten.

Kanalen hebben een tweeledig doel. Zij dienen voor transport van water van een plaats naar een ander (b.v. bevoelings kanalen in Egypte) of voor het laten varen van schepen.

Ik wil nu eerst het effect behandelen van een schip dat door een kanaal vaart. Daarna zal aan de hand van de plannen voor de aanleg van het kanaal om de West bij Amsterdam worden toegelicht, met welke problemen men geconfronteerd wordt bij een dergelijk ontwerp.

Tenslotte wordt in een volgend hoofdstuk ingegaan op sluizen en hun functies en diverse typen.

Een schip in een kanaal

Het effect van een varend schip door een kanaal is een opzichzelf zeer gecompliceerd mechanisme van krachten die door het schip op het water worden uitgeoefend en door het water weer op zijn omgeving. (de oevers, een ander schip).

Dit krachtenspel leidt dan tot belastingen, tot drukken, waarmee terdege rekening moet worden gehouden. Dit geheel van interacties en krachten beïnvloedt c.q. wordt beïnvloed door, en is ook bepalend voor

- de kanaal afmetingen, breedte, diepte, vorm van het dwarsprofiel.
- de oevervoorzieningen
- eventuele andere bestemmingen dan alleen voor de scheepvaart.
- noodzakelijke vernauwingen.
- aansluitende dwarskanalen.

Welk effect heeft nu een varend schip op dit water?

Om te beginnen geeft het schip waterverplaatsing. De hoeveelheid water die overeenkomt met het deel van het schip dat zich onder de waterspiegel bevindt wordt verdrongen, (wet van Archimedes).

Wanneer het voorwerp, in dit geval het schip zich voortbeweegt dan moet die verplaatste hoeveelheid water zich ook verplaatsen. Dat betekent dat het schip voor zich uit ruimte moet maken voor zijn eigen onderwater gedeelte. Aan de achterzijde van het schip komt de vrijgemaakte ruimte beschikbaar om zich weer met water te vullen.

Er gaat in feite een stroom water ontstaan die langs en onder het schip zich van voren, waar het verdrongen wordt, naar achteren, waar lege ruimte opgevuld moet worden verplaatst. Deze stroom heet de retour stroom. De snelheid wordt aangeduid met u (m/sec)

De grootte van deze retour stroom hangt erg sterk af van een aantal factoren, zoals de begrenzingen van het water, zowel in breedte als in diepte, de snelheid waarmee het schip vaart, of het schip gesleept, getrokken, gezeild of door een schip wordt voortbewogen.

De retourstroom is essentieel om het schip te kunnen laten varen, maar kan alleen ontstaan wanneer er een verhang ontstaat zodat het water van hoger naar lager kan gaan stromen.

Het ligt natuurlijk voor de hand dat er voor het schip enige opstuwing plaatsvindt en achter het schip door de vrijkomende ruimte een lagere waterspiegel zou ontstaan.

Wanneer men het schip door een bak met stroop zou slepen waarvan de vloeibaarheid of viscositeit veel geringer is dan van water, dan zien we dat effect ook duidelijk optreden door de vertraging waarmee de vloeistof (stroop) zich verplaatst (stroomt).

Deze voorstelling van water is echter wat te simpel. In feite zakt het water naast het schip ook nog beneden de normale waterspiegel, de zgn. spiegeldaling, zodat het schip eigenlijk op het diepste punt van een soort van hele vlakke schotel van water komt te liggen.

Waarom treedt dit effect nu op?

Wanneer men stilstaand water heeft dan hebben we gezien dat de waterspiegelhoogte H t.o.v. een bepaald referentie vlak, aangeeft, hoe hoog de druk in dat vlak is, zoals die door het water wordt uitgeoefend. Dit heet de hydrostatische druk. Het gehele systeem is in evenwicht. Dit geldt ook als in dat water een schip ligt. Wanneer nu dat schip gaat bewegen wordt er aan het water van buitenaf geen energie toegevoegd of onttrokken. De totaal aanwezige potentiële energie neemt niet toe of af. Hydrostatische waterdruk is in feite potentiële energie. Men kan voor een kanaal dus in feite spreken van een beschikbare "energiehoogte" die konstant is.

Wanneer men nu met stromend water te doen krijgt, of een bewegend schip, wat verandert er dan?

Daartoe zal eerst wat verder op de soorten van stroming die kunnen ontstaan worden ingegaan. Stroming kan worden onderscheiden in:

laminaire en turbulente stroming.

Laminaire stroming is een situatie waarbij alle waterdeeltjes zich met gelijke snelheid voortbewegen over het gehele profiel waardoor de stroming plaatsvindt. Er treden nergens snelheidsverschillen op tussen de verschillende lagen.

Turbulente stroming ontstaat wanneer waterdeeltjes zich met verschillende snelheid bewegen, bv. door wrijving of onregelmatigheid van de begrenzing van de waterloop. Deze wrijving tracht waterdeeltjes vast te houden waardoor ze langzamer gaan bewegen en zo weer wrijvingskrachten op andere waterdeeltjes doen ontstaan.

Men kan in die gevallen nog slechts over een gemiddelde stroomsnelheid in een waterloop spreken, de werkelijke snelheid verschilt van plaats tot plaats in de doorsnede.

De mathematische eigenschappen van een in beweging zijnde vloeistof worden tot uitdrukking gebracht in de snelheden die op een bepaalde plaats op een bepaald tijdstip optreden. Men kan daarbij onderscheid maken in twee typen van bewegingen nl.:

- permanente stroming
 - a. eenparige stroming
 - b. niet eenparige stroming
- niet permanente stroming

Bij permanente stroming verloopt alles stationair, d.w.z. continu er treden geen plotselinge veranderingen op, zgn. sprongen in de snelheid door extra invloed van buitenaf.

Bij niet permanente stromingen treden deze snelheidsprongen wel op. Men heeft dan bv. met turbulente stromingen te maken, bv. als water door een onregelmatige beek bedding stroomt. Er treden steeds plotselinge veranderingen op.

We zullen ons alleen bezig houden met permanente stromingen. Uiteraard is dit een sterke schematisering, die echter wel toelaatbaar is om beter inzicht te krijgen in de verschijnselen die zich in de praktijk voordoen.

Wanneer men de snelheid waarmee het water stroomt aangeeft met v (m/sec); s (m) de afgelegde weg voorstelt van een waterdeeltje en t (sec) de tijd die daarvoor nodig is, dan is het verband tussen v , s en t :

$$v = \frac{s}{t}$$

Voor permanente stroming is nu de voorwaarde dat:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0$$

d.w.z. v is constant en verandert niet met de tijd.

Als nu ook

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0$$

dan heeft men met een eenparige beweging te doen, de snelheid verandert dan ook niet met de plaats.

Dit soort stroming komt eigenlijk alleen maar voor in een rechte buis met constante diameter of in een open leiding (kanaal, sloot) wanneer de waterdiepte en het dwarsprofiel constant zijn.

In dat geval geldt dat de totale hoeveelheid vervoerd water (het debiet) $Q = v.A$, waarin A de dwarsdoorsnede voorstelt.

K_4

Wanneer $\frac{\delta v}{\delta t} = 0$ maar $\frac{\delta v}{\delta s} \neq 0$

dan heeft men met een niet eenparige beweging te doen, een stroming waarbij de snelheid verandert met de plaats.

Een bijzonder geval is $v = 0$.

Het water staat dus stil. Dan heerst overal de zgn. hydrostatische waterdruk.

Bij de niet permanente stroming geldt dat

$$\frac{\delta v}{\delta t} \neq 0 \text{ en } \frac{\delta v}{\delta s} \neq 0$$

dus verandert de snelheid zowel met de plaats als met de tijd

Dit stromingsbeeld komt bv. voor bij golfbewegingen.

Stilstaand water vertegenwoordigt een zekere mate van potentiële energie middels de hydrostatische druk terwijl stromend water ook nog kinetische energie vertegenwoordigt die door de stromingsdruk wordt veroorzaakt.

We kwamen die stromingsdruk ook al tegen bij de knikkerdam waar we zagen dat stromend water probeert knikkers (lees gronddeeltjes) mee te voeren, De kracht die op die deeltjes wordt uitgeoefend heet stromingsdruk.

Het effect van die stromingsdruk is in het volgende proefje te zien (zie fig. **K-I**).

Water stroomt met een constante snelheid \bar{v} door een buis met constante diameter. Op de buis bevinden zich 3 verticale buisjes. De stijghoogte van het water in deze verticale buisjes is overal gelijk en bedraagt t.o.v. het midden van de buis een hoogte h_p en wordt veroorzaakt door de hydrostatische druk in het water.

$$h_p = \frac{P}{\rho g} \text{ (cm)}$$

P is druk in de buis

ρ is s.g. van de vloeistof

g is versnelling van de zwaartekracht

De denkbeeldige lijn die door de 3 niveaus "a" is te trekken heet druklijn of piëzometrisch niveau.

Wanneer men een willekeurig vergelijkingsvlak kiest dat op een afstand z onder de as van de buis ligt dan stelt

$$z + \frac{p}{\rho g}$$

het arbeidsvermogen van plaats voor (potentiële energie) t.o.v. het gekozen referentievlak.

K-5

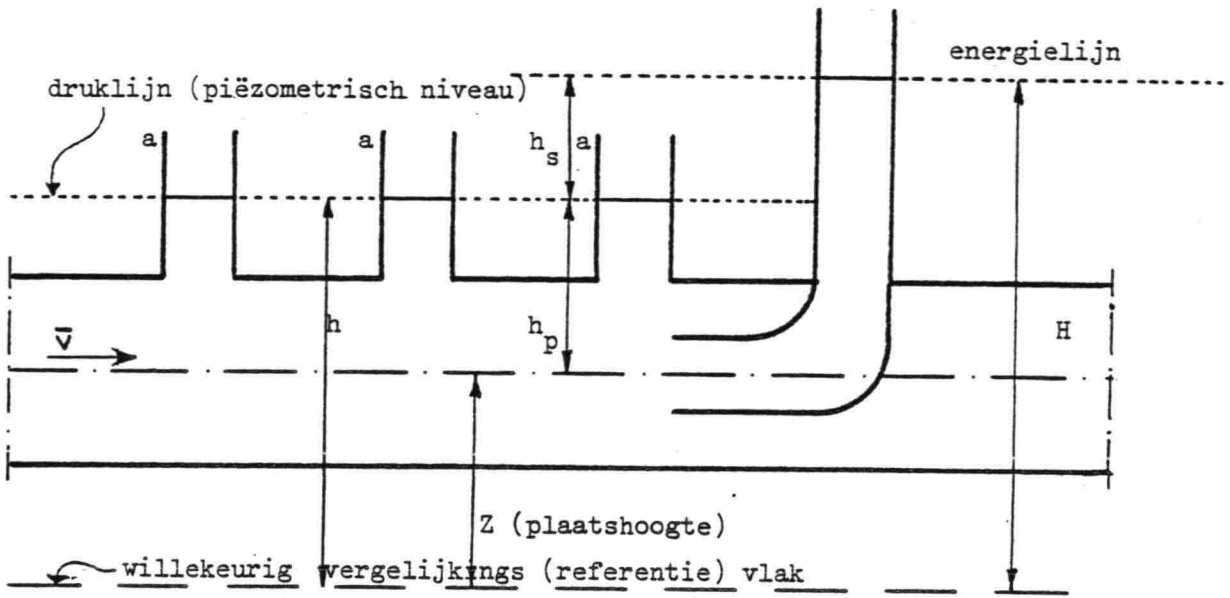


fig. K-I

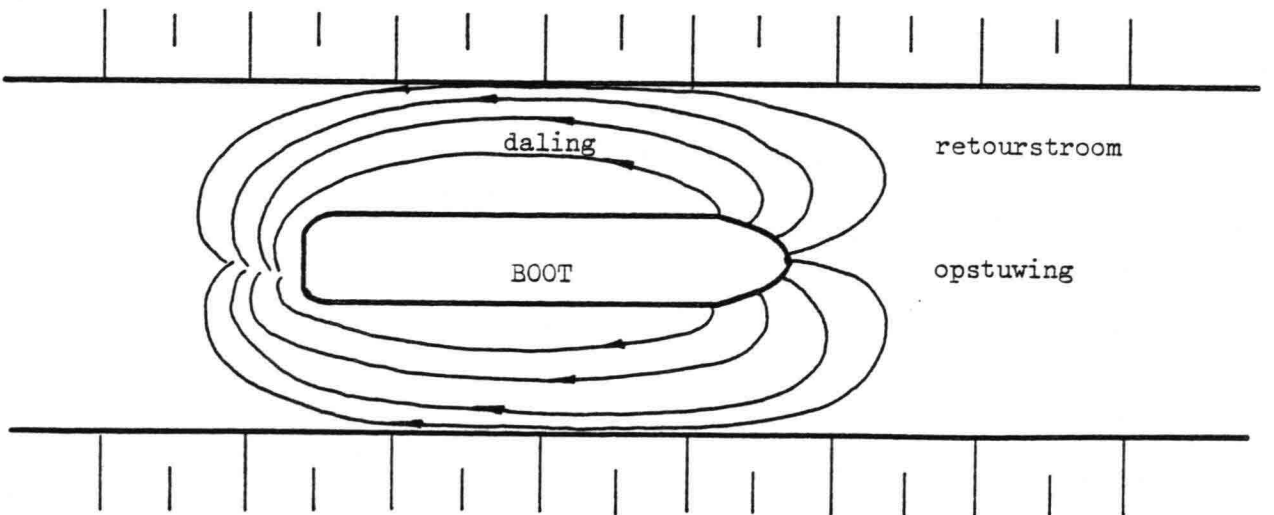
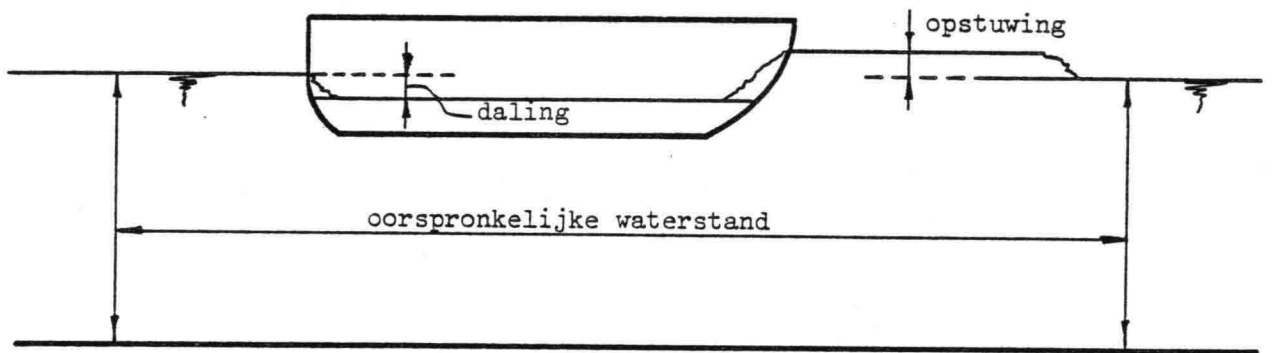


fig. K-II

Plaatst men nu een buisje "b" zodanig dat die door de bovenwand van de buis heen loopt en in de buis 90° is omgebogen in de stromingsrichting t.p.v.

het midden van de buis, dan is de stijghoogte groter dan in de buisjes "a". Het water wordt als het ware opgestuwd door de stromingsdruk. Het verschil in stijghoogte vergeleken met de buisjes "a" wordt veroorzaakt door het arbeidsvermogen van beweging of de kinetische energie die voorgesteld kan worden door

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2$$

Per volume eenheid wordt deze energie dan

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\rho g}{g} \right) \bar{v}^2 = \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2$$

waarin ρ weer de massa/volume eenheid voorstelt. Dit arbeidsvermogen van beweging heeft de dimensie van een druk en wordt dan ook wel de stuwdruk P_s genoemd. Deze stuwdruk komt overeen met het gewicht van de vloeistof kolom h_s

dus: $P_s = \rho g h_s$

dus $\frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 = \rho g h_s \longrightarrow h_s = \frac{\bar{v}^2}{2g}$

Deze hoogte wordt wel de snelheidshoogte genoemd met \bar{v} als gemiddelde snelheid over het gehele doorstromingsprofiel.

$$\bar{v} = \frac{Q}{A}$$

De lijn die gaat door de stijghoogte van buisje "b" heet de zgn. energielijn. De energiehoogte

$$H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\bar{v}^2}{2g}$$

ten opzichte van een gekozen referentievlak geeft de totale maat van de stromingsenergie aan.

Deze vergelijking heet de energievergelijking van Bernoulli.

Bij een permanente beweging is dit, wanneer alleen de zwaartekracht in rekening wordt gebracht altijd constant (wrijvingsverliezen worden verwaarloosd)

Bij het schip in het kanaal werd er gesproken over de bewegingen van het schip t.o.v. het water. Men kan de zaak ook omdraaien en over stilstaand water spreken waardoorheen het schip vaart.

Wanneer we dan weer tot het kanaal terugkeren, dan zien we dat er door het voortbewegen van het schip vóór het schip opstuwning ontstaat naast het schip daling van de waterspiegel en achter het schip toestromen van het water dat vóór verdrongen wordt naar de ruimte die achter ontstaat (zie fig. K-II)

De retourstroom effectueert in feite deze noodzakelijke waterverplaatsing.

Conform de energievergelijking van Bernoulli moet de totale beschikbare hoeveelheid energie gelijk blijven. Deze wordt uitgedrukt door de energie hoogte H . Er moet dus wel een waterspiegelverlaging gaan optreden (verlaging van de hydrostatische waterdruk) om ruimte te maken voor de kinetische energie die in de retourstroom aanwezig is. Het is nu wel duidelijk dat die waterspiegeldaling ook in dwarsrichting zijn effect heeft in de vorm van een daling die groter is naarmate de stroomsnelheid in de retourstroom groter is.

Deze is uiteraard bij het schip het grootst. Hierdoor ontstaat dus ook in dwarsrichting een verhang waardoor in feite de "schotelvorm" wordt veroorzaakt, waarin het schip zich in het laagste punt bevindt.

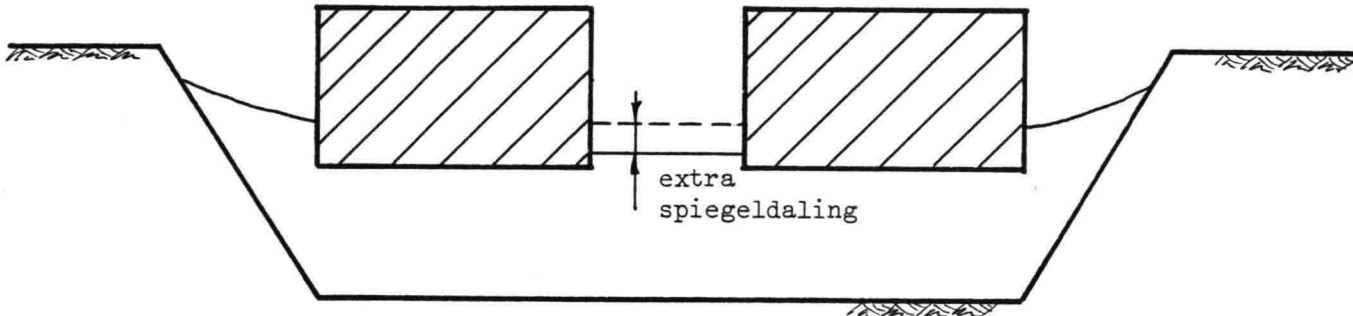
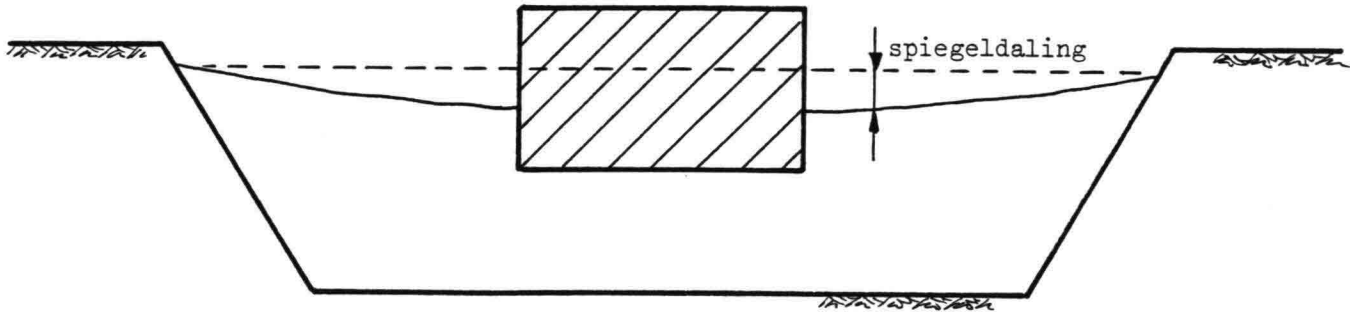
De omgrenzingen van het beschikbare water spelen een grote rol.

