

DOORBRAAKVRIJE ZEEDIJKEN

Ir. T. Edelman

Notitie van December 1954, met opmerkingen van Wemelsfelder, Maart 1955

De veiligheid van een dijk tegen doorbraak.

Vermoedelijk bestaat er geen stormvloedspeil, dat nimmer overschreden kan worden. In beginsel is dus iedere stormvloedshoogte mogelijk; hoe groter deze hoogte, hoe kleiner echter de frequentie, dus hoe kleiner de kans, dat een dergelijke stormvloed optreedt. Deze kans wordt echter nooit nul.

Ten aanzien van dijken volgt hieruit, dat men een dijk nooit zo hoog kan maken, dat er nimmer water over de kruin kan komen. Indien dus een dijk zodanig is geconstrueerd dat een overstorten van water over de kruin de vernieling van het dijkslichaam kan veroorzaken, bestaat voor iedere denkbare hoogteligging van de kruin de mogelijkheid, dat de dijk bezwijkt. De zekerheidscoëfficiënt, welke de dijk tegen bezwijken uit dezen hoofde bezit is dan dus altijd kleiner dan één.

Iedere ingenieursconstructie (en een dijk is een ingenieursconstructie) behoort een veiligheidscoëfficiënt groter dan één te bezitten. Op dit punt kan en mag men mijns inziens niet marchanderen¹. Hieruit volgt, dat men de veiligheid van een dijk tegen doorbraak liefst niet moet baseren op de hoogteligging van de dijkskruin. Deze veiligheid behoort onafhankelijk van de hoogteligging van de kruin te zijn. Men zou dit de grondwet van de dijksbouw kunnen noemen.

Tegen deze grondwet is tot op heden zwaar gezondigd. Men baseerde de veiligheid van de dijk op de hoogstbekende waterstand ofwel op een hoogste te verwachten waterstand of een hoogst mogelijke waterstand. Men meende een stormvloed met een bepaalde kleine frequentie als practisch maatgevend te mogen beschouwen. Aan dergelijke opvattingen ligt, bewust of onbewust, het denkbeeld ten grondslag: een hoge dijk is een veilige dijk.

De stormramp van 1953 heeft de stoot gegeven tot het doordringen van nieuwere inzichten ten aanzien van deze materie. Het schijnt noodzakelijk, met de oude opvattingen te breken. Wij leren inzien, dat de veiligheid van bewoners en goederen van het door een dijk beschermde gebied inderdaad samenhangt, en altijd zal blijven samenhangen met de hoogte van de dijk. Het schijnt echter thans, zoals ik in het voorgaande reeds betoogde, niet langer verantwoord om de veiligheid van de dijksconstructie zelve te laten afhangen van de kruinshoogte. Wij dienen te komen tot een doorbraakvrije dijk, dat wil zeggen: een dijk, welke onder alle omstandigheden als waterkering of overlaat in stand blijft.

De doorbraakvrije dijk.

In mijn nota "Onderzoek betreffende het bezwijken der zeedijken tijdens de stormvloed van 1 Februari 1953" leidde ik af, dat een dijk was bezweken of grote kans had gehad te bezwijken, indien drie gebreken in combinatie aanwezig waren. Deze gebreken waren:

1. een te lage ligging van de kruin, waardoor er water over de kruin kwam;

¹ De dijksconstructeur verontschuldigt zich niet, indien hij, bij het bezwijken van een door hem gemaakte dijk, aanvoert, dat de waterstand zo abnormaal hoog was. Met deze waterstand had hij rekening moeten houden, daar hij wist, dat deze kon optreden. Men is zelfs zover, dat men ongeveer de frequentie van dit optreden kan aangeven.

2. een slechte structuur, vooral van de afdeklagen, waardoor een snelle verweking van de diepere delen van de dijk kon optreden;
3. taluds, steiler dan het natuurlijk talud van de dijkspecie in doorweekte toestand, waardoor afschuivingen konden optreden.

Indien slechts één dezer gebreken niet aanwezig was, is de dijk over het algemeen niet bezweken. Wenst men derhalve een doorbraakvrije dijk te maken, dan dient ten minste een dezer gebreken te worden opgeheven.

In de voorgaande paragraaf werd afgeleid, dat het in beginsel niet mogelijk is het eerste gebrek op te heffen. Bij iedere dijkshoogte bestaat de kans, dat er water over de kruin komt.

Het opheffen van het tweede gebrek, de slechte structuur van de afdeklagen, is in beginsel mogelijk, doch het heeft wel bezwaren. In de toekomst zal men een dijk of een dijksverbetering nagenoeg altijd construeren als een zandlichaam afgedekt door een bekleding. Wil men de verweking van het zandlichaam verhinderen, dan dient men de afdekking ondoorlatend of moeilijk doorlatend te maken, terwijl deze moeilijke doorlatendheid in de loop der jaren gehandhaafd dient te blijven. Mogelijk voldoet een asfaltbekleding aan deze eisen, doch wij bezitten geen ervaring hoe een dergelijke bekleding zich in de loop der jaren houdt. Daar een asfaltbekleding tevens duur en lelijk is, ligt het voor de hand te trachten een goedkoper en eenvoudiger oplossing te zoeken. Een bekleding uit grond (klei of zavel) dient tegen erosie te worden beschermd door een grasmat. De grasplanten hebben aanvoer van water naar hun wortels nodig en dit water dient dus door de bekledingslaag te kunnen dringen. De eis van ondoorlatendheid van een dergelijke bekledingslaag kan dus niet worden gehandhaafd; noodgedwongen dient men genoeg te nemen met een bepaalde, matige doorlatendheid.

