STICHTING
MATHEMATISCH CENTRUM
2e BOERHAAVESTRAAT 49
AMSTERDAM

Rapport Delta Commissie, 3

Bijdragen van het Mathematisch Centrum

1960

BIJDRAGE II.2

HET ECONOMISCH BESLISSINGSPROBLEEM INZAKE DE BEVEILIGING VAN NEDERLAND TEGEN STORMVLOEDEN

INHOUDSOVERZICHT

0.1 Inhoudsoverzicht . . . 59
0.2 Overzicht van de tabellen . . . 60
0.3 Overzicht van de figuren . . . 60
0.4 Overzicht van de gebruikte symbolen . . . 60
0.5 Literatuur . . . 61
0.6 Summary . . . 63
0.7 Résumé . . . 64

1.0 Samenstelling van de bijdrage . . . 66
1.1 Inleiding . . . 66
1.2 Inhoud van de bijdrage . . . 67
1.3 De draagwijdte van het onderzoek en haar beperkingen . . . 68
1.4 Auteur en medewerkers . . . 69
1.5 Samenvatting en conclusies van 1.0 . . . 70

2.0 Uitkomsten van statistisch onderzoek . . . 70
2.1 De grondgegevens . . . 70
2.2 Het door de Deltacommissie ingevoerde basispeil . . . 72
2.3 Samenvatting en conclusies van 2.0 . . . 73

3.0 Optimale dijkverhoging in het eenvoudigste geval . . . 73
3.1 Algemeen gedeelte . . . 73
3.2 Wiskundig gedeelte . . . 78
3.3 Samenvatting van 3.0 . . . 83
3.4 Conclusies van 3.0 . . . 84

4.0 Economische expansie, bodemdaling, zeespiegelrijzing . . . 84
4.1 Algemeen gedeelte . . . 84
4.2 Wiskundig gedeelte . . . 87
4.3 Invloed van de gemaakte onderstellingen en de onnauwkeurigheden in de schattingen der constanten . . . 91
4.4 Samenvatting en conclusies van 4.0 . . . 93

5.0 Compartimentenmethode . . . 93
5.1 De verdeling van het land in compartimenten . . . 93
5.2 Samenvatting en conclusies van 5.0 . . . 95

6.0 De invloed van imponderabilia . . . 95
6.1 De waarde van mensenlevens en ideële goederen en de beheersing van de situatie . . . 95
6.2 Samenvatting en conclusies van 6.0 . . . 96

7.0 De veiligheid van Centraal-Holland 97

7.1 Toepassing van de in 4.0 afgeleide formules op Centraal-Holland 97

7.2 Samenvatting en conclusies van 7.0. 101

8.0 De economische achtergrond van het Deltaplan 102

8.1 Algemeen gedeelte 102

8.2 Wiskundig gedeelte 106

8.3 Samenvatting en conclusies van 8.0. 109

9.0 Overzicht van de in deze bijdrage gebruikte numerieke waarden en uitkomsten 110

0.2 OVERZICHT VAN DE TABELLEN

2.1.1 Aantallen overschrijdingen en overschrijdingsfrequenties van enige peilen gedurende de jaren 1888 tot en met 1956 71

3.1.1 „Spijt" bij niet-optimale verhoging 77

3.2.1 Lonende dijkverhogingen 82

0.3 OVERZICHT VAN DE FIGUREN

3.1.1 Kosten I bij dijkverhoging met X meter 74

3.1.2 Rampschadeverwachting R bij dijkverhoging met X meter 75

3.1.3 Totale kosten K bij dijkverhoging met X meter 75

3.1.4 Vergelijking van de kosten bij optimale dijkverhoging en een verhoging, die 0,34 m groter is 76

3.1.5 Vergelijking van de totale kosten bij kleinere en grotere dijkverhogingen dan de optimale 76

3.2.1 Economische en oneconomische optimale dijkverhogingen 82

4.3.1 Kosten K bij dijkverhoging met X meter. 91

8.2.1 Globale vorm van de functie $r(h)$ 106

8.2.2 De schadefractie als functie van de waterhoogte 107

0.4 OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE SYMBOLEN

e = grondtal natuurlijke logaritmen

ln = natuurlijke logaritme

α = parameter exponentiële verdeling

a_2 = (kans)halveringshoogte in meters $= \frac{1}{\alpha} \ln 2$

a_{10} = (kans)decimeringshoogte in meters $= \frac{1}{\alpha} \ln 10$

a_e = (kans)nepereringshoogte in meters $= \frac{1}{\alpha}$

h = peil in meters boven N.A.P.

$p(h)$ = overschrijdingskans per jaar van het peil h

H_0 = huidig kritiek peil

p_0 = overschrijdingskans per jaar van het huidig kritiek peil $= p\,(H_0)$

P_0 = $100\, p_0$

X = dijkverhoging in meters

H = kritiek peil na dijkverhoging $= H_0 + X$

t = tijd in jaren

τ = tijd in eeuwen

$p\,(H, \tau)$ = overschrijdingskans per jaar over τ eeuwen, indien het kritieke peil na dijkverhoging H meter bedraagt

η = bodemdaling in meters per eeuw

β = $\alpha\eta$

δ = continue rentevoet in % per jaar of in per unum per eeuw

γ = expansiecoëfficiënt in % per jaar of in per unum per eeuw

δ' = gereduceerde continue rentevoet in % per jaar of in per unum per eeuw $= \delta - \gamma$

k*f* = k = duizend gulden = 1 kilogulden

M*f* = M = miljoen gulden = 1 megagulden

G*f* = G = miljard gulden = 1 gigagulden

I_0 = initiële dijkverhogingskosten

I' = dijkverhogingskosten per meter

$I\,(X)$ = totale kosten bij dijkverhoging met X meter $= I_0 + I'X$

I_e = dijkverhogingskosten van a_e meter

r_e = nepereringsrente = rente per jaar van het bedrag $I_e = \dfrac{I'\delta}{100\,\alpha}$

W = totale te beschermen waarde

R_0 = huidige totale verdisconteerde rampschadeverwachting

$R\,(X)$ = totale verdisconteerde rampschadeverwachting na dijkverhoging met X meter

K_0 = huidige totale kosten ter bescherming van de waarde W

$K\,(X)$ = totale kosten ter bescherming van de waarde W na dijkverhoging met X meter

$\hat{X}$ = optimale dijkverhoging in meters

$\hat{H}$ = optimale dijkhoogte in meters $= H_0 + \hat{X}$

$\hat{I}$ = dijkbouwkosten bij optimale verhoging

$\hat{R}$ = totale verdisconteerde rampschadeverwachting na optimale dijkverhoging

$\hat{K}$ = totale kosten ter bescherming van de waarde W bij optimale verhoging

v = veiligheidsfactor $= e^{\alpha X}$

$\hat{v}$ = veiligheidsfactor bij optimale dijkverhoging $= e^{\alpha \hat{X}}$

T = tijd in eeuwen waarna regeneratie van de dijk plaatsvindt

J = contante waarde van alle toekomstige regeneratiekosten $= \dfrac{I'\,\eta\,T}{e^{\delta' T} - 1}$

y = $\alpha\,(X - \hat{X})$

C = $e^{-\frac{1}{2}\beta T} \cdot \dfrac{1 - e^{-(\delta' - \beta)T}}{\delta' - \beta} \cdot \dfrac{\delta'}{1 - e^{-\delta' T}}$

$r\,(h)$ = voorwaardelijke verwachting van de schadefractie per jaar in het deltagebied bij het peil h

Q_0 = verwachting van de schadefractie per jaar in het deltagebied

0.5 LITERATUUR

De verwijzing in de tekst is aangegeven door [ ]

1. *H. W. Ahlmann* Glacier Variations and Climatic Fluctuations, Bowman Memorial Lecture, Series Three. American Geophysical Society, New York, 1953.

2. *W. C. Bischoff van Heemskerck* Enige beschouwingen over het berekenen van de economische dijkverhoging, waarin opgenomen een berekening voor het gebied van Centraal-Holland. Nota secretariaat Deltacommissie, 's-Gravenhage, 1955.

3. *H. Cramér* Collective Risk Theory, Skandia Insurance Company. Stockholm, 1955.

4. *D. van Dantzig* Economic Decision Problems for Flood Prevention, Econometrica 24, 276–287, New Haven, 1956.

5. *D. van Dantzig* en *J. Hemelrijk* Over de mogelijkheid van statistische voorspelling van extreem hoge waterstanden en haar grenzen. Rapport S 114 van de Statistische Afdeling van het Mathematisch Centrum, Amsterdam, 1953.

6. *D. van Dantzig* en *J. Hemelrijk* Extrapolatie van de frequentielijn der hoge waterstanden te Hoek van Holland met behulp van geselecteerde stormen. Rapport S 226 van de Statistische Afdeling van het Mathematisch Centrum, Amsterdam, 1958.

7. *T. Edelman* Tectonic movements as resulting from the comparison of two precision levellings, Geologie en Mijnbouw, 's-Gravenhage, 1954.

8. *G. Gamow* Biography of the Earth, A Mentor Book. New York, 1941.

9. *Ch. H. Hull* The Economic Writings of Sir William Petty, Volume I, 108. Cambridge University Press, 1899.

10. *Ph. H. Kuenen* Eustatic changes of sea-level, Geologie en Mijnbouw 16, 148–155, 's-Gravenhage, 1954.

11. *M. Milankovitch* Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate. Handbuch der Geophysik II 2, Berlin, 1938.

12. *J. von Neumann* Uber ein ökonomisches Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwerschen Fixpunktsatzes. Ergebnisse eines mathematischen Kolloquiums 8, 73–83, Leipzig und Berlin 1937.

13. *D. J. Reynolds* The cost of road accidents, J. R. S. S. Series A, 393–408, London, 1956.

14. Symposium quaternary changes in level especially in the Netherlands. Utrecht, 1954.

15. *Harlow Shapley* a.o. Climatic Change, Harvard University Press, 1953.

16. *J. van Veen* Tide gauges, subsidence gauges and flood stones in the Netherlands. Geologie en Mijnbouw 16, 214–222, 's-Gravenhage, 1954.

17. *J. van Veen* Necessity of Subsidence-Gauges. Report presented at the 11th general assembly of the International Association of Geodesy at Toronto, 1957.

18. *F. A. Vening Meinesz* Earth-crust Movement in the Netherlands, Resulting from Fenno-Scandian Post-glacial Isostatic Readjustment and Alpine Foreland Rising, Proc. Kon. Ned. Ak. van Wetenschappen B 57, 142–155, Amsterdam, 1954.

19. *F. J. de Vos* Bepaling economische dijkverhoging Terschelling. Nota secretariaat Deltacommissie, 's-Gravenhage, 1954.

20. *P. J. Wemelsfelder* Wetmatigheden in het optreden van stormvloeden. De Ingenieur, 's-Gravenhage, 1939, nr. 9.

