

Hy-150

**BODEMDALING, BLIJVEND ACTUEEL ASPEKT
VAN DE NEDERLANDSE WATERBOUW**

Ir. P. J. Wemelsfelder
Rijkswaterstaat

**Overdruk van Bericht no. 10 van de Nederlandse Vereniging
voor Landaanwinning - 1965**

BODEMDALING, BLIJVEND ACTUEEL ASPEKT VAN DE NEDERLANDSE WATERBOUW

Ir. P. J. Wemelsfelder
Rijkswaterstaat

I DOEL VAN DEZE STUDIE

In vergelijking met dreigingen door een soms overmachtige natuur als aardbevingen, vulkanische uitbarstingen, tropische cyclonen, nooit eindigende droogten of extreme koude, zijn wij in Nederland met onze stormvloed en bodemdaling zeker niet voor bijzonder grote moeilijkheden gesteld. Wel moeten wij weten waar wij aan toe zijn en bepaald ook adequate waterbouwkundige maatregelen nemen. Het is wel een prettige gedachte te weten, dat die maatregelen veelal ruimschoots binnen bereik liggen. Mocht men echter menen dat het wel niet zo'n vaart zal lopen, dan moet het verontrustende antwoord luiden: ja, dat doet het helaas wel.

Er zijn zes aspecten, die de situatie juist in Nederland ten aanzien van de bodemdaling minder gunstig doen zijn. Dat zijn:

1. het geologisch aspect, tonende een voortgaande daling van de vaste ondergrond;
2. het maritiem aspect, tonende een langzaam rijkende zeespiegel;
3. het bodemmechanisch aspect, aanwijzende een matige tot aanzienlijke voortschrijdende klink van de overwegend alluviale lagen in het westen en noorden des lands;
4. de thans al reeds zo lage en kwetsbare ligging van 40% van ons land;

5. een bevolkingsdichtheid in de kwetsbare gebieden, die tot de grootste ter wereld behoort;
6. de bijzonder hoge concentratie van economische belangen in de vorm van havens, industrie en woonelegentheid in de betrokken zone.

Er is een overvloed van literatuur over bodembeweging en het niveau der oceanen en hoewel de situatie vrijwel nergens ter wereld zo gevoelig is als in Nederland, zo is toch de belangstelling wezenlijk mondiaal. De Union Géodésique et Géophysique Internationale heeft in zijn Oceanografische Associatie de in het geofysisch jaar opgerichte Permanent Service for mean sea level en op dit terrein is mede werkzaam de mean sea level committee. O.a. door publicatie van waterstandswaarnemingen van over de gehele wereld wordt een basis voor fundamentele studies op mondiaal formaat gelegd.

De Internationale Associatie voor Geodesie heeft een werkgroep voor het bestuderen van aardkorstbewegingen op mondiaal formaat. In ons land heeft de Rijkscommissie voor Geodesie een subcommissie voor bodembeweging ingesteld, welke zich specifiek met de actuele bewegingen van de Nederlandse bodem bezighoudt.

Genoeg om te doen blijken, dat de materie bodembeweging, (die uiteraard elders in de wereld evengoed de soms zeer aanzienlijke opwaartse bewegingen omvat) is uitgegroeid boven de interesse-sfeer van de enkele onderzoeker. Het opmerken van deze ontwikkeling mag echter voor de Nederlandse omstandigheden bepaald niet de gedachte doen postvatten: gelukkig dat er op hoog niveau en zo groot formaat aandacht aan deze zaak besteed wordt; laten wij de resultaten afwachten.

Op vele plaatsen en in verschillende wetenschappelijke sectoren (isostasie Antarctica, de beweging der continenten) staat men pas aan het begin van waarnemingen en men zal dus eerst in vrij verre toekomst de vruchten van deze arbeid kunnen plukken. Alle aanleiding is er voor Nederland om zich te bezinnen op de reeds verworven inzichten en te doen wat naar hier zal worden aangetoond, dringend gedaan moet worden.

Er is speciaal ook voor de Nederlandse situatie een overvloed van literatuur¹. Te zelden echter hebben onderzoekers, die de resultaten van hun onderzoekingen en overwegingen op schrift

¹ Verwezen zij naar de uitvoerige vermeldingen in (2), (3), (4) en (6).

stelden, er zich rekenschap van gegeven, hoe ongelukkig zij telkens weer de waterbouwkundigen wisten te maken met hun reserves, hun vaagheden, hun vrijblijvende algemeenheden, hun onderlinge verschillen. De zich verantwoordelijk wetende waterbouwer immers heeft het duidelijke gevoel verplicht te zijn iets te doen. Maar de wetenschappelijke literatuur legt hem niet altijd voor wat het dan wel is wat hij doen moet.

De volgende studie wil een poging ondernemen om in deze leemte te voorzien.

II KORTE BESPREKING DER CAUSALE FACTOREN

Een globaal inzicht in de factoren, die aan onze kusten werkzaam zijn en in bodemdaling resulteren kan de achtergrond geven, waaraan men bij het nemen van belangrijke en ver reikende beslissingen ongetwijfeld behoefte zal hebben. Die toelichting zal in het kader van deze studie alleen betrekking hebben op de in § 1 genoemde aspecten 1), 2) en 3) overwegende, dat men ten aanzien van de uit de aspecten 4), 5) en 6) voortvloeiende verantwoordelijkheden reeds uit anderen hoofde overtuigd is.

Geologische sector

Wat de geologische sector betreft moge worden volstaan met vermelding van het wel algemeen aanvaarde beeld, dat door afsmelten van de ijsskap op Noord-Europa, een aanzienlijke ontlasting in Noord-Finland en Skandinavië is ingetreden sinds 10.000 jaar. Dienovereenkomstig stroomt nu met spoed de taale magma onder de starre aardkorst toe naar de put aldaar. Het landschap aan de Botnische Golf steigt met een snelheid van 1 m per eeuw, waardoor havens geheel landinwaarts komen te liggen en in sterke mate verondiepen. Op Spitsbergen is een stijging van het land met 3 m per eeuw geconstateerd.

Terzijde zij opgemerkt, dat deze toch aanmerkelijke bedragen nog verre worden overtroffen door een verticale beweging, gemeten in Japan, van 2 m in 5 jaar, zonder dat deze gepaard is gegaan met aardbevingen (Int. Hydr. Rev. July 1962). De aardkorst is niet in rust.

Het toestromen van magma gaat ten koste van een wijde gordel, alwaar een daling optreedt. Nederland ligt in deze dalingsgordel. De kantellijn tussen rijzing van Skandinavië en daling loopt on-

geveer over Jutland. Volgens berekeningen van Veningh Meinesz zou de daling nog een 8 à 10 meter kunnen voortgaan, over enige duizenden jaren lopende, alvorens ommekeer is te verwachten. Aan de zuidoostzijde doet zich een nawerking van de vorming van de Alpen gelden. Deze bestaat in het langzaam oprijzen van de middegebergten als Eifel, Vogezen, Ardennen enz. door het onderaards uitvloeien van de soortelijk te lichte wortel van de Alpen. Ook dit is een aflopend proces met tot de te bereiken evenwichtstoestand nog slechts meters beweging en luttele duizenden jaren duur.

Maritieme sector

In de ijstijd was een onvoorstelbaar grote hoeveelheid water geaccumuleerd in ijs. Tengevolge daarvan is het zeeniveau verlaagd geweest over meer dan 100 meter. Sinds het einde van de ijstijd is het zeeniveau over dit bedrag weer omhoog gegaan.

De geschiedenis van dit omhoogkomen, uiteraard in relatieve zin, kan worden gelezen door volgens de C_{14} methode de ouderdom te bepalen van fossielen, afkomstig van organisch leven waarvan het milieu direct of indirect gebonden was aan het zeeniveau en welke thans op hun ontstaanplaats worden aangetroffen. Shepard (2) heeft van een groot aantal C_{14} metingen, afkomstig van uiteengelegen punten op aarde, een tijd-diepte diagram van het wereldzeeniveau samengesteld. Uit zijn curve volgt duidelijk dat het zeeniveau van een ligging een 120 m lager dan de huidige in omstreeks 20.000 BP (before present) met een snelheid van aanvankelijk 90 cm/eeuw stijgt tot globaal 7 m beneden de huidige zeespiegel in het jaar 6.000 BP. Daarna is het verloop aanmerkelijk vlakker.

Het ligt in de rede om het einde van de actiefste fase van de ijssmeltperiode op globaal 6.000 BP te stellen en de sindsdien te constateren veel kleinere stijging van de zeespiegel te zien als resultaat van mede andere factoren. De zee is sindsdien blijven stijgen en wel met een totaalbedrag, dat in de orde van grootte ligt van enige meters. Sommige auteurs willen die stijging zien als een fluctuerend gebeuren, doch het schijnt niet wel toelaatbaar om hierbij van perioden van welke aard ook te spreken. Ook dat de zeespiegel zelfs wel eens hoger is geweest dan de huidige en dat zich ten aanzien van heden wederom een daling heeft gemanifesteerd, moet als achterhaald gelden.

Wat nu deze huidige toestand betreft, algemeen is men van me-

ning, dat de gletschers, althans die op het noordelijk halfrond, zich terugtrekken. Aangezien er in de gletschers nog een water-voorraad ligt equivalent aan meer dan 50 m zeehoogte, impliceert deze gang van zaken, dat uit hoofde van een in feite zich manifesterend proces van ontgletschering een verdere stijging van de zeespiegel moet worden verwacht. Indien slechts 2% van de gletscherinhoud smelt geeft dit reeds een stijging van het zeeniveau van 1 m. Kleine meteorologische fluctuaties kunnen dus al een rampspoedige stijging van de zee aan onze lage kusten veroorzaken. Andere mogelijkheden voor een voortgezette rijzing van de zeespiegel zijn het uitwerken van isostatische onbalans in Antarctica en het verschuiven der continenten, welke gedachte recent weer nieuwe impulsen heeft gekregen. Ook hiermede kunnen bijdragen tot de zeespiegelbeweging in orde van meerdere cm/eeuw gemoeid zijn.

De genoemde causale factoren hebben tijdschalen die in de duizenden jaren gemeten moeten worden. Een voortgaande trend in de absolute zeespiegelrijzing in de orde van grootte van 5 à 10 cm per eeuw dient zich aan als een getalswaarde waarmee men goed doet voor de praktijk rekening te houden.

Het is voor het volgende gewenst onderscheid te maken tussen het gemiddelde niveau der oceanen over de gehele aardbol en gemiddeld zeeniveau op een bepaalde plaats. Dit laatste kan ten opzichte van het wereldzeeniveau aanzienlijke veranderingen ondergaan van meer secundaire aard tengevolge van wijzigingen in het patroon der zeestromingen en daarmee samenhangende verhangen, corioliskrachten e.d., wijzigingen in het patroon der windcirculatie, wijziging in soortelijk gewicht door veranderde menging van zee- en rivierwater, astronomische factoren, temperaturen.