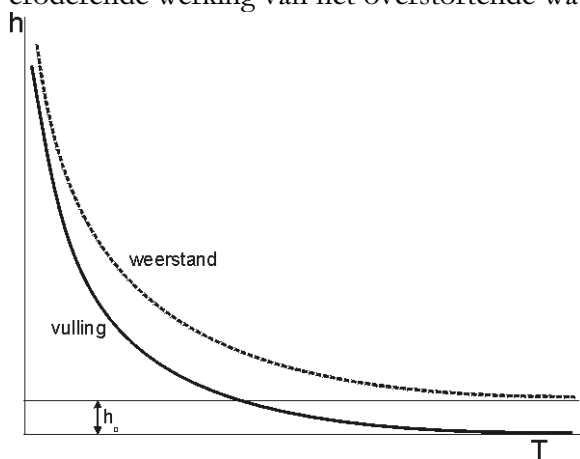
De structuur van de grond is hierop van invloed en deze structuur verandert door de groei van de grasmat, alsmede door de werking van organismen als bacteriën, wormen, mollen etc. Het is moeilijk, ja het schijnt voorlopig onmogelijk, het verloop van de doorlatendheid in een bepaald geval te voorspellen, laat staan een bepaald minimum daarvan te garanderen.

Van dit soort moeilijkheden is men bevrijd, indien men niet gebrek n° 2 tracht op te heffen, doch gebrek n° 3. De doorlatendheid van de afdeklaag speelt dan eigenlijk geen rol meer, daar een verweking van de onderliggende delen van het dijkslichaam geen afschuivingen meer kan veroorzaken. Over het algemeen is gebrek n° 3 ook veel eenvoudiger te verhelpen dan n° 2. Het talud, waaronder een bepaalde dijkspecie (in de toekomst bijna altijd zand) in volkomen doorweekte toestand blijft staan, kan door een eenvoudige laboratoriumproef of op andere wijze gemakkelijk worden vastgesteld. Men kan zelfs globaal stellen, dat met de in Nederland voor dijksbouw gebruikelijke materialen een talud van 1:3 over het algemeen wel voldoende flauw zal zijn.

Het opheffen van gebrek n° 3 en het aanvaarden van gebrek n° 2 betekent niet, dat de problemen van de afdeklaag nu onbelangrijk gaan worden. Integendeel. Vooral bij een moderne dijk, samengesteld uit een zandlichaam met bekleding, dienen aan de afdeklaag hoge eisen te worden gesteld, daar zand nagenoeg geen weerstand tegen uitspoeling bezit. De afdeklaag dient dus onder alle omstandigheden in stand te blijven. Onder alle omstandigheden; dat wil dus zeggen: bij iedere dikte van de overstortende laag water en bij iedere hevigheid van golfaanval, Slechts indien de afdeklaag op deze wijze kan worden geconstrueerd, bestaat er een veiligheidscoëfficiënt tegen doorbraak, welke groter dan één is.

Het spreekt niet vanzelf, dat dit mogelijk is; dit dient te worden aangetoond of althans waarschijnlijk te worden gemaakt. Bij de berekening mag de frequentie van het optreden van het optreden van een bepaalde belasting niet in rekening worden gebracht, doch de constructie dient bestand te zijn tegen de maximale belasting, welke ooit kan optreden. Wil de constructie een zekerheidscoëfficiënt groter dan één kunnen hebben, dan moet er dus een maximale belasting bestaan². Dat dit zo is, moge met de volgende redenering waarschijnlijk worden gemaakt.

De aanval op de bekleding is des te heviger, naarmate de hoeveelheid water, welke over de dijk komt, groter is. Daartegenover staat echter, dat de achterliggende polder bij grote hoeveelheden binnenkomend water eerder zal zijn volgelopen, waardoor het binnentalud aan de eroderende werking van het overstortende water wordt onttrokken. Men mag dus verwachten,



dat er een "maximale belasting" van het binnentalud bestaat, welke des te groter is, naarmate de achterliggende polder groter is. Men kan voor iedere soort afdekking een weerstandskromme (getrokken lijn in figuur 1) construeren, welke het verband aangeeft tussen de hoogte van de overstort (ofwel het verschil h tussen dijkhoogte en stormvloedspil) en de tijd T waarin de afdekking bezwijkt. Er bestaat ongetwijfeld een bepaalde hoogte h_0 , waarbij het water gedurende onbepaalde tijd over het talud kan stromen zonder het aan te tasten. De kromme heeft

dus een asymptoot $h=h_0$. Het is niet zo zeker, dat de as $T=0$ eveneens een asymptoot is. Het schijnt namelijk niet uitgesloten, dat de kromme de h -as snijdt, dus dat er een bepaalde h_m bestaat, waarbij het talud onmiddellijk bezwijkt. Erg waarschijnlijk lijkt dit echter ook weer niet, daar er toch altijd wel een korte tijd overheen zal gaan voordat de afdeklaag over zijn volle dikte zal zijn opgeruimd. Vermoedelijk is dus de h -as wèl een asymptoot, waarbij mogelijk de kromme voor vrij kleine waarden van h reeds vrij dicht bij deze asymptoot ligt.

De weerstandskromme vormt een scheidingslijn in het h - T -vlak. Alle punten van dit vlak, welke onder de kromme liggen zijn veilige punten; waarbij de afdekking niet bezwijkt. Hoe groter de weerstand van het afdek materiaal is, des te hoger ligt de weerstandskromme en des te groter is dus het veilige gebied³.

In dezelfde figuur kan men de vullingskromme van het achterliggende poldergebied tekenen (gestippelde lijn). Zij de gemiddelde breedte van dit poldergebied B en het hoogteverschil tussen maaiveld en dijkskruin H_1 dan kan men globaal stellen, dat de erosie op binnentalud en kruin is geëindigd als een hoeveelheid water BH per m^2 dijk over de dijk is gevloeid. De dijk werkt als overlaat, zodat gesteld kan worden dat per seconde een hoeveelheid

² Ter vergelijking het volgende geval. Een staalconstructie, bijvoorbeeld een brug, kan tegen windbelasting geen veiligheidscoëfficiënt groter dan één bezitten, omdat voor deze windbelasting geen maximum bestaat. Men is hier dus gedwongen een bepaald risico te aanvaarden d.w.z., men rekent met een windbelasting welke slechts met zeer kleine frequentie optreedt.