21. *P. J. Wemelsfelder* Frequentielijnen van hoogwater in het Nederlandse kustgebied, Rijkswaterstaat, directie Algemene Dienst, Hydrometrische Afdeling, 's-Gravenhage, 1954.

0.6 SUMMARY

The economic decision problems concerning the security of the Netherlands against storm surges

In this contribution, due to Prof. Dr. D. van Dantzig the economic background is investigated of securing our country against stormfloods. As it is impossible to attain complete security we have to deal with optimization problems of the following type: taking account of the cost of dikebuilding as a function of height, of the losses suffered when dikebreaks occur, and of the frequency distribution of the heights of (high) sealevels, to determine the optimal height of the dikes and the amount of money to be invested in dikebuilding.

Chapter 1.0 contains an introduction to the problem and a summary of the contents of the report. In chapter 2.0 a survey is given of the statistical aspects of the problem, discussed in Contribution II.1. The main conclusions are: 1. the halving height a_2 of the exceedance probability is about .23 meter and the decimating height a_{10} about .78 meter; 2. the basic-level defined by having an exceedance probability of 10^{-4} in Hook of Holland is about N.A.P. + 5.1 meter [1]); 3. the exceedance probability of the height of the high tide on february 1st 1953, viz. N.A.P. + 3.85 meter, is .0045. In order to give a clear idea of the methods used, in chapter 3.0 the problem is solved under the following rather simplifying assumptions. We consider a definite part of the country (a polder, say), situated below sea level and protected against the sea by surrounding dikes. We assume the existence of a level H_0 critical for the present state, so that a high tide in Hook of Holland below this level does not cause any damage at all, and that a high tide above this level destroys all goods in the polder. In other words, the probability of a loss equals the exceedance probability $p\,(H_0)$ of the critical level H_0. Only total losses are considered, the probability of partial losses being neglected. The value V to be protected by the dikes includes besides the goods in the polder, all the consequential losses, suffered when the goods in the polder are lost. Both $p\,(H_0)$ and V are assumed to be constant in time. Now we have to answer two questions:

1. Considering the situation from the economic point of view, have we to raise the critical height, or is it better to leave the situation as it is?

2. If we decide to raise the critical level, what will be the optimal height of the dikes?

The cost of heightening the dikes with X meter is assumed to be a linear function $I\,(X)$ of X. After the heightening a certain probability of new disasters will remain. The corresponding risks, depending on X, are calculated by taking the sum $R\,(X)$ of all present values of expected future losses. If we heighten the dikes, the optimal amount $\hat{X}$ will be determined by the minimum of $K\,(X) = I\,(X) + R\,(X)$. The first question can be answered now by comparing the values of $K\,(X)$ for $X = 0$ and for $X = \hat{X}$. By heightening in a non-optimal way we suffer avoidable losses, which are much higher by heightening a certain amount *below* the optimal level than by heightening the same amount *above* the optimal level. The difference between the expected losses and the losses in the optimal case is called the regret. If we construct the dikes .46 meter too high this regret equals the cost of .21 meter dikeheightening, but if we construct the dikes .46 meter too low the regret equals the cost of .53 meter dikeheightening. After optimal dikeheightening the expected value of all future losses $R\,(\hat{X})$ equals the costs I_e of "napierating" the exceedance probability, i.e. of dividing the exceedance probability by e, the base of the natural logarithms. The exceedance probability $p\,(\hat{H})$ after optimal heightening equals the quotient of the interest r_e if I_e per annum and the value V. The optimal heightening, measured in the "napierating height" as a unit, equals the natural logarithm of the present expected value of losses per annum, divided by r_e.

Chapter 4.0 deals with a more realistic model of the situation, among others accounting for a constant increase of γ percent per annum of the value V ("expanding economy") and a slowly sinking away of the dikes into the sea at a constant rate. Because of the last fact the dikes have to be regenerated after some time. Accounting for a constantly expanding economy implies substituting the normal interestrate δ by the "reduced" interestrate $\delta' = \delta - \gamma$. The consequences of non-linearity of the function $I\,(X)$ and the inaccuracies and uncertainties of the constants used are discussed.

This chapter is followed by two non-mathematical chapters, (5.0 and 6.0). in the first of which the possibility is mentioned of improving the security by dividing the endangered parts of the country into "watertight compartments". The second one deals with "goods" having not only a purely economical value, such as human lives, cultural goods and the value of keeping control of the situation. Presumably the best way of accounting for these values is to multiply the value V of the material goods by a certain factor, e.g. a factor 2.

All these theoretical considerations are used in chapter 7.0 for determining the optimal height of the southern dikes of Central Holland. Some of the relevant constants are rather badly known, especially V. Using a rather low estimate for V the optimal height is found to be around N.A.P. + 6 meter. After optimal dikeheightening the present value of all future losses amounts to 13.500 millions = 13.5 M (1 M = 1 "megaguilder" = $f\,10^6$) = .0135 G (1 G = 1 "gigaguilder" = $f\,10^9$); the exceedance probability is 8.10^{-6} per annum, or .0008 per century. Besides, attention is paid (albeit on a non-quantitive level) to the desirability and possibility of improving the defence against the sea on the sea front itself, in particular with regard to the "breaches" at Scheveningen, Katwijk and IJmuiden. The very high optimal level for the southern dikes as well as the discussion on the sea front both suggest the desirability of dividing Central Holland into a number of watertight compartments.

With regard to the Delta-area the situation is different. In this case our problem is not an economic decision problem anymore, since the Delta Plan has already been accepted by Government and Parliament. Nevertheless it is

[1]) N.A.P. = Ordnance datum of Amsterdam = mean sea level.

of some interest to examine the economic background of this acceptance. The economic balance sheet of the Delta Plan drawn up by J. TINBERGEN [1]) has a closing entry for security and other imponderable values. According to the tentative estimates available at present, accepting the project implies a value of at least 6500 millions = 6.5 G to be protected in the Delta-area. If the estimates used do not differ too much from the real values of the constants, the decision taken can already be defended on purely economical grounds alone. Because of the rather crude estimates of the constants, it is possible that the decision taken leans, besides the economical grounds on the "imponderable values" also. The chapter closes with a discussion of that case and more particularly of the problem, how the value we attribute to the preservation of a part of our country is to be determined.

Each chapter concludes with a summary of the results. The mathematical derivations are inserted in separate sections.

0.7 RÉSUMÉ

Le problème des décisions au point de vue d'économie pour la protection des Pays-Bas contre les marées-tempête

Le côte économique du problème de la protection de notre pays contre les marées-tempête constitue le sujet du présent compte-rendu du à Prof. Dr. D. van Dantzig qui se compose de plusieurs chapitres. Une sécurité complète étant impossible à réaliser, nous avons à envisager des problèmes de l'optimum du type suivant: nous aurons à determiner la hauteur optimum des digues et la somme optimum d'argent à investir dans la construction des digues, en tenant compte des frais de construction comme fonction du niveau, des pertes subies lorsque des ruptures de digue se produisent et de la repartition de fréquence des hauteurs des niveaux de mer.

Le chapitre 1.0 contient une introduction au problème et un résumé du contenu du rapport. Dans le chapitre 2.0 se trouve un aperçu des aspects statistiques du problème qui sont discutés dans la Contribution II.1.

Les conclusions principales sont les suivantes:

1. La différence d'hauteur a_2 qui réduit à moitié la probabilité de dépassement est environ de 0 m.23, la différence d'hauteur a_{10} qui réduit cette probabilité à un dixième est environ de 0 m.78 et la différence d'hauteur a_e qui la réduit à $1/e$ environ de 0 m .34.
2. Le niveau qui sert de base est environ à N.A.P. + 5 m .10 [2]). Il a une probabilité de dépassement de 10^{-4} à Hoek van Holland.
3. La probabilité de dépassement du niveau de la marée haute qui a eu lieu le premier février 1953 et qui se trouve à N.A.P. + 3 m .85, est de 0,0045.

Afin de donner une idée nette des méthodes utilisées, on a résolu le problème dans le chapitre 3.0 en partant des suppositions, assez simplificatrices, qui suivent. Nous considérons une partie déterminée du pays, par exemple un polder situé au-dessous du niveau de la mer et entouré de tous côtés de digues protectrices. Nous admettons l'existence d'un niveau critique H_0, caractéristique de la situation actuelle, choisi de telle sorte qu'une marée haute qui à Hoek van Holland reste au-dessous du niveau en question, ne cause nullement de dégâts, tandis qu'une marée haute qui le dépasse détruit tout dans le polder. Autrement dit, la probabilité d'une perte équivaut la probabilité de dépassement $p\ (H_0)$ du niveau critique H_0. (Il faut noter qu'on ne tient compte que de pertes totales). La valeur V qui doit être protégée par les digues comprend en dehors de tout ce qui se trouve actuellement dans le polder, tous les dommages qui résultent de la perte initiale. Tant $p\ (H_0)$ que V sont supposés d'être constants dans le temps. Maintenant deux questions s'imposent auxquelles il faudra chercher une réponse: 1) En envisageant le problème d'un point de vue d'économie, devons nous augmenter la hauteur critique ou bien vaut-il mieux la laisser telle quelle? 2) Si nous nous décidons à relever le niveau critique, quelle sera la hauteur optimum des digues? Le coût de la surélévation des digues de X mètres est supposé d'être une fonction linéaire $I\,(X)$ de X. Après la surélévation une certaine probabilité subsiste que de nouveaux désastres se produisent. On calcule les risques correspondants, qui dépendent évidemment de X, en faisant la somme $R\,(X)$ de toutes les valeurs actuelles des pertes éventuelles à venir. La quantité optimum $\hat{X}$ sera déterminée alors par le minimum de $K(X) = I(X) + R(X)$. On peut répondre maintenant à la première question, en comparant les deux valeurs de $K(X)$, X ayant la valeur 0 et la valeur $\hat{X}$. Si nous surélevons les digues d'une quantité différente de l'optimum, nous subirons des pertes qui pourront être évitées et qui seront beaucoup plus grandes lorsque nous surélevons les digues d'une certaine quantité *au-dessous* du niveau optimum, que lorsque nous les surélevons de la même quantité *au-dessus* du niveau optimum. La différence entre les pertes attendues et celles dans le cas optimum s'appelle „le regret". Si nous surélevons les digues de 0 m .46 de trop, le regret équivaut le coût d'une surélévation de 0 m .21, mais si par contre nous les surélevons de 0 m .46 de trop peu, le regret équivaut le coût d'une surélévation de 0 m .53. Après une surélévation optimum l'espérance mathématique du montant de toutes les pertes futures $R\ (\hat{X})$ est égale aux frais I_e, nécessaires à surélever la digue de a_e m. La probabilité de dépassement $p\ (\hat{H})$ après la surélévation optimum est égale au quotient de l'intérêt annuel r_e de I_e et de la valeur V. La surélévation optimum, exprimée dans l'unité a_e, est égale au logarithme naturel de l'espérance mathématique actuelle des pertes annuelles, divisée par r_e.