Naarmate het profiel nauwer wordt, dus minder diep en minder breed worden de stroomsnelheden in de retourstroom steeds groter bij een zelfde snelheid van het schip, en gaat het al gauw onevenredig veel energie kosten het schip nog met enige snelheid voort te bewegen. In het uiterste geval past het schip zuigend in het profiel en is retourstroom niet meer mogelijk zodat, als in een cylinder, al het water voor het schip wordt uitgeduwd, en achter het schip een leeg kanaal over zou blijven.

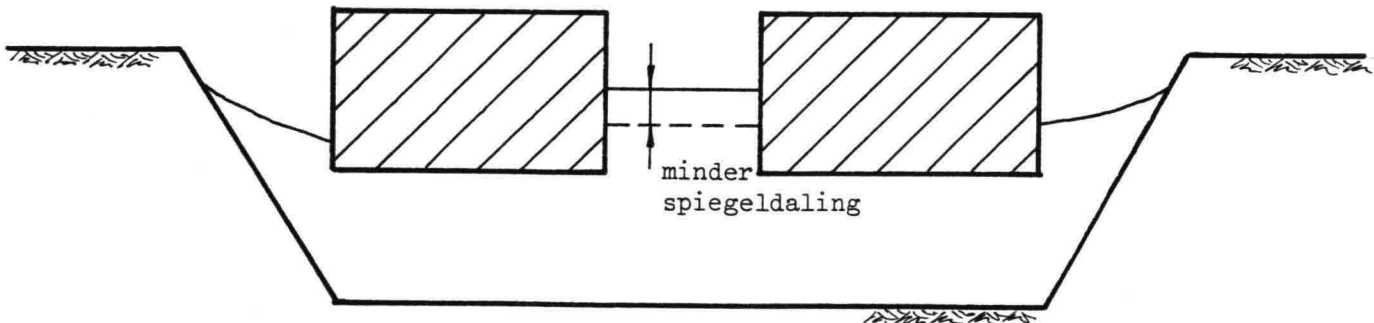
Met een situatie als hier geschetst krijgt men met name te maken bij het bepalen van de minimale afmetingen van sluiskolken en doorvaartopeningen bij bruggen. Op deze problematiek zal nog nader worden teruggekomen.

Wanneer het kanaal wel redelijk van afmetingen is, is het duidelijk dat er niettemin toch wel een aantal problemen gaan ontstaan. Wanneer bv. een schip een ander schip wil inhalen, dan zullen vanaf een bepaald moment de spiegeldalingen van beide schepen in elkaars invloedssfeer komen, wat betekent dat er een dubbele spiegeldaling ontstaat tussen de twee schepen in. Het water aan de van elkaar afliggende zijden staat dan dus hoger dan het water tussen de twee schepen. Dit veroorzaakt het verschijnsel dat ze naar elkaar toe worden gedrukt.

Bij het elkaar ontmoeten treedt het omgekeerde verschijnsel op. De schepen worden dan uit elkaar gedrukt (zie fig. **K-III**).



Inhalen twee schepen



Ontmoeting twee schepen

fig K-III

Het is dus wel duidelijk dat om de nodige roercorrecties te kunnen geven, omdat alleen met tegenroer deze verschijnselen gecompenseerd kunnen worden, er voldoende ruimte zowel tussen de schepen als tussen schip en de oever aanwezig moet zijn.

Hierover zijn veel berekeningen gemaakt en ook proeven gedaan in zowel het Waterloopkundig Laboratorium in Delft als in het Scheepsbouwkundig proefstation in Wageningen.

In feite is een en ander veel ingewikkelder omdat het schematische beeld nooit zo ideaal is. Er kunnen in een kanaal ook andere stromingen aanwezig zijn bv. watertransport naar een gemaal, lozen van een poldergemaal wat een dwarsstroming kan veroorzaken, plotselinge profielveranderingen door een zijhaven invaart, een verbreding bv. voor een loswal, een brugpijler etc.

Verder treedt er wrijving op bij stroming van het water over de bodem en langs de oevers.

Het probleem is dus veel ingewikkelder dan het schematisch beeld dat gevormd was van het simpele gegeven:

er vaart een schip door een kanaal, hoe gedraagt het water en het schip zich?

Men moet wel schematiseren om het probleem doorzichtig en oplosbaar te maken. Om dat te doen willen we altijd eerst begrijpen wat er aan de hand is.

Afhankelijk van uw verdere keuze van studierichting komt u nog veel uitvoeriger met deze problemen in contact en zult u dan gaan inzien welke problemen nog meer uw vraagstuk compliceren.

Wel is duidelijk dat we hier al sterk interdisciplinair bezig zijn, want die interactie van water op schip en schip op water is een probleem van de civiel ingenieur, maar ook van de scheepsbouwer en degene die het schip uiteindelijk moet varen.

Daarnaast spelen dan alle problemen om beleidsinstanties, milieugroepen bewoners van vestigingen langs het kanaal, om maar een paar te noemen, te overtuigen dat het kanaal nu net zo breed moet zijn, en dat u niet met de helft kunt volstaan, en dat die bocht nu niet haaks kan zijn, maar een grote straal moet hebben, en dat daar het kanaal profiel nog breder moet zijn (bocht verbreding om het varen van het schip, of een duwkonvooi daar ook nog mogelijk te maken.)

Wanneer wij dan ons schip zien varen als het ware in de door hemzelf gemaakte kuil (onder in de "schotel") dan is het wel duidelijk dat op een onbepaald grote wateroppervlakte met een relatief grote diepte geen invloed van enige begrenzing zal optreden in tegenstelling tot het al genoemde zuiger/cylinder effect bij een zeer nauw profiel. Het "eindeloze" voorbeeld slaat dan op een meer of de zee. Nu zal eerst nog verder worden ingegaan op een duidelijk begrensde geval.

We schematiseren weer heel erg en beschouwen een rechthoekige doorsnede en een constante stromingssnelheid v of wat hetzelfde is, een snelheid van het schip t.o.v. het kanaal v . Het is duidelijk dat ter plaatste waar zich die retourstroom afwikkelt naast en onder het schip een kleiner profiel beschikbaar is en daar zich dus een grotere snelheid moet ontwikkelen die met $v + u$ zal worden aangeduid. Zie fig. **K-IV**.

v = snelheid van het schip t.o.v. de oever

u = retourstroom snelheid t.o.v. de oever

Dat betekent bij toepassen van de continuïteitsvoorwaarde dat, wanneer F het kanaal profiel en f het profiel van het schip is:

$$v \cdot F = (v + u) (F - f - B \cdot h_s) \quad (1)$$

$F = B \cdot h$ = opp. dwarsprofiel kanaal (m^2)

$f = b \cdot d$ = oppervlak van het onderwatergedeelte t.p.v. het grootste spant van het schip (m^2)

h_s = spiegeldaling (m)

h = waterdiepte kanaal (m)

B = waterspiegel breedte (m)

b = breedte schip (m)

d = diepgang schip (m)

(zie ook fig. **K-IV**).

We vatten dan het kanaal op als een één dimensionale stroming met een constante energie hoogte.

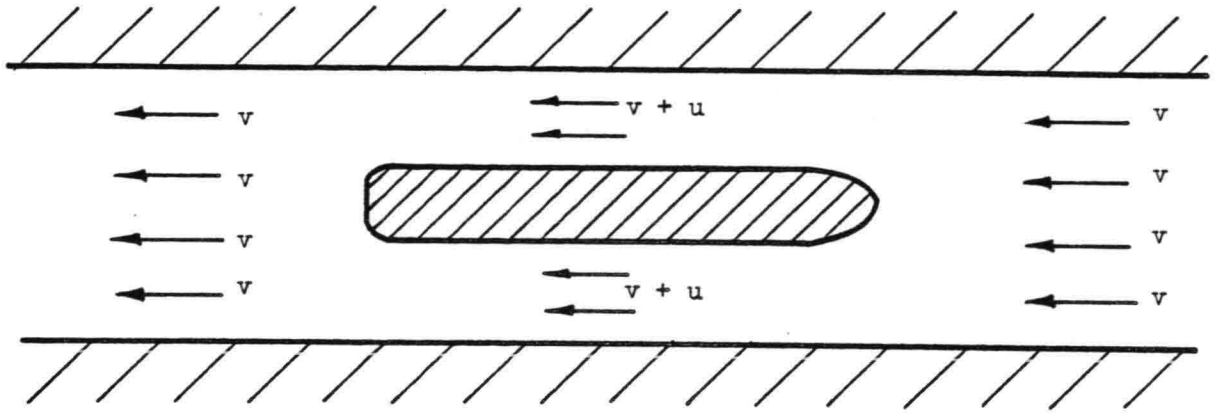
Hiervoor geldt dan de energie wet van Bernoulli (zie fig. **K-V**).

$$\frac{P}{\rho g} + h + \frac{v^2}{2g} = \frac{P}{\rho g} + (h - h_s) + \frac{(v + u)^2}{2g} \quad (2)$$

dus:

$$h_s = \frac{(v + u)^2}{2g} - \frac{v^2}{2g}$$

Uit de vergelijkingen (1) en (2) kan men de twee onbekenden h_s en u oplossen.



$$v \cdot F = (v + u) \cdot (F - f - B \cdot h_s) \quad (1)$$

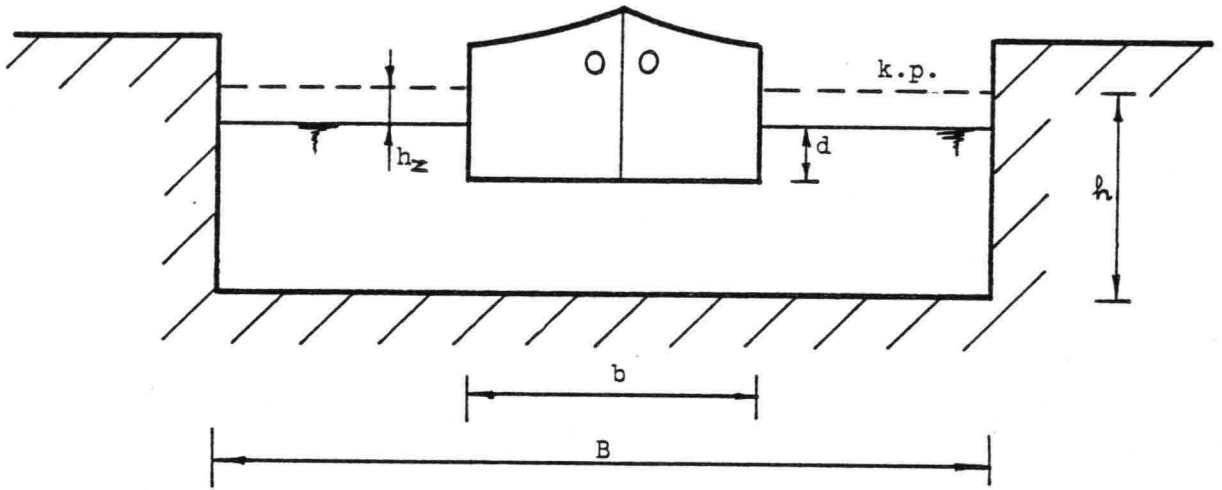


fig. K-IV

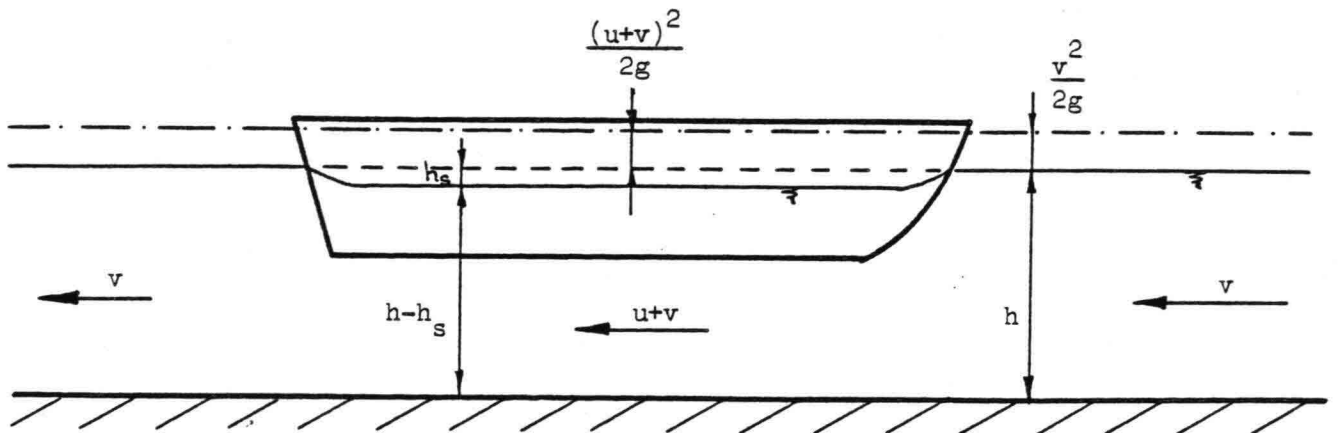


fig. K-V

Infig. K-VI staat het verband aangegeven tussen de verschillende factoren die in feite van invloed zijn op het geschematiseerde kanaal, ditmaal uitgedrukt in dimensieloze grootheden:

$$\frac{h_s}{h}, \quad \frac{f}{F} \cdot \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad \text{en} \quad \frac{u}{\sqrt{gh}}$$

Uit de grafiek kan voor elke verhouding van schip tot kanaal, waterdiepte en stroomsnelheid al in het kanaal aanwezig, de bijbehorende spiegeldaling en retourstroom snelheid worden afgelezen.

Met dergelijke grafieken wordt in de praktijk voor het ontwerpen van kanalen veel gewerkt. Dergelijke betrekkelijk ingewikkelde afhankelijkheden kunnen ook goed in computerprogramma's worden verwerkt, wanneer het om omvangrijke berekeningen gaat.

In de grafiek staat met een lijn aangegeven de zgn. grenssnelheid v_{gr}

Bij deze snelheid gaat stromend water over in zgn. schietend water.

Stromend water loopt rustig, schietend water erg onrustig.

Wanneer men in een rechthoekig kanaal met oppervlak $b \times h$ water laat stromen met constante snelheid \bar{v} dan is de hoeveelheid doorstromend water $Q = \bar{v} \cdot A$.

en de energie hoogte H is constant.

Wanneer nu de waterdiepte afneemt terwijl toch dezelfde hoeveelheid water moet worden afgevoerd dan zal de snelheid toe moeten nemen. De hoeveelheid energie E verandert dan ook. E is samengesteld uit potentiële en kinetische energie. Het verloop is in fig. K-VII aangegeven t.o.v. de beschikbare waterdiepte.

Er blijkt een minimale hoeveelheid energie te zijn waarbij de verdeling in kinetische en potentiële energie zich verdeelt in een verhouding 1 : 2. De diepte waarbij dit optreedt wordt de grensdiepte en de snelheid die daarbij optreedt de grenssnelheid genoemd.

Deze grenssnelheid blijkt voor een varend schip ook een kritische waarde te zijn. Hij zal nl. nooit sneller kunnen varen. De energie echter om een schip voort te sturen met die grenssnelheid blijkt enorm hoog te liggen. De economische vaarsnelheid blijft daar dan ook 80 à 90% onder.

In de praktijk blijkt de werkelijke retourstroom snelheid en spiegeldaling nog aanzienlijk groter te zijn dan uit ons geïdealiseerd model blijkt. Voor een motorschip is deze wanneer hij rond de grenssnelheid vaart ca. 1,4 maal de berekende spiegeldaling volgens het geïdealiseerde model.

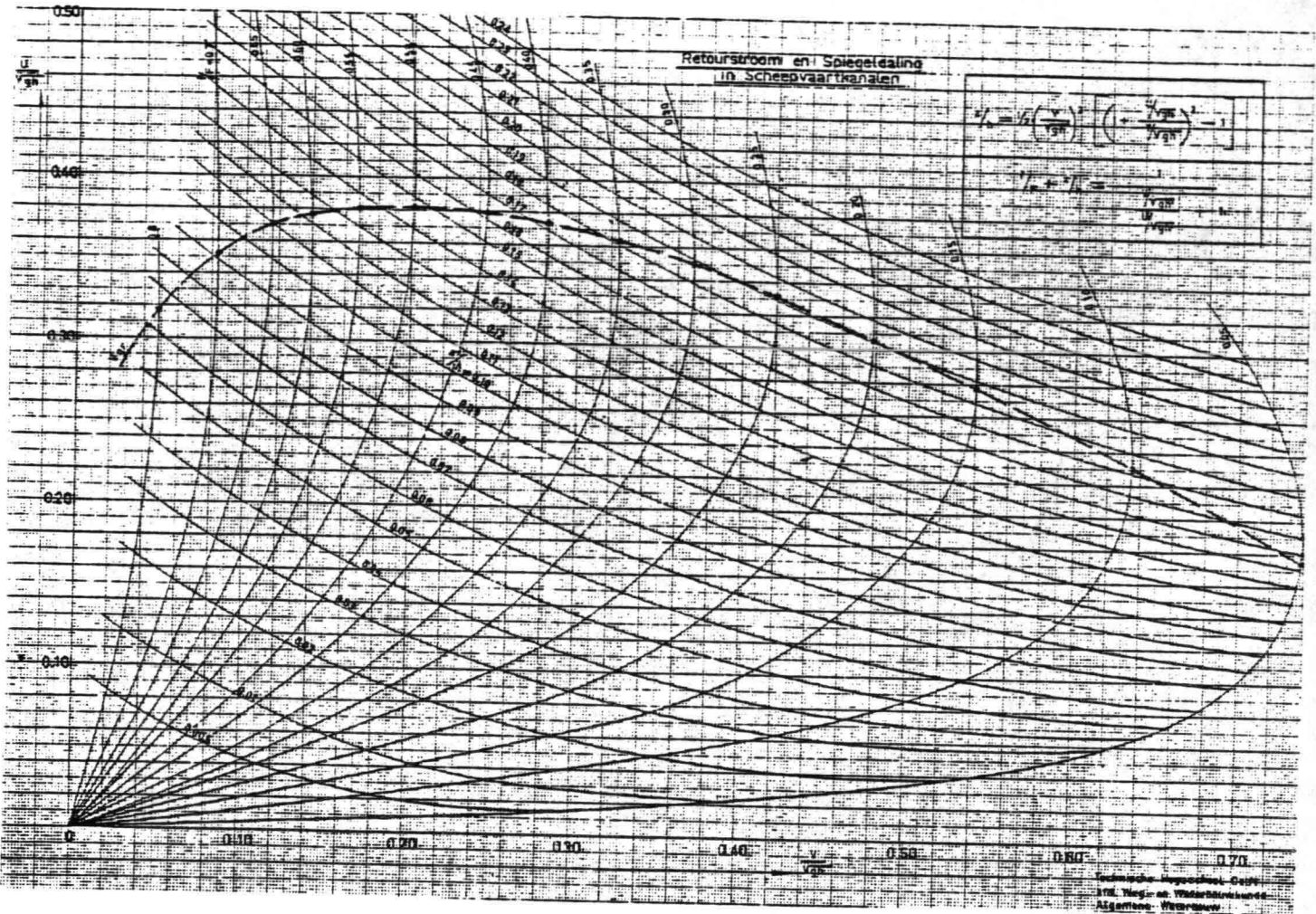


fig. K -VI

$$\frac{h_s}{h} = \frac{1}{2} \left(\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \right)^2 \left[\left(1 + \frac{u}{\sqrt{g \cdot h}} \right) \frac{1}{\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}} - 1 \right]$$

$$\frac{f}{F} + \frac{h_s}{h} = \frac{1}{\frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} + 1} \cdot \frac{u}{\sqrt{g \cdot h}}$$

$$v \text{ grens} = \sqrt{g \cdot h}$$

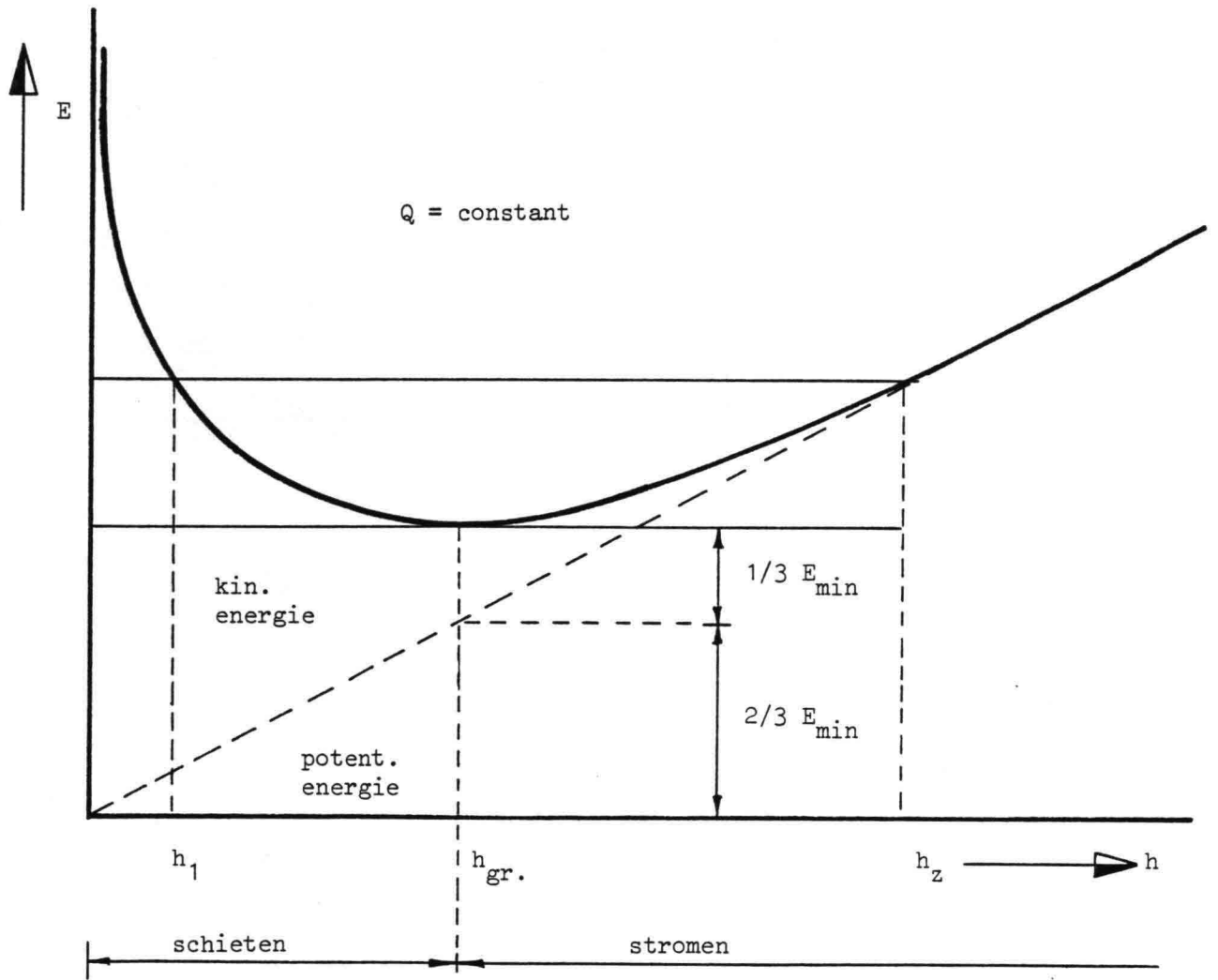


fig. K-VII

Beneden de grenssnelheid kunnen werkelijke spiegel daling b.v. wel tot een 3 x zo grote waarde oplopen als de hiervoor berekende spiegeldaling. Bovenstaande berekening is dan ook hooguit een eerste benadering.