Dergelijke wijzigingen dragen in beginsel een stochastisch karakter. Doch de tijdschaal kan variëren van dagen of weken tot maanden, tientallen jaren en eeuwen. De gemiddelde zeestand is dan ook een onzekere en ook bij ideale meettechniek moeilijk te grijpen grootheid. Een gemiddelde van 20 jaar of zo men wil 50 jaar is nog verre van vrij van de stochastische factoren als genoemd. En ook al zijn de metingen op ideale wijze uitgevoerd, dan nog zal men zich er van bewust moeten zijn, dat er tussen de voor de meetplaats gevonden waarden en de wereldzee systematische verschillen kunnen optreden van allerlei aard, hetzij constant, hetzij veranderlijk met de seizoenen, hetzij veranderend met het patroon van het klimaat.

Tenslotte kan het dienstig zijn er op te wijzen, dat zo exact bepaalbaar als het zeeniveau zich (onder de zojuist genoemde reser-

ves) moge voordoen in de sfeer van de meettechniek, zo onbewust slordig men er mee omspringt in de verbale sfeer. Zeeniveau impliceert dan namelijk allereerst en bijna steeds alléén een globale fysische aanduiding. Men doet goed onder dit begrip te verstaan de veelal meerdere meters brede zone, waarbinnen de waterstanden dagelijks, jaarlijks of in tientallen jaren tijds plegen te fluctueren en bepaaldelijk niet een op de cm nauwkeurig aanwijsbare hoogte.

Waar dit begrip wordt gehanteerd in geologisch, oceanologisch, archeologisch of biologisch verband, en dan vaak genoemd „gemiddelde zeespiegel”, „normaal hoogwater” e.d., staat zulk een begrip beslist niet altijd voor een nauwkeurig gedefinieerde meettechnische waarde, maar vaak voor een begrip uit dat speciale vakgebied, bijvoorbeeld veenvorming, afzettingen, koraalvorming, terphogte en dergelijke. Zolang men in de verbale sfeer blijft zijn dergelijke begrippen zeer wel bruikbaar en voldoende scherp begrensd. Wanneer men ze echter in grafieken weergeeft en omgekeerd, wanneer men grafieken voor zich ziet met curven, die de daling van „de” zeespiegel in de tijd aangeven, dan doet men goed te bedenken dat de meetpunten

- a. veelal tot verschillende objecten van onderzoek behoren en dus ten opzichte van „het getij” niet gelijk behoeven te liggen;
- b. veel betrekking hebben op meetstations of vindplaatsen van op zijn minst onderling uiteenlopende tijverschillen, waardoor de punten nog een extra spreiding verkrijgen ten bedrage van de zwaai der tijverschillen; een spreiding zowel in de tijd als in de ruimte;
- c. wanneer zij betrekking hebben op mensenwerk als terpen of woonresten er zich verschillen in werkwijzen in tijd en in ruimte kunnen voordoen;

Ten aanzien van de grafieken moet men dienovereenkomstig overwegen:

- d. dat de nul van een diepteschaal in de meeste gevallen niet bedoelt een exacte meetwaarde aan te geven, doch veeleer een begripswaarde;
- e. dat een in een grafiek aangegeven hoogte „NAP”, „zeespiegel”, „gemiddeld zeeniveau” of „gemiddeld hoogwater” in feite niet anders inhoudt dan een begripswaarde, welke *misschien* overeenkomt met de gelijkkluidende meettechnische waarde; waarschijnlijk niet.

Waar nu verscheidene onderzoekers de tijd-diepte curven van de zeespiegelrijzing met een al of niet sierlijke boog in het heden laten eindigen in O of NAP (Van Straaten, Bennema, Shepard, Zwart) daar maken zij zonder uitzondering de fout, dat zij het punt O of NAP een punt van de curve, naar hun mening zelfs het meest zekere punt, achten. Zij trekken dus hun curven naar dat punt toe. Op grond van het bovenstaande moge duidelijk zijn, dat zij dat nu juist niet moesten doen.

In dit verband kan reeds hier met instemming worden gewezen op de studie van Jelgersma (4), die in fig. 22, hier overgenomen als fig. 2a, de tijddiepte curve laat eindigen waar de metingen ophouden en de curve niet een beloop geeft, dat de bestudeerder als het ware suggereert om die tot NAP door te trekken. In § 4 wordt de kwestie van extrapolatie besproken.

Klink

Onder klink, inklinking of compactie verstaat men de verdichting van samendrukbare bovenlagen. Dat zijn in dit verband alleen veen en klei.

De mate van inklinking is afhankelijk van de dikte der lagen, van hun ouderdom, aard der ontwatering, *aanvankelijke* dichtheid. Voor veen kan de compactie vele meters bedragen, voor zeeklei zijn cijfers gemeten van 1 m en meer.

Tengevolge van de inklinking is de maaiveldhoogte van de Nederlandse polders reeds thans vele decimeters lager dan ten tijde van de inpoldering en dit proces van daling door klink is nog verre van zijn eindwaarde. Lit. (3) vermeldt gemeten dalingen tengevolge van klink in alluviale lagen oplopende tot 120 cm per eeuw en dalingen van dijkkruijen gemiddeld 70 cm per eeuw en ook dijktrajecten van gemiddelde daling van 100 en zelfs 180 cm per eeuw.

Tengevolge van deze maaiveld daling verkrijgen de polders allengs de ongunstige komvorm. Ingeval van een doorbraak wordt nu de polder niet éénmalig geïnundeerd, doch het getij trekt dagelijks door het geslagen gat in en uit.

Kunstwerken en vooral de peilmeeetstations zijn vrijwel nimmer gefundeerd op de samendrukbare lagen. Zij zijn rechtstreeks dan wel door middel van onderheijng gefundeerd op het pleistocene zand en maken dus alleen de geologische daling mee.

III WATERSTANDEN

Welke geologische, archeologische en andere inzichten ons ook ten dienste mogen staan, uiteindelijk geeft voor de waterbouw de doorslag de hoogte van de zeespiegel ten opzichte van concrete constructies. Men raadpleegt dus het Tienjarig Overzicht der Waterhoogten (1) om voor het concrete geval concrete watergegevens te hebben. Waar men dit documentatiewerk ook opslaat, overal dringt zich de stijging der waterstanden op.

Voor goed begrip zij hier vermeld, dat de Nederlandse peilmeetstations steeds zeer zorgvuldig zijn gefundeerd en aan de kust en zeearmen voor het overgrote deel op het diluvium. Zij zijn dus zelve niet onderhevig aan zetting. De aflezingen geven de hoogte van de zee ten opzichte van de geologische vaste ondergrond. De grote dalingen van het polderland of van op slappe lagen gebouwde woningen beïnvloeden nergens de waarneming der zeehoogten aan de officiële stations.

De nulhoogten van alle Nederlandse hoofdpeilmeetstations worden bovendien, onafhankelijk van het feit dat zij op zich zelf genomen toch al vrijwel niet onderworpen zijn aan een eigen zinking, door middel van regelmatig herhaalde nauwkeurigheidswaterpassingen met grote accuratesse gelijk gehouden aan de nul van het NAP te Amsterdam.¹

Mocht dus ons land bijvoorbeeld kantelen (hieromtrent bestaat geen op meetgegevens berustende informatie; aan de significantie van de studie terzake van Edelman (Geologie en Mijnbouw 1954) wordt thans getwijfeld), dan kantelen de nulhoogten der peilschalen toch niet mee. Die blijven steeds op Amsterdam gericht.

Gaan we nu over tot een iets meer gedetailleerde beschouwing van het gedrag der waterstanden. In fig. 1 zijn weergegeven de jaargemiddelden van de gemiddelde zeestand van een 10-tal representatieve stations. Onder gemiddelde zeestand wordt hier verstaan het jaargemiddelde van dagelijks uit de geregistreerde curven afgelezen 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23-uurstanden. Voorzover geen registraties beschikbaar waren zijn halftijstanden ge-

¹ Het artikel van Saarloos „De geringe nauwkeurigheid van het bodemdalingsgetal, ten opzichte van zeeniveau, afgeleid uit aflezingen op de Nederlandse kustpeilschalen en de methode om daarin verbetering te brengen” (tijdschr. KNAG 1951) berust op een onjuiste interpretatie der zogenaamde „verstellingen”. De conclusies waartoe de auteur komt zijn daardoor enigszins misleidend en weinig terzake dienende.

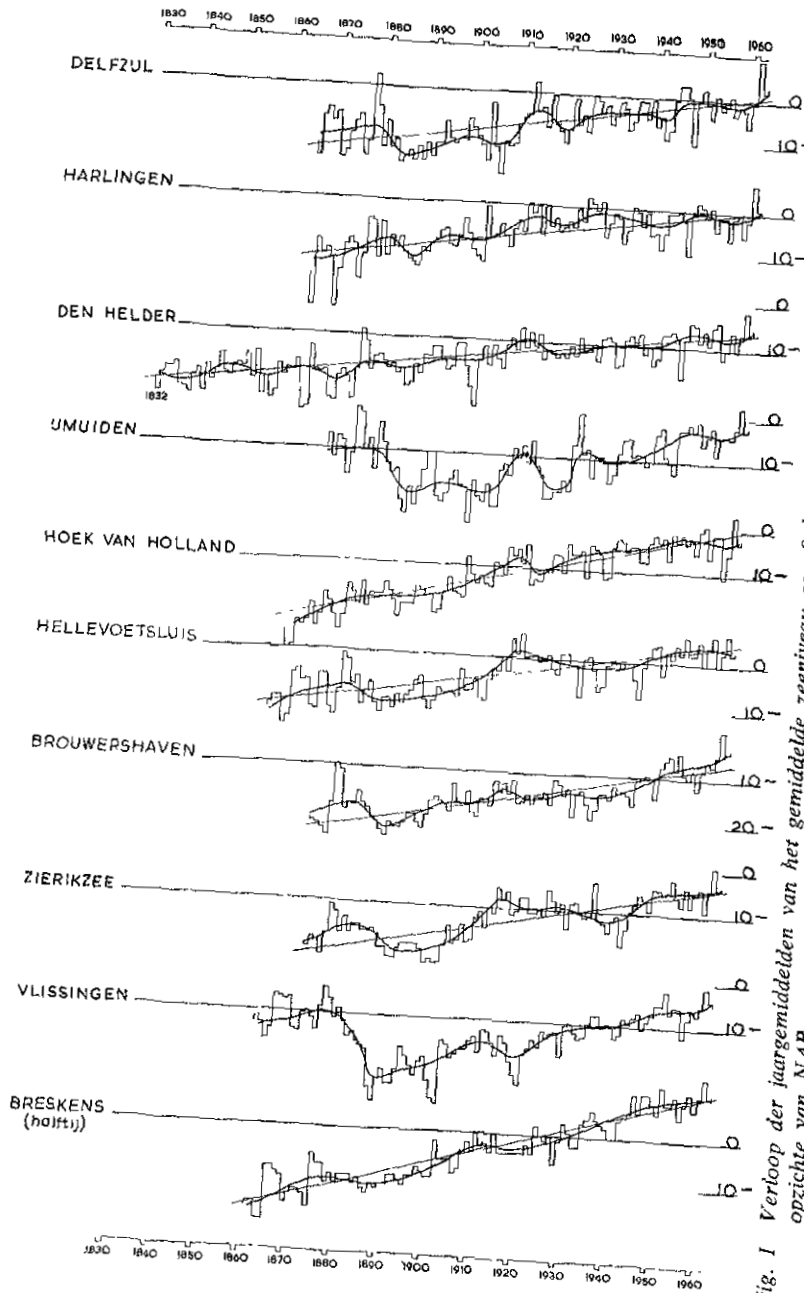


fig. 1 Verloop der jaargemiddelden van het gemiddelde zeeniveau aan 9 kuststations en van één station half-tij ten opzichte van NAP

bruikt, gecorrigeerd voor het zeer constante verschil tussen halftij en gemiddelde zeezustand. Voor het niet registrerende station Breskens zijn halftijstanden gegeven.