---

[1]) See Contribution VI.

[2]) N.A.P. = le zéro de nivellement d'Amsterdam = niveau moyen de la mer.

Le chapitre 4.0 traite d'un modèle de la situation qui est plus conforme à la réalité et qui nous tient e.a. compte de l'augmentation constante de la valeur V de γ pourcents annuels („expanding economy") et de l'enfoncement lent et constant des digues dans la mer. Pour cette dernière raison les digues ont besoin d'être renouvelées au bout de quelque temps. Si nous voulons tenir compte d'une économie qui se développe continuellement, nous devons remplacer le taux d'intérêt normal par le taux réduit $\delta' = \delta - \gamma$. Ensuite sont discutées ici les conséquences que peut avoir le caractère non-linéaire de la fonction $I(X)$ et les imprécisions et incertitudes des constantes utilisées.

Ce chapitre est suivi par deux chapitres non-mathématiques(5.0 et 6.0). Dans le premier la question est soulevée s'il ne serait pas possible d'augmenter la sécurité en divisant les régions qui sont exposées au danger en compartiments „étanches". Dans le deuxième il s'agit des biens n'ayant pas une valeur purement économique, tels que les vies humaines, les biens culturels et la valeur qui consiste à avoir la situation en main. Probablement le meilleur moyen de faire entrer ces valeurs en ligne compte est de multiplier la valeur V des biens matériels par un certain facteur, par exemple le facteur 2. Toutes ces considérations théoriques servent dans le chapitre 7.0 à fixer la hauteur optimum des digues méridionales de la Hollande Centrale. Quelques unes des constantes qui ont rapport à ce problème sont cependant assez mal connues, en particulier V. Si nous évaluons V à une valeur plutôt basse, la hauteur optimum est environ de N.A.P. + 6 mètres. Après une surélévation optimum la valeur actuelle de toutes les pertes futures s'élève à 13 500 millions de florins = 13.5 M (M = 1 „megagulden" = 10^6 florins) = 0.0135 G (G = 1 „gigagulden" = 10^9 florins). La probabilité de dépassement est de 8.10^{-6} par an, ou bien de 0.0008 dans un siècle. Ensuite, on s'arrête à l'intérêt qu'il y aurait à perfectionner la protection contre la mer sur la côte elle-même, en particulier à cause de la présence des brèches de Scheveningue, Katwijk et IJmuiden. Le niveau optimum très élevé que devront avoir les digues méridionales nous fait comprendre l'opportunité d'une division de la Hollande Centrale en un nombre de compartiments étanches. C'est-ce qui résulte également de la discussion du problème de la côte.

En ce qui concerne la région du Delta la situation se présente tout autrement. Là le problème n'est pas un problème de décision économique, le Plan du Delta étant d'ores et déjà adopté par le Gouvernement et voté par le Parlement. Néanmoins nous avons intérêt à examiner les conséquences économiques que peuvent bien avoir l'adoption du projet en question. Le bilan économique du Plan du Delta, dressé par J. Tinbergen [1]) contient un poste final de sécurité et d'autres valeurs difficiles à préciser. D'après les évaluations provisoires dont nous disposons à présent, l'adoption du projet signifie qu'il y aura à moins une valeur de 6500 millions de florins à protéger dans toute la région du Delta. Si les évaluations ne diffèrent pas trop de la valeur réelle des constantes, la décision qu'on a prise peut dès maintenant être défendue rien que pour des raisons économiques. Les évalutions des constantes étant faites par approximation, il se peut que la décision prise se fonde en outre sur les valeurs impondérables susdites. Ce dernier chapitre se termine par une discussion du problème cité ci-dessus et en particulier du problème comment il faut spécifier la valeur que nous attachons à la préservation d'une partie de notre pays.

A la fin de chaque chapitre se trouve un résumé des résultats obtenus. Les dérivations mathématiques ont été insérées dans des subdivisions spéciales du texte.

---

[1]) Voir Contribution VI.

1.0 SAMENSTELLING VAN DE BIJDRAGE

1.1 Inleiding

Bij een beslissing van wijde strekking, als de aanvaarding van het Deltaplan is, wordt naast de primaire doelstelling, in casu beveiliging van volk, land en goederen tegen stormrampen, ook de economie van het project in aanmerking genomen. Zoals zo vaak, is ook hier een absoluut afdoende verwezenlijking van het doel niet bereikbaar en is de mate, waarin men de gewenste toestand kan benaderen, afhankelijk van de hoeveelheid arbeid en kapitaal, die men er aan wil besteden, dat is van het bedrag, dat men er in wil investeren.

Nu is het duidelijk, dat men een duurzaam aanvaardbare graad van veiligheid niet zal kunnen bereiken, als men slechts tot een zeer kleine investering bereid is. Anderzijds zou een àl te grote investering in het plan ten koste gaan van andere projecten, die eveneens vitale nationale belangen, zij het van andere aard, dienen. Met andere woorden: nòch de „minimale" (dat is de kleinst mogelijke), nòch de „maximale" (dat is de grootst mogelijke) investering geeft de „optimale" (dat is de economisch gunstigste) oplossing; deze ligt ergens daartussen in. Het probleem is: waar?

De hier volgende beschouwingen hebben ten doel, methoden aan te geven, met behulp waarvan zulk een „beste oplossing" (in nog nader te preciseren zin) bij benadering kan worden bepaald, telkenmale wanneer de beveiliging van een deel van ons land tegen stormvloeden aan de orde komt, althans indien bepaalde concrete feitelijke gegevens met voldoende nauwkeurigheid ter beschikking staan.

Deze methoden vormen een toepassing van een wiskundig-economische theorie, die in de laatste jaren, vooral in de Verenigde Staten, ontwikkeld is. Zij wordt „decision theory" genoemd, waarvoor wij de benaming „besliskunde" gebruiken. Deze methoden worden tot dusverre nog hoofdzakelijk bij militaire en bij industriële beslissingen toegepast [1]).

De grondgedachte van de besliskunde is uiterst eenvoudig en vanzelfsprekend. Wanneer men voor de keuze staat, een bepaalde beslissing al dan niet te treffen, bijvoorbeeld een bepaald project (in casu het Deltaplan) al dan niet uit te voeren, tracht men zo goed mogelijk de schade te ramen, die uit niet-uitvoering zou voortvloeien, en men vergelijkt deze met de kosten [2]) van het plan. Indien de schade bij niet-uitvoering groter is dan de kosten bedragen, zal uitvoering van het plan dus in ieder geval economisch voordelig zijn. Zijn daarentegen de kosten groter dan de schade bij niet-uitvoering, dan zal uitvoering van het plan op andere dan economische gronden verantwoord moeten worden. Het verschil tussen kosten en schaden hangt dan samen met de waarde, die men aan de niet-economische aspecten toekent.

Algemener: indien de beslissing een keuze inhoudt uit verschillende, binnen het bereik liggende handelwijzen, zal men zo goed mogelijk de grootte der voordelen en der nadelen trachten te ramen, die uit elk dezer handelwijzen zou voortvloeien. Men bepaalt dan die handelwijze, de „optimale" genaamd, waarbij het overwicht van de voordelen boven de nadelen zo groot mogelijk is [3]).

Kenmerkend voor de besliskunde is het vooruitzien: gouverner, c'est prévoir. Vrijwel altijd geldt, dat maatregelen, die men moet improviseren als men zich door een voorzienbare noodtoestand laat overvallen, enorm veel kostbaarder zijn dan de voorzieningen, die men vooraf had kunnen treffen. Daarbij dient men rekening te houden met het feit, dat over de gevolgen, die uit de beslissing tot een bepaalde handelwijze zouden voortvloeien, nooit volledige zekerheid bestaat. Dit geldt bij ons probleem bij voorbeeld ten aanzien van de vraag, of zich in een bepaalde toekomstige periode een stormvloed zal voordoen van een zodanige omvang, dat daardoor ondanks bepaalde veiligheidsmaatregelen toch nog een ernstige ramp veroorzaakt zou kunnen worden. Het enige dat men hier kan bereiken, is op grond van beschikbare statistische gegevens over hoogwaterstanden, zo goed mogelijk de *kansen* te schatten, dat zulks onder verschillende omstandigheden zal gebeuren (vgl. 2.0).

Het beginsel der besliskunde is dus geenszins nieuw: een ieder, die een weloverwogen beslissing neemt, tracht op deze wijze te werk te gaan. Het betrekkelijk nieuwe is in de methode gelegen, en wel in het feit, dat bij het onderzoek, welke der mogelijke handelwijzen de optimale is, *wiskundige* redene-

---

[1]) Doorgaans duidt men deze toepassingen aan met de Amerikaanse term „Operations Research" of kortweg: „O.R.".
[2]) Precieser: het saldo op de balans van kosten en andere nadelen tegenover voordelen.
[3]) Of: het overwicht van de nadelen boven de voordelen zo klein mogelijk.

ringen worden ingeschakeld, dat in het bijzonder voor het beoordelen van onzekere gevolgen de *kansrekening* wordt gebruikt en dat aanvankelijk onbekende kansen met behulp van *statistische* methoden uit waarnemingen worden afgeleid.

Voor toepassing van de methode is, strikt genomen, nodig, dat de voor- en nadelen alle met een zelfde maat kunnen worden gemeten. Meestal drukt men deze alle in *geldwaarde* uit („winsten" tegenover „verliezen" of „schaden"), maar men zou daarvoor soms ook andere maten kunnen gebruiken.

In het hier ter discussie staande probleem van de beveiliging tegen stormvloeden leidt deze beperking in de toepasbaarheid tot moeilijkheden, daar bij een stormramp naast economische goederen ook niet-economische waarden, in het bijzonder mensenlevens, verloren kunnen gaan. We zullen deze moeilijkheid in 6.0 nader onder ogen zien en *voorlopig* (met name in 3.0 en 4.0) alleen de in geld waardeerbare economische schaden in aanmerking nemen.

Sommigen stuit een overwegend economische beschouwing tegen de borst; zij vinden, dat daardoor menselijke en ethische gevoelens onvoldoende tot hun recht komen. Hoewel de realiseerbaarheid van ethische en humanitaire overwegingen bij al te grote kosten toch te loor gaat, zullen wij ons anderzijds in 6.0 en elders van de grenzen, aan de zuiver economische behandelingswijze gesteld, volledige rekenschap geven.

Ten einde deze bijdrage voor een zo groot mogelijke lezerskring begrijpelijk te houden, hebben wij de resultaten zoveel doenlijk op algemeen verstaanbare wijze weergegeven. De wiskundig ongeschoolde lezer kan de naar het einde van de paragrafen verschoven wiskundige beschouwingen (3.2, 4.2, 8.2) overslaan, mits hij zich realisere, dat deze de eigenlijke basis vormen, waarop de als popularisering in verbale vorm gegeven uitkomsten berusten. Ook de gebruikte wiskunde hebben wij uiterst elementair gehouden, daar wezenlijk dieper gaande wiskundige methoden (welker toepassing zeer wel mogelijk geweest ware) ten gevolge van de onzekerheden in de waarnemingsuitkomsten toch niet veel vrucht zouden afwerpen.