Reeds eerder is iets gezegd over het feit dat een schip dat vaart in feite het water wat opstuwt. Deze opstuwning veroorzaakt een zgn. translatie golf. De waterdeeltjes welke niet samendrukbaar zijn, geven de opstuwning aan elkaar door. Een dergelijke translatie golf loopt met een bepaalde te berekenen snelheid vóór het schip uit en is in de praktijk op een rustig kanaal wel enige km's vooruit waar te nemen.

Er is hierbij verschil tussen een van de kant af gesleept schip en een schip dat zich zelf met een schroef voortbeweegt.

Het gesleepte schip veroorzaakt een voor het schip uitlopende translatie golf. Achter het schip loopt een negatieve translatie golf. De snelheden zij respectievelijk :

$$\begin{cases} C1 = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{z_1}{h} \right) & (\text{vóór het schip uit}) \\ C2 = \sqrt{gh} \left(1 - \frac{3}{4} \cdot \frac{z_2}{h} \right) & (\text{achter het schip}) \end{cases}$$

Bij een motorschip wordt de voortstuwning verzorgd door de schroef van het schip. Wanneer met eenparige snelheid over het kanaal wordt gevaren bestaat er evenwicht tussen de toegevoerde energie en de energie verliezen. Deze moet gelijk zijn aan h_2 omdat de resulterende krachten op het rechthoekige gedeelte water ABCD (zie fig. K-VIII) gelijk moet zijn. Toch blijkt in de praktijk nog een heel kleine translatie golf voor het schip uit te lopen, waarvan de energie overeenkomt met de energie die achter het schip in de vorm van golven nog aanwezig is.

Voor sleepvaart en duwvaart zijn er soortgelijke betogen op te bouwen. Naast retourstroom en spiegeldaling worden er ook nog boeggolven opgewekt. Bij onbeperkte diepte en breedte wordt er een golfsysteem uitgezonden dat van het schip uit divergeert. De zgn. boeg- en hekgolven, en dwarsgolven. Wanneer de diepte en breedte beperkt worden, gaan deze golven anders lopen en de oevers raken.

Dit geheel van effecten dat in het water ontstaat bepaalt in feite wat er in het kanaal aan waterstandsverschillen ontstaat.

Resumerend zijn dat dus:

- translatie golven positief en negatief
- spiegel daling (retourstroom)
- boeggolven
- hekgolven
- dwarsgolven

En dat allemaal alleen door het varende schip veroorzaakt (zie fig. K-IX).

Dat deze golven aanzienlijke krachten kunnen uitoefenen hebben we in het college dijken gezien.

Zowel stroomsnelheid als wisselende waterstand kunnen de oevers aantasten. Dat geldt dan voor rechtuit varende schepen, maar als de schroefstroom niet achterwaarts gericht is maar naar de oevers toe dan treden er nog eens extra stromingsdrukken op in het zeer woelige water.

Het ontwerpen van efficiënte oververdedigingen voor elke situatie is dan ook een heel apart vak waar u echter best uit zult kunnen komen met de kennis van een aantal principes die daarbij een hoofdrol spelen. Voornamelijk de vakken hydraulica en verkeerswaterbouwkunde zullen u deze materie veel uitvoeriger bijbrengen als ik nu in dit korte bestek van de inleiding tot de civiele techniek kan doen.

PROBLEMATIEK ROND DE VERBETERING VAN EEN VAARWEG
Het ontwerp voor het Kanaal om de West

Nederland beschikt over betrekkelijk veel oppervlaktewater (7% van het totale oppervlak). Ongeveer 15% van dit oppervlaktewater is aan te merken als vaarweg.

Van oudsher zijn vaarwegen voor ons land van groot belang. Duidelijk teruggedrongen is het belang van onze vaarwegen ten gevolge van de opkomst van het gemotoriseerde "vervoer te land" (per as en per trein) en later het vervoer door de lucht.

Vrij recent is het besef dat er met name vanwege de drukte op onze autowegen een betere benutting van de (over)capaciteit die het vaarwegenstelsel als transportmedium ons biedt zou moeten worden nagestreefd. In dit kader wordt hierop niet nader ingegegaan.

Indeling van vaarwegen

Op verschillende manieren zijn vaarwegen in te delen, bijvoorbeeld:

- a. in open vaarwegen en niet-open vaarwegen
- b. indeling naar de geschiktheid om er met een bepaald type schip doorheen te varen.

ad a

Open vaarwegen:

vaarwegen met onbeperkte doorvaarthoogte (dit zijn alle vaarwegen, waarover geen of alleen beweegbare bruggen liggen (met uitzondering van hefbruggen) terwijl evenmin andere hoogtebeperkende obstakels aanwezig zijn;

Gesloten vaarwegen:

vaarwegen met beperkte doorvaarthoogte (dit zijn alle vaarwegen, waarover vaste of hefbruggen, dan wel andere kunstwerken liggen of waarvoor andere hoogtebeperkingen gelden.

ad b

De indeling van vaarwegen naar de geschiktheid om er met een bepaald type schip doorheen te varen, is gebaseerd op kenmerkende grootheden van schepen die bij het varen van belang zijn:

de diepgang van het schip, de breedte en de lengte van het schip.

Een Europese commissie heeft zich gebogen over een dergelijke indeling en deze luidt enigszins uitgebreid als volgt:

KW-2

Vaarweg klasse	Standaardschepen, waarop klasse-indeling is gebaseerd				
	Type	Lengte (variërend) (m)	Breedte (m)	Diepgang (m)	Laadvermogen in ton- nen ca 80-300 in tonnen
0					
I	Spits	38,50	5,00	2,20	300
II	Kempenaar	50	6,60	2,50	600
III	Dortmund-Eems- kanaal schip	67	8,20	2,50	1000
IV	Rijn-Herne kanaalschip (europaschip)	80	9,50	2,50	1350
V	Groot Rijnschip	95	11,50	2,70	2000
VI	Duwstel	185	22,80	3,30	9000

Vaarroutes tussen Amsterdam en Rotterdam

Aan de hand van deze indeling is nu iets te zeggen over de verschillende vaarroutes welke bestaan tussen het Amsterdams en Rotterdams havengebied. Behalve de vaarroute buitengaats zijn er 4 vaarroutes over binnenwateren aan te wijzen:

1. route via de Lek en A'dam Rijnkanaal
2. Schinkel-Gouwe route
3. Amstel-Gouwe route
4. Randstad route

De klasse-indeling van onderdelen van de verschillende vaarroutes is in fig. KW-I aangegeven.

De route via het A'dam-Rijnkanaal is de langste (+ 105 km) maar ook de belangrijkste.

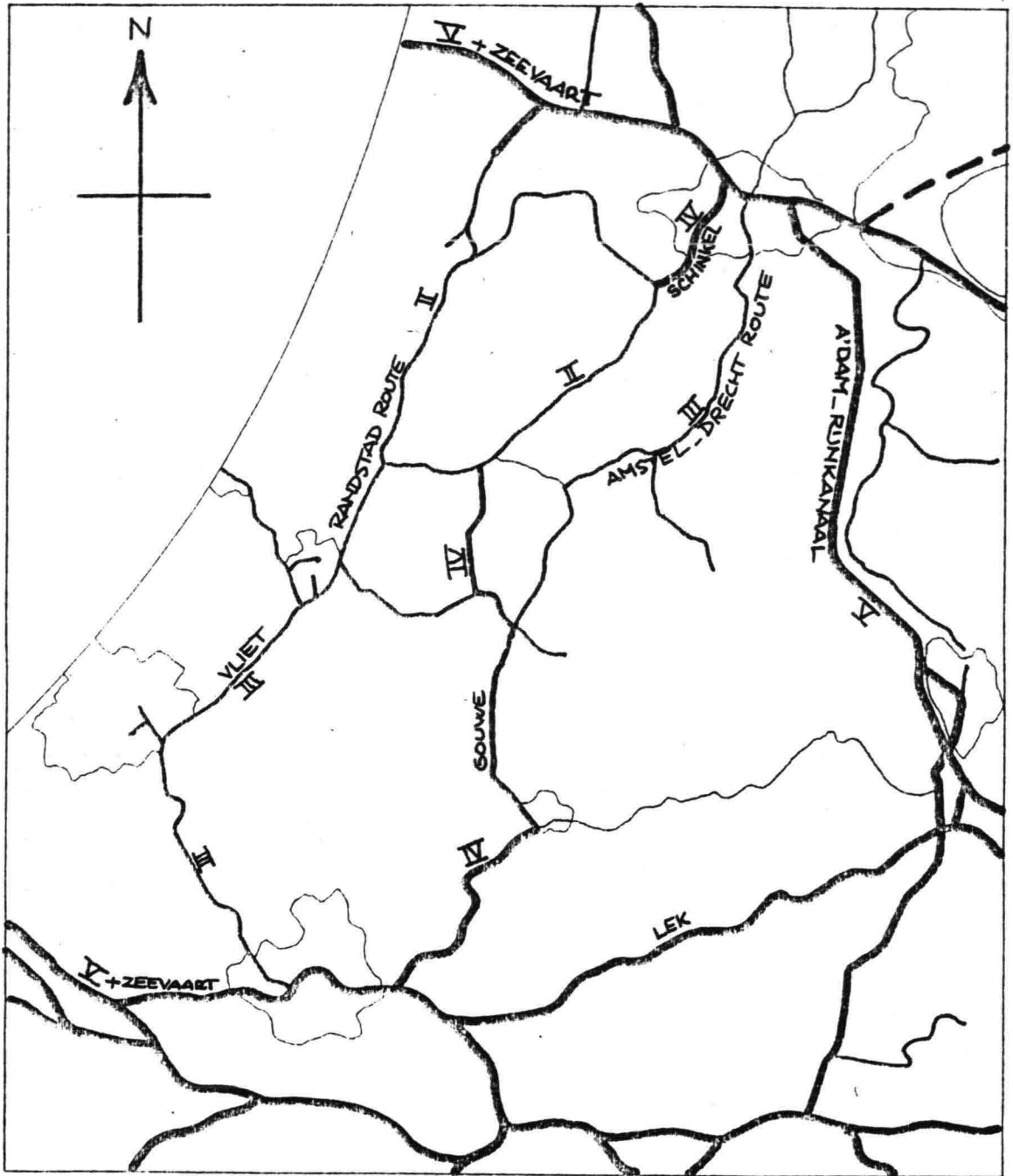
Uit onderzoek is gebleken dat veel scheepvaart met de relatie R'dams havengebied - A'dams havengebied van deze omweg gebruik maakt.

Bekend is dat het A'dam-Rijnkanaal een druk bevaren route is waarop de laatste decennia de ontwikkeling van een nieuwe techniek van goederentransport (duwvaart) te zien is.

Deze duwvaart heeft zich zo stormachtig ontwikkeld dat verbreding en aanpassing van oeververdediging van dat A'dam-Rijnkanaal moest geschieden.

Een en ander heeft tot gevolg dat deze route een "snelweg" onder de waterwegen is geworden waar de "kleinere" schepen, schepen tot + 1350 ton, zich minder "op hun gemak" zijn gaan voelen.

KW-3



KW-I

KW-4

Mede in het kader van het beter benutten van de overcapaciteit die andere vaarroutes bezitten is het verstandig om de mogelijkheden van een andere route kritisch te beschouwen.

Een van de 3 andere routes beschikt voor een groot gedeelte van zijn traject over een vaarwegklasse IV. Vandaar dat er wordt ingegaan op deze Schinkel-Gouwe vaarwegroute.

Deze Schinkel-Gouwe route is een open vaarroute en volgens de concept-Vaarwegennota 1976 is deze vaarweg in de toekomst als open vaarweg te handhaven.

Grootste knelpunten in deze route zijn:

- a. de ringvaart van de Haarlemmermeer vaarwegklasse II
- b. de vele kruisingen met landverkeerswegen in Amsterdam (Kostverlorenvaart)
- c. lage spoorbrug te Gouda

Nu zijn deze knelpuntgedeelten niet in beheer bij eenzelfde instantie.

Illustratief voor de diversiteit aangaande beheer van sommige vaarwegen is het voorbeeld van beheer van deze Schinkel-Gouwe route:

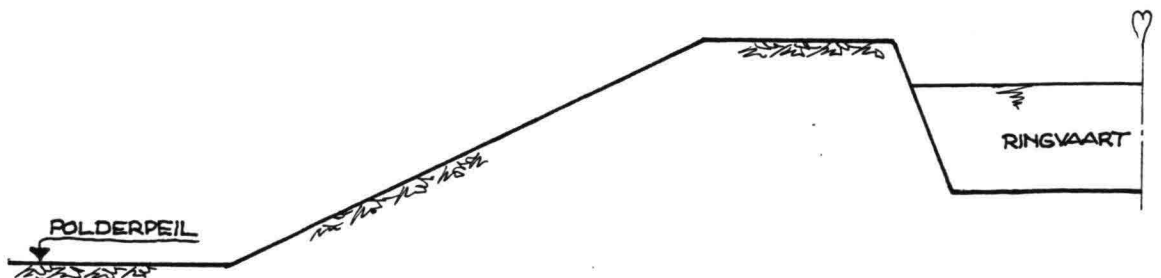
Zie fig. KW-II.

Overleg met andere beherende instanties is dus zeker in dit geval noodzakelijk mede gezien het feit dat opheffing van een knelpunt op één plaats niet het volle rendament kan opleveren als niet elders eveneens knelpunten worden opgeheven.

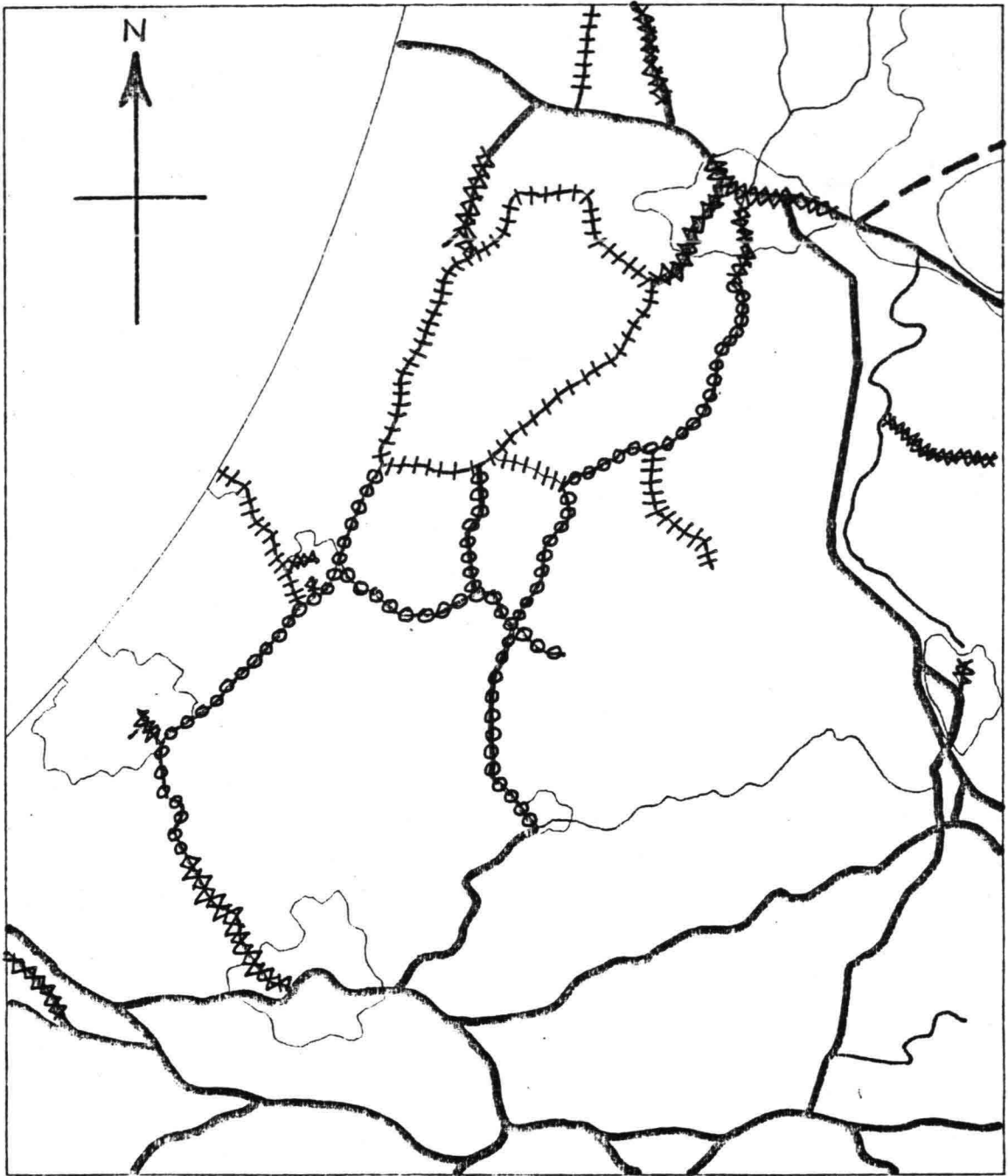
Knelpunt 1

Wat betreft de Ringvaart van de Haarlemmermeer:

eenvoudigweg uitbaggeren van de Ringvaart kan niet omdat de huidige bodem van waterafsluitend materiaal is, wat je moeilijk kan wegbaggeren zonder het gevaar te lopen dat je van deze waterafsluitende laag onvoldoende dikte overhoudt, en de kwel naar de polder ontoelaatbaar wordt. Dit houdt verband met de hoge ligging van de Ringvaart t.o.v. de Haarlemmermeerpolder:



KW-5



Beheer van vaarwegen

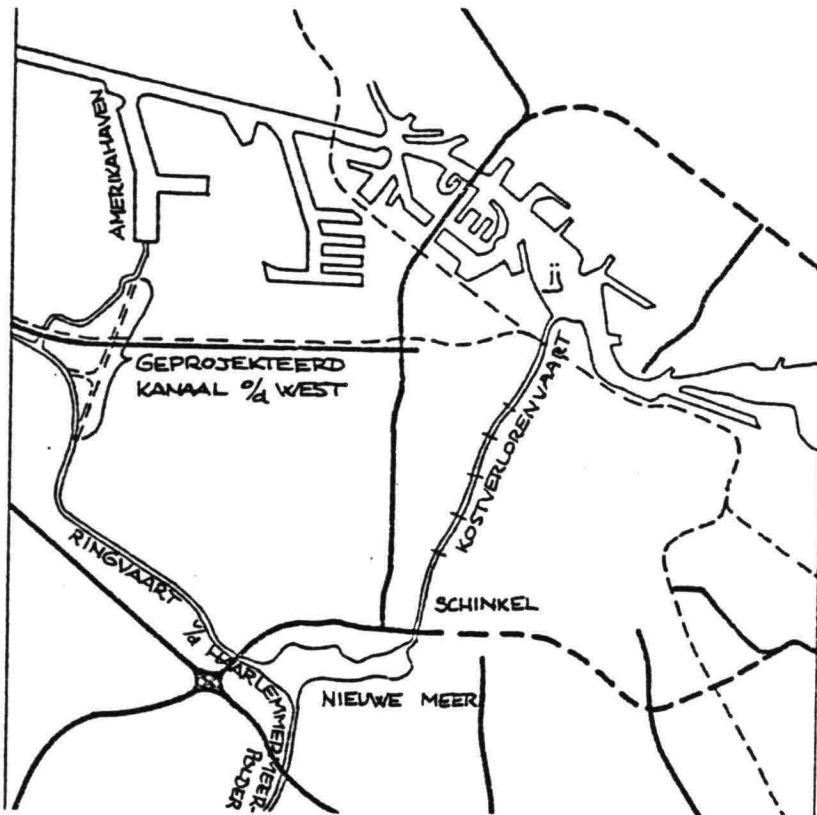
- Rijk
- Provincie
- ×××× Gemeente
- + + + + Andere instantie

fig KW II

Knelpunt 2:

De meeste aandacht willen we schenken aan het andere knelpunt in de route: de problematiek rond de hinder die land- en waterverkeer wederzijds van elkaar ondervinden.