³ Gemeend werd, dat bij deze globale beschouwing ervan mocht worden uitgegaan, dat de afdekking zal bezwijken door erosie van overstromend water en niet tengevolge van de aanval door golfwerking of door overslaand water. Beide laatstgenoemde soorten van aanval zijn slechts gedurende een beperkte tijd werkzaam, terwijl gebleken is dat een goede bekleding (bijvoorbeeld een in goede staat verkerende grasmatt) een dergelijke aanval zonder veel schade kan doorstaan.

$$\frac{2}{3}h\sqrt{\frac{2}{3}gh}$$

per m³ over de dijk vloeit. De vullingsstijd van de polder bedraagt dan:

$$T = \frac{BH}{Q} = \frac{BH}{\frac{2}{3}h\sqrt{\frac{2}{3}gh}}$$

De vullingskromme beantwoordt dus aan de formule:

$$Th^{3/2} = \frac{3BH}{2\sqrt{\frac{2}{3}g}} = \text{een constante.}$$

Indien deze vullingskromme geheel onder de weerstandskromme is gelegen, bestaat er een zekerheidscoëfficiënt tegen bezwijken, welke groter is dan één. Indien de vullingskromme de weerstandskromme snijdt, dient een ander afdek materiaal te worden gekozen, met grote weerstand, zodat de weerstandskromme hoger in het h-T-vlak komt te liggen.

Men mag verwachten, dat het in beginsel altijd mogelijk zal zijn, een dusdanig afdek materiaal te kiezen, dat geen snijpunt tussen beide krommen bestaat. Wij kennen de juiste vorm van de weerstandskromme echter nog niet, zodat wij rekening moeten houden met de mogelijkheid, dat er wèl een snijpunt bestaat. Het snijpunt ligt dan echter altijd bij grote waarden van h en wij kunnen, door een meer weerstandsbiedend materiaal te kiezen, deze waarde van h van het snijpunt ad libitum verhogen. Zuiver theoretisch gezien kan dan blijken, dat het niet mogelijk is een absoluut doorbraakvrije dijk te maken. In de praktijk zal men hiermede echter nauwelijks rekening behoeven te houden. Wij mogen, geloof ik, ten aanzien van deze kwestie toch wel enig “water der praktijk” voegen bij de “wijn der theorie”. Het is in de praktijk volmaakt onverschillig of de dijk al dan niet bezwijkt bij een stormvloedstand van bijvoorbeeld 25 m + N.A.P.

Tot nu toe werd voor de afdekking van een dijk bijna zonder uitzondering een grasmat gebruikt. De vraag rijst of de grasmat ook voor de toekomstige moderne dijk de beste oplossing zal zijn. Het is duidelijk, dat thans op deze vraag nog geen antwoord kan worden gegeven, daar wij, zoals reeds opgemerkt, nog niet in staat zijn, de weerstandskromme van een grasmat kwantitatief te bepalen. Dit schijnt één van de eerste dingen te zijn, welke thans moeten worden gedaan. Hoe dit moet gebeuren is mij althans nog niet geheel duidelijk. Een vrij uitgebreid modelonderzoek schijnt voor de hand te liggen, terwijl tevens vermoedelijk een studie dient te worden gemaakt van de meest gewenste grassoorten en de meest gewenste grondsoorten, voor een grasmat met optimale weerstand. Ik ga hier thans niet verder op in.

Het is echter niet zo, dat wij thans nog niets kunnen zeggen over de erosieweerstand van een grasmat. De stormramp van 1953 heeft ons hierover namelijk wel het een en ander geleerd. De beschadigingen aan de grasmatten van de buitenbelopen (ook in de hoogste delen, waar de golfaanval het hevigste was) zijn binnen redelijke grenzen gebleven. Indien hier beschadigingen van meer ernstige aard optraden, kon meestal worden aangetoond, dat de grasmat van slechte kwaliteit was, ofwel dat de bekledingslaag als geheel te dun was. De plaatsen op het binnenbeloop, waaraan men een erosie van enige omvang bij de grasmat ondubbeltzinnig kon constateren, waren uiterst zeldzaam. Daarentegen werd veelvuldig geconstateerd, dat binnenbelopen, zelfs indien zij voorzien waren van een slechte grasmat, geen merkbare beschadiging door erosie vertoonden, terwijl er behoorlijke hoeveelheden water overheen gestroomd moeten hebben. Deze ervaringen wekken vertrouwen in de deugdelijkheid van een grasmat als constructie tot beveiliging van een dijksbeloop tegen erosie en golfuitslag. Er moet blijkbaar heel wat gebeuren, voordat een goede grasmat bezwijkt.

Op grond van deze en andere ervaringen mag mijns inziens de verwachting worden uitgesproken dat de erosieweerstand van een goede grasmat wel zo groot zal zijn, dat voor een groot deel van onze zeedijken de weerstandskromme hoger dan de vullingskromme zal liggen. Voor dijken langs grote en diepe polders, waarvan de vullingskromme hoog ligt, kan echter blijken, dat een grasmatbekleding onvoldoende weerstand bezit, zodat in die gevallen een zwaardere constructie (klinkerglooïing, asfaltglooïing) zou moeten worden gekozen.

Voorlopig bestaat er echter mijns inziens geen reden, op grote schaal tot het toepassen van deze zwaardere constructies over te gaan. Vanzelfsprekend geldt dit slechts indien de dijk doorbraakvrij wordt gemaakt en voorzien wordt van taluds flauwer of gelijk aan 1:3.