Het volgende valt op te merken:

1. Alle meetstations tonen onmiskenbaar een aanmerkelijke stijging van de zeespiegel;
2. De som van de 10 stijgingen is 179 cm, van de 10 tijdperken 1004 jaar hetgeen resulteert in een gemiddelde stijging van 18 cm/ eeuw over een tijdvak van gemiddeld rond 100 jaar;
3. Genoemde stijging is die van de gemiddelde zeespiegel (gemiddeld naar tijd en ruimte) ten opzichte van de zetel van het NAP te Amsterdam;
4. De stijging van de lijnen der noordelijke drie stations, Den Helder, Harlingen en Delfzijl bedraagt 13 cm per eeuw, die aan de 7 stations van Breskens tot IJmuiden 20 cm per eeuw, gemiddeld over alles de reeds vermelde 18 cm/eeuw. Deze ongelijkheid is niet het gevolg van ongelijke bodemdaling. Immers alle grafieken hebben alleen betrekking op de hoogte van het NAP te Amsterdam. Een eventueel verschil tussen noord en zuid moet geheel worden toegeschreven aan stochastische invloeden in de meteorologische en de maritieme sfeer en de waterpassingen, misschien met inachtneming van het onder 10 gestelde;
5. Door de grafieken zijn trendlijnen getekend zonder op die van de buurstations acht te slaan. Het is belangwekkend om op te merken, hoezeer deze lijnen onderling in detail verschillen. Er is, buiten de algemeen stijgende trend, vrijwel geen coherentie. Dit impliceert dat er geen aanleiding is het begrip „perioden” te hanteren en dat men aan een detailverschijnsel, aan één station geconstateerd, geen of slechts locale waarde kan toekennen tenzij analoge bewegingen aan zeker 2 of 3 andere stations zijn vastgesteld;
6. Als mogelijke oorzaken voor de detailverschillen tussen de trendlijnen onderling kunnen worden genoemd:
 - a. verschil in ligging aan noord- of zuidoever;
 - b. astronomische componenten van lange duur;
 - c. niet simultaan zijn der bijstellingen;
 - d. nieuwe aansluitingen aan hoogwaardiger punten van het net;

- e. in tijd en ruimte wisselende invloeden van s.g.-verschillen, geenszins simultaan verlopende aan alle meetpunten;
- f. eindeloos variërende detailinvloeden van meteorologisch karakter: windkracht, windrichting, luchtdruk;
- g. wisselende vervallen der grote zeestromingen;
- h. wisselende Corioliskracht;
- k. temperatuurverschillen van het passerende zeewater;
- l. allerlei gevolgen van waterbouwkundig ingrijpen in de situatie.

Wellicht zijn er nog meer factoren die veroorzaken, dat geen twee peilmeetstations een identiek verloop demonstreren. Daarenboven zijn er natuurlijk de normale meetonauwkeurigheden. Het schijnt echter niet conform de realiteit om te verwachten, dat wanneer een volmaakte meettechniek werd gehanteerd, ook identieke waterstandtrendlijnen zouden worden gevonden;

7. Tussen omstreeks 1875 en 1885 vertonen drie stations (Breskens, Hoek van Holland en Den Helder) zo goed als geen omlaagduiken der waterstanden. Vijf stations vertonen een val van omstreeks 5 cm en twee (Vlissingen en IJmuiden) vertonen een opmerkelijke val. Alle stations doen echter meerdere jaren over die val, Vlissingen zelfs 10 jaar. De omstreeks die tijd uitgevoerde 2e nauwkeurigheidswaterpassing is dus waarschijnlijk *niet de oorzaak van die beweging*. Tot nu toe zijn deze bijzonderheden niet opgehelderd en moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat de natuur ons hier met een wat opvallende onregelmatigheid heeft verrast;

8. Het is natuurlijk ongeoorloofd om de waarnemingen te Vlissingen en IJmuiden van vóór 1885 als „onbetrouwbaar” te brandmerken en uit te sluiten. Iets minder ongeoorloofd zou het zijn om voor alle stations alleen de waarnemingen van na b.v. 1883 te gebruiken. Over het 80-jarig tijdvak 1883—1962 wordt dan een gemiddelde relatieve zeespiegelstijging gevonden van 19 cm/eeuw. Het verschil met de voor alle materiaal gevonden 18 cm/eeuw is gering;

9. De kleinst mogelijke waarde van het bodemdalingsgetal wordt verkregen door op te meten de waterstandrijzing van eerste top (dal) op elke curve tot laatste top (dal). Dit geeft een bodemdalingsgetal van 15 cm/eeuw. Het verschil tussen de uitersten 19 cm/eeuw en 15 cm/eeuw is eveneens nog gering. Wij kunnen de gesignaleerde bewegingen daarom verder laten voor wat zij zijn;

10. Zij nog vermeld, dat van de twee fraaiste zeer gestrekte curven, te weten die van Den Helder over 131 jaar van deze reeks het kleinste bodemdalingsgetal oplevert, 11 cm/eeuw en Breskens over 101 jaar het grootste bodemdalingsgetal 29 cm/eeuw. Nogmaals, dit verschil heeft geen betrekking op plaatselijk ongelijke bodemdaling. Zo die er mocht zijn, dan wordt die door de officiële rijkspeilschaalwaarnemingen niet aan het licht gebracht. Deze immers geven uitsluitend de bewegingen van de zeespiegel ten opzichte van „Amsterdam”. „Amsterdam” zakt dus ten opzichte van de zeespiegel in Den Helder met 11 cm/eeuw, in Breskens met 29 cm/eeuw. Het gemiddelde hiervan, 20 cm/eeuw, ligt dicht bij het generale gemiddelde van 18 cm/eeuw. Een verklaring voor deze intrigerende divergentie, en dat juist bij de fraaiste curven van de reeks, is nog niet gevonden. Men realiseert zich, dat als men de oorzaak zoekt bij de zee, deze dan over 100 jaar tijds over het traject Westerschelde—Marsdiep zich heeft ingesteld op een gemiddeld verval, dat $29 - 11 = 18$ cm verschilt met dat daarvoor. Zoekt men de oorzaak bij de nauwkeurigheidswaterpassingen, dan is het zeker interessant om, behalve aan „waarnemingsfouten” te denken aan de mogelijkheid, dat de zwaartekrachtrichting niet stabiel naar het middelpunt der aarde wijst. Waarom zou hij ook, sinds wij weten, dat er in de aarde nog al wat beweging is.

De discussie, hier gevoerd rondom het karakter van de 10 curven, geeft tevens een verklaring voor het feit, dat in de loop der jaren onderzoekers op dit gebied telkens weer met iets andere getallen voor de dag kwamen. (Ramaer 10 cm/eeuw, Thijsse 23 cm/eeuw, Van Veen 30 en ook 20 cm/eeuw, De Bruyn 10 cm/eeuw, Blaupot ten Cate 26 cm/eeuw). De hier gebruikte reeks is echter langer dan welke ook eerder gebruikt kon worden (de discutabele, in 1865 afgesloten reeks Amsterdam buiten beschouwing gelaten) en kan uit dien hoofde aanspraak maken op het kunnen geven van de beste thans te realiseren uitspraak. In § 5 komt een en ander nog nader ter sprake.

IV DE BODEMDALINGSGRAFIEK VOLGENS HET C-14 ONDERZOEK (JELGERSMA)

Op verzoek van de Deltacommissie is door de Geologische Dienst

een onderzoek ingesteld naar de ouderdom van een groot aantal in de ondergrond aanwezige veenlagen volgens de C_{14} methode. Wij kunnen dit initiatief en de ten uitvoerlegging ervan bijzonder toejuichen. Voor ons doel ontleen wij aan deze studie (4) de dalingsgrafiek fig. 2a.

Elk punt stelt voor een veenmonster, waarvan de ouderdom, bepaald met de C_{14} methode, als X werd uitgezet en de hoogte ten opzichte van NAP als Y-waarde. De onderomhullende van de puntenwolk geeft de dalingslijn van de bovenzijde van pleistoceen, waarop het eerste veen ter plaatse ontstond en wel tengevolge van een specifieke hoogte van het grondwater. Deze specifieke hoogte, aldus wordt aangenomen, heeft nabij de kust, naar orde van grootte gezien, de eeuwen door steeds eenzelfde hoogteligging ten opzichte van het tij. Wij zien, hoe deze onderomhullende, in het jaar 8.000 BP op ruim 20 m diepte gelegen is en in 3.000

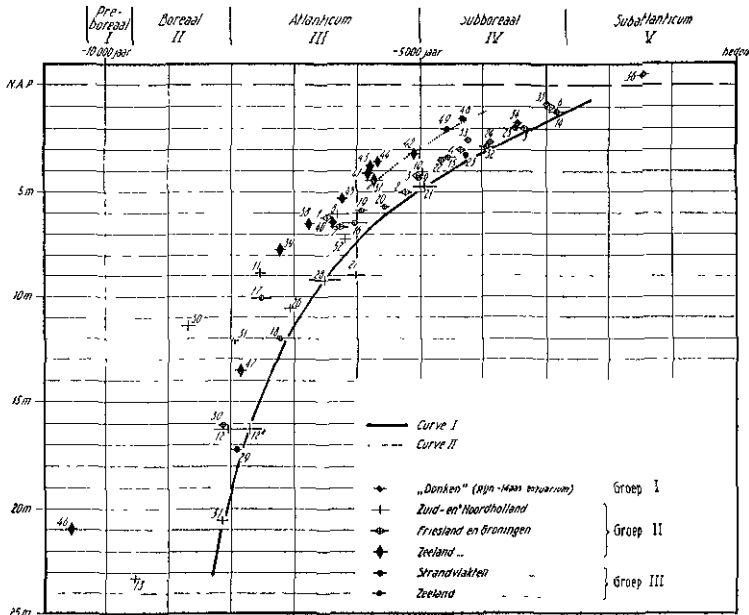


fig. 2a Curve van de relatieve bodemdaling volgens Jelgersma

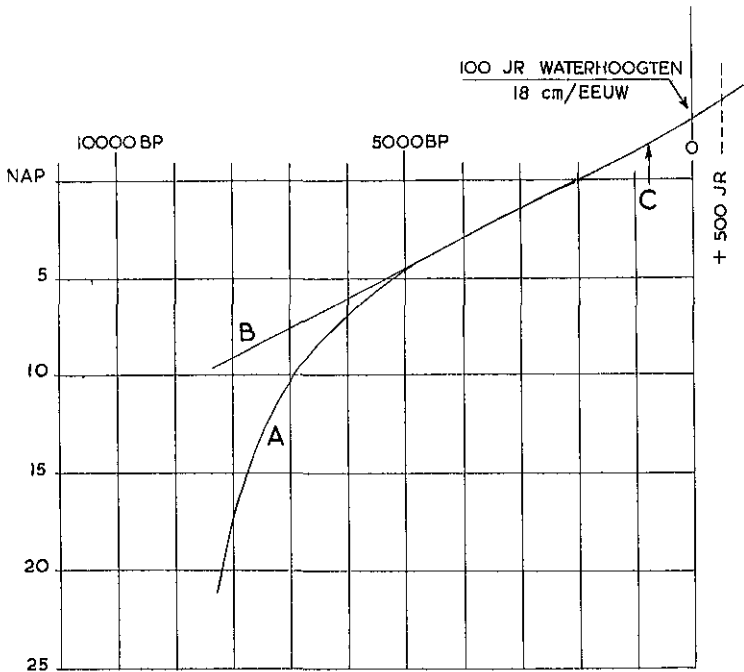


fig. 2b Extrapolatie van de curve van Jelgersma tot heden en tot 500 à 1000 jaar na heden

BP op 1,4 m diepte. De methode van onderzoek liet niet toe het deel van de curve tussen 2.500 en heden te bepalen.