Allereerst geven we een schets van de situatie



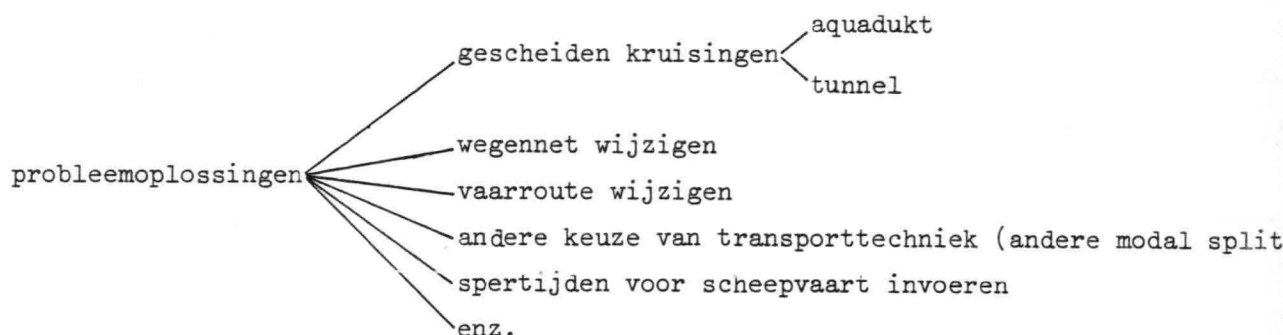
De Schinkel-Gouwe route loopt vanaf de Ringvaart van de Haarlemmermeer via het Nieuwe Meer en de Schinkel naar de Kostverlorenvaart die uitloopt in het afgesloten IJ.

Het zijn de vele brugkruisingen van de Kostverlorenvaart die verkeerscongesties veroorzaken. In totaal 11 beweegbare bruggen bevinden zich op een traject van ± 7 km.

Reeds in de jaren twintig werd er veelvuldig gebruik gemaakt van de Kostverlorenvaart; de brugopeningen ten behoeve van de scheepvaart resulteerde reeds toen in lange rijen wachtend landverkeer.

De beherende instantie (gem. A'dam) vroeg zich dan ook af wat hieraan gedaan zou kunnen worden om verkeersopstoppingen tegen te gaan, zeker als in zo'n wachtende rij een ziekenauto of een brandweerauto staat die op weg is om naar bijvoorbeeld verkeersslachtoffers te gaan die ergens aan de overzijde van het water dringend hulp behoeven.

Als civiel ingenieur zul je in eerste instantie alle mogelijke oplossingen op een rij dienen te zetten:



Ieders belang afwegende zul je dan een (al dan niet tijdelijke) oplossing moeten aandragen die voor de beherende instantie financieel ook haalbaar moet zijn.

In dit geval heeft de gemeente Amsterdam zich vanaf 1930 gebogen over bovengenoemde problematiek;

Vanwege het financiële aspekt van een definitieve oplossing is vroeger al gekozen voor een tijdelijke oplossing: het invoeren van spertijden voor de scheepvaart. Dit houdt in dat op bepaalde tijden (0.600 uur - 0.900 uur en 16.00 uur - 20.00 uur) de bruggen niet geopend zullen worden t.b.v. de scheepvaart. Er was al sprake van een openingsregeling voor de spoorbrug in de route die vanwege de frequentie van passerende treinen nog slechts 's nachts voor de scheepvaart werd geopend.

Dat de scheepvaart niet erg gelukkig was met invoering van spertijden spreekt voor zich. Vandaar dat vertegenwoordigers van deze belangengroep reeds lang de aanleg van een nieuwe verbinding tussen de Ringvaart van de Haarlemmermeerpolder en het noordzeekanaal bepleiten: aanleg Kanaal om de West.

De gemeente wil dit verzoek wel honoreren, doch de consequenties van een dergelijke doorsteek zijn groot:

de aanleg van een verbindingskanaal van de Ringvaart bij Halfweg en het worteleinde van de inmiddels aangelegde Amerikahaven, betekent weliswaar slechts een aanleg van nog geen 2 km kanaal, er zitten kruisingen met belangrijke infrastructuur in:

- Rijksweg 5 Amsterdam-Haarlem
- Spoorlijn Amsterdam-Haarlem
- enige secundaire wegen.
- Vanwege het verschil in boezempeil van het Noordzeekanaalgebied en het gebied Rijnland dient er tevens een sluis te worden gebouwd. (niveauverschil boezempelen 0,40 m)

Duidelijk dus dat "bijkomende (kunst)werken" een aanzienlijke investering met zich mee brengen.

Al is de kanaalaanleg een kwestie van 2 dijklichamen opwerpen en er water tussen laten stromen (zo laag ligt het polderpeil t.o.v. het boezempeil) de vraagpunten aangaande de bijdragen van verschillende overheidsinstanties aan de bekostiging van kanaalaanleg + bijkomende werken is waarschijnlijk een belangrijke oorzaak van het zich voortslepen van de problematiek.

Enige jaartallen waaruit blijkt dat een plan soms wel decennia in de ijskast kan blijven liggen:

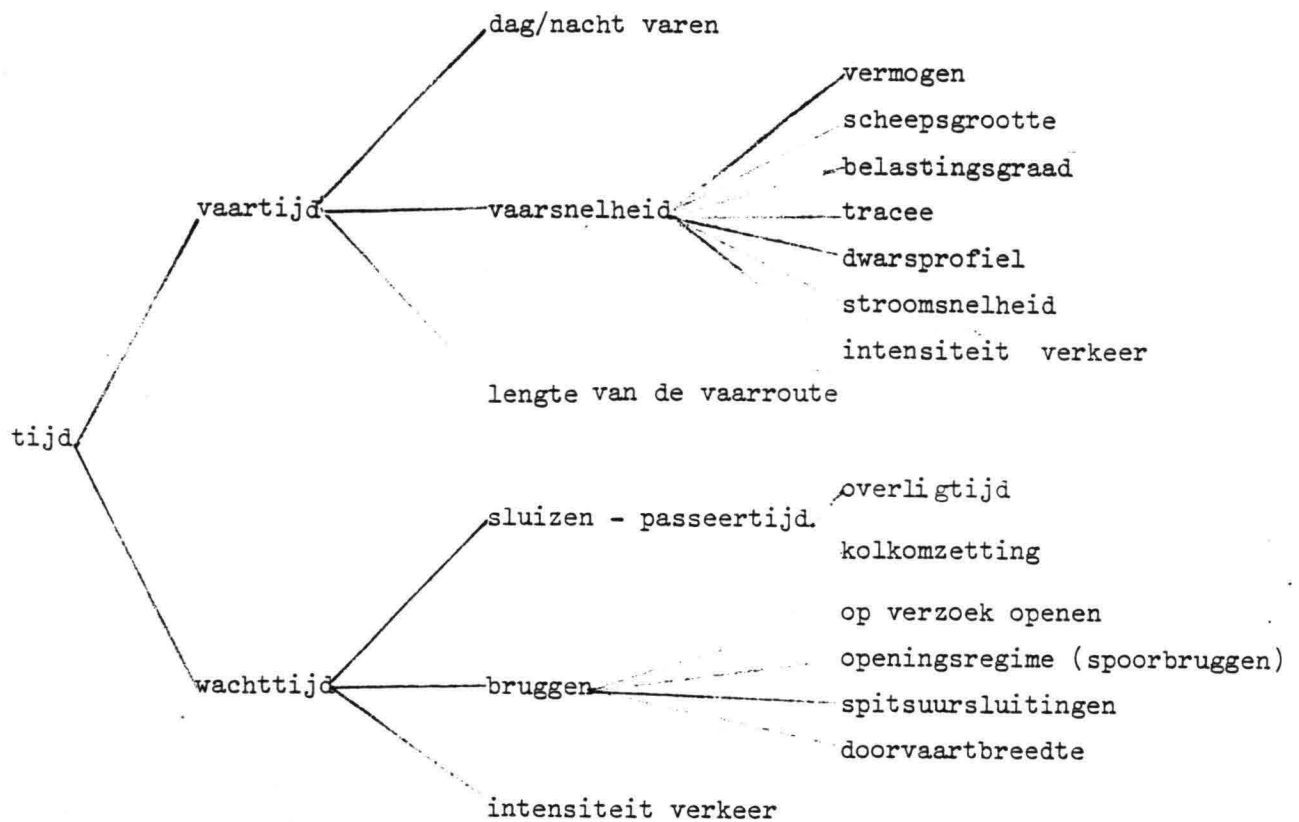
- 1930 : Instelling "cie. van onderzoek naar de hinder welke het water- en landverkeer wederzijds van elkaar ondervinden".
 Bevinding: "op den duur" een k.o.d.w. nodig
 Intussen: goedkope "oplossingen" verzinnen
- 1934 :)
35 : } Bovengenoemde bevinding verwerkt in het "algemeen uitbreidingsplan 1938"
38 :)
- 1957 : Instelling "cie - 1957" met dezelfde opdracht als in 1930
- 1965 : Bevinding dezelfde als in 1930 in zoverre aanleg "K.o.d.W." dringend gewenst
- 1968 : Gemeenteraad gaat akkoord met
 a) alvast een deel van het K.o.d.W. als afwateringskanaal t.b.v. Rijnland aan te leggen
 b) ter bescherming van de woonwijken a'dam west (osdorp/sloten) vooruitlopend op een verbreding van de ringvaart een oostelijke dijk van het K.o.d.W. aan te leggen.
- 1972 : Bestemmingsplan "haven- en recreatiegebied a'dam-west" ligt ter inzage met daarop nog altijd het tracee voor het K.o.d.W. aangegeven.
- 1976 : Vaarwegennota van Westerterp spreekt van mogelijkheden tot aanleg van 3 kanalen in Nederland in jaren '80. K.o.d.W. is er één van.
- Nov. 1977 :
 Heden is zelfs het bestemmingsplan van 1972 nog niet bekrachtigd door de gemeenteraad van Amsterdam!

Vervolgens lijkt het nuttig een indruk te geven hoe een afstudeerder aan de T.H. zijn werk aanpakt als hij een dergelijk onderwerp heeft uitgekozen.

Blijf met beide benen op de grond Behoudt "Algemeen-nut-optiek" !

- Gegevens verzamelen
 - Dienst Publieke Werken Amsterdam
 - Provincie/polder/waterschap
 - Scheepvaartvereniging
 - ----
- Analyseren
 - +
 - Mixen met
 - eigen onderzoeken
 - visueel
 - telefoon
 - brief (enquette)
 - ----
 - eigen ideeën over stimulering gebruik vaarweg (zijn er produkten die geknipt zouden zijn voor transport te water
 - tijdsduur
 - milieuvriendelijk
 - kostenbesparend
 - energiebesparend
 - ----
- Rentabiliteitsberekening maken
 - idee vormen over alle kosten
- Conclusies m.b.t. uitkomsten vooronderzoek en rentabiliteitsberekening
- Technische uitwerking een of meer onderdelen
 - dimensionering dwarsprofiel kanaal
 - " sluis
 - ----

Het onderdeel analyseren zou met als referentiekader de verkeerswaterbouwkunde ten behoeve van de beroepsvaart ("broodvaart") kunnen luiden:



Een ander belangrijk onderdeel voor het analyseren zijn de kostenfactoren:

- kosten van verbetering
- wat levert het de reder op
- wat is het algemeen economisch rendement

Als voorbeeld van de uitwerking van een enkel aspect uit deze schematisering wordt ingegaan op een eenvoudig model ter bepaling van tijdwinsten bij gebruik van het Kanaal om de West t.o.v. doorvaart van de Kostverlorenvaart.

In dit model kan een gemiddelde vaartijd voor beide routes worden bepaald waarbij rekening wordt gehouden met bestaande openingsregimes voor de spoorbrug en spertijden voor de bruggen met landverkeer. Hierdoor wordt de gemiddelde vaartijd door de Kost verlorenvaart enorm naar beneden gehaald.

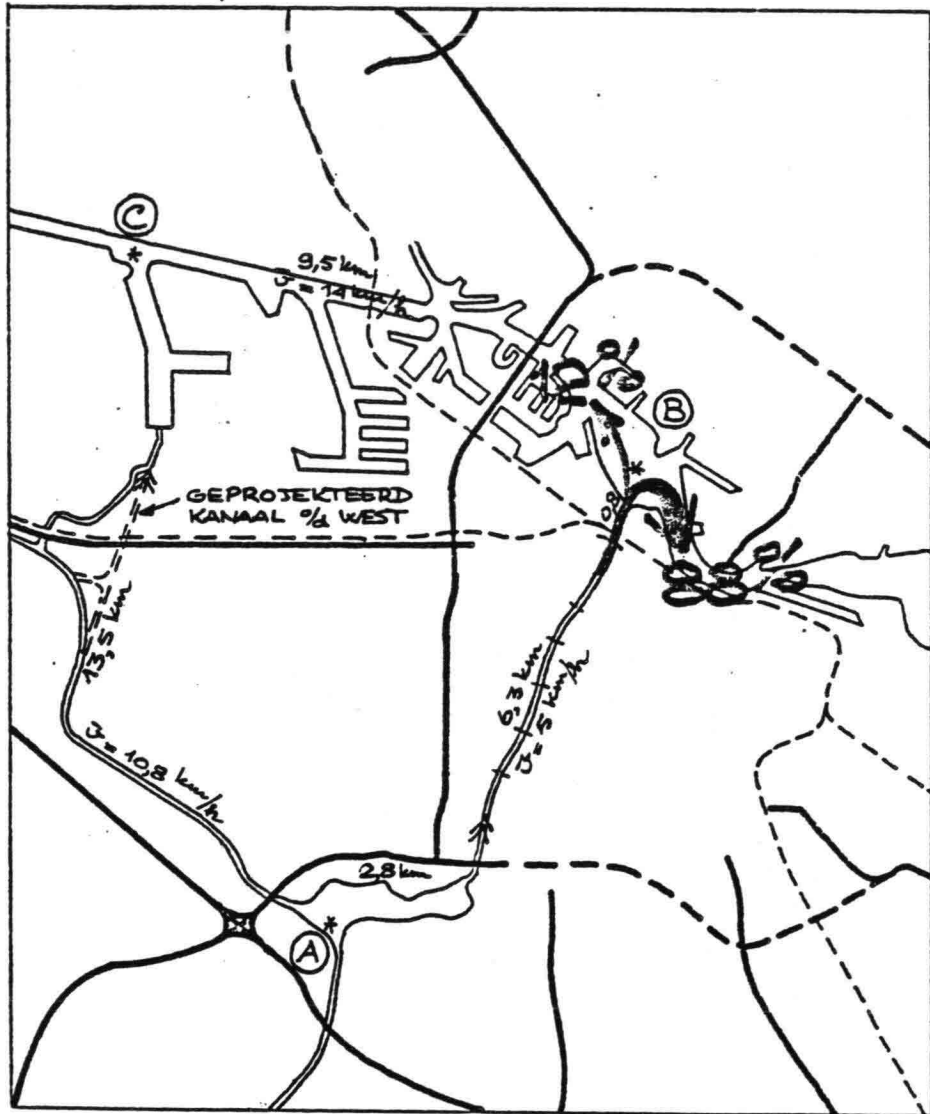
*

Overligtijd: de extra wachttijd die optreedt als het bij de sluis gearriveerde schip niet meekan met de eerst volgende schutting omdat de kolk reeds vol is.

KW-11

GESCHEMATISEERD OVERZICHT VAN DE TIJDWINST
VAN EEN SCHIP VAREND VAN ZUID NAAR NOORD :

gemiddelde VAARTIJD	A-B	2 uur 38 min	
"	"	A-C	1 uur 15 min
"	"	B-C	41 min.



TIJDWINST A-C via K.o.d.W. : $2u.38 + .41 - (1u.15) = 2u.04 \text{ min.}$

A-B via K.o.d.W. : $2u.38 - (.41 + 1u.15) = .42 \text{ min.}$

gemiddelde TIJDWINST : $\frac{12 * [2u.04] + 88 * [.42]}{100} = .52 \text{ min.}$

KW-12

Met betrekking tot de rentabiliteitsberekening wordt gezegd dat de student zich een idee moet kunnen vormen van het totale kostenbeeld van een dergelijke ingreep; dat hij zich moet afvragen wat de kosten en wat de baten zullen zijn.

Een globaal overzicht hiervan is hieronder weergegeven.

KOSTEN

- GRONDVERWERVING
- ONTGRAVEN GROND
- OEVERVERDEDIGINGEN
- DIJKAANLEG
- KUNSTWERKEN
- BIJKOMENDE WERKEN
 - polders
 - waterschappen
 - PTT
 - energiebedrijf
 -
- KOSTEN DIENSTEN
1/4 GEM. AMSTERDAM
- EXPLOITATIE - ONDERHOUDS-
KOSTEN
- PRO MEMORIE *)

BATEN

- BESPARINGEN EXPLOITATIE
"OUDE" ROUTE
- BESPARINGEN EXPLOITATIE
OPENBAAR VERVOER
- TIJDWINSTEN :
 - zakelijk verkeer
 - woon-, werkverkeer
 - sociaal-, winkel-,
recreatieverkeer
- SCHEEPVAART
 - bestaande vaart
 - overkomende vaart
 - nieuwe vaart
- PRO MEMORIE *)

P.M. - hieronder vallen "zaken" welke niet of slecht op geld
waardeerbaar zijn, zgn. imponderabilia (bijv. milieuaspecten);
*) deze zaken zijn wel van invloed op de besluitvorming.

Wat betreft de eigen onderzoekingen: tracht achter bestaande vervoersrelaties te komen welke misschien een andere transporttechniek gebruiken (per as) of welke misschien van een andere route gebruik maken, terwijl aannemelijk te maken is dat men de nieuwe route zal gaan benutten. (zoals het in het college genoemde voorbeeld van de vervoersrelatie tussen Hoogovens en het EUROPOORT gebied)

In het jaartallen lijstje van bladzijde KW-8, was opgenomen een ontwerp bestemmingsplan "Haven en recreatiegebied Amsterdam-West".

Planning van gemeentelijk grondgebied dient sinds de in werking-treding van de Wet op de Ruimtelijke Ordening (1965) te geschieden door middel van een zgn. bestemmingsplan.

Een bestemmingsplan is een plan dat wordt gemaakt door een gemeente die daarmee de bestemming van grond t.b.v. verkeersvoorziening, woningbouw, industrieterrein, recreatie doeleinden e.d., bindend vastlegt.

Zo heeft Amsterdam dat "plan West" in 1972 in concept gepubliceerd.

Er zijn echter nogal wat bezwaren geuit tegen diverse daarin voorgenomen veranderingen van grondbestemmingen. Hoe slepend zo'n procedure kan zijn is geïllustreerd aan dit plan dat nog altijd niet rechtsgeldig is geworden! Het bestemmingsplan Amsterdam-West voorziet in de verlegging van het tracee van de Rijksweg 5 en de spoorlijn wat meer noordwaarts. Hier stuit men dan weer op een probleem van "afstemming van werken", want als je dat kanaal wilt aanleggen dan moet je de kruisingen met genoemde infrastructuur ten noorden van de huidige tracees maken en ervan uit kunnen gaan dat alle werken die voortvloeien uit het verleggen van die tracees klaar zijn als die kruisingen klaar zijn opdat het kanaal de bestaande wegen kan doorsnijden!

Op deze wijze is getracht een indruk te geven van wat er al zo aan te pas komt als je aan het overwegen bent om ergens een kanaal aan te leggen.

Met betrekking tot het al of niet doen aanleggen van het Kanaal om de West is gezegd dat er een aantal argumenten voor aanleg zijn achterhaald.

- a. de congesties zijn in omvang teruggelopen nu het landverkeer komende uit de richting Rotterdam de nieuwe rijksweg tot over de Schinkel kan berijden, in tegenstelling tot vroeger toen al het binnenkomende verkeer via het Hoofddorpplein ergens die Kostverlorenvaart moest kruisen.