De dijkhoogte.

Maakt men een doorbraakvrije dijk in bovenaangegeven zin, dan is de veiligheid tegen doorbraak niet langer een functie van de dijkhoogte. De vraag rijst, welke criteria dan wèl de dijkhoogte zullen bepalen.

Zoals reeds opgemerkt, is de veiligheid van het achterliggende gebied niet alleen afhankelijk van het al dan niet bezwijken van de dijk, doch hangt tevens af van de dijkhoogte. Een dijk met een bepaalde hoogte heeft een bepaalde kans, dat er water over de kruin stroomt. Dit kan inundatie van de polder tengevolge hebben. Een dergelijke inundatie betekent schade. Deze schade kan men splitsen in twee delen; de in geld waardeerbare schade en het verlies aan mensenlevens, dat niet in geld waardeerbaar is. Twee principieel verschillende zaken. Hoe hoger de dijk wordt, des te geringer wordt de kans op schade.

De twee soorten schade leiden tot twee soorten verantwoorde dijkhoogte. Neemt men het economische risico in aanmerking, dan komt men tot een economisch-verantwoorde dijkhoogte; neemt men het risico van het verlies aan mensenlevens als basis, dan komt men tot een menselijk-verantwoorde dijkhoogte. Van beide dijkhoogten dient men tenslotte de hoogste aan te houden.

De economisch-verantwoorde dijkhoogte.

Voor de methode, waarmee de economisch-verantwoorde dijkhoogte kan worden berekend, verwijs ik naar de studie van Van Dantzig en Kriens⁴. In het kort komt deze methode op het volgende neer. Men gaat uit van een bestaande dijk en een bestaande polder. De schade door inundatie is een functie (F) van de dijkhoogte, dus van de dijkverhoging x welke men eventueel toepast. De kosten van deze verhoging zijn eveneens een functie (f) van deze dijkverhoging. De economisch-verantwoorde dijkophoging verkrijgt men indien $F + f$ een minimum oplevert, zodat de voorwaarde wordt

$$\frac{dF}{dx} + \frac{df}{dx} = 0$$

In bovenbedoelde studie wordt uitgegaan van schade tengevolge van dijkdoorbraak. De uitkomsten van een dergelijke berekening zijn derhalve niet van toepassing op het hier beschouwde geval van een doorbraakvrije dijk. Gaat men uit van doorbraakschade, dan blijkt, dat de verhoging van de bestaande dijken met een aanzienlijk bedrag zeker niet economisch-verantwoord is. De economisch-verantwoorde verhoging van een doorbraakvrije dijk zal derhalve wel zeer gering zijn. Immers zal de frequentie van een inundatie bij doorbraakvrije

⁴ Prof. Dr. D. van Dantzig en J. Kriens: Schets ener oplossing van het dijkverhogingsdecisieprobleem. Rapport S 149 A van de Statistische Afdeling van het Mathematisch Centrum.

dijken veel kleiner zijn dan bij niet-doorbraakvrije dijken, terwijl een dergelijke inundatie niet langer dan enkele dagen aanwezig zal blijven.

De doorbraakschade wordt groter, naarmate het achterliggende gebied groter is. Bij een doorbraakvrije dijk is dit omgekeerd, omdat de totale hoeveelheid water, welke over de dijk komt, over een groter gebied wordt verspreid; de inundatiediepte wordt dan dus kleiner naarmate het gebied groter wordt. Voor ieder gebied bestaat een stormvloedshoogte, waarbij, ofschoon er water over de dijk komt, nog geen merkbare schade optreedt, omdat de sloten voldoende bergingsvermogen hebben. Deze grenswaarde ligt hoger, naarmate het achterliggende gebied groter wordt; zij ligt zeer zeker hoger dan de stormvloedshoogte, waarbij een niet-doorbraakvrije dijk gaat bezwijken.

Ik heb, volgens de methode, aangegeven door Van Dantzig en Kriens, een aantal gevallen van bestaande polders nagerekend, waarbij ik echter geen doorbraakschade aannam, doch de schade door inundatie bij een doorbraakvrije dijk. Uit deze berekeningen bleek, dat, zonder uitzondering, de bestaande dijkhoogte groter was dan de economisch-verantwoorde dijkhoogte. Ik geef hier slechts een der uitkomsten. Voor een 5 km brede landbouwpolder aan de Westerschelde ter hoogte van Terneuzen bleek de economisch-verantwoorde hoogte bij doorbraakvrije dijk rond 5.00 m + N.A.P. te bedragen. De bestaande dijken in deze omgeving zijn alle hoger.

In het algemeen zal het dus economisch niet verantwoord zijn de bestaande dijken te verhogen, indien men ze doorbraakvrij maakt.

De dijkhoogte in verband met de menselijke veiligheid.

Het menselijke leven is principieel niet in geld waardeerbaar. Het is dus in beginsel niet mogelijk om een financiële berekening op te zetten omtrent de dijkhoogte, welke uit een oogpunt van veiligheid moet worden aangehouden. Men is gedwongen, dit op een andere wijze te bezien. Welhaast de enige mogelijkheid schijnt mij gelegen in een vergelijking met het risico, dat een polderbewoner loopt om door een ander soort ongeval om het leven te komen. Als vergelijkbaar risico komt het meest in aanmerking: het risico om bij een verkeersongeval om het leven te komen.