1.2 Inhoud van de bijdrage

In 2.0 wordt een korte samenvatting gegeven van de voor het vervolg benodigde resultaten van een afzonderlijk statistisch onderzoek, dat eveneens door het Mathematisch Centrum te Amsterdam is verricht. Een uitvoeriger beschrijving is opgenomen in Bijdrage II.1.

In 3.0 en 4.0 wordt vervolgens de methode ter behandeling van het veiligheidsprobleem zelf uiteengezet. En wel hebben wij, ten einde haar belangrijkste aspecten zo duidelijk mogelijk te doen uitkomen, eerst een aantal complicerende bij-omstandigheden weggelaten en in 3.0 een zo eenvoudig mogelijk geval behandeld, waarin ondersteld is, dat deze complicaties nog niet optreden, en dat dus een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid inhoudt. Dit hoofdstuk is gesplitst in een „algemeen gedeelte", voor de lezing waarvan geen kennis van wiskunde is vereist (3.1) en waarin de grondgedachten der methode en een deel der conclusies in woorden zijn omschreven, en een „wiskundig gedeelte" (3.2), dat door lezers, die weinig wiskundig ontwikkeld zijn, kan worden overgeslagen, hoewel de daarin geformuleerde conclusies I t/m V voor de toepassing der theorie van fundamentele betekenis zijn. Ook hier hebben wij de voor het lezen benodigde wiskundige kennis zoveel doenlijk beperkt.

In 4.0 worden de belangrijkste der in 3.0 uit didactische overwegingen toegepaste, maar zakelijk niet gerechtvaardigde vereenvoudigingen opgeheven. Deze hebben betrekking op de noodzaak, rekening te houden met de seculaire toeneming van de waarde der goederen, die zich in een polder bevinden, en op de relatieve bodemdaling van ons land ten opzichte van de zeespiegel. Daar het niet mogelijk was, de grootte van deze bodemdaling met voldoende betrouwbaarheid en voldoende nauwkeurigheid te leren kennen, hebben wij getracht, een zodanige oplossing van het probleem te geven, dat de onbekendheid van deze grootheid niet stoort. Dit hoofdstuk is op overeenkomstige wijze als 3.0 gesplitst in een algemeen en een wiskundig gedeelte. In dit laatste hebben we nog nagegaan, welke wijzigingen optreden als ook andere tot dusverre gemaakte onderstellingen niet meer gerechtvaardigd zijn, terwijl we voorts de invloed van de onzekerheden in de feitelijke gegevens op de optimale dijkverhoging geschat hebben.

Alvorens deze algemeen theoretische overwegingen toe te passen op de concrete beslissingsproblemen, hebben wij een tweetal hoofdstukken (5.0 en 6.0) van niet-wiskundige aard ingelast, die echter voor het vervolg nodig zijn. In 5.0 hebben wij de mogelijkheid besproken, de veiligheid in een gebied te verhogen door het te verdelen in „waterdichte compartimenten", hetgeen vooral voor 7.0 van belang is, terwijl wij in 6.0 de niet-economische, ook wel als „ideëel" of „imponderabel" aangeduide waarden in de beschouwing hebben opgenomen. Het blijkt, dat de wiskundig-economische en statistische methoden ons hier inderdaad in de steek laten en dat subjectieve overwegingen niet geheel vermeden kunnen worden. Wel echter kunnen de genoemde methoden er toe bijdragen, de subjectieve keuzen op een meer overwogen en zich zelf gelijkblijvende wijze te doen geschieden dan zònder deze mogelijk is.

In 7.0 is vervolgens het fundamentele probleem van de beveiliging van Centraal-Holland behandeld. Voor zover het de bescherming aan de zuidzijde betreft, is dit een directe toepassing van de in 3.0 en 4.0 gegeven theorie, hoewel zich nog een fundamentele moeilijkheid voordoet. Deze heeft betrekking op de vraag, hoe de „waarde" van een deel van ons land moet worden beoordeeld. Doordat bovendien een aantal benodigde feitelijke gegevens niet met voldoende nauwkeurigheid bekend is, kan de optimale dijkhoogte niet met die graad van nauwkeurigheid en van zekerheid worden bepaald, die eigenlijk gewenst – en theoretisch mogelijk – ware. Met betrekking tot de versterking van de zwakke plekken in de kustlijn zelve, alsmede tot de „waterdichte compartimenten" hebben wij gemeend, ons tot algemene opmerkingen te moeten beperken. Kwantitatieve resultaten dienaangaande kunnen worden verkregen, indien verschillende nog ontbrekende gegevens ter beschikking zullen staan. Splitsing van 7.0 in een algemeen en een wiskundig gedeelte bleek niet wel mogelijk en ook niet strikt noodzakelijk te zijn. Slechts in een klein gedeelte van dit hoofdstuk worden namelijk de wiskundige delen van 3.0 en 4.0 rechtstreeks toegepast.

In 8.0 is vervolgens de economische achtergrond van het Deltaplan onderzocht. Aangezien dit plan reeds door regering en parlement is aanvaard, ligt hier geen besliskundig probleem meer. Ten einde een dieper inzicht te verwerven in de vraagstukken, welke samenhangen met problemen van de omvang van het Deltaplan, is onderzocht, welke conclusies uit het aanvaarden van dit plan getrokken kunnen worden. Ook de in dit hoofdstuk gegeven getallenwaarden kunnen alleen als globale schattingen worden beschouwd.

Aan het einde van ieder hoofdstuk zijn de resultaten en conclusies kort samengevat, terwijl aan het einde van de bijdrage nog een tabel van de gebruikte numerieke waarden en de uitkomsten is toegevoegd.

1.3 De draagwijdte van het onderzoek en haar beperkingen

Alvorens dit programma uit te voeren, willen wij echter nog enige opmerkingen maken, die merendeels op de draagwijdte van ons onderzoek en haar beperkingen betrekking hebben.

De bij sommigen voorkomende mening, dat wiskundige behandeling van een probleem volmaakte zekerheid schept, houdt een grove overschatting van de toepasbaarheid der wiskunde in. Bij toepassing van onze methoden op de concrete werkelijkheid kunnen wij de theoretisch mogelijke graad van nauwkeurigheid en zekerheid niet bereiken. Dit ligt evenwel niet aan de wiskunde, maar – voor zoverre niet-economische overwegingen nog niet in aanmerking genomen behoeven te worden – wel aan onze ontoereikende kennis van deze concrete werkelijkheid zelve. De beschikbare wiskundige methoden – waarvan wij hier slechts een zeer klein deel hebben benut – zouden vrijwel toereikend zijn voor veel nauwkeuriger en zekerder bepaling van het economische optimum, indien wij omvangrijker, gedetailleerder en preciezer kennis zouden bezitten over een aantal waarneembare verschijnselen van economische, geofysische en waterstaatkundige aard dan thans het geval is.

Deze onzekerheid kan ten gevolge hebben, dat de mate van veiligheid, die verkregen wordt, kleiner is dan de berekende, hetgeen tot meerdere stormvloedschade kan leiden. Ook echter kan zij er toe leiden, dat men dijken zwaarder bouwt dan eigenlijk nodig ware, er dus onnodig veel geld in investeert. In beide gevallen vloeit dus uit onvoldoende wetenschappelijke kennis een economisch verlies voort, dat zeer veel groter kan zijn dan de bedragen, die moeten worden besteed om kennis als de thans benodigde te verwerven. Economische verliezen van deze aard vormen dus de prijs, die we voor onze betrekkelijke „onkunde" moeten betalen, en tonen aan, dat geld, aan wetenschappelijk onderzoek besteed, soms geheel onverwacht in een latere periode tot zeer grote besparingen kan leiden en dan een uitzonderlijk hoog rendement heeft.

De bedoelde onzekerheden, die we in 4.0, 7.0 en 8.0 nader zullen bespreken, zouden anderzijds tot de mening kunnen leiden, dat een wiskundige behandeling van het gestelde probleem in het geheel geen zin heeft en dat men aan de uitkomsten daarvan slechts geringe betekenis kan toeschrijven. Dit is in overeenstemming met de mening van sommigen, dat wiskundige behandeling van vragen, waarbij menselijke activiteit betrokken is, onmogelijk is. Toch is dit geenszins het geval. Want door het zo zorgvuldig mogelijk in acht nemen van alle factoren, verkrijgen we weliswaar geen volkomen nauwkeurig en volkomen betrouwbaar, maar wel een redelijk nauwkeurig en redelijk betrouwbaar en in ieder geval een zo nauwkeurig en betrouwbaar mogelijk resultaat. Het feit, dat we ons van de onzekerheden zo goed mogelijk rekenschap geven, kan ons er voor behoeden, aan deze resultaten een àl te absolute betekenis toe te kennen. In geen geval echter kan men zònder een exacte behandeling een even grote nauwkeurigheid en betrouwbaarheid bereiken, daar iedere voldoend gefundeerde wetenschappelijke redenering ook in de wiskundige analyse kan worden opgenomen. De niet-wetenschappelijke en de subjectieve overwegingen kunnen ook door wiskundige behandeling niet ondervangen worden, weshalve een beslissing, waarop zulke overwegingen een grote invloed hebben, wiskundig ook niet volledig kan worden bepaald. Wel echter kan men, gegeven de beslissing, met onze methoden nagaan, welke economische waarde met de niet-economische waarden overeenkomt. De waarde van de wiskundige behandelingswijze is vooral daarin gelegen, dat zij tot schattingen leidt, die voor praktische doeleinden meestal wel voldoende zijn, en dat zij ons in staat stelt, ons over de *mate* van betrouwbaarheid daarvan, ook kwantitatief, een beeld te vormen: wiskundige *methoden* zijn dienstig om de grenzen der geldigheid van bepaalde wiskundige *formules* te leren kennen.

Een belangrijke beperking, die wij ons hebben moeten opleggen, is de volgende.

Overstroming door de zee is niet het enige gevaar, dat ons land bedreigt. Op zichzelf minstens even belangrijk is het behoud van onze beschaving, in de wijdste zin van het woord, het behoud en de verhoging van ons welvaartspeil en het behoud van onze „vrijheid", welk begrip wij in deze context menen te mogen interpreteren als onze beschikkingsmacht over de wijze, waarop beschaving en welvaart gehandhaafd moeten worden, en over de wijze, waarop deze begrippen geïnterpreteerd moeten worden.