Bennema (1954) kwam op grond van literatuurgegevens tot een dalingscurve, die globaal wel overeenkomst vertoont met die van Jelgersma. Bennema echter extrapoleert het gebogen verloop van de curve tot NAP in het heden en concludeert: het is afgelopen met de bodemdaling. Als er hier en daar nog wat wordt gevonden, dan zijn dat tijdelijke transgressies. Deze werkwijze is in § 2 reeds afgewezen.

De curve van fig. 2a impliceert geen bewijs, dat er slechts één geologisch gebeuren in het geding is. Zo zouden er twee hoofdverschijnselen in deze dalingscurve gezien kunnen worden, als reeds aan de orde gesteld in § 2, te weten een gebeuren A, zich uitende in een sterke zeespiegelrijzing van 75 cm per eeuw welke

omstreeks 6.000 BP vrijwel tot een einde is gekomen. Anderzijds een gebeuren B, gevende een relatieve bodemdaling misschien reeds stammende van vóór het gebeuren A en zich voortzettende tot in het heden, van (misschien) gemiddeld over vele duizenden jaren 15 cm per eeuw, doch waarop gesuperponeerd versterkingen en verzwakkingen. Met de momentane 18 cm/eeuw zouden wij dus in een wat sterkere fase zitten. Een fase die nog verdere versterking kan inhouden, maar ook verzwakking. De extrapolatie C, toegepast in fig. 2b op de kromme van Dr. Jelgersma levert de 18 cm/eeuw voor het heden.

Gezien de tijdschaal der geschetste bewegingen is een afneming van de huidige 18 cm/eeuw tot een aanzienlijk lagere waarde in de naaste 500 jaar niet reëel. De figuur doet wel heel duidelijk uitkomen dat een dergelijke termijn futiel is en wat „heden” geldt een 500 à 1000 jaren na heden allicht ook zal gelden.

De eerder genoemde specifieke hoogte vindt men bij extrapolatie C op NAP + 2½ m. Dit zou, bij een ontstaansniveau van het eerste veen of dalend pleistoceen van b.v. ½ m boven hoogwater, impliceren een hoogwater van NAP + 2 m. Een getijsituatie dus, meer overcenkomende met de huidige in Oosterschelde of op de Dollard dan met die op de Zuiderzee.

Reeds de in § 2 genoemde geologische aspecten Finland en Alpen en de momentane afname der gletschers stellen er drie voor die bijdragen leveren tot een actuele bodemdaling in de zin van curve B, onafhankelijk van curve A. In dien zin moet de conclusie, die de Deltacommissie trekt uit het onderzoek van Jelgersma: „De resultaten van dit onderzoek geven aan, dat de relatieve bodemdaling van Nederland over de voorafgaande periode van tienduizend jaar afnemend is” (Rapport Deltacommissie 1961), worden verstaan. Sterk afnemend was de bodemdaling van 10.000 tot 6.000 BP en hij is semistabiel gebleven sinds 6.000 BP op een lager bedrag.

De curve die hiermede ontstaat valt zelfs bevredigend samen met die van Bennema. Alleen doet de curve in dit geval duidelijk uitkomen, dat de conclusie van Bennema, als zou de bodemdaling van thans mogen worden gezien als het nazuchten van een tenietlopende transgressie niet kan worden staande gehouden. Veeleer zal men de actuele bodemdaling moeten beschouwen als uiting van een bestendiger geologisch gebeuren, namelijk het gebeuren B dat niet zonder meer een tenietlopen is van het gebeuren A.

Wij zijn dus wel gedwongen om tenminste de huidige waarde van 18 cm/eeuw aan te houden en in de technische sfeer eerder met nog een iets hogere waarde rekening te houden.

Bij de bespreking van fig. 2 kwamen reeds getallen van 20 en 23, zelfs 29 cm/eeuw ter sprake. Het afronden van 18 cm/eeuw op 20 cm/eeuw is aangewezen te achten.

Van Veen/Waalewijn (3) komen in hun advies aan de Delta-commissie eveneens tot 20 cm/eeuw. In het eindverslag verwijst de Deltacommissie op blz. 88 instemmend naar dit advies, daarbij voor de wetenschappelijke waarde van de NAP-daling de getallen 15 à 20 cm noemende.

In de sfeer van de overheidsverantwoordelijkheid moet dan, volgens de regels van de techniek, de waterbouwkunde zich richten naar de ongunstige ontwikkeling, dus geldt:

technisch bodemdalingsgetal: 20 cm/eeuw.

V DE DOORSNEE OPINIE OMTRENT HET BODEMDALINGSGETAL

Wij hebben thans ter beschikking als cijfer omtrent de bodemdaling voor het heden uit peilschaalwaarnemingen: 18 cm/eeuw en ten behoeve van verantwoordelijke beslissingen in de waterbouw: 20 cm per eeuw. Daarnaast geeft de curve van Jelgersma een inzicht in het grote proces.

Genoemde bronnen kunnen wel de beste geacht worden, die op dit moment, ieder in zijn sector, ter beschikking staan. Het zou echter niet geheel bevredigen als aldus met één armzwaai de resultaten van tientallen andere onderzoeken van de tafel werden geveegd. Men heeft vanuit diverse wetenschappen, met uiteenlopende vaardigheid en fantasie, met overdreven pessimisme of met teveel optimisme, ieder zijn materiaal aanschouwd.

Waar onze studie de uitgesproken bedoeling heeft om tot een in de technische sfeer hanteerbare conclusie te geraken vallen alle studies, die alleen tot kwalitatieve uitspraken komen, buiten ons veld van interesse. Het gelukte om uit de voor Nederland geldende literatuur een 44-tal numerieke conclusies op te sporen. Deze getalswaarden, alle uitgedrukt in cm/eeuw, zijn als punten uitgezet langs de schaal van fig. 3. Enige namen van onderzoekers zijn rechts van de door hen geproduceerde waarde geplaatst of, wanneer een auteur er meer heeft gesteld, rechts van het gemiddelde ervan. Hoewel Jelgersma in (4) niet expliciet een bodemdalingsgetal voor het heden noemt is in fig. 4 ingevoerd 15 cm/eeuw, zijnde de helling van de raaklijn van de curve van fig. 2a in 3.000 BP.

De getalswaarden zijn dus ontleend aan geologische, archeolo-

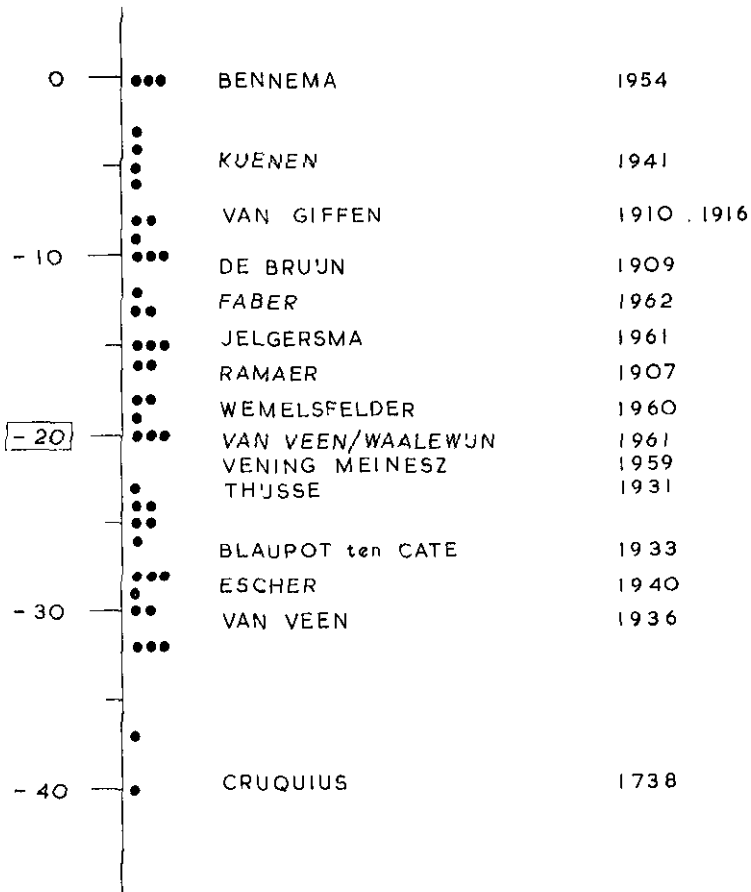


fig. 3 *Relative bodemdaling in cm/eeuw naar 44 bronnen, waarvan 15 met name genoemd*

gische, oceanografische studies, waterstanden, C_{14} . Men ziet hoe de zwaai loopt van „geen bodemdaling” (o.a. Bennema) tot 40 cm/eeuw (Cruquius 1738). Het is waarschijnlijk dat dit bedrag mede voor een deel betrekking heeft op klink. Maar wij zouden Cruquius onrecht aandoen het als weinig gefundeerd

te kwalificeren. In § 6 zal nog met een citaat worden aangetoond dat men zich in die tijd ongerust maakte over de bodemdaling.

Wanneer men deze waarden aanschouwt kan men instemmen met de conclusie, waartoe Faber komt in een recente studie (6): „to recapitulate it seems highly probable that our country is gradually sinking below the sea; the total amount of the sinking at the present rate may anything but probably it is closer to 5 than to 30 cm a century.”

Ik heb terwille van dit probably closer Fabers punt geplaatst op $(2 \times 5 + 1 \times 30) : 3 = 13$ cm/eeuw. De door hem genoemde grenzen zijn krachtens het zinsverband geen uitersten, maar zij omvatten rond 80% der in fig. 3 vermelde waarden.