De statistiek van de doodsoorzaken leert, dat gemiddeld 10 à 15 mensen per 1000 sterven tengevolge van een verkeersongeval. In een landbouwgebied zal dit risico belangrijk lager liggen dan het landelijk gemiddelde. Kiezen wij hiervoor een twintigmaal zo klein risico, dan wordt dit 7 personen op de tienduizend. Bij een gemiddelde levensduur van 70 jaren wordt dit een kans (frequentie) van 0,7 per mille per 70 jaar, ofwel éénmaal per honderdduizend jaar. Is dus de frequentie van de stormvloed, waarbij verdrinking tengevolge van wateroverslag over een doorbraakvrije dijk zal optreden, gelijk aan 10^{-5} dan is dit verdrinkingsrisico gelijk aan het gevaar om door een verkeersongeluk om het leven te komen.

Het is de vraag, of dit risico moet worden genomen. In tegenstelling met het risico bij verkeersongevallen is het namelijk mogelijk het onderhavige risico tegen betrekkelijk niet zo hoge kosten aanzienlijk te beperken. Voor het zuidwestelijke rampgebied bedraagt de zogenaamde "decimeringshoogte" ongeveer 0,60 m. Verhoging van een dijk met 1,20 m maakt het bestaande risico derhalve honderd maal zo klein. Een dergelijke ophoging kost naar ruwe schatting ongeveer f 200,- per m' dijk. De Zeeuwse eilanden Walcheren, Noord- en Zuid-Beveland, Tholen en Schouwen worden beschermd door 430 km dijk, waarvan de ophoging met 1,20 m rond 86 miljoen gulden zou kosten.

Het gebied wordt bewoond door rond 185000 mensen, zodat bedoelde dijkophoging rond f 465,- per inwoner zou kosten. Per jaar is dit een rente van rond f 15,- per inwoner, ofwel f 60,- per jaar voor een gemiddeld gezin. De vraag rijst nu of een gezinshoofd in doorsnee bereid zal zijn een premie van f 60,- per jaar te betalen voor een vermindering van het risico van verdrinken tot op één honderdste. Ik meen, dat dit ongetwijfeld het geval zal zijn, indien het bestaande risico 7% is; men zal er graag f 60,- per jaar per gezin voor over hebben om dit risico te brengen op 0,7 per mille. Indien echter het beginrisico slechts 0,7 per mille bedraagt, lijkt het mij aan twijfel onderhevig of men nog bereid is, een dergelijke jaarlijkse premie te betalen voor een reducering van het risico van 0,7 per mille tot op 0,007 per mille. Voor mijn gevoel ligt hier ergens de grens. In termen van stormvloedsfrequentie uitgedrukt, wil dit zeggen, dat de grens ligt tussen de frequenties 10^{-5} en 10^{-7} . Ik geloof, dat het redelijk is, om een stormvloed met de frequentie 10^{-6} als maatgevend aan te houden.

Het gevaar voor verdrinken bestaat niet, als zij, die vlak achter de dijk wonen, te voet nog weg kunnen komen naar de eerstvolgende waterkering. Zij de snelheid, waarmee men zich in dergelijke omstandigheden beweegt, gelijk aan V , en zij de af te leggen afstand B (gemakshalve neem ik hier aan, dat B tevens de gemiddelde breedte van de polder is), dan heeft iemand, die juist achter de dijk woont een tijd $T = B/V$ nodig om zich in veiligheid te stellen. In deze tijd mag het water in de polder nog niet hoger gekomen zijn dan stel 0,20 m boven de vluchtwegen. Nemen wij aan, dat deze vluchtwegen gemiddeld 0,40 m boven het maaiveld liggen, dan mag de polder in de tijd T slechts 0,60 m diep onder water komen. Komt er Q m³ water per uur over de dijk dan is dus $Q T = 0,60$ ofwel $Q = 0,60 V$.

Men ziet, dat de breedte B eruit valt. De menselijke veiligheid is dus niet afhankelijk van de breedte van de polder. Zij het verschil tussen stormvloedspeil en dijkhoogte, dan is

$$Q = 3600 \cdot \frac{2}{3} h \sqrt{\frac{2}{3} gh} \text{ in m}^3 \text{ per uur per m}^2 \text{ dijk.}$$

Dit is ongunstig berekend daar h nimmer direct zijn maximum bereikt. Invulling van deze waarde van Q in de vluchtvergelijking levert

$$h^{3/2} = V \cdot 10^{-4}$$

Kiest men $V = 3$ km per uur dan is $h = 0,45$ m. We rekenen met ronde bedragen, zodat we voor praktisch gebruik stellen: $h = 0,50$ m.

Legt men dus de dijkskruin van een doorbraakvrije dijk 0,50 m lager dan het stormvloedspeil met frequentie 10^{-6} dan is het persoonlijk risico om bij een stormvloed door verdrinken in de polder om het leven te komen ongeveer 0,07 per mille. Vergelijkt men dit risico bij andere gevaren-risico's, welke men in onze samenleving loopt, dan lijkt dit zeer aanvaardbaar.

In normale gevallen kan mijns inziens de bovenstaande regel (dijkhoogte 0,50 m lager dan de frequentie 10^{-6}) wel worden aangehouden. Er zijn echter gevallen, waarbij men goed doet, deze 0,50 m niet af te trekken. Dit is bijvoorbeeld het geval bij een klein eiland, zoals Tien Gemeten. Hier bestaat in het geheel geen vluchtmogelijkheid, zodat de dijken van een dergelijk eiland 0,50 m hoger zullen moeten zijn dan die van het nabijgelegen vasteland, om eenzelfde veiligheid te bieden.

Ook voor grotere eilanden, welke een langgerekte vorm hebben, of welke niet beschikken over een kern, waarheen men in eerste instantie kan uitwijken, behoeven dijken, welke hoger zijn dan volgens de bovengenoemde regel wordt afgeleid. Nog andere overwegingen kunnen tot hogere dijken aanleiding geven. Evacuatie van een grote stad binnen enige uren zal praktisch onmogelijk zijn, wegens de onvermijdelijk optredende verkeerscongesties op de vluchtwegen. Het schijnt dus bijvoorbeeld aanbevelenswaardig om de dijken, welke Rotterdam beschermen, wat hoger te leggen dan uit de 10^{-6} regel zou volgen.