Het is duidelijk, dat een afwegen van deze belangen tegen het overstromingsgevaar onze opdracht en onze competentie te buiten gaat en een zaak van algemeen regeringsbeleid, alsmede van budgetair karakter is [1]). Hoewel ook hier toepassing van besliskundige methoden ongetwijfeld groot nut zou afwerpen, zou dit een geheel anders gericht onderzoek vergen. Om deze reden hebben wij de budgetaire beperkingen, waardoor somtijds een overigens optimale handelwijze niet kan worden uitgevoerd, hier volledig buiten beschouwing gelaten, al zouden de beschikbare wiskundige methoden het bij voldoende feitelijke gegevens wel mogelijk maken, deze mede in aanmerking te nemen.

Deze bijdrage heeft natuurlijk allerminst de pretentie, een volledige behandeling van het economische probleem der beveiliging tegen stormvloeden te geven, nòch ook de pretentie tot *definitieve* numerieke resultaten te leiden. Dit zou o.a. een technische kennis, veelal ook van plaatselijke omstandigheden, vereisen, waarover wij als wiskundigen niet beschikken. Onze bedoeling is dan ook wezenlijk bescheidener, te weten het aangeven van een eenvoudige *methode*, met behulp waarvan de ter zake deskundigen de definitieve resultaten kunnen verkrijgen. De in 4.0, 7.0 en 8.0 gegeven getallenwaarden dienen dan ook allereerst als een *illustratie* van de methode te worden beschouwd. Al menen wij, de uiteindelijke bepaling der getallenwaarden aan de vakkundigen te moeten en te mogen overlaten, zo hebben wij toch getracht, door het raadplegen van enkele deskundigen op de gebieden waar wij zelf geen competentie bezitten, de gegeven cijfers zo realistisch mogelijk te doen zijn. Men mag aannemen, dat de thans aanwezige hiaten in feitelijke kennis, die in de concrete toepassingen in 7.0 en 8.0 ernstige onzekerheden ten gevolge hebben, bij toepassing op analoge problemen in de toekomst ten dele zullen zijn aangevuld, waardoor methoden, als door ons geschetst, met groter nuttig effect zullen kunnen worden toegepast.

1.4 Auteur en medewerkers

Het onderzoek, waarvan in dit rapport de resultaten worden medegedeeld, is op verzoek van de Deltacommissie verricht door D. van Dantzig. Voorts heeft J. Kriens er een zeer belangrijk aandeel in gehad, terwijl J. Hemelrijk ook waardevolle hulp heeft geboden. Met name is de uiteindelijke formulering van vele gedeelten en in het bijzonder van 8.0 slechts dank zij de medewerking en de kritische en constructieve zin van Kriens tot stand gekomen.

---

[1]) Om analoge redenen zijn alle financieringsvragen buiten beschouwing gebleven.

Voorts zijn wij aan Ir. W. C. Bischoff van Heemskerck, Prof. Dr. G. Th. J. Delfgaauw, Prof. Dr. J. B. D. Derksen, Dr. R. J. P. van Glinstra Bleeker, Prof. Dr. J. F. Koksma, Prof. Mr. J. G. Koopmans, Dr. A. W. G. Koppejan, Prof. Dr. G. L. Smit Sibinga, Prof. Dr. H. Theil, Prof. Ir. J. Th. Thijsse, Prof. Dr. J. Tinbergen, Dr. Ir. J. van Veen, Ir. F. J. de Vos en Prof. P. de Wolff grote dank verschuldigd voor de verstrekte gegevens en belangrijke opmerkingen, in soms langdurige en steeds interessante discussies gemaakt, die in de tekst zijn verwerkt.

Ten slotte danken wij het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Centraal Planbureau voor het maken van schattingen van verschillende, in dit onderzoek gebruikte grootheden.

1.5 Samenvatting en conclusies van 1.0

1. In deze bijdrage worden methoden ontwikkeld, met behulp waarvan men de economisch gunstigste („optimale") hoogte van dijken, die een gedeelte van ons land tegen overstroming door de zee beschermen, approximatief kan bepalen, indien bepaalde feitelijke gegevens met voldoende betrouwbaarheid en nauwkeurigheid bekend zijn.

2. Deze methoden behoren tot het gebied der „besliskunde" („decision theory") en berusten op wiskundige en statistische methoden.

3. Overwegingen van budgetaire aard en financieringsvragen vallen buiten het bestek van deze bijdrage.

4. Bij de toepassingen op de concrete problemen van Centraal-Holland en het deltagebied zijn niet alle benodigde gegevens met voldoende nauwkeurigheid bekend, zodat de daarop betrekking hebbende conclusies een geringere graad van zekerheid en nauwkeurigheid bezitten dan wenselijk en theoretisch mogelijk ware.

5. Deze bijdrage heeft daarom vooral een methodologisch karakter. De in 4.0, 7.0 en 8.0 te geven getallenwaarden zijn dan ook allereerst van belang als illustratie der methoden. Toch zijn deze zo realistisch mogelijk gekozen.

2.0 UITKOMSTEN VAN STATISTISCH ONDERZOEK

2.1 De grondgegevens

Ter voorbereiding van de besliskundige beschouwingen in 3.0 moeten wij enkele resultaten samenvatten, die betrekking hebben op de waterstanden aan onze kust.

Er is voor iedere plaats een bepaald peil, dat in een lange periode *gemiddeld* éénmaal per jaar door het zeeniveau overschreden [1]) wordt en dat we het „jaarpeil" zullen noemen. Voor Hoek van Holland, de peilschaal, waarover we de beste gegevens bezitten en de enige, die we zullen beschouwen, berekend over de jaren 1888 t/m 1956, bedroeg dit jaarpeil N.A.P. + 2,20 m; gedurende die 69 jaren werd dit peil 70 maal overschreden [2]). We zeggen „gemiddeld", want in sommige jaren wordt dit peil niet, in andere tweemaal of vaker overschreden. Ook het gemiddelde van het aantal overschrijdingen van het jaarpeil gedurende een korte reeks van jaren kan aanzienlijk van 1 verschillen.

Bekender is een hoger peil, *grenspeil* genaamd, dat gemiddeld éénmaal per *twee* jaar wordt overschreden. Vloedstanden, die dit peil overschrijden, worden *stormvloeden* genoemd. Voor Hoek van Holland wordt voor dit peil wel N.A.P. + 2,42 m opgegeven; voor de jaren 1888 t/m 1956 bedroeg deze stand N.A.P. + 2,39 m. Het verschil tussen grenspeil en jaarpeil is dus ongeveer 0,19 m. Evenzo zijn er bepaalde peilen, die achtereenvolgens gemiddeld éénmaal per 3 jaar, per 4 jaar, per 5 jaar, enz. overschreden worden.

In plaats van met het aantal jaren, waarin een bepaald peil gemiddeld éénmaal overschreden wordt, is het gemakkelijker, met het omgekeerde van dit getal te werken. Dit wordt de *overschrijdingsfrequentie* genoemd. Met andere woorden: het peil, dat gemiddeld eenmaal in 1, resp. 2, resp. 3, enz.

---

[1]) We zeggen kort: „overschreden" voor de langere uitdrukking: „bereikt of overschreden".

[2]) Door de beperkte nauwkeurigheid, waarmede peilschalen kunnen worden afgelezen, kan natuurlijk geen exacte gelijkheid van het aantal overschrijdingen en het aantal jaren verlangd worden.

jaren overschreden wordt, heeft een overschrijdingsfrequentie van 1, resp. $\frac{1}{2}$, resp. $\frac{1}{3}$ enz. We vinden dan voor de jaren 1888 t/m 1956 de volgende tabel van overschrijdingsaantallen en overschrijdingsfrequenties. Deze laatste zijn verkregen door de aantallen overschrijdingen alle door het aantal jaren, dus 69, te delen.

Tabel 2.1.1
Aantallen overschrijdingen en overschrijdingsfrequenties van enige peilen gedurende de jaren 1888 tot en met 1956

H.W. in m + N.A.P.	Aantal overschrijdingen	Overschrijdingsfrequentie
2,20	70	1,0145
2,30	49	0,7101
2,40	34	0,4928
2,50	28	0,4058
2,60	21	0,3043
2,70	11	0,1594
2,80	7	0,1014
2,90	7	0,1014
3,00	4	0,0580
3,10	2	0,0290
3,20	2	0,0290
3,30	1	0,0145
:	:	:
3,80	1	0,0145
3,90	0	0,0000

De rij van waargenomen overschrijdingsfrequenties verloopt zeer onregelmatig. Bij het bestuderen van de (hier niet weergegeven) gedetailleerde lijst van waterstanden, die in de genoemde periode bereikt zijn, blijkt dit nog duidelijker. Volgens de Jaarboeken der Waterhoogten van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging van de Rijkswaterstaat bij voorbeeld is in deze periode geen enkel niveau tussen N.A.P. + 2,76 m en 3,00 m voorgekomen, met uitzondering van N.A.P. + 2,96 m à 2,97 m, welk peil driemaal bereikt werd, hoewel men veeleer zou verwachten, dat als drie waterstanden tussen die twee niveaux optreden, deze gelijkmatiger over het interval er tussen verspreid zouden zijn. Dergelijke bijzonderheden worden als „toevallig" beschouwd, dat wil zeggen, dat het niet aannemelijk is, dat zij zich in andere lange reeksen van jaren (bijv. in de eerstvolgende 70 jaar) evenzo zullen voordoen.

Men vervangt daarom de rij van overschrijdingsfrequenties door een regelmatiger verlopende rij van getallen, die men de *overschrijdingskansen* der bijbehorende niveaux noemt. De in een bepaalde periode werkelijk waargenomen overschrijdingsfrequenties worden dan beschouwd als uit deze kansen te zijn ontstaan door „toevallige afwijkingen" in de bovenbedoelde zin. Deze kansen kunnen op grond van de waarnemingen niet exact *berekend*, maar slechts *geschat* worden. Naast de onvermijdelijke onzekerheden, veroorzaakt door het kleine aantal zeer hoge waterstanden, is bij ons probleem een belangrijke bron van onzekerheid gelegen in het bepalen der afzonderlijke waterstanden zelf, welke laatste op zijn minst wel meerdere centimeters bedraagt.

Uit de tabel, waarvan tabel 2.1.1 een uittreksel is, kan worden afgelezen, dat, uitgaande van een of ander peil, bij een ongeveer 0,20 m hoger gelegen peil een *ongeveer* half zo grote overschrijdingsfrequentie behoort. De niveaux N.A.P. + 2,80 m, 3,00 m en 3,20 m zijn bijv. in de genoemde periode respectievelijk 7, 4 en 2 maal overschreden; hun overschrijdingsfrequenties zijn dus respectievelijk $\frac{7}{69}$, $\frac{4}{69}$ en $\frac{2}{69}$. Er treden echter allerlei onregelmatigheden op. Zo zijn er bij voorbeeld bij de zeer lage waterstanden systematische afwijkingen en bij de zeer hoge „toevallige" afwijkingen (hetgeen, als gezegd, ten gevolge van de kleine aantallen onvermijdelijk is).