Het gemiddelde van alle waarden wordt gevonden te zijn 18 cm/eeuw. Dit getal is identiek aan de in deze studie uit de waterhoogten gevonden waarde. Er is dan ook geen aanleiding om uit te weiden over ongelijke gewichten van de ingebrachte 44 cijfers, over de ongelijke populaties, waartoe zij behoren en het feit, dat verschillende cijfers eigenlijk op hetzelfde materiaal berusten, terwijl andere op elkaar steunen of uit elkaar zijn afgeleid. Het feit, dat er zoveel aspecten zijn bij het op één noemer brengen, maakt een kanstheoretische behandelingswijze zelfs temeer toelaatbaar. Wij kunnen dan ook gevoeglijk een standaarddeviatie voor de enkele presentatie berekenen. Hiervoor wordt 10 cm/eeuw gevonden. Daarmede worden de 2SD-grenzen, waarbinnen bij een Gausse-verdeling 95% der waarden plegen te liggen, + 2 cm/eeuw (relatieve bodemstijging dus) en — 38 cm/eeuw. Hierbuiten zouden 2 opgaven kunnen worden verwacht. In feite valt Cruquius daar met 40 cm/eeuw net buiten. Te weinig om die waarde te verwerpen, genoeg om hem wel hoog te vinden. Alle overige waarden zijn dus in het licht van de totale populatie van onderzoeksmogelijkheden en resultaten, zonder meer acceptabel. Dit zal menig onderzoeker genoeg doen.

De standaarddeviatie van het gemiddelde is nu bepaald door de formule $10 : \sqrt{44} = 1,5$ cm/eeuw. De 2SD-grenzen voor het gemiddelde liggen dus op $18 - 3 = 15$ cm/eeuw en $18 + 3 = 21$ cm/eeuw. De populatie vanuit verschillende wetenschappen toestromende cijfers geeft dus aanleiding om een bodemdalingsgetal te verwachten dat met 95% kans gelegen zal zijn tussen 15 en 21 cm/eeuw.

De in deze studie uit de peilschaalwaarnemingen gevonden 18 cm/eeuw ligt binnen deze tolerantie en zelfs precies in het centrum. Hoewel uiteraard het gevonden getal van 18 cm/eeuw geen steun behoeft, zo is het niettemin toch wel aangenaam, dat

er zich geen controversen voordoen en het ook niet nodig is om tot in detail de resultaten van andere onderzoekingen of overwegingen te bespreken.

Anderzijds onderstreept deze korte uitweiding hetgeen ook reeds in § 3 werd aangestipt, te weten dat ook aan het getal 18 cm/ceuw een onzekerheidsmarge eigen is. Deze is er zowel uit hoofde van de spreiding der waterstandsgegevens, als uit hoofde van factoren, die bij de ene onderzoekmethode wel, bij de andere niet een rol spelen.

In de sfeer van het wetenschappelijk onderzoek is het niet mogelijk om in dit stadium op de centimeter een beslissing te nemen ten aanzien van het „ware” bodemgetal. De noodzaak tot het nemen van zulk een beslissing is evenwel niet aanwezig en wij kunnen er volledig genoeg mede nemen, te zeggen, dat dit getal met een kans van 95% verwacht kan worden te liggen tussen 15 en 21 cm/ceuw.

Ten behoeve van de waterbouw moet evenwel één getal worden gegeven. En aangezien men voor de publieke sfeer, voor het nemen van in de toekomst doorwerkende beslissingen, moet uitgaan van de ongunstigste mogelijkheid, moet men als technisch bodemdalingsetal de bovengrens aanhouden, dat wil zeggen afgerond 20 cm/ceuw, hetzelfde getal, dat ook in § 4 werd gepresenteerd.

VI WELKE NEDERLANDSE BELANGEN WORDEN BEDREIGD DOOR DE BODEMDALING

Dat zijn kort geformuleerd:

- a. het hoger worden der stormvloeden;
- b. meer golfoploop door verzinken van het voorland der dijken;
- c. toenemend ongunstige diepe ligging van polders bij inundaties;
- d. ongunstiger worden der dijkprofielen;
- e. ongunstiger worden van de afwatering;
- f. toeneming der zoute kwel;
- g. sterkere verzilting der oppervlaktewateren.
- h. het verzinken van buitendijkse havengebieden.

A. Wat betreft de toenemende dreiging door hoger worden der *stormvloeden*, deze is helaas zeer reëel. Van vóór ongeveer het jaar 800 zijn eigenlijk geen stormvloeden bekend. Nemen wij het jaar 800 als uitgangspunt en stellen de gemiddelde bodemdaling op de uit fig. 2b gevonden waarde. Over de sindsdien verstreken 1160 jaar zou dit een daling betekenen van 2,1 m. Een storm-

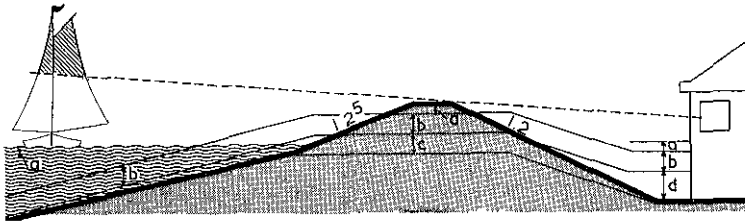
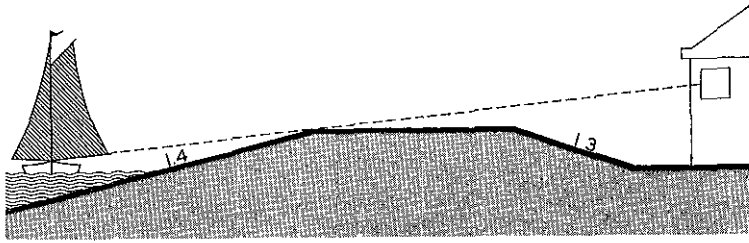


fig. 4 De transformatie van een bij aanleg goede zeedijk met brede kruin en flauwe taluds door de bodemdaling tot een dijk, die te smal is en te steile taluds heeft

vloed 1953 zou in het jaar 800 n.C. zonder enige betekenis zijn. Er zou, onder regiem van de huidige stormvloedwaarschuwingsdienst, zelfs geen telegram voor beperkte bewaking nodig zijn geweest.

Met het voortschrijden der bodemdaling nemen de stormvloeden een voor ons land dreigender vorm aan.¹

Het is evident, dat de kruinshoogte der zeedijken steeds in de pas moest blijven met het hoger komende zeeniveau en dat is waarlijk niet in voldoende mate geschied.

B. Door de bodemdaling zal dieper water ontstaan voor de dijk en het voorland geleidelijk verdwijnen. Hierdoor zal de *golfloop* toenemen, zodat de zeedijk (bovendien) op hogere golfoploop moet worden geconstrueerd.

¹ Het ligt in het voornemen om eerlang een studie het licht te doen zien waarin zware historische stormvloeden zullen worden gezien in het licht van de in de voorliggende studie gestelde bodemdaling enerzijds, van de kansrekening anderzijds.

C. Bodemdaling veroorzaakt steeds lager wordende ligging der polders, zowel tengevolge van de geologische daling als, en dat in nog veel sterkere mate, tengevolge van de inklinking. Meer en meer verkrijgen de polders een *kompvorm*, worden ze bij dijkdoorbraak ernstiger geïnundeerd en ontstaan door de zaagwerking van het in- en uittrekkende getij de beruchte diepe geulen. De gevolgen van doorbraken worden met de tijd ernstiger.

D. De bodemdaling is in het verleden oorzaak geweest van een steeds ongunstiger worden der *dijksprofielen*. Dit moge worden toegelicht aan de hand van fig. 4. Nemen wij aan, dat eertijds een dijk werd aangelegd om een voldoende hoog gelegen grond: in de figuur gelijk aan de buitenwaterstand getekend, welke die ook zij. Buitentalud 1 : 4, binnentalud 1 : 3 en een mooie brede kruin. Een binnen de dijk gebouwde woning had royaal uitzicht over het water.

Nu komt de bodemdaling, de zee stijgt met een bedrag a, de geologische daling van de ondergrond zij b, de klink en zetting van de dijk c, en de klink van de polder zij d. Maaiveld en woning zijn daardoor $a+b+d$ gezakt ten opzichte van de nieuwe zeespiegel en liggen diep verzonken. De oorspronkelijk zo mooie brede dijkskruin is $b+c$ gezakt. De nieuwe kruin moest echter a hoger komen dan vroeger. Er moest dus $a+b+c$ cm grond worden opgebracht, hetgeen ten koste is gegaan van de taludhellingen, die werden teruggebracht tot 1 : 2,5 en 1 : 2 en van de kruinbreedte. Een ieder kent deze dijken maar al te goed. Ze schieten in alle opzichten in maatvoering te kort en hebben dan ook in 1953 op grote schaal gefaald.

E. De bodemdaling heeft een ongunstig effect op de *afwatering*. Cornelis Velsen (1749) vermeldt dat er vóór 1000 eigenlijk nog geen bedijkingen waren en de ontwatering dus door natuurlijke afvloeiing plaatsvond. Met de bedijkingen begonnen de afwateringsproblemen. Aanvankelijk door sluisgang bij laagwater. Al lens naarmate de daling voortschrijdt moet de natuurlijke afwatering door sluisgang bij laagwater worden vervangen door bemaling. Het geldt hier evenwel steeds uitsluitend lokale belangen en een anticiperen op toekomstige bodemdaling is, gelet op het tempo waarin dit zich realiseert, niet het meest klemmend.

F. De gestage relatieve stijging van de zee geeft vergroting van het verval naar de polderpeilen en daarmee een evenredige vergroting van de *zoute kwel*. Door de voortschrijding van de inklinking moet men er toe overgaan de polderpeilen aan te passen

aan die lagere bodemligging hetgeen nogmaals tot vergroting van het peilverschil tussen polder en zee leidt. Daar bovendien het huidige landbouwkundig streven tendeert naar aanhouden van ook relatief lage grondwaterstanden werken dus drie factoren tezamen om de zoute kwel te vergroten.

Het kan van eminent belang worden geacht om zich op dit aspect te bezinnen. Immers, waar zich zoute kwel manifesteert, daar zal men goed doen te zoeken naar bestrijding ervan dan wel opvangen van de nadelen op een schaal, die is afgestemd op de toekomst, dat wil zeggen een ernstig zijnd en steeds ernstiger wordend verschijnsel.

G. Tenslotte bevordert de bodemdaling de verzilting der *oppervlaktewateren*. Deze wateren verzorgen mede de watervoorziening der landbouwgronden. Deze steeds belangrijker wordende functie wordt door de verzilting dodelijk bedreigd. Enerzijds door de uitslag van de zoute kwel, anderzijds door het geleidelijk groter worden van de zouttoevoer via schutsluizen tengevolge van toenemend verval naar zee.

H. Buitendijks gelegen haven- en industrieterreinen worden in de loop der jaren steeds veelvuldiger en tot grotere hoogten door stormvloeden blank gezet. Dit verhoogt al voortgaande de schaden daarvan en de hinder, beperkt in toenemende mate een allround gebruik en devalueert deze havens en terreinen.