In het algemeen zal men goed doen, de dijkhoogte mede in verband te bezien met de vluchtmogelijkheden, terwijl er tevens voor gezorgd dient te worden, dat deze vluchtmogelijkheden optimaal zijn. Hierop ga ik echter thans niet verder in.

In het hieronder volgende staatje is een overzicht opgenomen van de dijkhoogten langs het westelijk deel van de Westerschelde.

Dijkvak	In meters ten opzicht van N.A.P.			In m
	Peil met frequentie 10^{-6}	Peil dat 0,50 m lager ligt	Bestaande dijkhoogte	Tekort aan dijkhoogte
<u>Rechteroever</u>				
Walcheren (Vlissingen-Rithem)	6.20	5.70	5.90	-
Walcheren (Ritherm-Sloe)	6.25	5.75	5.20	0.55
Zuidkraayert	6.25	5.75	5.60	0.15
Borssele	6.30	5.80	6.00	-
Ellewoutsdijk	6.35	5.85	5.50	0.35
Baarland	6.40	5.90	5.70	0.20
Willem Annapolder	6.50	6.00	6.10	-
Brede Waering	6.55	6.05	6.70	-
Kruiningen	6.60	6.10	6.30	-
Waarde	6.65	6.15	6.60	-
<u>Linkeroever</u>				
Breskens	6.20	5.70	7.90	-
Baarzande	6.25	5.75	5.50	0.25
Hoofdplaatpolder	6.30	5.80	6.00	-
Paulinapolder	6.35	5.85	5.80	0.05
Nieuw Neuzenpolder	6.40	5.90	6.00	-
Oud Neuzenpolder	6.45	5.95	6.20	-
Eendrachtspolder	6.50	6.00	6.00	-
Ossensisse	6.55	6.05	6.70	-
Perkpolder	6.60	6.10	6.40	-
Walsoorden	6.65	6.15	6.40	-

Men ziet uit dit staatje, dat de meeste dijken wel voldoende hoogte bezitten, indien zij doorbraakvrij zouden zijn. De weinige dijkvakken, welke te laag liggen blijken geen grote tekorten te hebben. Meestal bedraagt dit enkele decimeters; in één geval is het meer dan een halve meter.

Men constateert ook, dat het meestal juist de dijken zijn, welke niet op de stormstreek liggen, doch in de luwte, die te laag zijn. Dit is begrijpelijk, daar de bestaande dijkhoogten zijn vastgesteld in verband met de te verwachten golfoploop. Deze golfoploop wordt echter, evenals de golfhoogte, in de berekening volgens de regel: "een halve meter lager dan de stormvloed met frequentie 10^{-6} ", niet meer in aanmerking genomen. Deze regel is afgeleid uit een toestand, waarbij het stormvloedspeil zelf reeds hoger ligt dan de dijkskruin.

Soortgelijke staatjes als het bovenstaande kan men ook maken voor andere dijkvakken. Bezie men de resultaten dan blijken twee dingen. Ten eerste blijkt de dijkhoogte, welke in verband staat met de menselijke veiligheid, bijna overal groter te zijn dan de economisch-verantwoorde dijkhoogte, zodat de eerste als maatgevend zou moeten worden aangehouden. Ten tweede blijkt, dat de bestaande dijkhoogten in het zuidwestelijk rampgebied veelal groter zijn

dan deze maatgevende dijkhoogte, ofwel ongeveer daarmee overeenkomen. Slechts dijkvakken, welke in de luwte liggen, blijken wel eens lager te zijn.

Hieruit volgt, dat de verbetering, welke de bestaande dijken in het zuidwestelijk rampgebied moeten ondergaan, niet in de eerste plaats een dijkverhoging is. De dijken, welke buiten de voorgenomen grote afdammingen zullen blijven, dienen doorbraakvrij te worden gemaakt. Dit betekent in hoofdzaak een verflauwing van de binnentaluds tot 1 op 3 en een verbetering van de afdekconstructie (optimale weerstand): slechts enkele dijkvakken zullen bovendien nog een verhoging nodig hebben. Deze verhogingen zullen slechts in enkele gevallen meer dan een halve meter bedragen.

Samenvatting

De in het voorgaande ontwikkelde beschouwingen zou ik ten slotte nog eens willen samenvatten in de vorm van een aantal stellingen. Deze gelden voor zeedijken.

1. Het is onmogelijk een dijk zo hoog te maken, dat er nimmer water over de kruin zal vloeien.

2. Slechts een dijk welke bestand is tegen overstort van water kan een zekerheidscoëfficiënt tegen bezwijken bezitten, welke groter is dan één.

3. De zekerheidscoëfficiënt tegen bezwijken van een dergelijke “doorbraakvrije” dijk is niet afhankelijk van de hoogte van de kruin of van de frequentie van de stormvloeden, doch hangt uitsluitend af van de kwaliteit der gebezigde materialen en de vorm van het dwarsprofiel.

4. Het verdient aanbeveling de belopen van een doorbraakvrije dijk een helling te geven, welke flauwer is dan het natuurlijk talud van de gebruikte dijkspecie in doorweekte toestand. In het algemeen zal een helling van 1 op 3 wel voldoende flauw zijn.

5. Indien de taluds van een doorbraakvrije dijk flauwer zijn dan 1 op 3, behoeft aan de bekleding de eis van ondoorlatendheid of geringe doorlatendheid niet meer te worden gesteld.

6. De bekleding van een doorbraakvrije dijk dient, over het gehele dwarsprofiel, een optimale weerstand tegen erosie door golfslag en overstromend water te bezitten. Hoe groter het door de dijk beschermde gebied is, hoe hoger deze optimale weerstand moet zijn.