- b. inmiddels zijn in het westelijk deel van Amsterdam een brandweerkazerne en meerdere ziekenhuizen verrezen zodat er aanzienlijk minder brandweer-auto's en ambulances voor een open brug behoeven te wachten.

Daarnaast zijn er argumenten die hetzij nieuw zijn, hetzij nog immer gelden.

- c. aangezien er voorlopig geen zicht is op een oost-west-metrolijn zijn mensen die woonachtig zijn in West aangewezen op openbaar vervoer richting centrum; nu heeft Amsterdam een aantal jaren geleden de sneltramlijn 1 geopend die over vrije banen wordt geleid.
Het rendement van een dergelijke sneltram wordt bij het wachten voor een open brug onaanvaardbaar gereduceerd.
- d. naast het openbaar vervoer tussen een belangrijk deel van het stedelijk woongebied, gelegen ten westen van de Kostverlorenvaart, en het centrum, moet ook al het overige verkeer gebruik maken van de eerder genoemde beweegbare bruggen. Ook dit verkeer ondervindt dus aanzienlijke hinder, en tijdverlies wat uiteraard ook in geld zou zijn uit te drukken.
- e. uit staten van herkomst en bestemming van het scheepvaartverkeer is gebleken dat het merendeel van de schepen een bestemming voorbij Amsterdam heeft zodat van doorgaand verkeer sprake is; ten behoeve van het wegverkeer wordt er voor het doorgaand verkeer een ring- of randweg, aangelegd; waarom dus ten behoeve van het doorgaande scheepvaartverkeer niet een randvaarweg (Kanaal om de West) gemaakt?

SLUIZEN

In het kader van het projekt Kanaal om de West is tot nu toe besproken:

- waarom dat kanaal
- wat doet een schip in zo'n kanaal d.w.z. invloed op het water en omgekeerd.
- wat doet het water op zijn beurt weer aan de oevers.

Het kanaal om de West loopt zoals veel kanalen door een laag poldergebied, er is dan ook niet zo zeer sprake van het graven van het kanaal t.p.v. het nieuwe aan te leggen tracé gedeelte, dan wel van het aanleggen van 2 dijken om daar dan vervolgens water tussen toe te laten.

Zoals bekend is niet overal het boezempeil gelijk. De scheiding wordt dan gevormd door een waterkering in de vorm van een dijk of dam. Daar waar een waterweg een waterkering doorsnijdt moet een doorlaatopening gemaakt worden.(fig. **S-0**).

In het geval het alleen het doorlaten van water betreft kan dat een keersluis (fig. **S-I**), dam of schuif zijn, of eenemaal.

Wanneer het echter een scheepvaartweg betreft, dan is er een schutsluis nodig. (fig. **S-II**).

Een keersluis bestaat uit een z.g.n. enkele kering, d.w.z. dat er een schuif of een deur is, die gesloten kan zijn en dan de waterscheiding vormt, of in geopende stand, het water van het ene gebied naar het andere kan laten stromen.

Een schut sluis is voorzien van ten minste twee keringen en kan schepen van het ene waterpeil op het andere brengen.

In het algemeen treffen we schutsluizen daar aan:

overal waar scheepvaart.verkeer een peilverschil moet overwinnen.

Dat kan zijn van de zee met getij werking naar een havenbekken met vast water peil, of van een rivier met wisselende waterstanden naar een kanaal met een vast peil. Dat kan ook zijn van een kanaalgedeelte met een lager peil naar een kanaal gedeelte met een hoger peil.

Wanneer een scheepvaart.kanaal door geaccidenteerd terrein loopt zal deze al gauw onderverdeeld worden in kanaalpannen met een steeds hoger peil tot dat de waterscheiding overschreden is om dan weer af te dalen (fig. **S-III**).

Een voorbeeld is de Rijn-Main-Donau verbinding, waar eerst 324,5 m naar boven geschut moet worden in 46 kanaalpannen om vervolgens 116 m te dalen in 14 pannen. Dit geschiedt over een totale afstand van 764 km. (fig. **S-IV**). Daarbij is een kanaalpand het aaneengesloten gedeelte kanaal tussen twee opeenvolgende sluizen gelegen.

S-1

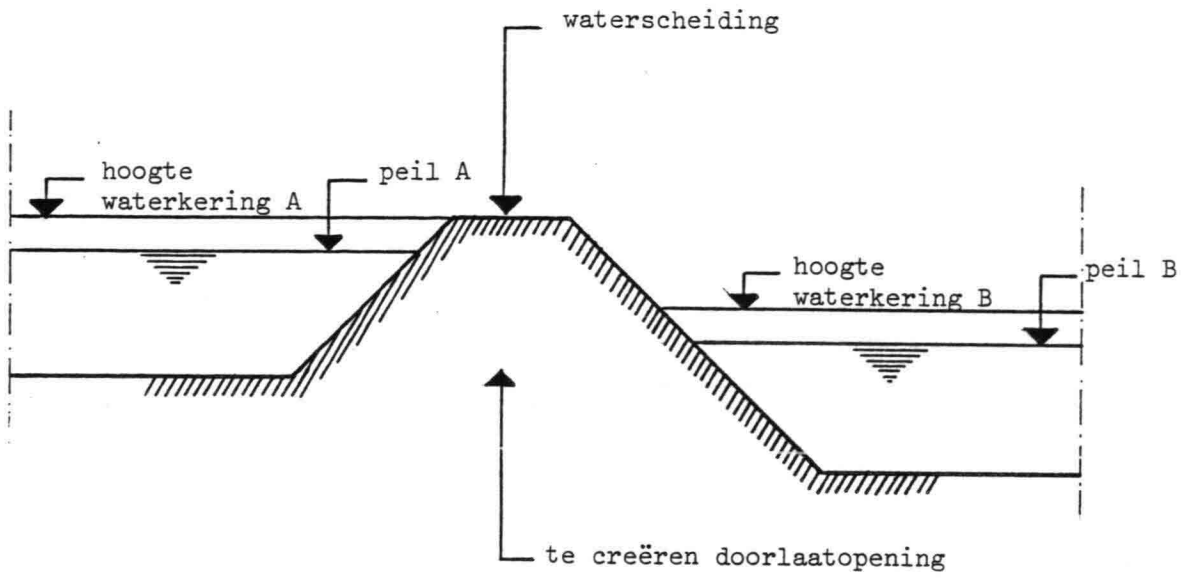
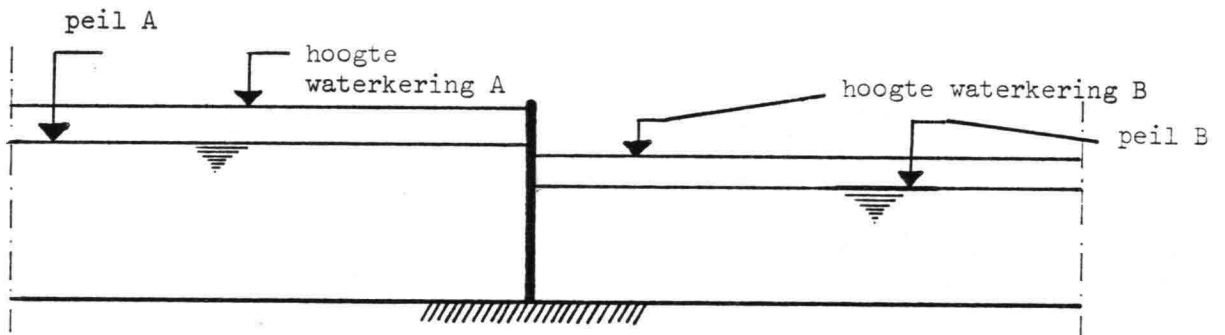
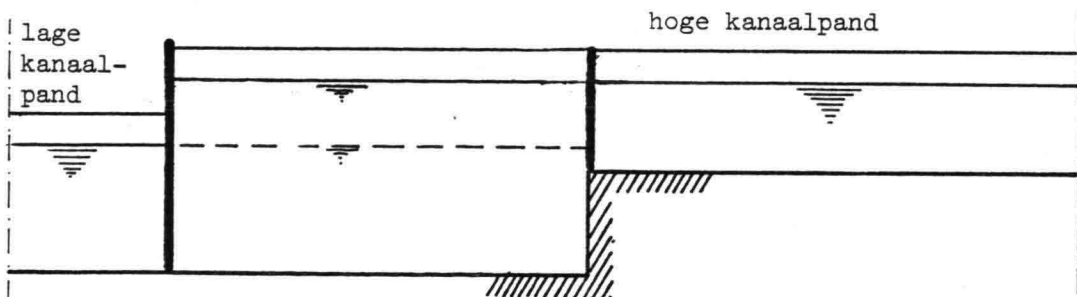


fig. S-0



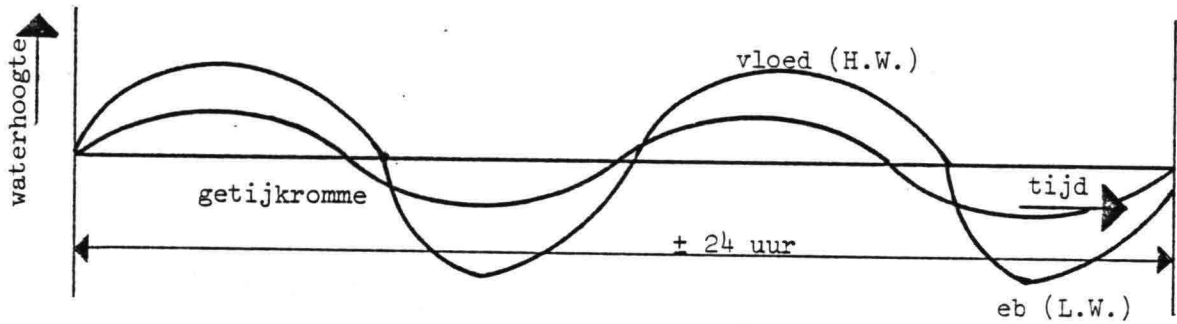
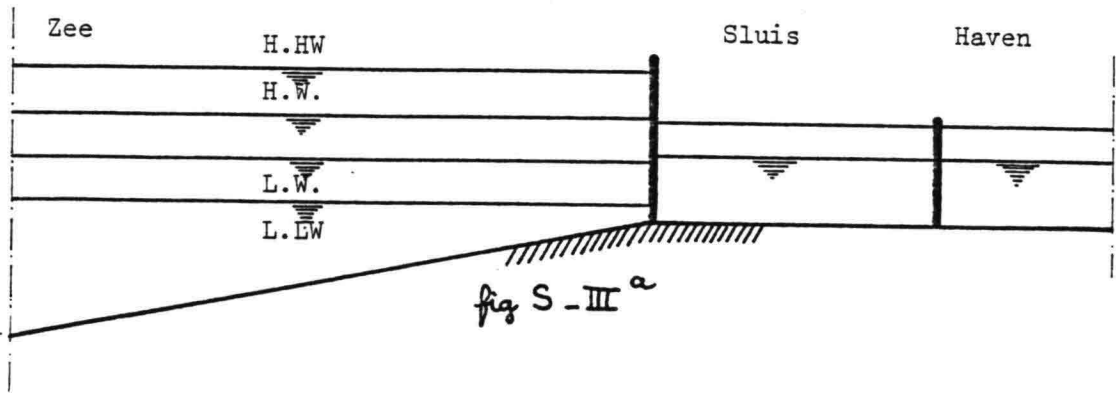
Keersluis

fig. S-I



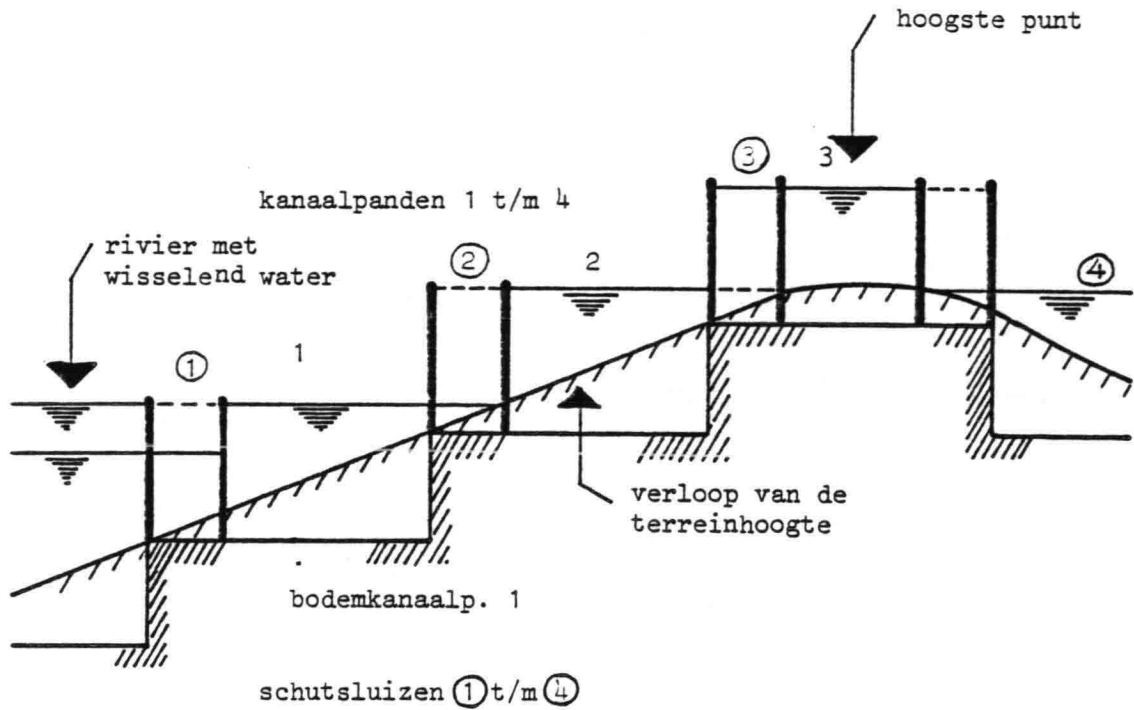
Schutsluis

fig. S-II

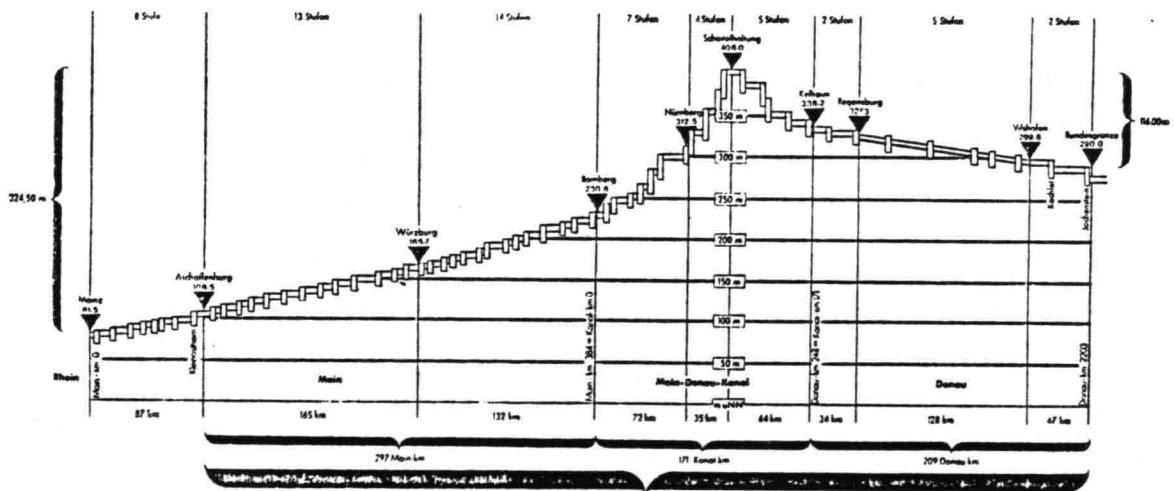


- H.HW = hoogst hoogwater
- H.W. = hoogwater
- L.W. = laagwater
- L.LW = laagst laagwater

fig S-III b



Kanaalpanen in hellend terrein *fig S-III^c*



Hoogte_ligging Rijn-Main-Donau scheepvaartweg

fig. S-IV

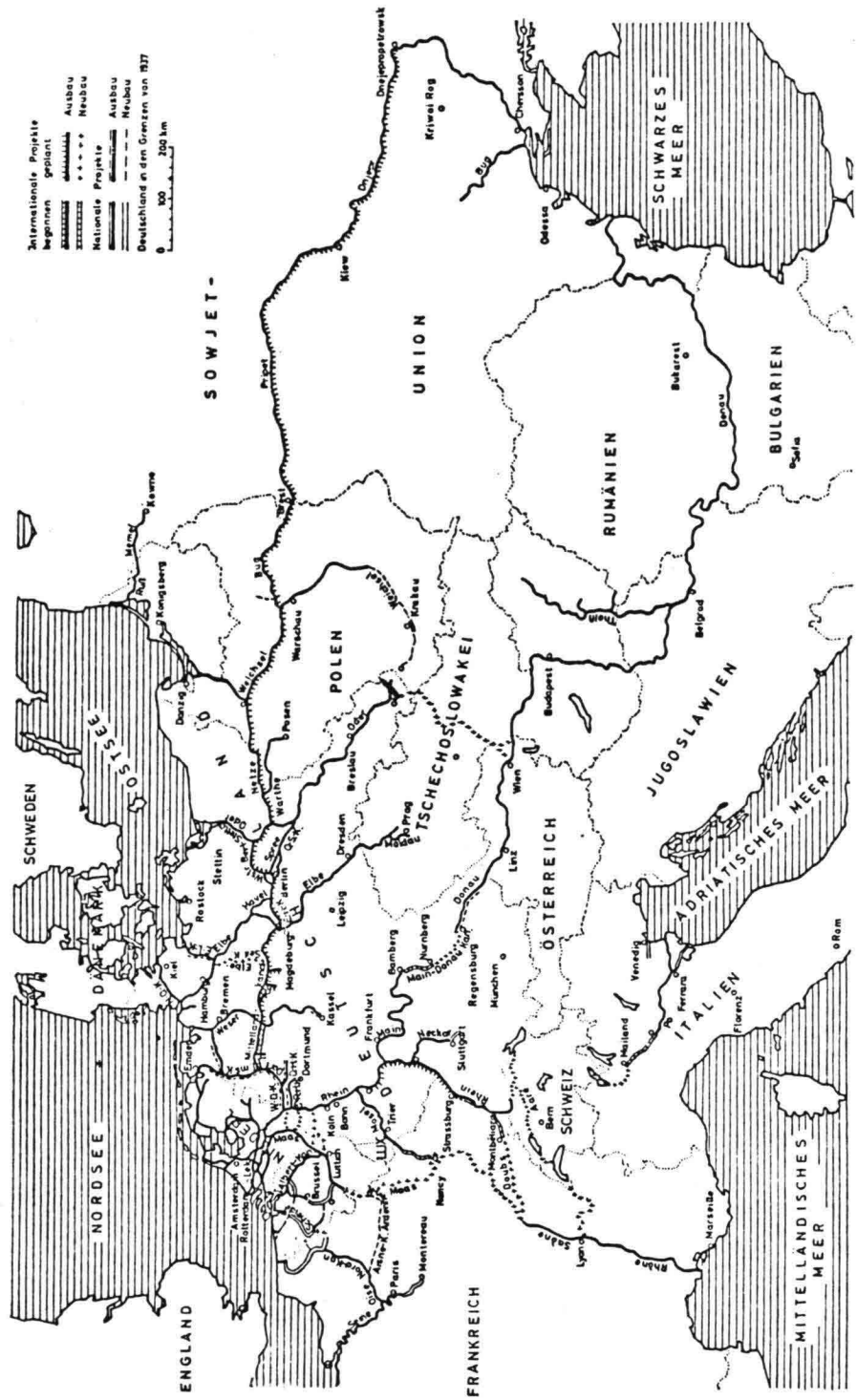


fig S-V

Een schutsluis bestaat eigenlijk uit een langwerpige bak, met aan weerszijden deuren; en is gelegen tussen de twee te scheiden stukken water in. Het is eigenlijk niets anders dan een heel kort stuk kanaalpand waarin door een kunstgreep naar keuze de waterstanden van beide aansluitende vaarwegen kunnen worden ingesteld.

Dit gebeurt dan door water uit het hoger gelegen pand in te laten door afsluitbare openingen in of bij de deur of water op deze wijze uit te laten stromen aan de andere zijde naar het lager gelegen pand.

De bak heet **schutkolk**, de beide uiteinden de sluishoofden (zie fig. **S-VI**) de in- en uitlaatopeningen kunnen in de vorm van schuiven in de deuren worden gemaakt, of door zgn. omloopriolen. (afsluitbare buisleidingen door de zij-muren of de bodem van de schutkolk).

Het schutten vindt dan plaats, door het waterpeil in de sluis op gelijke hoogte te brengen met het peil erbuiten en de deur te openen. Het schip kan er dan invaren. Vervolgens wordt de deur gesloten, het omloopriool of de schuif aan de andere zijde geopend zodat het waterpeil in de sluis gelijk kan komen met het peil in het andere kanaalpand.