De meeste der genoemde schadelijke invloeden komen slechts in een uiterst traag tempo tot gelding. Maar hoe traag ook, het gaat ermec de verkeerde kant uit. Men zal dus goed doen om in zoveel mogelijk gevallen met tegenmaatregelen vroeg en op zo krachtig mogelijke schaal de aansluitende gevaren tegemoet te treden.

VII BODEMDALINGSGETAL EN TOEKOMST

Het begrip bodemdaling is niet nieuw. Reeds werd vermeld, dat Cruquius in 1738 het cijfer 40 cm/eeuw noemde. Dat de noodlottige consequenties in zijn dagen welbekend waren moge blijken uit het volgende citaat uit Cornelis Velsen's „Rivierkundige Verhandelingen” van 1749:

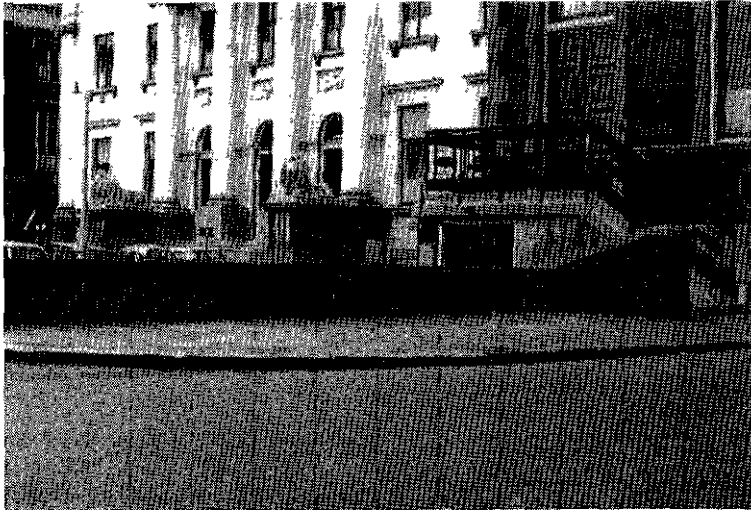
„. . . Waaruit nu duidelijk blijkt, dat de bedykingen, als gezegt, zich bepaald hebben tussen de jaaren 1000 en 1400. Juist in een ongelukkigen tijd, dat hier te lande bijna niemand was, die

schryven konde, als de Monniken en die van de Geestelykheid, welke geen genegenheid schynen te hebben gehad, tot het aantekenen van de dingen, die de rivieren of de dykagien betroffen. Deze onkunde en onnoozelheid, is ook zekerlyk de oorzaak waarom die dykagien zo ongelukkig voor de nakomelingschap zijn uitgevallen: want men heeft geen kennis gehad, na 't schynt, van het ryzen van zee en rivieren; schoon zij dat voor hun oogen konden zien, want het was hun zeerlyk niet onbewust, dat er boomen onder de grond lagen; dat die boomen op een veel laager grond hadden staan wassen, als de hunne toen was; en dat by gevolg hun grond, die als toen vry hoog was (anders zouden zy waarschyglyk het dyken niet ondernoomen hebben) ook eens weder laag zoude worden, met betrekking tot de zee en de rivieren”.

Sinds Cruquius en Velsen schuilt de moeilijkheid niet in de onbekendheid met de feiten maar in het langzame tempo, waarin het proces zich voltrekt.

Onbewust houden functionarissen, die verantwoordelijk zijn voor

fig. 5 Dordrecht, Lombardsbrug — Voorbeeld van gefixeerd zijn van de hoogte van de waterkering (met het muurtje is het alleruiterste bereikt) door de bebouwing



het voortbestaan en de veiligheid van het land vaak vast aan het instinctief werken met tijdmaten, die zij ontleen aan hun particulier bestaan. „Het zal mijn tijd wel duren”, of „Wij kunnen immers geen enkele toestand voorzien. Alles ziet er over honderden jaren geheel anders uit, het is eenvoudig belachelijk om zich daarmee bezig te houden”. Kleinheid van denkformaat.

Wij moeten op het gebied van de beschermende waterbouw een wat ruimer tijdmaat gaan hanteren. Dat nu is een kwestie van wennen. En dat kan te gereeder tot stand komen indien inzicht daarbij behulpzaam is.

De nadelige gevolgen van de bodemdaling zien wij, behalve in de dijksprofielen, in het havenfront van steden als Vlissingen, Zierikzee, Brouwershaven, Harlingen en bijzonder frappant in Dordrecht Voorstraat, Rotterdams vroegere Hoogstraat en in de industriedijken.¹ Lang al vóór de stormvloed van 1953 was hier overal dijksverhoging of verhoging van het waterfront gewenst. Men was echter op al die plaatsen klemgelopen op de aaneengesloten bebouwing op en aan de waterkering.

Weliswaar brengt het deltaplan hier nu uitkomst. Maar met het oog op de bodemdaling moet men terstond de vraag stellen: voor hoe lang.

Juist omdat het deltaplan ten aanzien van de veiligheid groots is en een principieel goede oplossing stelt, juist daarom mag de factor tijd niet over het hoofd worden gezien. Maken wij het deltaplan voor 100 jaren? Hier nu meen ik dat veelal nog verkeerdt wordt gedacht. Als ik het wel heb werd voor de eerste maal bij grote werken rekening gehouden met mogelijke bodemdaling bij de maatvoering der sluzen in de Afsluitdijk. Er werd hier een toeslag gegeven van 20 cm. Die gedachte was voor de gegeven situatie juist. Men kan immers voor dergelijke op zichzelf staande kunstwerken letten op de levensduur van dat enkele bouwwerk. Of men die nu op 50, 100 of 150 jaar stelt is niet belangrijk.

Een scherp profiel krijgt de gestelde problematiek eerst in het geval de hoofdwaterkering planologisch verweven is met een aaneenrijging van grote fabrieken, werven, kantoorgebouwen, hotels, stationsgebouwen.

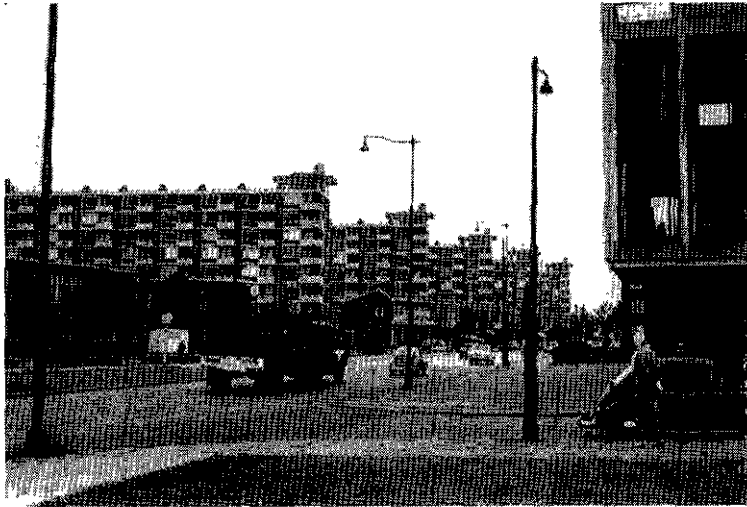
¹ Een documentatie omtrent de zichtbare invloed van de bodemdaling op de vormgeving der waterkeringen zal eerlang het licht zien.

De vrijheid om de waterkering in de loop van de tijd aan te passen aan dan geldende eisen wordt door zulk een verwevenheid rigoureuus aan banden gelegd, zoal niet uitgesloten.

Er mengt zich dan in het oorspronkelijk alleen waterbouwkundige probleem van passende verhoging der waterkering een planologisch probleem. Met achter dit planologisch probleem economische problemen van totaal andere orde van grootte dan het alleen waterbouwkundig aspect van de zaak zou doen veronderstellen.

Gold voor het solitaire kunstwerk een tijdspanne van een 50 of 100 jaar, waarna men naar aanleiding van het bouwen van een nieuw werk de peilen kan herzien zonder dat daar hoegenaamd extra kosten aan verbonden zijn, voor het planologisch tot een eenheid vergroeide complex, dat wij nu bezien, is de levensduur van het individuele bouwwerk niet meer ter zake doende. Het conglomeraat der bebouwing fixeert de gehele situatie op de heden daarvoor gestelde peilen tot in onbepaald verre toekomst en het slopen van individuele panden ten behoeve van individuele

fig. 6 Rotterdam, Schiedamse weg — Ruimte genoeg, maar niet in de hoogte



herbouwingen en vernieuwingen schiept nimmer meer de mogelijkheid om pijnloos de situatie te herzien.

Men onderschatte de hierin gelegen problematiek niet. Er waren een bombardement 1940 en een watersnood 1953 nodig om de weerstanden tegen het integrale aanpassen van de situatie aan de huidige eisen (Rotterdam door een Maasboulevard, Dordrecht en industriedijken door een deltaplan) op te heffen. En hoe onvoldoende is de situatie op vele andere plaatsen.

Ongetwijfeld wordt thans in wat grotere formaten gedacht dan vóór 1940. Doch al wordt heden ten dage een bouwwerk van miljoenen gemakkelijker gesloopt dan vroeger een gescheurd bakkerijtje, daar staat tegenover, dat de economische investeringen, die een huidige situatie fixeren, weerstanden tegen planologische ingrepen oproepen die veelvoudig groter zijn dan die van voor 1940.

De waterbouwkundigen van rijk, provincie, waterschappen en vooral de gemeenten zullen er dus van bewust moeten zijn, dat zij met het stellen van een peil voor de hoofdwaterkering en met het stellen van peilen voor industrie- en haventerreinen veel meer

fig. 7 Rotterdam, Schiedamse weg — Wanneer, zo ooit, komt het tijdstip waarop men zulk een waterkering kan verhogen om de bodemdaling te compenseren?



doen dan alleen maar dat peil stellen. Zij bieden als het ware aan steden en wereldfirma's terreinen aan en situaties, die een peil hebben gekregen dat naar de huidige inzichten „volkomen toe-reikende veiligheid” biedt, maar alleen voor het heden of voor de komende 100 jaar. De steden bouwen vervolgens in grandioos formaat hun openbare gebouwen, hun kantoren met 10 lagen, hun woonflats, de firma's hun kantoren en fabrieken, dat alles met economische waarden, die duizend- en tienduizendvoudig overtreffen wat ooit vroeger aan een waterkering werd vastge-bouwd.

De waterbouwkundige kan nu niet na 100 jaar aankomen met het voorstel om de waterkering te herprofileren. Bovendien kan hij aan een gemanifesteerde 20 cm bodemdaling geen argument van enig gewicht ontlenen. Men zou, terecht, meewarig glim-lachen om de ingenieur, die met een dergelijk wereldvreemd perfectionisme kwam aandragen. Over honderd jaar continueert men dus een situatie, die heden door de peilkeuze is gefixeerd. Ook na 200 jaar zal men nieuwe kantoren en woonflats bouwen op de plaats waar de vorige werden gesloopt. Over een gewenst peil voor de waterkering kan men ook dan nog zwijgen. Wat immers betekent een daling van zeg 40 cm bij een hoogte van de waterkering, die een maar zo uiterst geringe kans heeft te worden overschreden. Het kan wel wat hebben, en in ieder geval is er geen directe aanleiding tot het aan de orde stellen van een zo ontzagwekkend dure procedure als het aanpassen van de hoogte van de waterkering dan zal zijn geworden.