De in Bijdrage II.1 besproken statistische analyse leert, dat men voor de *kansen* het volgende mag aannemen (althans voor die niveaux, die voor het beslissingsprobleem van belang zijn). *Uitgaande van enig niveau wordt de overschrijdingskans gehalveerd door over te gaan tot het* 0,23 *m hoger gelegen niveau.* We zeggen daarom, dat 0,23 m de *halveringshoogte* (van de kansen) is. Afrondend kunnen we ook zeggen, dat de halveringshoogte (bijna) $\frac{1}{4}$ meter bedraagt. Het getal van 0,23 m is een *schatting* van de halveringshoogte. Men moet rekening houden met de mogelijkheid, dat deze in werkelijkheid wat groter of wat kleiner zal zijn, en ook dat deze niet helemáál onafhankelijk is van het uitgangsniveau. Het is echter weinig aannemelijk, dat bij uitgebreider en betrouwbaarder statistisch materiaal waarden, kleiner dan 0,21 m of groter dan 0,26 m zouden worden verkregen, dat wil zeggen, dat de fout meer dan ongeveer 10 % zou bedragen.

Opgemerkt moet worden, dat ondanks de in de schatting van de halveringshoogte gelegen onzekerheid, deze statistisch bepaalde grootheid wezenlijk beter bekend is dan de andere benodigde grootheden. Een fout van minder dan 10 % heeft op de verdere conclusies geen invloed van betekenis. We kunnen dus de statistisch bepaalde halveringshoogte van circa 0,23 m als vaststaand beschouwen.

Evenzo werd voor de *decimeringshoogte* 0,78 m of (ruim) ¾ meter gevonden [1]). Dit wil zeggen, dat, uitgaande van een bepaald niveau, het 0,78 m hoger gelegen niveau een tienmaal zo kleine kans heeft overschreden te worden. Een hoogteverschil van ruim 1 m (de preciesere schatting bedraagt 1,02 m) behoort dus bij een verhouding 1 : 20 van de overschrijdingskansen. Ook bij deze hoogteverschillen moet met de mogelijkheid van een procentuele fout van ongeveer 10 % rekening worden gehouden.

In bovengenoemde bijdrage is tevens de vraag onder ogen gezien, in hoeverre deze resultaten ook op de hoogst waargenomen waterstanden toepasbaar zijn, alsmede op nog hogere, nog niet waargenomen, mogelijke toekomstige waterstanden. Daarbij is gebleken, dat er voor de hoogteverschillen, die bij het beslissingsprobleem voorkomen, inderdaad geen reden is om aan te nemen, dat in de halveringshoogte veranderingen optreden, voldoend groot om in aanmerking genomen te worden en de resultaten van het onderzoek belangrijk te beïnvloeden [2]).

Volgens genoemde bijdrage is de overschrijdingskans van het op 1 februari 1953 in Hoek van Holland waargenomen peil van N.A.P. + 3,85 m: 0,0045.

2.2 Het door de Deltacommissie ingevoerde basispeil [3])

Door de Deltacommissie is in haar Vijfde Interimadvies als ,,basispeil" het niveau ingevoerd, dat een overschrijdingskans van 10^{-4} per jaar, dat is 1 % per eeuw bezit. Volgens onze schattingen bedraagt dit basispeil ongeveer N.A.P. + 5,1 m. Ook hierin ligt enige onzekerheid. Het statistisch materiaal toont, dat het weinig aannemelijk is, dat het basispeil lager dan N.A.P. + 4,90 m of hoger dan N.A.P. + 5,50 m ligt.

Het moge lijken, alsof de kans, t.w. 1 % per eeuw, dat dit basispeil ooit overschreden zal worden, zó klein is, dat men met deze mogelijkheid geen rekening behoeft te houden. Deze conclusie ware evenwel om verschillende redenen onjuist.

a. Een overschrijdingskans van 0,0001 per jaar betekent allerminst, dat overschrijding niet eerder zal plaatsvinden dan over 10 000 jaar; men kan geenszins de mogelijkheid buitensluiten, dat deze reeds binnen enkele decennia, ja zelfs dat zij reeds het volgend jaar zou plaatsvinden. De gemiddelde leeftijd, die pasgeborenen bereiken, bedraagt thans ruim 71 jaar, maar een pasgeborene kan in het eerste jaar, de eerste week, of zelfs op de eerste dag sterven.

b. Bij een overschrijdingskans van 0,01 per eeuw is de kans, dat overschrijding binnen 50 jaar, dus nog tijdens het leven van de huidige jongere generaties zal plaatsvinden, 0,005 of ½ %. Een kans van ½ % op een grote catastrofe is echter geenszins verwaarloosbaar klein. De kans, dat een kind beneden 9 jaar binnen een jaar kinderverlamming zal krijgen, bedraagt ongeveer 0,0008; iedereen, die zijn kind laat inenten of enigerlei andere maatregel neemt om dit risico te verminderen, houdt daarmede rekening. De kans dat iemand, die een vliegreis van 6000 km onderneemt, daarbij zal verongelukken, bedraagt ongeveer 0,00002 [4]); iemand die daarvoor terugschrikt, houdt daarmede rekening. Het is duidelijk, dat men aan de genoemde nog vele voorbeelden zou kunnen toevoegen [5]).

c. Geen rekening is nog gehouden met de daling van de bodem van ons land ten opzichte van de zeespiegel. Het is niet nauwkeurig bekend, hoe groot deze is. Vaak wordt aangenomen, dat zij omstreeks 0,20 m per eeuw bedraagt [6]), maar ook sterk afwijkende schattingen komen voor. Deze waarde

---

[1]) De decimeringshoogte wordt verkregen door de halveringshoogte door ${}^{10}\log 2 = 0{,}301$ te delen.

[2]) Er is theoretisch wel enige reden om aan te nemen, dat bij nog veel hogere niveaux de halveringshoogte afneemt, dat dus de overschrijdingskansen bij toenemende hoogte wezenlijk sneller tot nul naderen dan met constante halveringshoogte overeenkomt. In het heden ten dage beschikbare statistische materiaal is evenwel nog geen spoor van zulk een vermindering van de halveringshoogte met de hoogte te bekennen. Eerder zijn er lichte, zij het niet doorslaggevende aanwijzingen voor het tegendeel, voor de mogelijkheid dus, dat de toestand nog iets gevaarlijker zou zijn dan met de berekeningen overeenstemt.

[3]) Zie ook deel 1.

[4]) Het gemiddeld aantal slachtoffers van vliegtuigrampen voor de internationale verbindingen bij Amerikaanse maatschappijen over de jaren 1951 t/m 1956 bedraagt 0,5 per 160 000 000 passagierkilometers; voor de binnenlandse verbindingen in de V.S. is dit 0,65.

[5]) Anderzijds zijn vele voorbeelden aan te geven, waaruit blijkt, dat men vaak met veel grotere kansen geen rekening houdt.

[6]) De Memorie van Toelichting bij het wetsontwerp voor de Deltawet vermeldt in Hoofdstuk II de waarden 0,15 à 0,30 m per eeuw.

zou betekenen, dat de overschrijdingskans na een eeuw verdubbeld zou zijn en *gemiddeld* over een eeuw circa 1,5 % instede van 1 % zou bedragen. Bovendien is de *kruin*daling van een dijk nog veel groter dan de relatieve bodemdaling [1]).

De bovenstaande overwegingen samenvattende, kan men met de Deltacommissie instemmen, wanneer zij in haar Vijfde Interimadvies zegt, dat bij aanvaarding van een basispeil van N.A.P. + 5,00 m (volgens onze schattingen 5,10 m) te Hoek van Holland, overeenkomende met een overschrijdingskans van 1 % per eeuw, „de kans op rampschade tot een aanvaardbare waarde teruggebracht wordt". *Verwaarloosbaar* is deze kans echter nog geenszins.

2.3 Samenvatting en conclusies van 2.0

Als samenvatting van dit hoofdstuk kunnen we dus het volgende vaststellen met betrekking tot de overschrijdingskansen te Hoek van Holland voor hoogwaterstanden, die bij het beslissingsprobleem van belang zijn.

1. De halveringshoogte en decimeringshoogte van de overschrijdingskans bedragen binnen een foutengrens van 10 % of minder: 0,23 m resp. 0,78 m. Behoudens eventuele, voor het vervolg onbelangrijke correcties zijn deze getallen niet aan redelijke twijfel onderhevig.

2. Het basispeil, dat een overschrijdingskans van 10^{-4} per jaar bezit, bevindt zich op ongeveer N.A.P. + 5,1 m.

3. De overschrijdingskans van het op 1 februari 1953 bereikte niveau van N.A.P. + 3,85 m is ongeveer 0,0045.

4. Kansen van vergelijkbare kleinheid als de overschrijdingskans van het basispeil zijn met het oog op de mogelijke catastrofale gevolgen niet verwaarloosbaar.

5. Ten gevolge van bodemdaling, inklinking en zeespiegelrijzing nemen de overschrijdingskansen in de loop van de tijd toe. Afgezien nog van inklinking van de dijken is verdubbeling in een eeuw ongeveer het minste, waarmede rekening gehouden moet worden.

6. De onzekerheden in de bovengenoemde statistische grootheden zijn verwaarloosbaar in vergelijking met de overige.

7. Met in acht nemen van alle onzekerheden blijkt in ieder geval, dat de overschrijdingskansen, dus de gevaren voor overstroming door de zee, groter zijn dan ten tijde van het begin van dit onderzoek werd gedacht.

3.0 OPTIMALE DIJKVERHOGING IN HET EENVOUDIGSTE GEVAL

3.1 Algemeen gedeelte

Ten einde de gedachtengang duidelijk te doen uitkomen, behandelen we vooreerst een ten opzichte van de werkelijkheid sterk vereenvoudigd geval. In 4.0 zal evenwel blijken, dat de vereenvoudiging geen ernstige gevolgen heeft, daar zij met behulp van enkele eenvoudige correcties opgeheven kan worden.

We beschouwen een polder of poldergebied, geheel of gedeeltelijk door dijken tegen de zee beschermd. We onderstellen, dat er bij de huidige hoogte der dijken een *bepaald* peil is, zodanig, dat een vloedstand te Hoek van Holland, die beneden dit peil blijft, *geen* schade berokkent en *iedere* vloedstand te Hoek van Holland, die het peil te boven gaat, de dijk ergens doet breken en alle goederen, die zich in de polder bevinden, *volledig* verloren doet gaan. Dit peil worde het *kritieke* peil genoemd. In ons vereenvoudigd geval is dus de kans op rampschade dezelfde als de overschrijdingskans van het kritieke peil. Zoals in de schadeverzekering ook vaak gedaan wordt, rekenen we alleen met een „total loss" – van de goederen in de polder, niet van de polder zelf –, partiële schaden als totale in rekening brengend.

We overwegen nu, de dijken over de gehele lengte zodanig te verhogen, dat *het kritieke peil* met

---

[1]) Zie ook Bijdrage V.3.