De andere deur kan dan vervolgens geopend worden, waarna het schip de sluis kan verlaten. Fig. **S-VII**

Het vullen en ledigen van de schutkolk geeft overigens wel weer een aantal problemen.

Zo zal er b.v. een translatie golf ontstaan, door de druk van het water in of uit de schutkolk wil stromen. In de schutkolk zowel als op de kanaalpanden kunnen deze translatie golven ontstaan, positief bij toestroming en negatief bij onttrekking van water.

Om oponthoud voor de scheepvaart tot een minimum te beperken moet vullen en ledigen van de schutkolk snel gebeuren; naar mate dat echter sneller gebeurt is de translatie golf groter. De translatie golf kan de in de schutkolk liggende schepen met vrij grote kracht voor of achteruit duwen. Deze krachten moeten binnen veilige grenzen door de trossen waar ze mee afgemeerd liggen kunnen worden opgevangen. Dat stelt dus de beperking aan de vul of leeg snelheid van de schutkolk.

De translatie golf op het kanaal is in het algemeen weinig merkbaar, maar loopt wel het hele kanaalpand over en kaatst dan terug tegen b.v. de volgende sluisdeur. Dat terugkaatsings verschijnsel vindt overigens ook in de schutkolk plaats tegen de andere deur.

Het vullen van de schutkolk gaat eigenlijk in schijven, zie fig. **S-VIII**.

Het invaren van de sluis, vooral door bv. een schip of een duw-eenheid met grote waterverplaatsing levert ook problemen op.

Door de geringe oppervlakte die er voor de retourstroom overblijft wordt deze zeer sterk en treedt er dus een grote spiegeldaling op.

Bovendien ontstaat ook door het invaren een de sluis inlopende translatiegolf die terugkaatst op de andere sluisdeur, dan terugkomt en het schip terug kan duwen als het niet hard genoeg vaart.

Vaart het schip te hard dan kan het niet tijdig afremmen en vaart de andere sluisdeur aan, met alle gevolgen van dien, zie figuren S-IX en S-X.

Als afsluitingsmiddel van sluizen onderscheidt men voornamelijk:

- puntdeuren, veel toegepast, zowel in hout als in staal fig. S-XI-XII
- roldeuren in staal vooral bij grote zeesluizen fig. S-XIII
- hefdeuren grote binnenvaart sluizen. fig. S-XIV-XV.

Ze hebben allen hun specifieke vóór en nadelen.

a. Puntdeuren: (zeer veel toegepast, zowel in hout als in staal)

- | | | |
|-----------|---|---|
| Voordelen | { | <ol style="list-style-type: none"> 1. Onbeperkte doorvaarthoogte 2. Eenvoudige bediening (ev. met de hand) 3. Gering vermogen nodig om de deur te bewegen (hor. verplaatsing van het zwaartepunt) 4. Lichte constructie (oplegging over iets meer dan de halve kolkbreedte. Gering op te nemen buigend moment door gevormde spatkracht. 5. Kan snel geopend en gesloten worden. |
| Nadelen | { | <ol style="list-style-type: none"> 1. Keert slechts naar één zijde 2. Grote schadelijke kolk lengte (speciaal bij dubbele deuren, wanneer dus naar twee zijden gekeerd moet worden b.v. door eb en vloed standen. Het gedeelte van de schutkolk waar de deur doorheen moet draaien moet vrij van schepen blijven. 3. Niet te openen bij verval van enige betekenis. 4. Het onder draaipunt, de zgn. taats en taatskom zijn moeilijk te bereiken. 5. Waterdichtheid bij de aanslagen (daar waar de deuren tegen de oplegging steunen) meestal moeilijk te verwezenlijken. 6. Kwetsbaar voor aanvaring door schepen, ook bij geopende stand. 7. Bediening vanaf beide sluismuren (minimaal op 4 plaatsen). |

b. Enkele draaideur: (zelden toegepast, wel bij dokken)

Voor- en nadelen als bij puntdeur; nu is echter de deur veel zwaarder (geen spatkracht en grotere overspanning); bediening daarentegen slechts van één sluismuur; grotere schadelijke kolk lengte en betere waterdichtheid.

Geschikt voor kleinere sluisen, indien er geen wanverhouding ontstaat tussen de hoogte en de lengte van de deur. Dit laatste geldt ook voor puntdeuren.

c. Roldeuren: (bij vrijwel alle grote zeesluisen)

- Voordelen: {
1. Onbeperkte doorvaarthoogte
 2. Keert naar twee zijden
 3. Kleine schadelijke kolk lengte
 4. Slechts één eenvoudig bewegingsmechanisme per deur.
 5. Geopende deur niet kwetsbaar voor varende schepen (valt weg in deurkas in sluishoofd).
 6. Door zwaardere uitvoering beter bestand tegen evt. aanvaringen
 7. Eenvoudig te combineren met verkeersbrug

- Nadelen: {
1. Grotere breedte sluishoofden (deurkassen).
 2. Zware constructie i.v.m. grote overspanning.
 3. Rolwagens of rollen en rails onder water.
 4. Bij grotere deuren luchtkisten nodig (een gedeelte van het eigengewicht wordt dan door het opdrijvend vermogen gecompenseerd).
 5. Groot vermogen nodig voor het bewegen (wrijving).
 6. Lange bedieningstijd voor openen en sluiten (grote horizontale verplaatsing van de deur).

d. Hefdeuren: (veel toegepast)

- Voordelen: {
1. Keert naar twee zijden
 2. Kleine schadelijke kolk lengte
 3. Te openen bij waterdruk
 4. Te sluiten in stromend water
 5. Geen bewegende delen onder water
 6. Geopende deur niet kwetsbaar voor normale scheepvaart
 7. Het is eenvoudig om de kolk op peil te brengen. Door de deur al een kleine afstand te heffen. Hierdoor kunnen dure schuiven en of omloopriolen vermeden worden.

- Nadelen: {
1. Dure heftorens vereist
 2. Beperkte doorvaarthoogte
 3. Zware constructie i.v.m. grote overspanning
 4. Groot vermogen vereist i.v.m. grote verticale verplaatsing van het zwaartepunt
 5. Niet met verkeersbrug te combineren
 6. Bezwaarlijk bij ijsgang
 7. Afdruiwend water
 8. Esthetisch soms niet aanvaardbaar in het landschap

De sluis is een waterkering. Wanneer de sluis gebouwd is in deels goed doorlatende ondergrond dan treedt het zgn. verschijnsel van achter- en onderloopsheid op. Dit kan voorkomen worden door damwanden van voldoende breedte en lengte om het sluishoofd te zetten zodat de grondwaterstroming van het boven naar het beneden pand een veel langere weg zal moeten afleggen en hierdoor zo goed als nihil wordt. (zie figuren S-XVI en S-XVII) Uiteraard zal getracht worden indien afsluitende bodem lagen aanwezig zijn de zgn. kwel scheuren tot in die lagen te heien, zodat dan een volledige afdichting wordt verkregen voor de grondwaterstroom die anders onder en langs de sluis zou willen gaan lopen.

In gebieden waar grote hoogte verschillen moeten worden overwonnen en waar vaak ook kanaalpannen in ophoging liggen, d.w.z. het kanaalpeil staat boven het grondwater peil, moet heel zuinig met het water worden "huisgehouden". De kanaalbodem en zijkanten worden dan van een waterdichte bekleding voorzien en het schutwater wordt veelal niet naar het benedenpand afgevoerd maar opgeslagen in spaarbekkens naast de sluis. fig. S-XVIII

Vanuit de spaarbekkens wordt het water dan in de schutkolk gepompt wanneer de kolk wordt opgezet en omgekeerd er uit gelaten weer terug in de spaarbekkens, waarbij er een in principe gesloten waterhuishouding kan plaats vinden. Dergelijke spaarbekkens zijn bv. recent ook in Nederland toegepast bij de grote schutsluizen in het Volkerak, maar daar gaat het er dan om een permanente scheiding tussen zoet en zout water te kunnen houden.

Wanneer de te overwinnen hoogte verschillen tussen het ene en het andere kanaalpeil erg groot worden, wordt ook wel overgegaan tot het bouwen van een scheepslift waarbij de eigenlijke sluis kolk wordt vervangen door twee stalen bakken, deuren aan weerszijden. De twee kanaalpannen waartussen de scheepslift op en neer gaat zijn elk ook voorzien van deuren. fig. S-XIX-XX.

Het schip vaart er beneden in, wordt daarna opgehesen (of hydraulisch omhooggeperst) en vaart er boven weer uit.

De stalen bakken zijn, door middel van kabels, die over torens lopen met elkaar verbonden, en houden elkaar dus in evenwicht. De benodigde energie om de bakken te bewegen is toch nog vrij aanzienlijk door de grote massa die in beweging moet worden gebracht.

Een dergelijke oplossing, maar dan loopt de stalen bak met water en schip over een hellend vlak omhoog, in evenwicht gehouden via kabels door een tweede bak die tegelijk naar beneden loopt, is in België bij Roncquières uitgevoerd. fig. S-XXI

Bij het Rijn/Main/Donau Kanaal is overwogen een scheepslift te bouwen maar uiteindelijk is toch gekozen voor een hele serie sluizen met schutkolk afmeting van 12 m breed en 190 m lang. Er zijn sluizen bij, met een verval tussen de 17 en 25 m, waarbij dan ook spaarbekkens zijn toegepast in verband met de grote hoeveelheid benodigd schutwater.

Hier worden dan ook sluizen met spaarbekkens gemaakt.

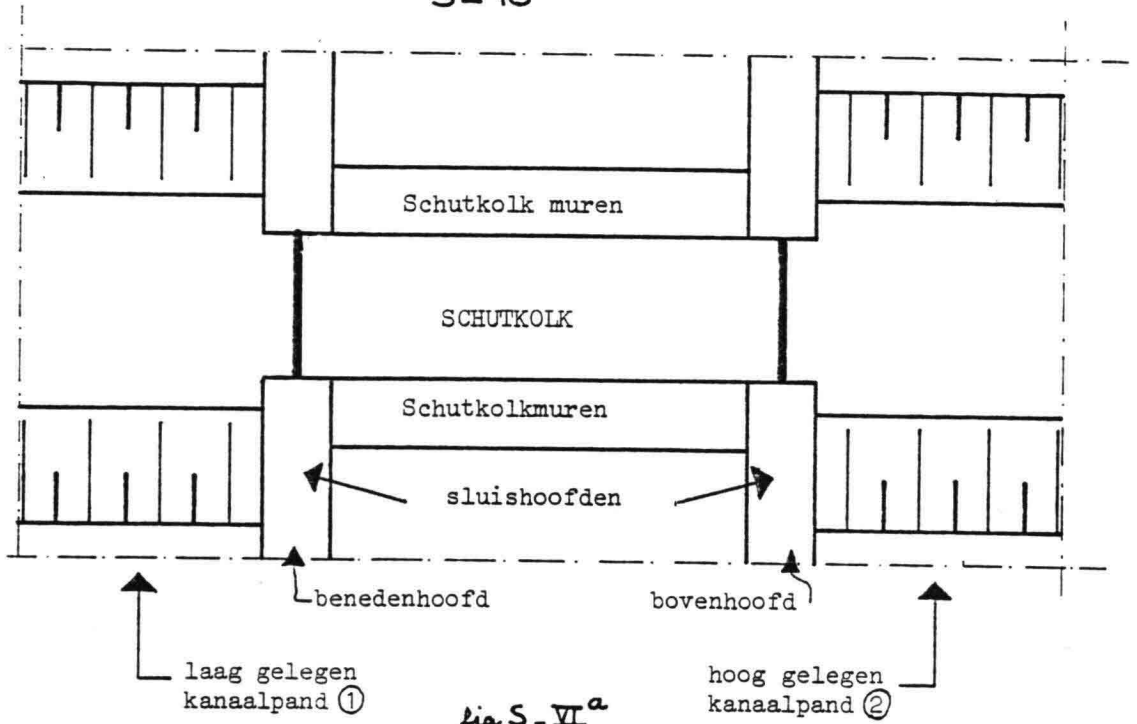
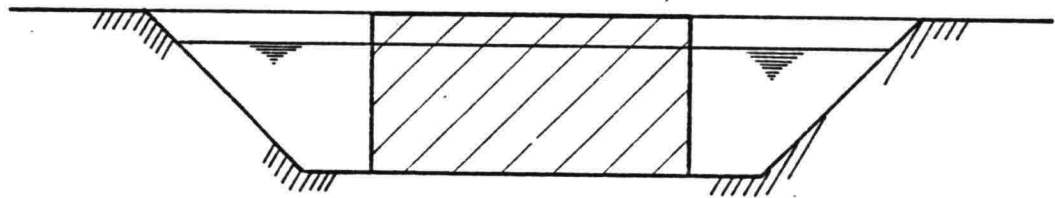


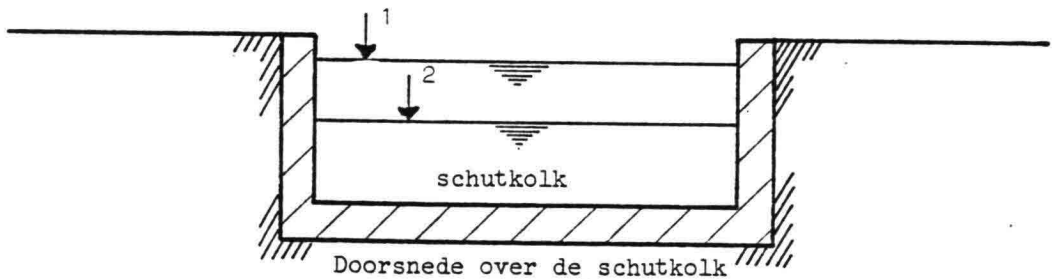
fig S-VI^a

sluis



vooraanzicht bovenhoofd

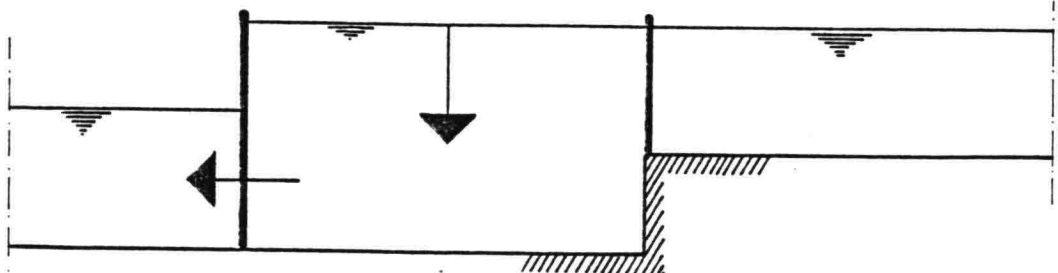
fig S-VI^b



Doorsnede over de schutkolk

fig S-VI^c

1. bovenwaterstand
2. benedenwaterstand



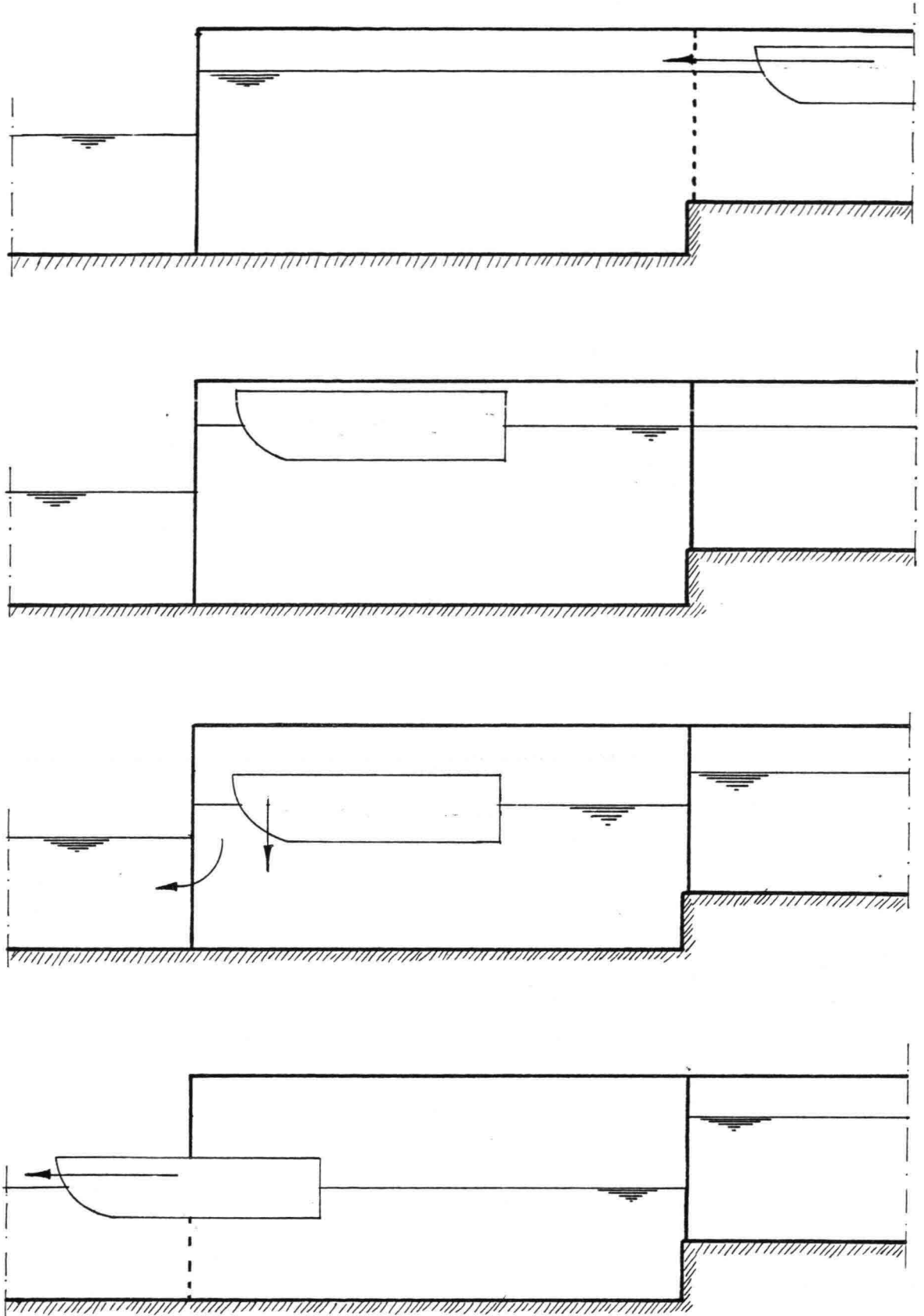
Water in en uit de schutkolk.

Door - schuiven in de deur >

- omloopriolen met schuiven afsluitbaar (buizen in de sluis muur/bodem)

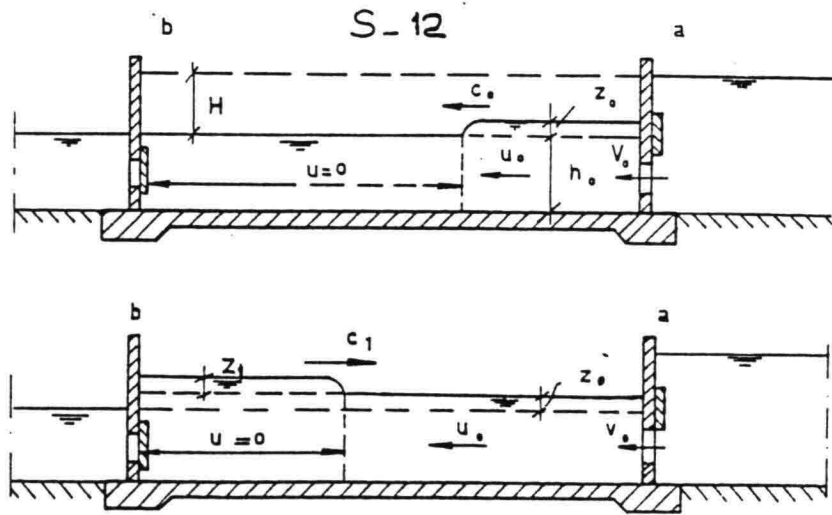
fig S-VI^d

S - 11



SCHUTTING

fig S-VII



Translatiegolf:

- | | | | |
|------------------|---|-------------------------------|--|
| a. vullen kolk: | - | positieve translatiegolf kolk | |
| | - | negatieve " kanaal | |
| b. ledigen kolk: | - | negatieve " kolk | |
| | - | positieve " kanaal | |

fig. S - VIII

Waterspiegel aan gesloten eind van de kolk.