Wederom zal men dus, ook na 200 jaar, doorgaan gebouwen en installaties op te richten en de intussen verouderde te slopen, aldus werkende aan een continue vernieuwing van de conglome-ratie. De autoriteiten zullen denken aan de maar voortschrijdende bodemdaling. Maar de toestemming tot die werken zullen zij blijven geven. Wat zouden zij anders. Ook wanneer de bodem-daling van 40 cm is gevorderd tot 60 cm en meer zullen zij nog de bouwvergunningen blijven uitgeven, al zal men meer en meer de behoefte gaan gevoelen om zich te beraden op in de toekomst toch ééns onvermijdelijk wordende maatregelen.

Er is weinig kans op dat men zich met zulk beraad bijzonder zal haasten. Immers, een uitstel van bijvoorbeeld 10 jaar verslechtert de situatie nog maar met 2 cm, zodat alle andere zaken een hogere urgentie hebben.

Wij zijn intussen een 300 jaar verder. Nog altijd zijn de op grond van het deltaplan geschapen waterkeringen bijzonder hecht en veilig. Als een mythe heeft zich dit vastgezet. En de praktijk

draagt jaar na jaar de bewijzen aan voor de juistheid van die mythe. Er zijn bijvoorbeeld in die 300 jaar stormvloed en opgetreden bijna zo zwaar als 1953 of met misschien nog een paar decimeter hogere peilen. „Overall hebben de dijken het gehouden” wordt keer op keer gejuicht. Men heeft telkens weer de lof gezongen van het Deltaplan van 1960. De communis opinio is geworden, gesteund door 300 jaar ervaring nadien, dat dit plan veiligheid heeft gebracht voor altijd. En de ervaring geeft geen enkele aanleiding om aan de mythe te twijfelen.

Wel echter geeft het juiste inzicht aanleiding om te twijfelen. Het deltaplan stelt immers veiligheid voor stormvloed tot een sterkte als gemiddeld 1% kans hebben op te treden in 100 jaar. Na 300 jaar heeft men 3% kans gehad op zulk een extreme stormvloed. Hij blijkt niet te zijn verschenen wat bij een kans van 3% niet behoeft te verwonderen. Wanneer dan ook de verantwoordelijke autoriteiten van na 300 jaar zo naïef zouden zijn om de voortreffelijkheid van het Deltaplan 1960 af te meten naar de ervaring van de na 1953 verlopen 300 jaar, dan hebben zij zich de eigenlijke bedoeling en verdienste van het deltaplan niet eigen gemaakt.

fig. 8 Vlissingen, Boulevard de Ruyter — Nu reeds krap aan de maat. Hoe moet dat op de duur?



Hebben zij zich dit wel eigen gemaakt, dan zullen zij met zorg aanzien, hoe de aanvankelijk op 10^{-4} gestelde veiligheid tengevolge van de bodemdaling al is ingekrompen tot 10^{-3} en verder zal inkrimpen tot 10^{-2} . Zij zouden tot de pijnlijke ontdekking komen, dat het in hún tijd nog vele malen moeilijker en kostbaarder is dan het in vroegere eeuwen al was om de gevolgen van de bodemdaling te compenseren. En wanneer de bodemdaling na 300 jaar is opgelopen tot zeg 60 cm en men zich voor de verantwoordelijke taak gesteld ziet om opnieuw met een plan te komen, zouden deskundigen zeker met spijtigheid bedenken, dat de meerkosten omwille bodemdaling in 1960 futiel zouden zijn geweest in vergelijking met de kosten, die men later zal moeten maken. Zou er overleg mogelijk zijn tussen de autoriteiten van over 300 jaar en de autoriteiten van nu, dan zouden zij het er over eens zijn, dat het de aangewezen werkwijze ware geweest om al dadelijk reeds in 1960 rekening te houden met 600 jaar bodemdaling. De genoemde 300 en 600 jaar doen hier slechts dienst om een orde van grootte aan te geven. Kern van de zaak is, dat men in *complexe situaties en conglomeraties* niet meer heeft te maken met de individuele levensduur van objecten, want de complexe situatie vernieuwt zich voortdurend en zal over vele honderden jaren nog steeds nieuw zijn en vermoedelijk nieuwer dan ooit eerder een situatie dat was. Met deze 300 en 600 jaar wil niet anders gezegd zijn dan een tijdsduur, vele malen groter dan de materiële levensduur van enig object op zichzelf in de conglomeratie.

Ook langs andere weg kan men inzien, dat met grote tijdsruimte rekening moet worden gehouden. Men kan in een stad onderscheiden de elementen individueel gebouw, straat, wijk, stad. Ieder van deze elementen heeft een eigen tijdschaal van bestaan en globaal kan wel worden gesteld, dat de tijdschaal voor het naast hogere element telkens wel een 2 à 3 maal groter is, zo niet aanmerkelijk meer. Gaat het om vooruitzien in planologische zin, dan kan men een gebouw ontwerpen op bijvoorbeeld 30 jaar. Maar in die zelfde zin eist de straat een vooruitzien over 100 jaar, de wijk 300 jaar, de stad 1000 jaar. Neemt men in het oog de gehele bestaansduur, dan verkrijgt men als reeks bijvoorbeeld gebouw 75 jaar, straat 200 jaar, wijk 600 jaar, stad 2000 jaar. De concrete cijfers bedoelen een illustratie te geven van een grondgedachte, die tot nu toe te weinig bij het projecteren van waterkeringen tot gelding wordt gebracht. Een waterkering, die door een stad heen loopt, draagt, ten aanzien van de factor tijd,

niet het karakter van het solitaire kunstwerk of het enkele gebouw, zelfs niet het karakter van een straat of weg, maar zeker het karakter van een wijk.

Een waterkering die door een industriewijk heen loopt, zoals het gehele waterweggebied, fixeert niet zijn eigen hoogte alleen maar van die van de gehele dijkwijk tot zeker over 500 jaar. Omgekeerd fixeert de wijk de hoogte van de dijk over zeker 500 jaar. De waterbouwkundige moet dus in de conglomeratie niet langer alleen oog hebben voor de levensduur van het enkele waterbouwkundige kunstwerk als een dijk of een sluis, maar hij moet planologisch denken. Omgekeerd moet de planoloog niet maar simpel aan de waterbouwkundige vragen hoe hoog „voor dit moment”, de waterkering moet zijn, maar hij moet de waterbouwer crop attent maken, dat, eenmaal aangelegd, de hoogtebepaling onveranderlijk gefixeerd zal zijn voor de levensduur van de gehele conglomeratie, die niet zozeer de waterbouwer, maar de planoloog moet vooruitzien.

Bij een technisch bodemdalingsetal van 20 cm/eeuw is na 500 jaar de zeespiegel met 1 meter gestegen. Dat bedrag is in verhouding tot de in § 2 genoemde getallen zo gering, dat zulk een stijging zonder aarzeling tot het fysisch waarschijnlijke moet worden gerekend en op grond van de actuele bodemdaling van 18 cm/eeuw ook zeker zal worden gerealiseerd. Zou de daling niet 20 cm per eeuw bedragen, maar 15 cm per eeuw, dan wordt de gestelde daling van 1 m bereikt in 700 jaar. Voert men dus heden een zodanige maat, dat daarin mogelijkheden zijn gelegen om de waterkerende werken zonder repercussies in planologische zin naar behoefte aan te passen aan één meter hogere waterhoogte, dan kan men met zekerheid 500 jaar vooruit, zonder dat afbreuk behoeft te worden gedaan aan de door de deltacommissie gestelde veiligheidseisen. Wanneer de bodemdaling trager verloopt, dan komt men met de maat van 1 meter wellicht een paar honderd jaar langer toe.

Naar ik meen is het niet verantwoord om korter te gaan dan de genoemde 500 jaar of minder te nemen dan 1 m. De havenfronten van verscheidene onzer kuststeden werden in feite rond 500 jaar geleden gefixeerd. De bijna onuitvoerbare opgave om deze fronten thans in beweging opwaarts te krijgen rechtvaardigt volledig de gedachte om een 500-jarige termijn als een minimum van vooruitzien te beschouwen.

Anderzijds zijn er argumenten aan te voeren om de termijn van

vooruitzien niet over de 1000 jaar heen te laten reiken. Zomin als de *deltacommissie* „absolute” veiligheid heeft kunnen stellen tegen stormvloed, zomin ook kan men de gehele bodemdaling tot onbepaald verre toekomst afwenden.

Uiteraard behoeft deze zienswijze er geenszins toe te leiden om reeds op voorhand waterkerende werken overall een overhoogte te geven van 1 meter. Verre van dien. Buitendijks gelegen industrie- en haventerreinen geve men geen overhoogte van 1 meter, aldus vele generaties een ongerief bezorgend waartoe geen noodzaak bestaat. Voor vele dijken zal kunnen worden volstaan met een tijdige grondaankoop of onteigening van een extra breedte om de geleidelijk nodige ophoging te kunnen ten uitvoer leggen, zonder gedwongen te zijn om tot de *technisch onaanvaardbare* steilere taluds over te gaan. Vooral in de nabijheid van bebouwingen is zulk een essentiële werkwijze nodig om situaties als geschetst in fig. 4 niet opnieuw te riskeren.

Waar een waterkering wordt geflankeerd door eenvoudige dorpsbebouwing kan men wellicht volstaan met de weg over de dijk een overbreedte te geven die het toelaat de dijk stapsgewijs te verhogen terwijl de aangrenzende bebouwing naar zijn eigen tijdschema op die verhogingen kan anticiperen of die kan volgen. Uitgaande van de gestelde 1 m overhoogte, die er over vele honderden jaren uit moet kunnen komen, dient men overbreedte aan de kruin en eventuele overbreedte aan de voet op tekening te brengen, de terreinen in concreto te reserveren en alles vast te leggen, zowel in documenten, die de eeuwen moeten trotseren als in het terrein.

Steeds moet men erop bedacht zijn dat ogenschijnlijk onschuldige situaties bijna onopgemerkt kunnen uitgroeien tot een conglomeratie die de situatie fixeren op de eenmaal gestelde hoogte. Het is daarom aangewezen dat de dijkbeheerder zich de instandhouding van zijn vrijheid garandeert door het van heden af instellen van een maatvoering, die gebaseerd is op een uiteindelijke verhoging met 1 m. En niet verzuimt om de intenties van die maatvoering in het terrein en in servituten te consolideren.

En waar die beschikkingmogelijkheid al niet meer bestaat als op fig. 6 of 9 daar moet een gelijkwaardige kering langs andere route *nu* reeds worden gepland en de realiseringmogelijkheid door servituten e.d. worden verzekerd.