X meter wordt verhoogd, ten gevolge waarvan de kans op rampschade tot een kleinere waarde wordt teruggebracht. En wel wordt deze kans, ingevolge onze onderstellingen, overeenkomstig 2.0 gehalveerd bij iedere 0.23 m $\approx \frac{1}{4}$ meter verhoging van het kritieke peil.

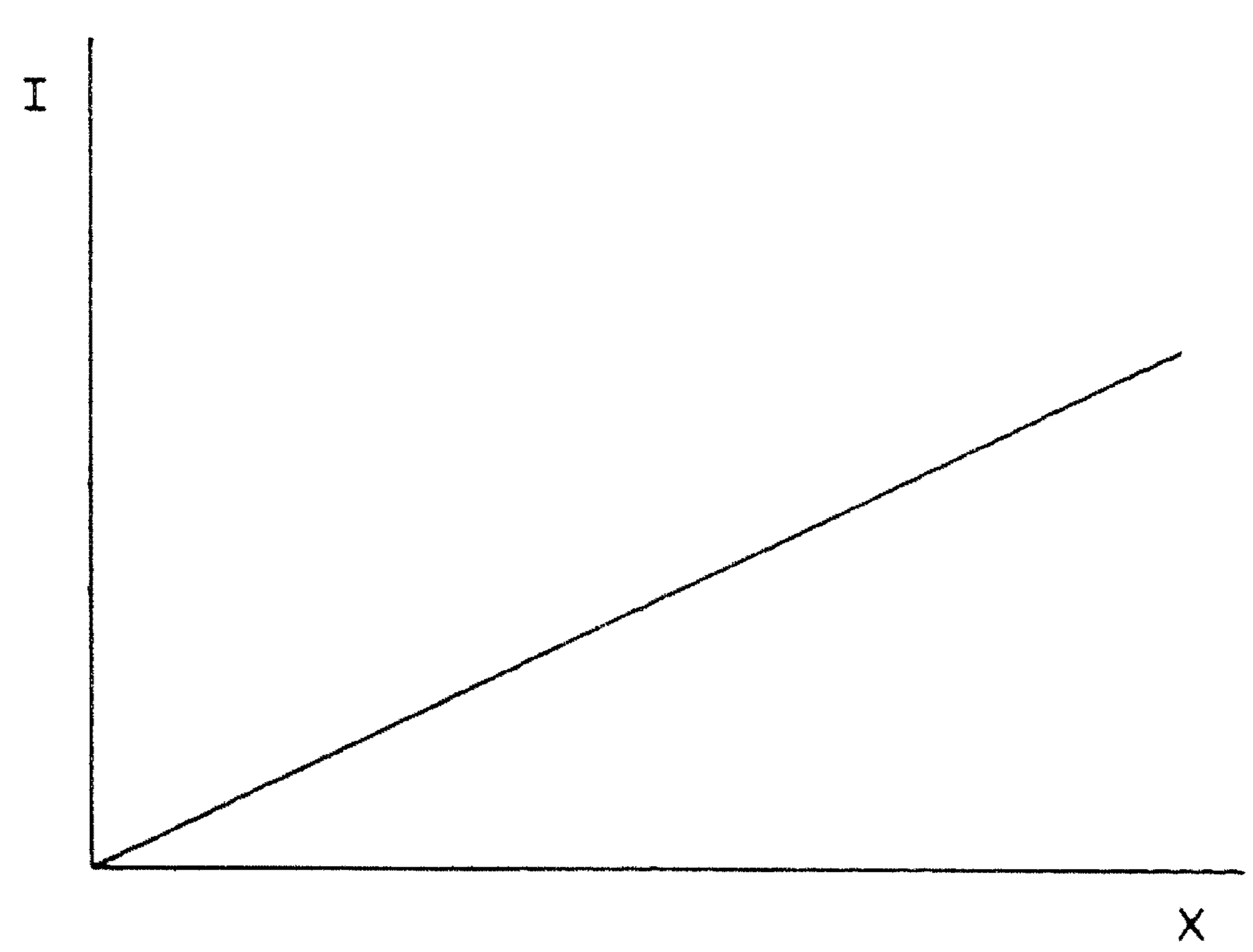
Er moeten nu twee vragen worden beantwoord, en wel:

a. Is het economisch bezien beter om de toestand te laten zoals deze is of moet men de dijken inderdaad gaan verhogen?

b. Wanneer men tot verhoging besluit, hoe groot moet men deze dan kiezen?

Wij onderzoeken nu eerst vraag *b*, waarbij de volgende punten tegen elkaar moeten worden afgewogen.

Enerzijds: de verhoging met X brengt bepaalde *kosten* met zich mee. We onderstellen voorlopig, dat de kosten I van de dijkverhoging [1]) *evenredig met* X zijn [2]), hetgeen bij voorbeeld het geval is, als daartoe de dijk over zijn gehele lengte met X meter moet worden verhoogd [3]). Zetten we de mogelijke grootten van de dijkverhoging af op een horizontale X-as en de kosten daarvan op een verticale I-as, dan is dus de grafische voorstelling een rechte lijn, als in figuur 3.1.1, met behulp waarvan zich bij iedere X de kosten I laten aflezen.



Figuur 3.1.1. Kosten I bij dijkverhoging met X meter

Anderzijds: de verhoging met X verkleint de kans op rampschade. Evenwel, hoe groot we X ook kiezen, we beschikken over geen enkele mogelijkheid, die kans *volledig* te doen verdwijnen. Voor welk bedrag moeten we de overblijvende kans op rampschade in rekening brengen? Om dit bedrag te vinden, stellen we ons voor, dat een schadeverzekeringsmaatschappij bereid – en in staat! – ware, de overblijvende rampschade volledig te verzekeren. Het verzekerde bedrag zou dan moeten zijn: de waarde van alles, wat zich op de laaggelegen gronden in de polder bevindt, de kosten van dijkherstel en herbemaling en de indirecte schade (zo gezegde „consequential loss"), omvattende bijv. productiederving, waardevermindering van de grond, migratiekosten der overlevenden, productiederving in andere delen van het land ten gevolge van de ontbrekende productie van de polder, alle kostenvermeerderingen, voortvloeiende uit het wegvallen van productie, verkeersmiddelen e.d., enzovoorts. Dit totale bedrag geven wij aan met W; we zullen het de *te beschermen* (economische) *waarde* of kortweg „waarde" van het beschouwde gebied noemen en onderstellen, dat deze in een waardevaste geldeenheid is uitgedrukt en in de loop van de tijd niet verandert. Verder nemen wij aan, dat dijkherstel tot het vóór de doorbraak bestaande peil binnen een jaar kan geschieden.

De verzekeringsmaatschappij zou nu een jaarpremie heffen, die theoretisch gelijk zou zijn aan de na dijkverhoging overblijvende „*rampschadeverwachting*" per jaar, dat is het product van het verzekerde bedrag W en de overblijvende kans op rampschade in dat jaar.

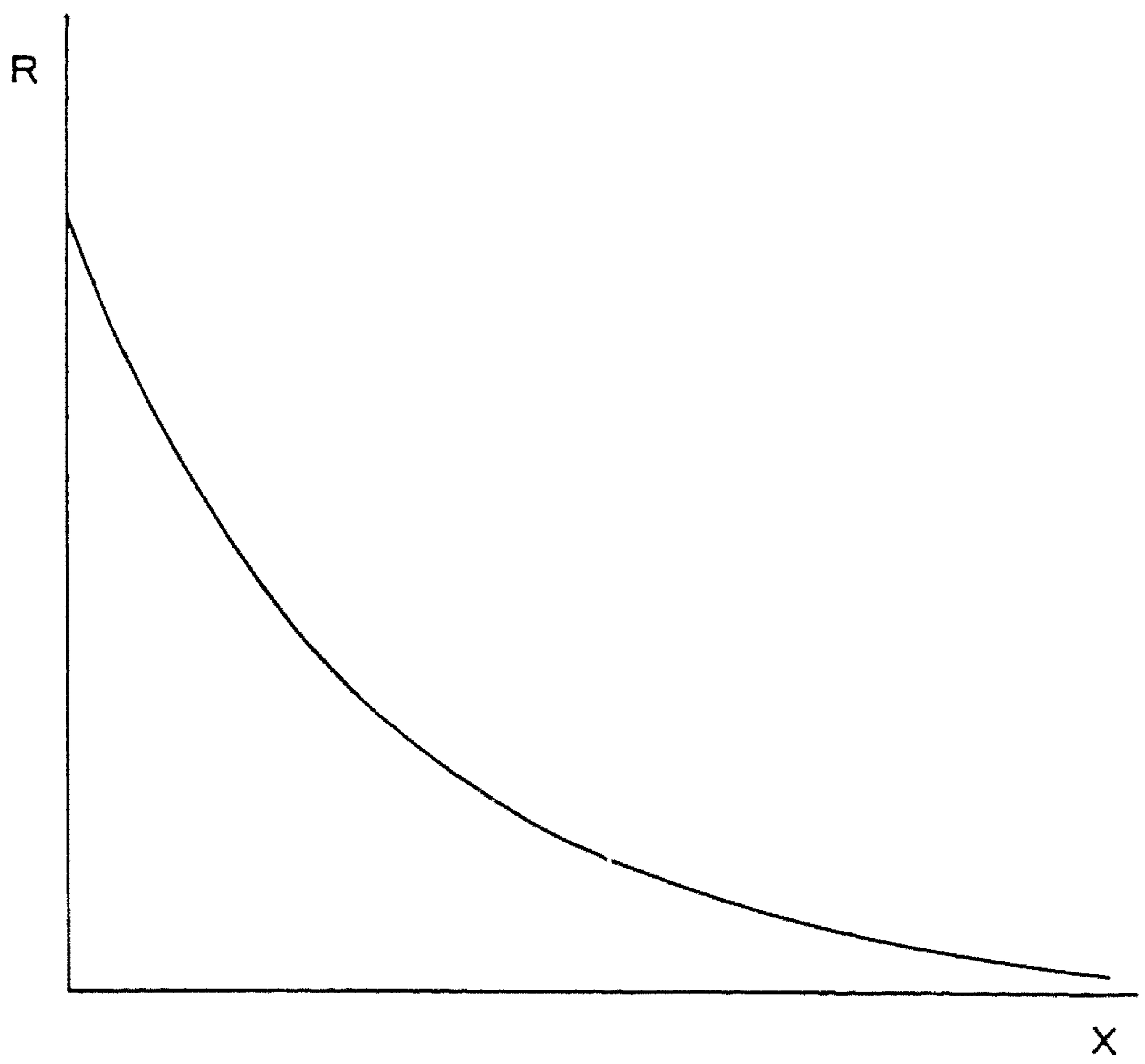
De gekapitaliseerde waarde van de som der jaarpremies is gelijk aan de som der contante waarden van de jaarpremies of ook de koopsom van een onmiddellijk ingaande eeuwigdurende lijfrente ten bedrage van de jaarpremie. Deze wordt de *totale* (*verdisconteerde*) *rampschadeverwachting* genoemd en hangt natuurlijk nog van X af: iedere kwart meter, die de dijk verder wordt verhoogd, halveert ongeveer de overschrijdingskans, dus ook de jaarpremie, dus ook de totale rampschadeverwachting. Deze laatste wordt grafisch voorgesteld door de kromme lijn van figuur 3.1.2.