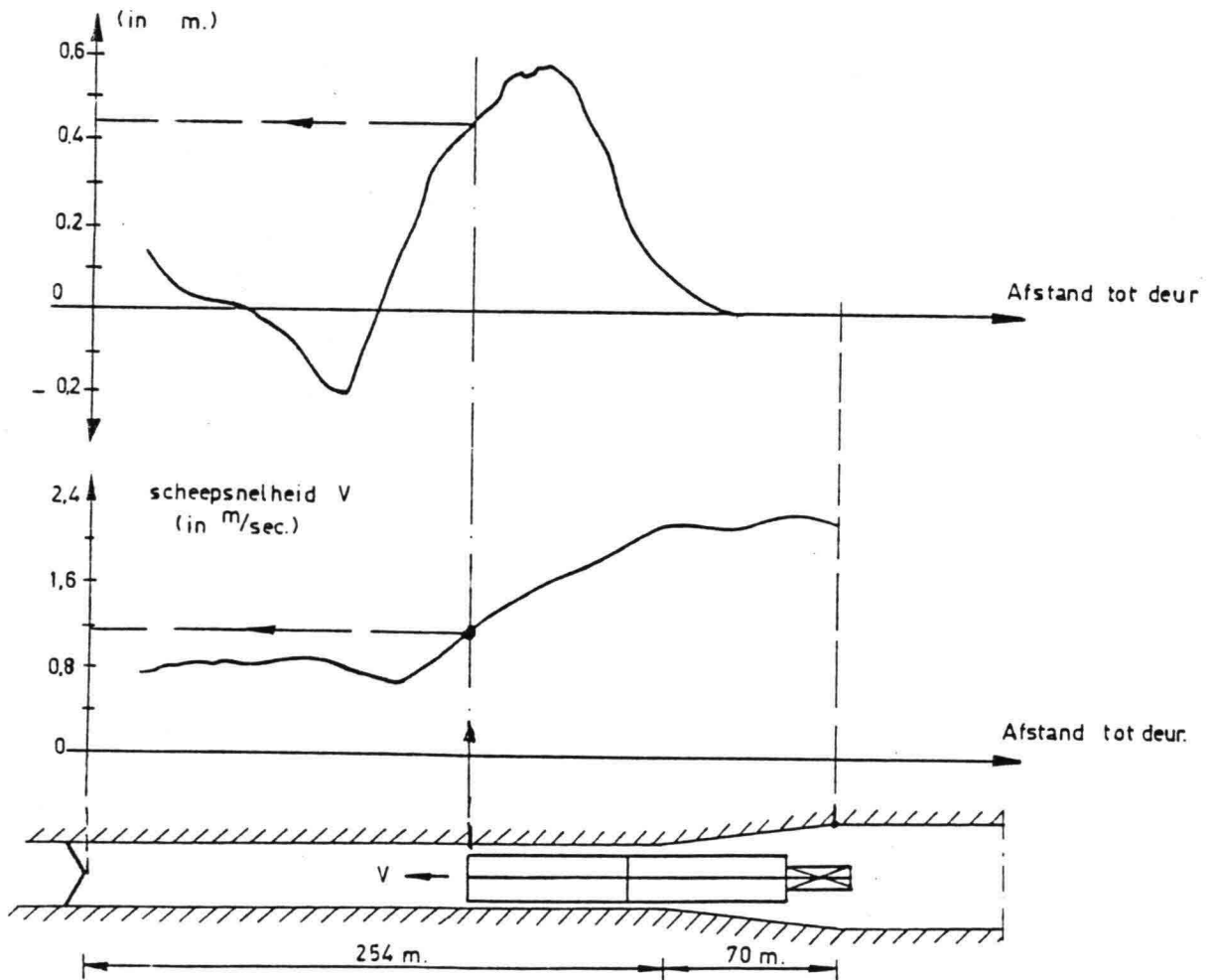


fig S - IX

S-13

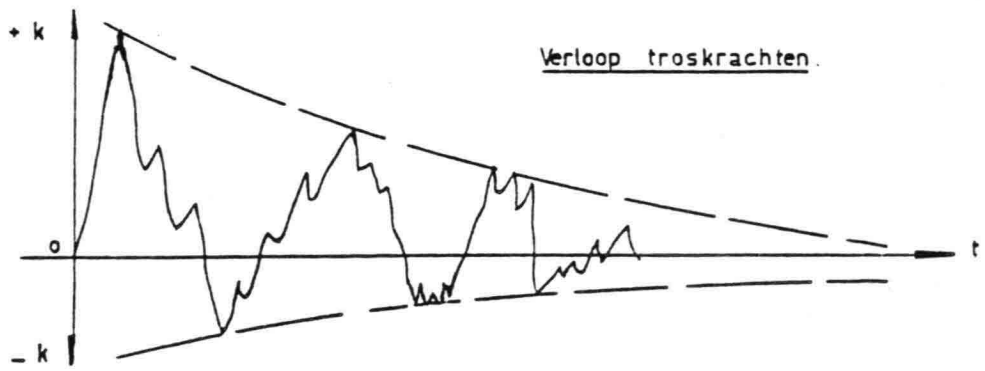


fig S-X

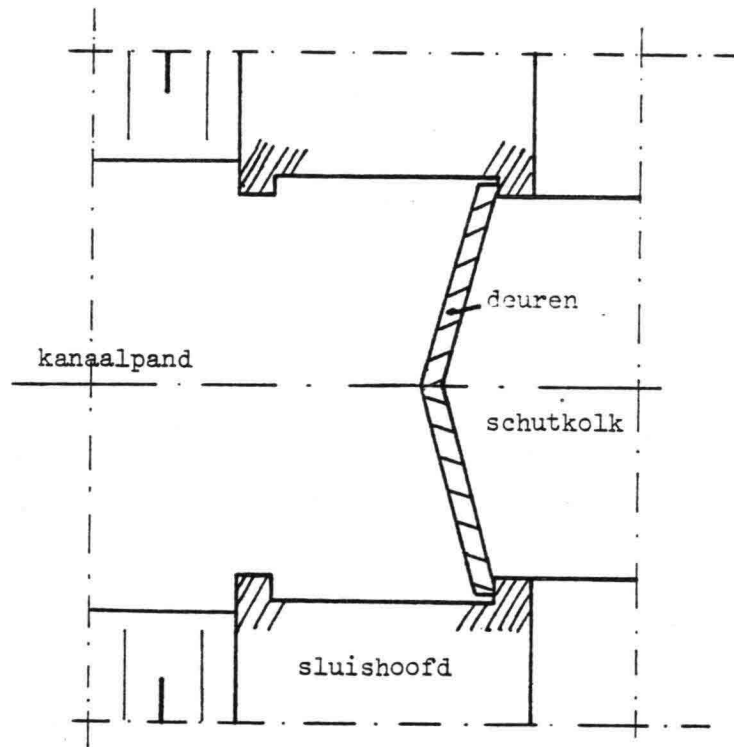
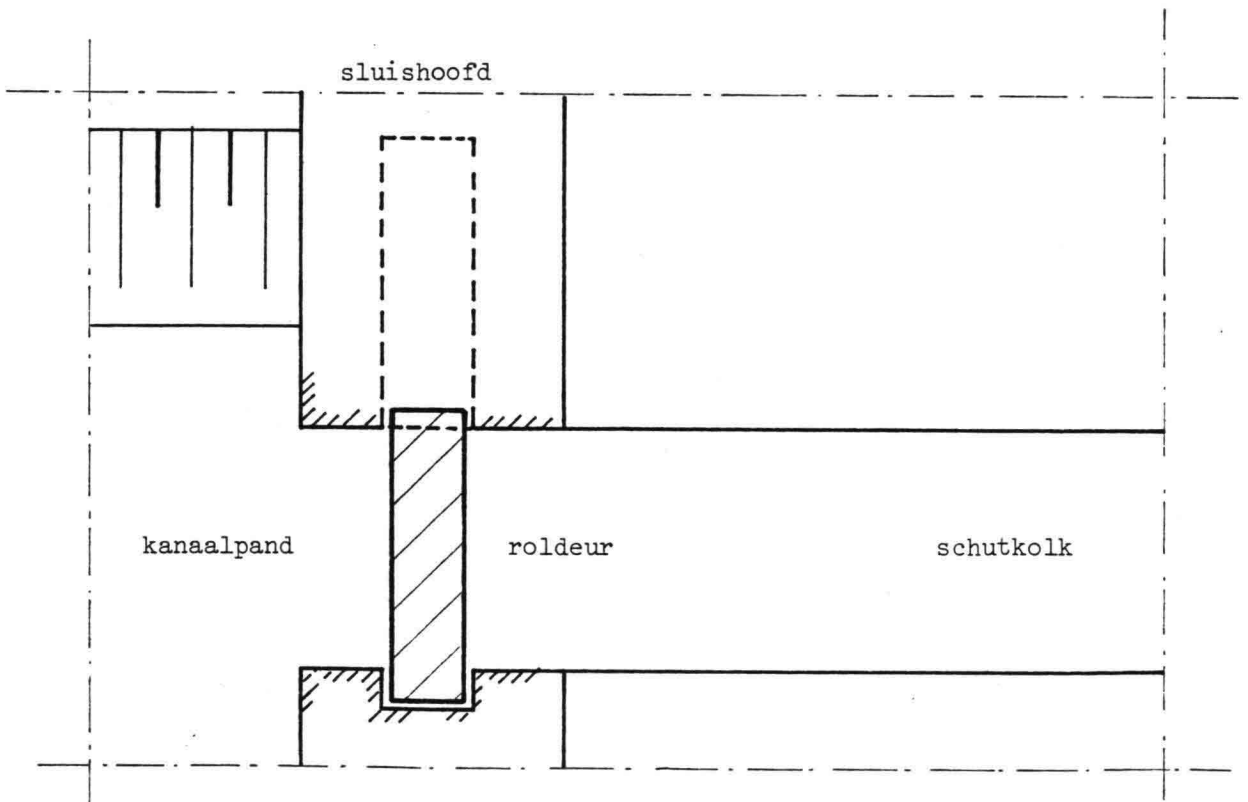
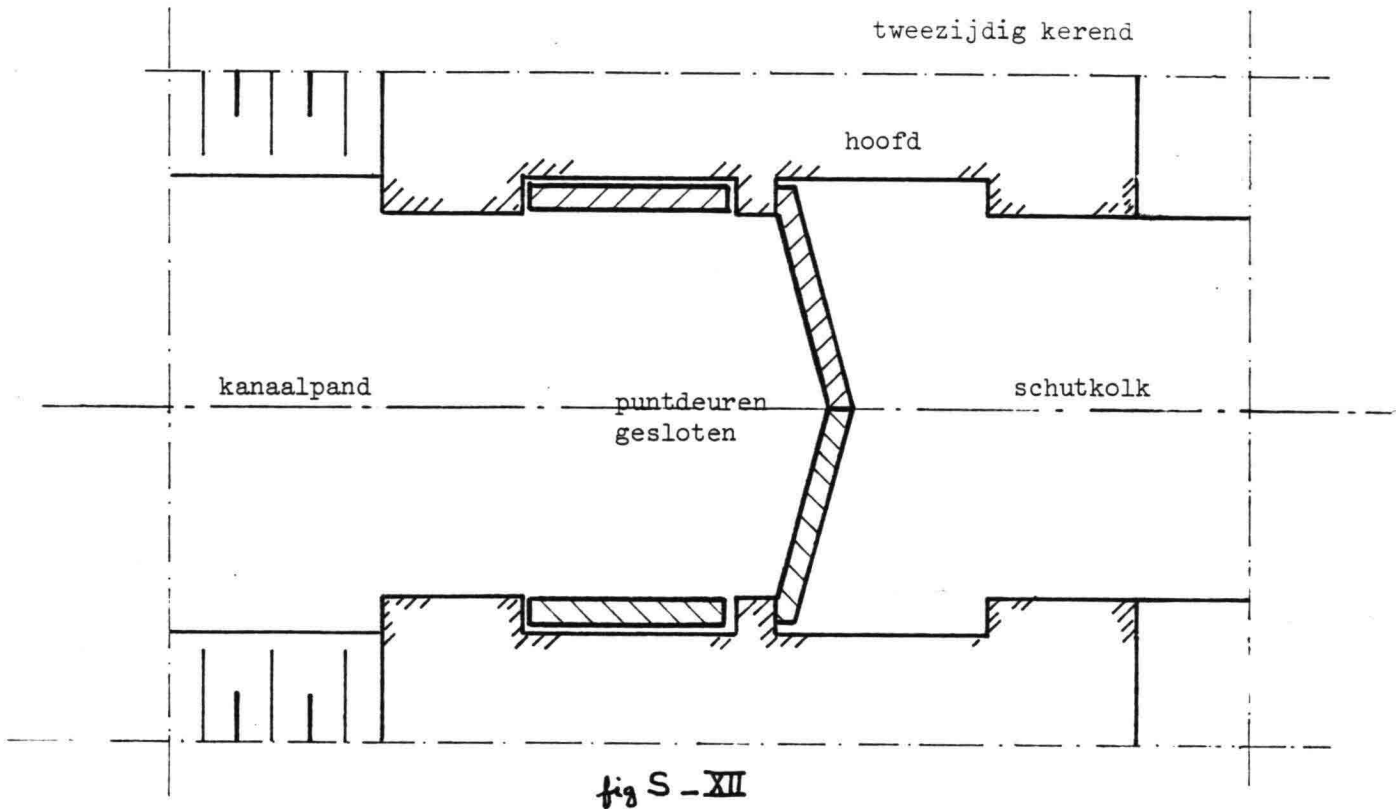


fig. S-XI



Roldeur meestal bij zeesluizen

fig S - XIII

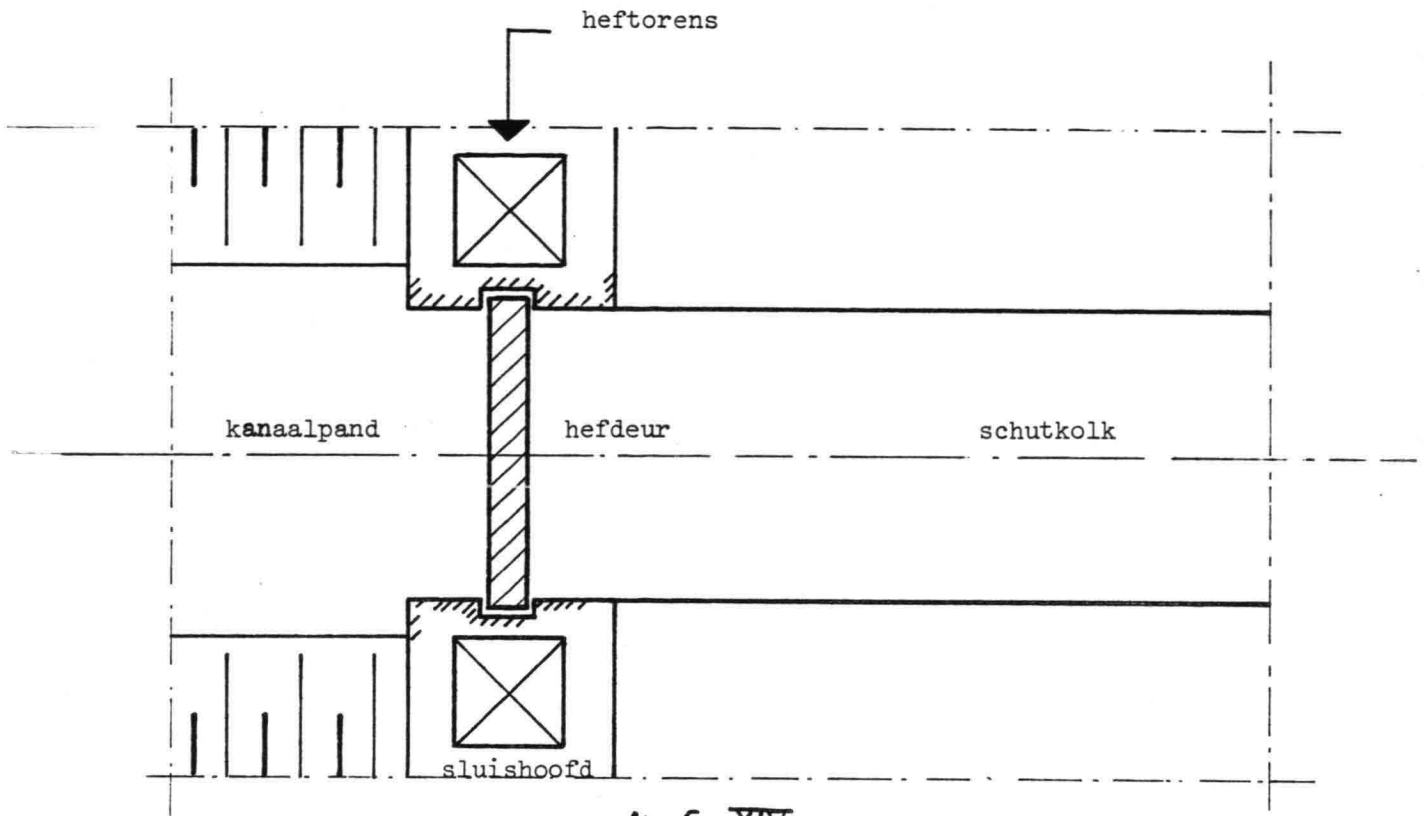
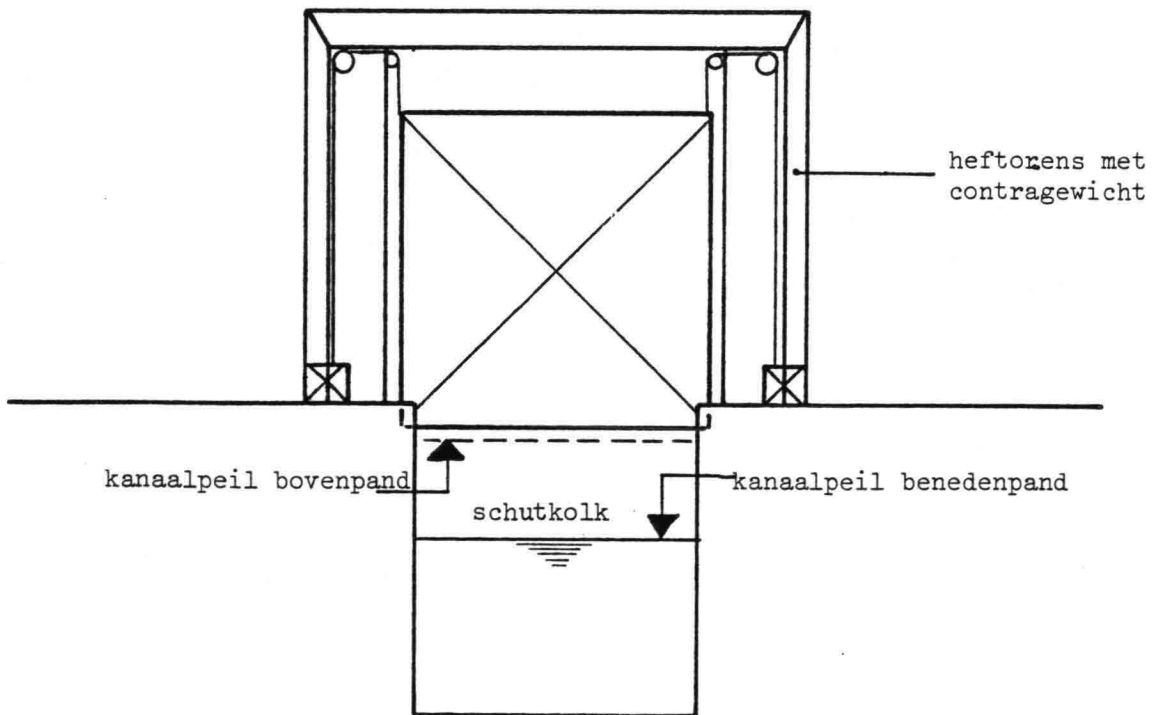