7. Vermoedelijk zal een goede grasmat in vele gevallen voldoende weerstand tegen erosie bezitten, zodat slechts in betrekkelijk weinig gevallen (grote polders) voor een doorbraakvrije dijk tot toepassing van asfaltbekledingen, klinkerglooiingen en dergelijke behoeft te worden overgegaan.

8. Bij een doorbraakvrije dijk is het over het algemeen overbodig om bijzondere maatregelen te nemen tot beperking van de golfoploop, tenzij deze maatregelen zeer weinig kosten.

9. De kruinshoogte van een doorbraakvrije dijk is maatgevend voor de veiligheid van het door die dijk beschermde gebied.

10. Een afwegen van het geldelijk waardeerbare risico bij inundatie tegen de kosten van dijkverhoging leidt tot de vaststelling van een economisch-verantwoorde dijkhoogte. Hoe groter het door de dijk beschermde gebied is, des te kleiner is deze economisch-verantwoorde dijkhoogte.

11. Een beoordeling van het risico van verdrinken bij inundatie door over een doorbraakvrije dijk komend water leidt tot de vaststelling van een menselijk-verantwoorde dijkhoogte. Deze dijkhoogte is in het algemeen niet afhankelijk van de grootte van het door die dijk beschermde gebied, doch wel van de vorm van dit gebied.

12. Bijna altijd ligt bij een doorbraakvrije dijk de menselijk-verantwoorde dijkhoogte hoger dan de economisch-verantwoorde dijkhoogte, zodat in het algemeen de eerstgenoemde maatgevend zal zijn.

13. Een doorbraakvrije dijk, waarvan de kruin 0,50 m lager ligt dan het stormvloedspeil met frequentie 10^{-6} , biedt in het algemeen een ruim voldoende menselijke veiligheid in het door die

dijk beschermde gebied. In bijzondere gevallen kan er aanleiding zijn de dijk nog een halve meter hoger te maken in verband met de vluchtmogelijkheden.

14. De aldus vastgestelde hoogte is onafhankelijk van ligging en oriëntering van de dijk, dus onafhankelijk van de te verwachten golfloop en golfhoogte.

15. Verreweg het grootste gedeelte van de dijken in de zuidwestelijke delta bezit een kruins-hoogte, welke gelijk aan of groter is dan de onder 13 bedoelde hoogte.

16. De dijken in de zuidwestelijke delta, welke in de toekomst buiten de grote afdamming-en zullen blijven, zullen dienen te worden verbeterd. Deze verbetering is niet in de eerste plaats een verhoging van de dijk (zie 15) doch een wijziging van het dwarsprofiel (binnentalud verflauwen tot 1 op 3) en een verbetering van de afdeklaag (optimale weerstand), opdat de dijk doorbraakvrij worde.

Rijkswaterstaat
Directie Algemene Dienst
Hydrometrische Afdeling

OPMERKINGEN naar aanleiding van de nota van Ir EDELMAN
"Doorbraakvrije Zeedijken"

1. Het pleidooi voor een doorbraakvrije dijk heeft mijn volledige instemming.
2. Ook acht ik het toe te juichen, dat gepleit wordt voor een flauwer binnentalud (1:3). Er kan mee worden ingestemd, dat in de te steile binnentaluds een der hoofdoorzaken gelegen is geweest van het op grote schaal falen van de zeedijken in 1953. Zelfs kan er mee worden ingestemd, dat een te steil binnentalud een ernstiger fout is dan een te lage kruin. Vóór alles dienen dus overal de noodlottig gebleken steile binnentaluds te worden herzien. Doch dit alles geeft nog niet voldoende grond om nu de hoogte als een bagatel te gaan beschouwen.
3. De uitspraak, dat bij toepassing van een doorbraakvrije constructie volstaan zou kunnen worden met een kruinshoogte 10^{-6} –50 cm, acht ik prematuur en daarom misleidend. Het is een constructieve aangelegenheid of en tegen welke kosten men een dijk kan maken die —niet— bezwijkt, indien daarop golven beuken en overheen slaan van 1 à 4 m hoogte en meer. Te stellen, dat daarvoor een eenvoudige grasmat voldoende is bij een kruinshoogte gelijk aan of lager dan de buitenwaterstand, lijkt mij vooralsnog een ontoelaatbare simplificatie van het probleem, en een voorbarige conclusie uit de ervaringen van 1 Februari 1953.
4. Het is ook principieel misleidend om de stormvloedstand als niet-meer-belangrijk te kenschetsen. Niet alleen blijft die terdege belangrijk voor alle kunstwerken, als sluizen (IJmuiden, Den Helder, Harlingen, enz.), havens, tunnels (Maastunnel ...). Doch ook voor de dijksconstructie zelf, in het bijzonder voor de hoogte van de steenbezetting, de plaats van een eventuele plasberm e.d. Een dijk, die niet berekend is op een waterstand of een reeks van waterstanden, is een farce, tenzij men hem van beton maakt. Als wordt gesteld, dat een grasmat (ook aan de buitenzijde?¹ ook op de kruin?) te allen tijde voldoende bescherming biedt, dan is dit geen serieuze constructiegedachte meer. Teveel wordt ook over het hoofd gezien wat Prof. ir. Klein ter vergadering van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs mededeelde, n.l. dat ontelbare onvolkomenheden in de grasmat een begin tot vernieling vormden. Hoe zou men ooit in de grasmat in de toekomst een volmaakte grasmat kunnen garanderen? En nu wil ir. Edelman zonder meer de grasmat toereikend verklaren voor veel zwaardere belastingen, dan waar ook in 1953 optraden.
5. In de Staten-Generaal zal aan de Minister worden gevraagd: voor welke stormvloedden zijn wij veilig. Hij zal er nooit van tussen kunnen om daar een antwoord op te geven, dat concreet, begrijpelijk en voor de bevolking in de betreffende gebieden aanvaardbaar is.