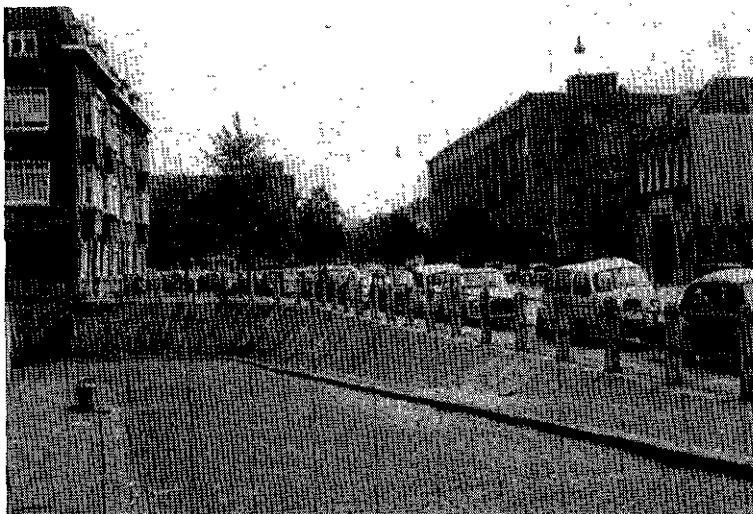
Voor goed begrip: het bedrag van " 1 m " neemt niet af met het voortschrijden der eeuwen. Immers voor elke eeuw gerealiseerde

bodemdaling komt een nieuwe in verder verschiet in het zicht zodat het 500 jaar blijft zowel als 1 m.

VIII VOORTSCHRIJDENDE INKLINKING

De relatieve bodemdaling is de daling van de vaste diepe ondergrond waaraan geacht moet worden geheel Nederland deel te hebben ten opzichte van de in absolute zin stijgende zee. Gesteld werd dat men in de waterbouwkundige sector de mogelijkheid om 1 m hoger ontwerppeil te realiseren in concreto in het ontwerp moet voorzien en dat men misschien in een enkel geval die overhoogte terstond moet aanbrengen. Dit bedrag van 1 m zou gelden indien geheel laag Nederland zou bestaan uit tertiair of diluvium. Dat is niet het geval. Het bestaat over de hoogste 10 à 20 m voor een aanzienlijk deel uit klei of veen.

fig. 9 Rotterdam, Herman Dullaertplein — Dijk, verweven in de totaliteit van de stad en in beslag genomen door andere functies. In de toekomst wegens de bodemdaling, verloren voor de functie van waterkering



De dalingen van maaiveld in niet onderheide constructies als b.v. wegen is in de loop van 500 jaar over het bedrag van de inklinking groter dan de gestelde 1 m relatieve bodemdaling. Naar de tot nu toe wel algemeen geldende opvatting heeft men bij het ontwerpen van waterbouwkundige constructies eigenlijk niets met de maaiveldaling van doen. Dit is een misvatting. Wanneer men een dijk opwerpt in het vrije veld dan weet men, conform § 7, in de loop van 500 jaar de kruin 1 m te moeten verhogen. Bovendien moet de eigen klink en de zetting van de dijkzate worden gecompenseerd. Doch deze laatste twee factoren hebben geen invloed op het op tekening gestelde dijkprofiel, hetgeen de vereiste verhogingsmogelijkheid van 1 m wel heeft. Deze cist, bij taluds 1 : 5 en 1 : 3 een reservestrook aan de voet van 8 m.

Wanneer nu aangrenzend land aan een maaiveldaling is onderworpen, waarvan het bedrag over 500 jaar al gauw op een paar meter gesteld zal moeten worden, dan vereist het behoud der taluds 1 : 5 en 1 : 3 nog een extra strook grond; voor 2 m inklinking reeds 16 m. Schijnbaar is de vereiste overbreedte van in dit voorbeeld 24 m, in de vorm van landbouwgrond aanwezig. Schijnbaar, want indien de bevoegde overheid niet tijdig een servituut op die gronden legt of ze in eigendom neemt, dan ontwikkelen zich op onvoorziene plaatsen en onvoorziene momenten weer de noodlottige industriedijk-situaties.

Legt men, conform de aanbevelingen van de deltacommissie, een verharde weg aan op de binnenzijde van de dijk, en wordt die weg aangebouwd met woningen, kleine industrie, grote mischien, dan is de geschetste situatie aanwezig.

Men zal terdege naar bodemmechanische gezichtspunten moeten beoordelen welke de implicaties zijn van een weg en bebouwing, dalend volgens een patroon a, aan de voet van een waterkering, die zelf omhoog moet volgens een patroon b. Hiermede is het conflict gesteld; aan planoloog plus waterbouwkundige om het op te lossen. Nimmer verzuime men om in het stadsplan elastische elementen op te nemen waarmede de geleidelijk in de loop der 500 jaar tot stand komende hoogteverschillen tussen rijzende kruin waterkering, dalende gebouwen en nog meer dalende maaiveldhoogte kunnen worden opgenomen.

Analoge overwegingen gelden indien reeds van meet af aan een conglomeraatsituatie aanwezig is zoals in grote delen van de noordelijke oever van de Waterweg en vele andere situaties. Zou deze van dien aard zijn, dat men reeds terstond de overhoogte van 1 m realiseert, dan moet aanvullend een verwachting wor-

den opgesteld voor de inklinkingen buiten en binnen de waterkering en de planologie worden afgestemd op het totale bedrag aan relatieve peildistorstie, dat moet worden verwacht.

De eisen, waaraan men bij goed beleid moet voldoen zijn ongetwijfeld zwaar en momenteel op allerlei plaatsen onmogelijk te realiseren. Juist aan die momentane fysische onmogelijkheid ontleent deze studie zijn ernst.

De oplossing zal in al deze thans nog gefixeerde conglomeratiesituaties moeten worden gevonden in het opstellen van een plan voor de komende 500 jaar, waarvan de kern is: de waterkering de vrijheid te hergeven om de door bodemdaling noodzakelijk wordende kruinsverhogingen te kunnen realiseren. In het algemeen zal men dit moeten doen door ruimte te scheppen. Dat impliceert de noodzaak van een afstervingsstelsel der thans aanwezige bebouwingen. Zulk een stelsel van afsterving is uitvoerbaar indien naar een basisplan wordt te werk gegaan. Verleidelijk is het om te trachten zich aan de gestelde taken te onttrekken met kreten, als hoedanig kunnen gelden „wij sluiten dan wel de Waddenzee af” of „tegen die tijd is de Waterweg allang afgesloten of de Dollard ingepolderd”.

Inderdaad zal hier en daar tengevolge van andere grote waterstaatswerken het vraagstuk der bodemdaling vervallen of van aspekt kunnen veranderen zoals dit nu het geval is voor de voormalige Zuiderzee en voor het Zeeuwse Meer. Geenszins zal dit evenwel overal mogelijk zijn en voor situaties als die te Vlissingen, Scheveningen, Katwijk, IJmuiden, Den Helder, Delfzijl en nog tal van andere plaatsen zal het vraagstuk moeten worden aangevat in de zin als hier gesteld.

En als Rotterdam zijn Waterweg wil openhouden, dan zal in het complex op geheel andere wijze rekening moeten worden gehouden met de bodemdaling dan tot nu toe geschiedt.

IX SAMENVATTING

Er liggen in de bodemdaling niet en wel alarmerende aspecten. Niet alarmerend is het bedrag van slechts 20 cm/eeuw, dat wij met bekende waterbouwkundige technieken kunnen opvangen. Wél een alarm waardig is het aansluitend karakter van de bodemdaling en de veelheid van zijn schadelijke werkingen. Zijn verloop is zo traag en onopvallend, dat het zich slechts open-

baart aan nauwlettend waarnemen en zorgvuldig analyseren. Het is geen gebeuren waarmede men als vanzelf in het dagelijks leven geconfronteerd wordt en als vanzelf toch al rekening houdt. Zijn niettemin op de lange duur bijzonder ernstige consequenties moeten dus met enige nadrukkelijkheid onder de aandacht worden gebracht. Een nadrukkelijkheid, die, gezien het weinig spectaculaire karakter van de materie als zodanig en de grote kans, dat dientengevolge maatregelen, die beslist genomen zullen moeten worden, achterwege blijven, een enigermate alarmerend accent zeker wel mag aannemen.

De moeilijkheid schuilt thans in genen dele meer in het bedrag, dat als bodemdalingsgetal voor het nemen van beslissingen in de technische sfeer aangehouden dient te worden, nu door de deltagcommissie 20 cm/eeuw als normgevend naar voren is gebracht. Het nimmer eerder aan de orde gestelde en nog minder dus opgeloste vraagstuk is: op hoeveel eeuwen zicht moeten waterbouwkundige werken worden bemeten, als het gaat om bodemdaling. In deze studie nu is hiervoor gesteld minstens 500 jaar en niet méér dan 1000 jaar, beide wijzen van zien resulterende in een toeslag voor bodemdaling van 1 m.

Deze meter overhoogte behoeft in het overgrote deel der gevallen niet vandaag de dag reeds in de te bouwen werken te worden aangebracht. Wél echter dienen alle werken zo te worden geprojecteerd, dat men planologisch de mogelijkheid openhoudt om te allen tijde een verhoging tot 1 m boven het in 1960 geldige ontwerppeil te kunnen realiseren, alsmede een tegelijkertijd optredende inklinking van 1 of 2 of meer meters conform bodemmechanische verwachtingen te kunnen opvangen.

Bij in het vrije veld gelegen dijken zal men in het algemeen reeds bij de aanleg een toeslag van 20 cm geven. Steeds zal men een overbreedte aan de voet moeten reserveren, die op de duur verhoging tot 1 m boven het aanlegpeil plus een maai-veldaldaling van 1 of 2 m probleemloos mogelijk maakt. Waterkeringen en daarin gelegen kunstwerken, die reeds bij de aanleg opgenomen zijn in een planologisch verweven conglomeraat en uit dien hoofde „gefixeerd” zijn, dienen misschien reeds bij de aanleg een overhoogte van 1 m te krijgen. Waar zulk een anticipatie vooralsnog vermeden kan worden verzuime men nimmer om overbreedten te reserveren, hetzij aan de voet, hetzij aan de kruin, om op het gewenste moment de kruinshoogte „+ 1 m” te kunnen realiseren zonder dat de aanbouwingen dit alsdan feitelijk onmogelijk maken. In alle gevallen moeten verwachtingen worden opgesteld voor de inklinking en zettingen

van aangrenzende gebieden over 500 jaar en moeten in het stedenbouwkundig plan elastische elementen worden opgenomen die de ruimte leveren voor het groeiende hoogteverschil tussen stijgende dijkskruin en dalende totaalsituatie.

LITERATUUR

TIENJARIG OVERZICHT DER WATERHOOGTEN. Rijkswaterstaat.

SHEPARD. Thirty-five thousand years of sea level, 1963.

VAN VEEN/WAALEWIJN. Bodemdaling en daling van dijkkruinen ten opzichte van de gemiddelde zeespiegel, 1961. Bijdrage V 3 bij rapport Deltacommissie.

JELGERSMA. Holocene sea level changes in the Netherlands, 1961.

WEMELSFELDER. Meereshöhe, Nivellementsöhe, Pegelnull. (Die Küste, 1960).

FABER, Past, present and future subsidence (G & M 1962).