fig S-XIV



Hefdeur open

fig S-XV

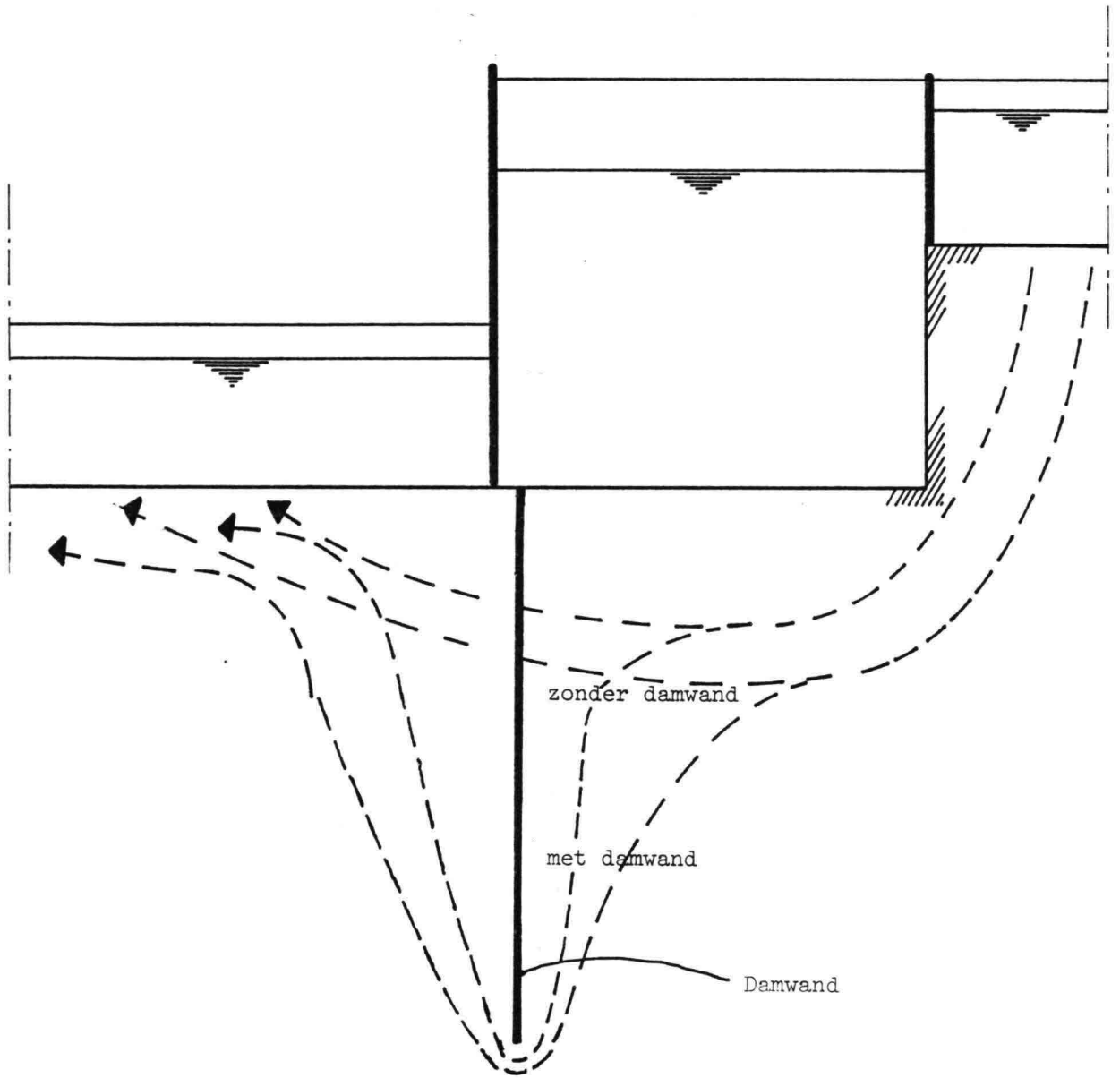


Fig. S. XVI Onderloopsheid

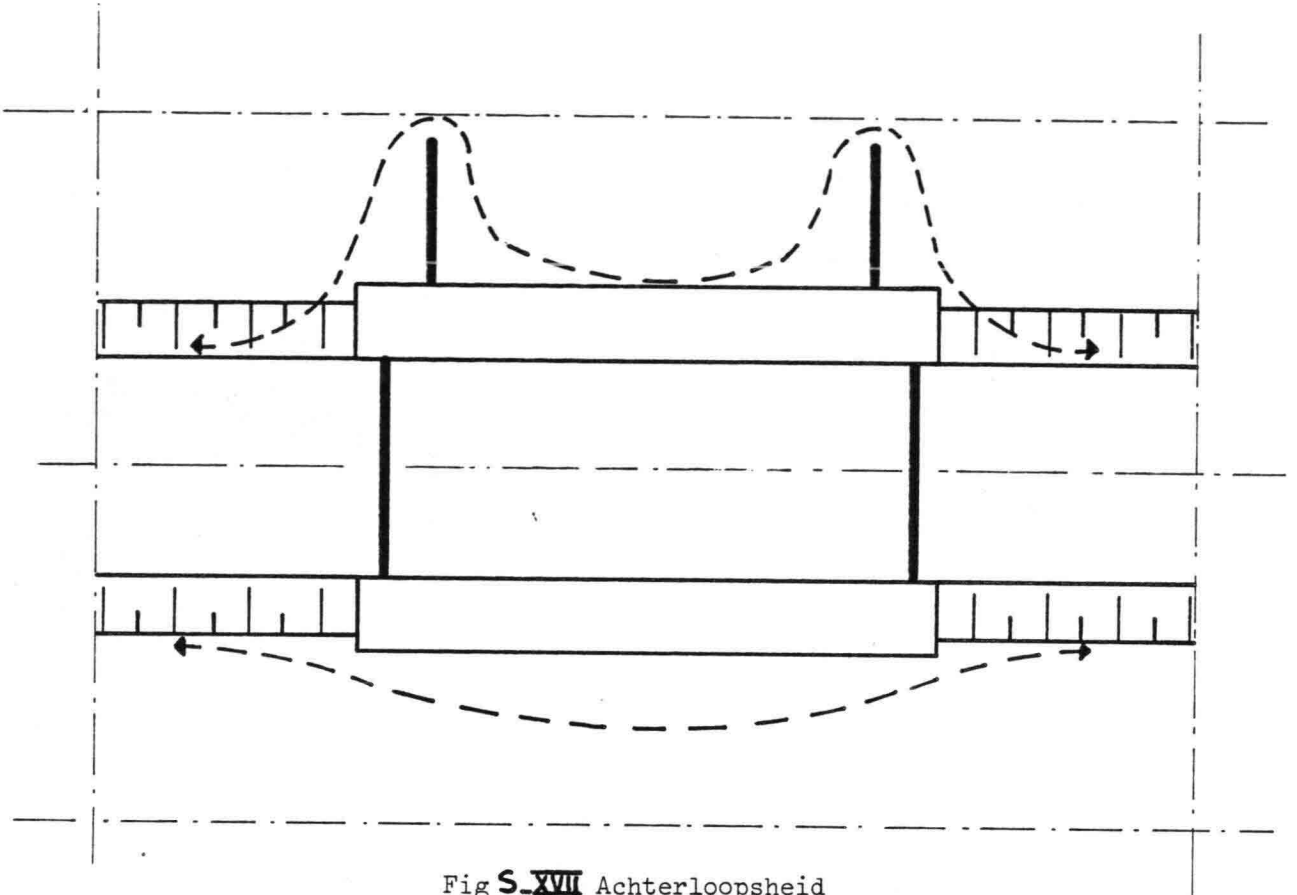
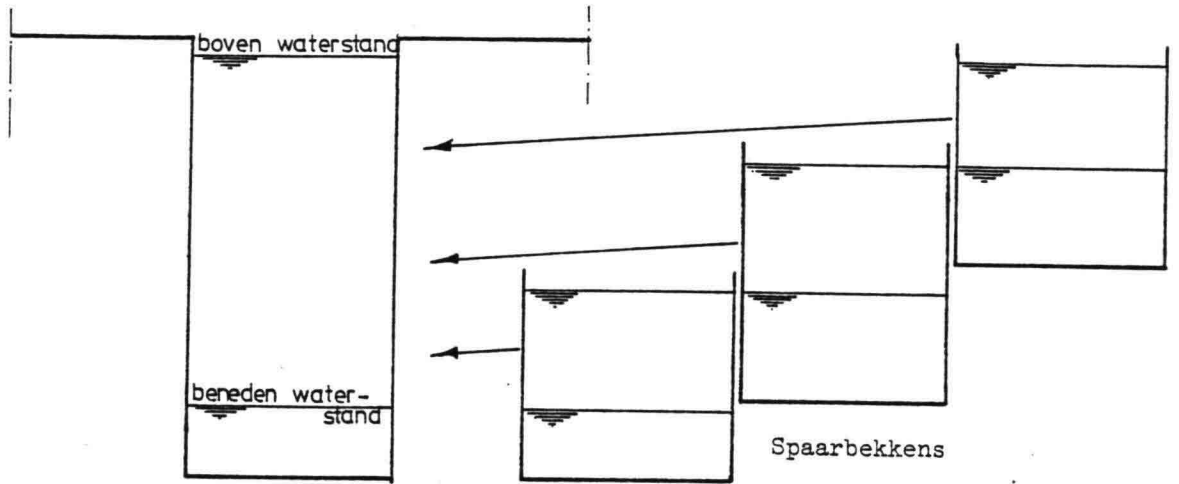


Fig **S.XVII** Achterloopsheid

(bovenaanzicht)

S - 18



SPAARSLUIS

fig S - XVIII

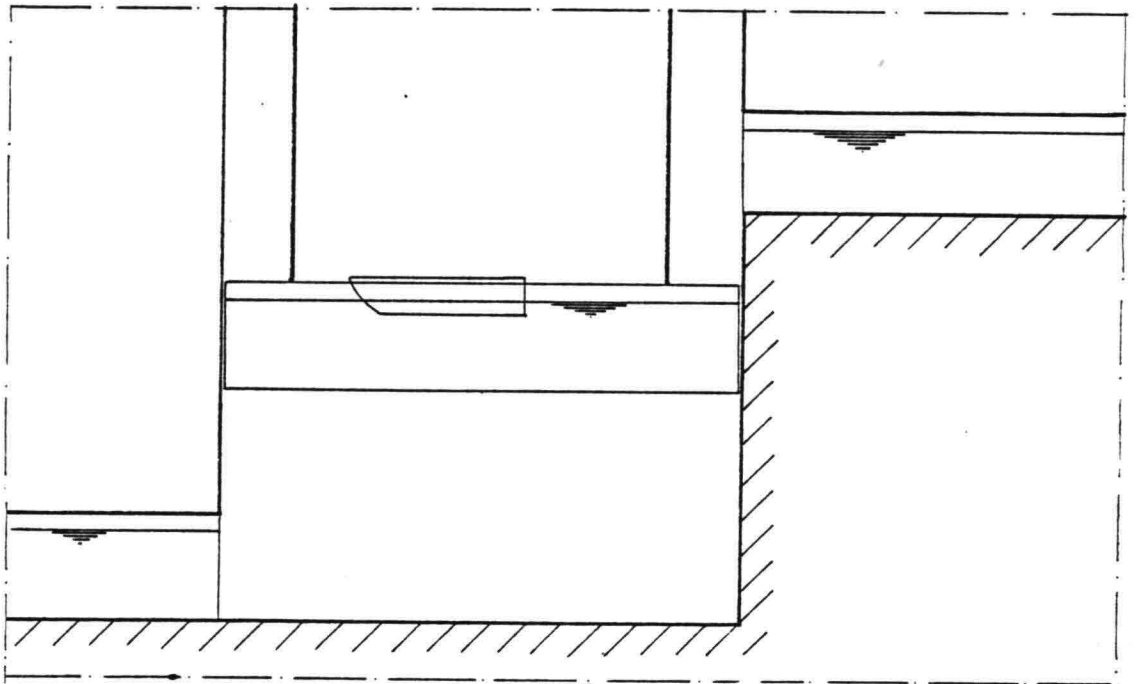
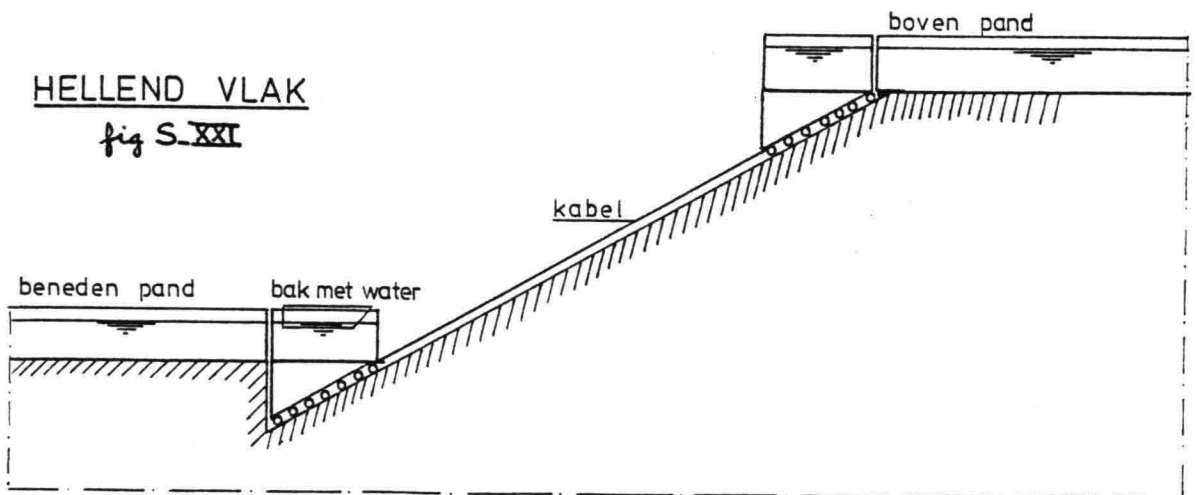
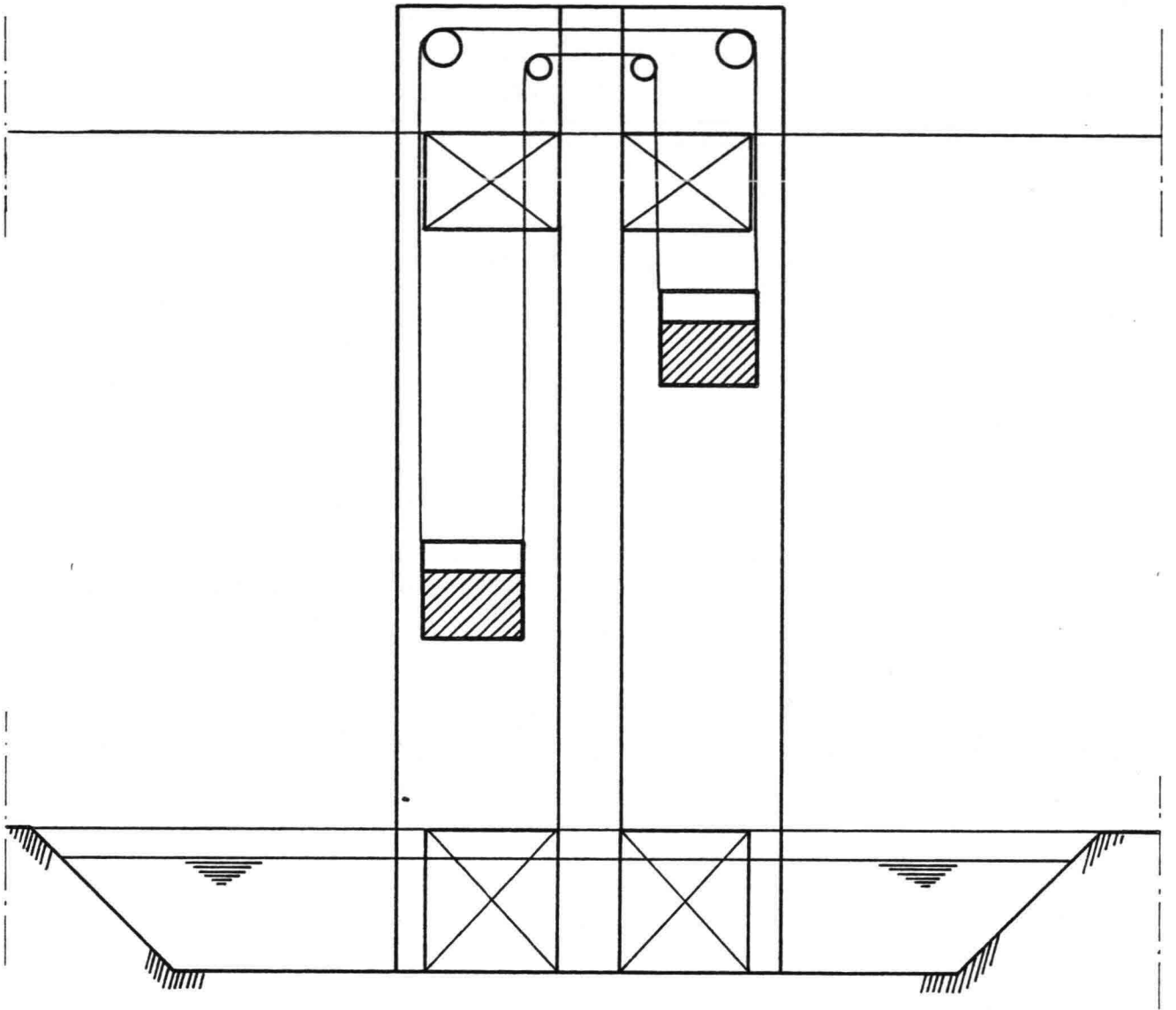


fig. S - XIX

HELLEND VLAK

fig S - XXI





Aanzicht en doorsnede scheepslift

fig S.XX

Wanneer we dan nu weer terug keren naar het kanaal om de West, dan zien we dat dit uiteindelijk uitkomt in de Amerika haven.

Bij het projecteren van het kanaal moet er echter wel rekening mee worden gehouden, dat er een peil verschil is tussen de Noordzeekanaal boezem en Rijnland. Dit peil verschil is echter slechts 0,20 m. Niettemin moet er toch een schutsluis komen als scheiding tussen beide boezemgebieden. Het peilverschil moet gehandhaafdblijven, bovendien is er een zeer aanzienlijk kwaliteits verschil tussen beide soorten water. Het water in de Noordzeekanaal boezem heeft voor Rijnland een ontoelaatbaar hoog zoutgehalte en zal daarom ook nooit in open verbinding met Rijnlandswater mogen komen.

In polder gebieden wordt boezem water n.l. gebruikt voor landbouwgewassen en vee. Door het veelvuldig schutten van schepen in IJmuiden is er echter in de tijd een aanzienlijke indringing van zout water ontstaan in het Noordzeekanaal en het daarmee in open verbinding staande water.

Deze verzilting heeft zich tot in het Amsterdamse haven gebied doorgezet. Tot voor kort kon er in IJmuiden alleen maar overtollig water geloosd worden vanaf de spuisluizen, wanneer de waterstand buiten de sluizen (noordzee) daartoe laag genoeg was. Het was echter onmogelijk daarmee ook het zoute schutwater dat bij het binnenkomen van schepen bij vloedstand naar binnen kwam, weer mee naar buiten te spoelen. Zout water is zwaarder dan zoet water en kruipt als een tong over de bodem naar binnen onder het zoete water door. Deze zouttong kan nu echter, sinds het grote gemaal in IJmuiden in gebruik is genoemd, geleidelijk aan terug getrokken worden. De verzilting is dan ook nu aan het afnemen. De kwaliteits eisen van Rijnland blijven echter zo stringent dat ook om deze reden ten allen tijden het boezemwater gescheiden zal moeten blijven.

De boezem van het Noordzeekanaal wordt door sluizen o.m. van de Noordzee, van het Ijsselmeer en van de grote rivieren afgesloten. Dit levert echter t.a.v. de andere belangrijke functie, nl. die van scheepvaart weg van en naar de haven van Amsterdam, de Noordzee, en het achterland, een aanzienlijke hindernis op. Het heeft echter ook voordelen om niet zoals de Rotterdamse haven in open verbinding te staan met de zee. Doordat de haven van Amsterdam achter de zeesluizen van IJmuiden ligt, zie fig. S. III, heeft zij vrijwel overal een vast peil.

In tegenstelling daarmee ligt bv. de Rotterdamse Haven helemaal in open verbinding met de Noordzee , wat betekent dat de werking van het getij naar binnen doordringt en het waterpeil overal mee op en neergaat met de eb en vloed werking.

Dat betekent dan ineens een heleboel extra problemen, problemen, zoals het feit dat

- kade muren waar de schepen aan moeten leggen moeten zo geconstrueerd zijn dat het schip deze beweging mee kan maken zonder te hoog of te laag aan de kade te komen te liggen.
- eb en vloed betekent in en uitstromen van grote hoeveelheden water die weer zand en slib meenemen wat gedeeltelijk bezinkt en dus vrij veel verondieping geeft. Dit betekent baggerwerk om de vaarwegen en havenbekkens op diepte te houden.
- het invaren is voor schepen met grote diepgang bij laag water niet mogelijk.

Een haven achter sluizen heeft echter de handicap dat alle verkeer door de sluizen geschut moet worden, hetgeen vaak tot wachttijden leidt. Men moet er niet aan denken dat een schip de sluis kapot vaart, want dan kan er geen enkel schip meer in of uit.

Een voordeel is echter wel dat veel goedkopere kademuren kunnen worden gebouwd dankzij de vaste waterstand en dat vrijwel geen onderhoudsbaggerwerk hoeft te worden verricht.

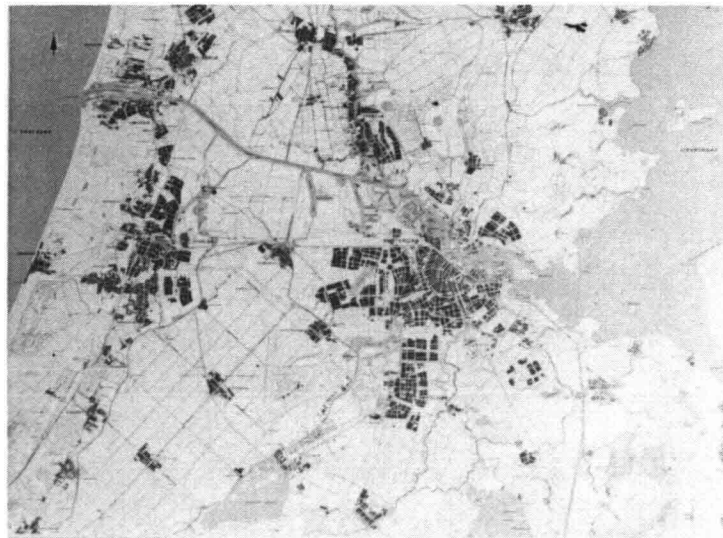


fig S - XXI