¹ boven de glooiing

De doorbraakvrije dijk is natuurlijk een uiterst belangrijk bestanddeel van een aanvaardbaar antwoord. Doch de gestelde kruinshoogte verlamt elk antwoord volkomen. Wat heeft de polderbevolking eraan als de Minister mededeelt: gij zult weliswaar af en toe helemaal onder water komen, maar de dijken zullen heel blijven, die kunnen daartegen.

6. In de particuliere sfeer, bijvoorbeeld bij het oprichten van een fabriek, zou men genoeg kunnen nemen met een risico van 5% dat het bedrijf wordt lamgelegd door een overstroming met zeewater, in een tijdvak van bijvoorbeeld 50 jaar. Dit voert tot een hoogstens toelaatbare frequentie van

$$\frac{1}{20} \cdot \frac{1}{50} = 10^{-3}$$

In de sfeer van het openbare leven heeft men in de eerste plaats te maken meteen veel langere termijn, waarvoor huidige beslissingen bepalend blijven. Steden, dorpen, bedrijven, etablissementen, vormen een intensief vergroeid geheel. Gezien de ervaringen (Rotterdam, Dordrecht, industriedijken, Harlingen en vele andere havenplaatsen) is een bepaalde situatie gedurende eeuwen onveranderlijk. Hiervoor een termijn van 500 jaar nemen is verantwoord.

Wat het risico betreft, het gaat voor de overheid om de veiligheid van duizenden en miljoenen en om het intact houden van de bronnen van bestaan. Het risico zal men bewust toch zeker niet hoger kiezen dan bijvoorbeeld 0,5%. Over een termijn van 500 jaar een risico van 0,5% accepterende, aanvaardt men een risico van een frequentie van 10^{-5} .

7. De frequentie 10^{-5} komt voor Hoek van Holland overeen met 5.00 + N.A.P. Dit is praktisch identiek aan 10^{-6} –50 cm, waartoe ir. Edelman komt. Over de hoogte als zodanig bestaat dus niet zozeer verschil van mening.
8. Men moet nu als volgt te werk gaan:
- i. Een zodanige dijk ontwerpen, dat bij stormvloeden tot-dat-peil in de polder overslaand water e.d. geen ingrijpend gevaar of schade ontstaat. Dat wil zeggen de Minister moet kunnen zeggen: tot 500+ volkomen veiligheid.
 - ii. De constructie moet verder doelmatig en economisch zijn. Een eventueel lage kruin met toelaten van (hevige) overslag is een kwestie van constructieve mogelijkheden. In dit verband is de nadruk, die ir. Edelman legt op een voldoende flauw binnentalud, van bijzonder belang. Een dijk, die ook bij overschrijden van het gestelde peil nog intact blijft, is uiteraard te verkiezen boven een constructie die zou bezwijken. Deze dienst welbewust te worden geconstrueerd.
9. Wordt dus gerekend op een waterstand 10^{-5} en de dijk zo geconstrueerd, dat hij doorbraakvrij is, dan kan de Minister antwoorden:
- i. De volstrekte veiligheid gaat tot stormvloeden 1 à 1½ m hóger dan in 1953. Tot zulk een hoogte zal er generlei overlast optreden.
 - ii. Treedt een stormvloed op die hogere waterstand geeft dan 500+ te Hoek van Holland, dan zal overlast kunnen worden ondervonden in de vorm van (enige) inundatie van overslaand of zelfs overstromend water. Het is niet ondenkbaar, dat die overlast ernstig of zelf zeer ernstig kan zijn.
 - iii. De grootte van dit risico is ½ % in een tijdvak van 500 jaar, dus kleiner dan enig ander risico in het maatschappelijk leven.
 - iv. Mocht zich onverhoopt zulk een extreem natuurphenomeen voordoen, dan zullen nochtans de dijken niet bezwijken, zodat de snelheid van inundatie nier zo noodlottig groot kan worden als in 1953, en de inundatie zelf ook zeer beperkt

blijft, terwijl het in de polder binnengestroomde water na wegvallen van de storm weer op het buitenwater kan worden geloosd. Het is dus nauwelijks meer reëel te noemen, dat er een watersnood ontstaat met levensgevaar voor de bevolking. Ook niet bij optreden van de grootste stormvloeden, die uit de historie bekend zijn of bij de ongunstige combinaties van storm en getij, die onze berekeningen ons hebben voorgelegd als mogelijk.

10. De quintessens van de Nota van ir. Edelman is gelegen in de aandacht die hij vraagt voor een flauwer binnentalud, minstens 1:3. De traditionele dijksconstructie lette alléén op de hoogte en verwaarloosde het binnentalud. Dit is in 1953 noodlottig gebleken. Ik ga er dus volkomen met ir. Edelman mee in zijn pleidooi voor een flauwer binnentalud. Het is niet ondenkbaar, dat men bij nadere bestudering tot de conclusie zal komen, dat men bij voldoende flauw binnentalud water over de kruin kan laten komen. Hoe lang en hoeveel, daaromtrent is m.i. nog hoegenaamd niets bekend. Dat ir. Edelman nu al een oplossing daarvoor stelt, acht ik voorbarig.
11. De kern is dus:
 - i. Een concreet maatgevende stand is zowel om psychologische als om constructieve redenen noodzakelijk.
 - ii. Voor alle, ook voor hógere stormvloeden, moet de dijk doorbraakvrij zijn.
 - iii. De werkelijke dijkshoogte, alsmede de aard van de constructie, zullen eerst na uitvoeriger onderzoek nader bepaald kunnen worden. Daarbij zal gebroken moeten worden met de traditionele dijksconstructie en vooral het binnentalud flauw gehouden moeten worden.

's Gravenhage, 21/23 Maart 1955
WEMELSFELDER