---

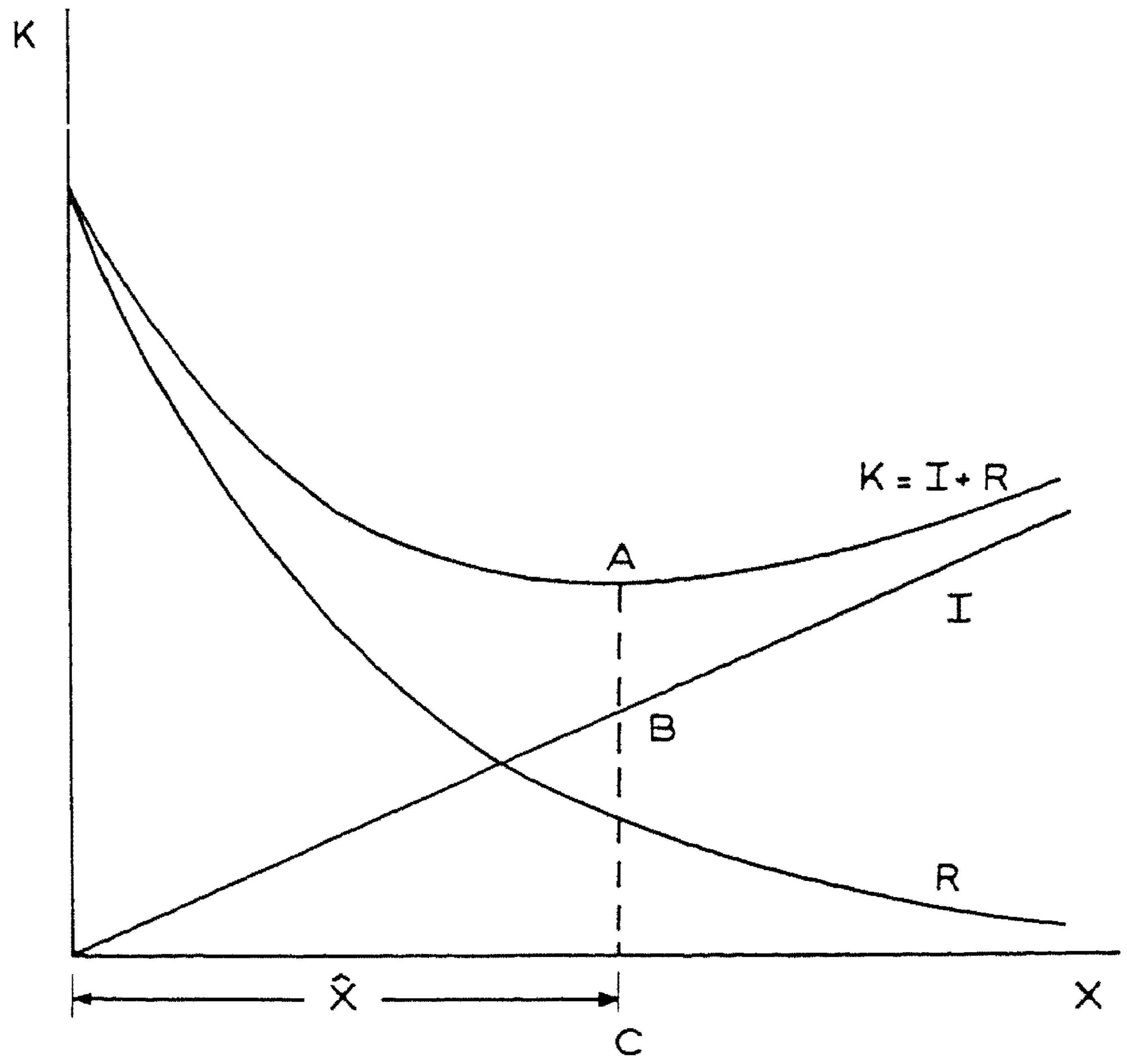
[1]) Eigenlijk zou men niet van „dijkverhoging" maar van (kritieke) „peilverhoging" moeten spreken, want dáárom gaat het eigenlijk. Eenvoudigheidshalve zullen we evenwel de gebruikelijker uitdrukking blijven gebruiken.

[2]) Onze beschouwingen in deze paragraaf blijven geldig, indien bovendien nog een vast bedrag aan initiële kosten moet worden uitgegeven, dat niet van de grootte der verhoging afhangt.

[3]) Dit is bij voorbeeld *niet* het geval, als verschillende delen van de dijk zeer ongelijkmatige veiligheid bieden, zodat aanvankelijk sommige delen niet, andere wel verhoogd moeten worden. Bovendien geldt de evenredigheid in het in de tekst genoemde geval slechts in eerste benadering en met uitsluiting van kleine waarden van X. Vergelijk ook 4.2.



Figuur 3.1.2. Rampschadeverwachting R bij dijkverhoging met X meter



Figuur 3.1.3. Totale kosten K bij dijkverhoging met X meter

De totale kosten K van het rijk ter bescherming van de waarde van de polder zouden dus bestaan uit:

1. de investeringskosten I in dijkverhoging;
2. de gekapitaliseerde waarde R van de gezamenlijke jaarpremies.

Daarbij kan men de grootte X der dijkverhoging nog naar willekeur kiezen.

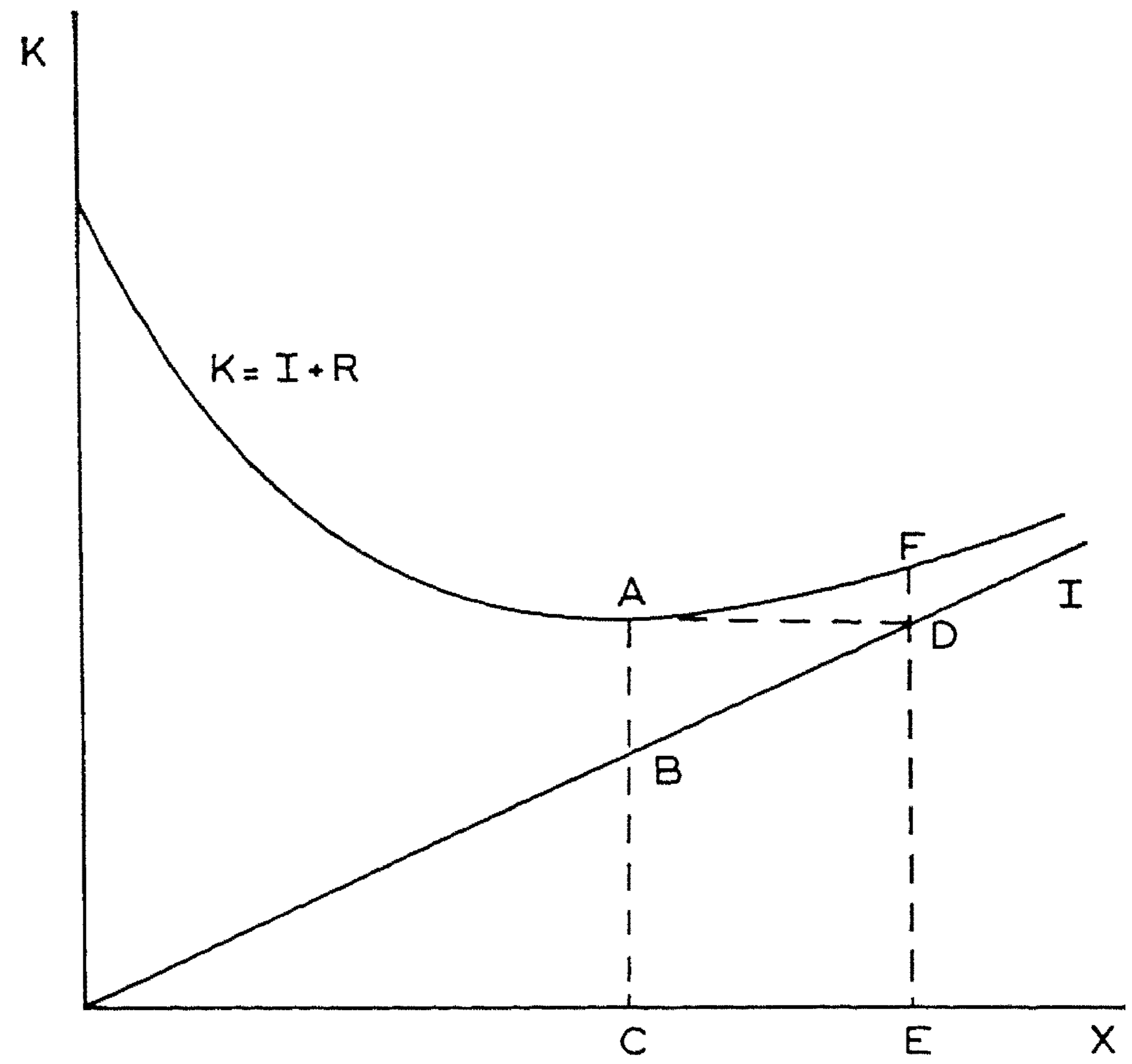
De (economisch) „*optimale*", dat is de (onder de genoemde onderstellingen) ceteris paribus economisch gunstigste keuze van X die men kan doen, is nu klaarblijkelijk degene, die de som $K = I + R$ „minimaal" (dat is: zo klein mogelijk) maakt. Deze som is in figuur 3.1.3 grafisch voorgesteld door de kromme K, uiteraard verkregen door bij ieder punt van de X-as de door de krommen I en R afgesneden verticale stukken op te tellen. De afstand OC van het laagste punt A van deze kromme tot de verticale as stelt dan de optimale dijkverhoging voor, die we door het symbool $\hat{X}$ weergeven; BC stelt de kosten $\hat{I}$ der optimale dijkverhoging voor en AB de overblijvende (totale verdisconteerde) schadeverwachting $\hat{R}$.

In 3.2 wordt aangetoond, dat *deze optimale dijkverhoging, uitgedrukt in de decimeringshoogte als eenheid, gelijk is aan de* (tientallige) *logaritme van de verhouding van de kosten van een jaarpremie tot de rente, die opgebracht zou worden door de kosten, benodigd om de dijk 0,34 m te verhogen* (altijd in die gevallen, waarin de gegevens voor Hoek van Holland kunnen worden toegepast). *De bij optimale dijkverhoging overblijvende totale* (verdisconteerde) *rampschadeverwachting $\hat{R}$ blijkt gelijk te zijn aan de kosten van dijkverhoging met 0,34 m* (vgl. 3.4, conclusie II).

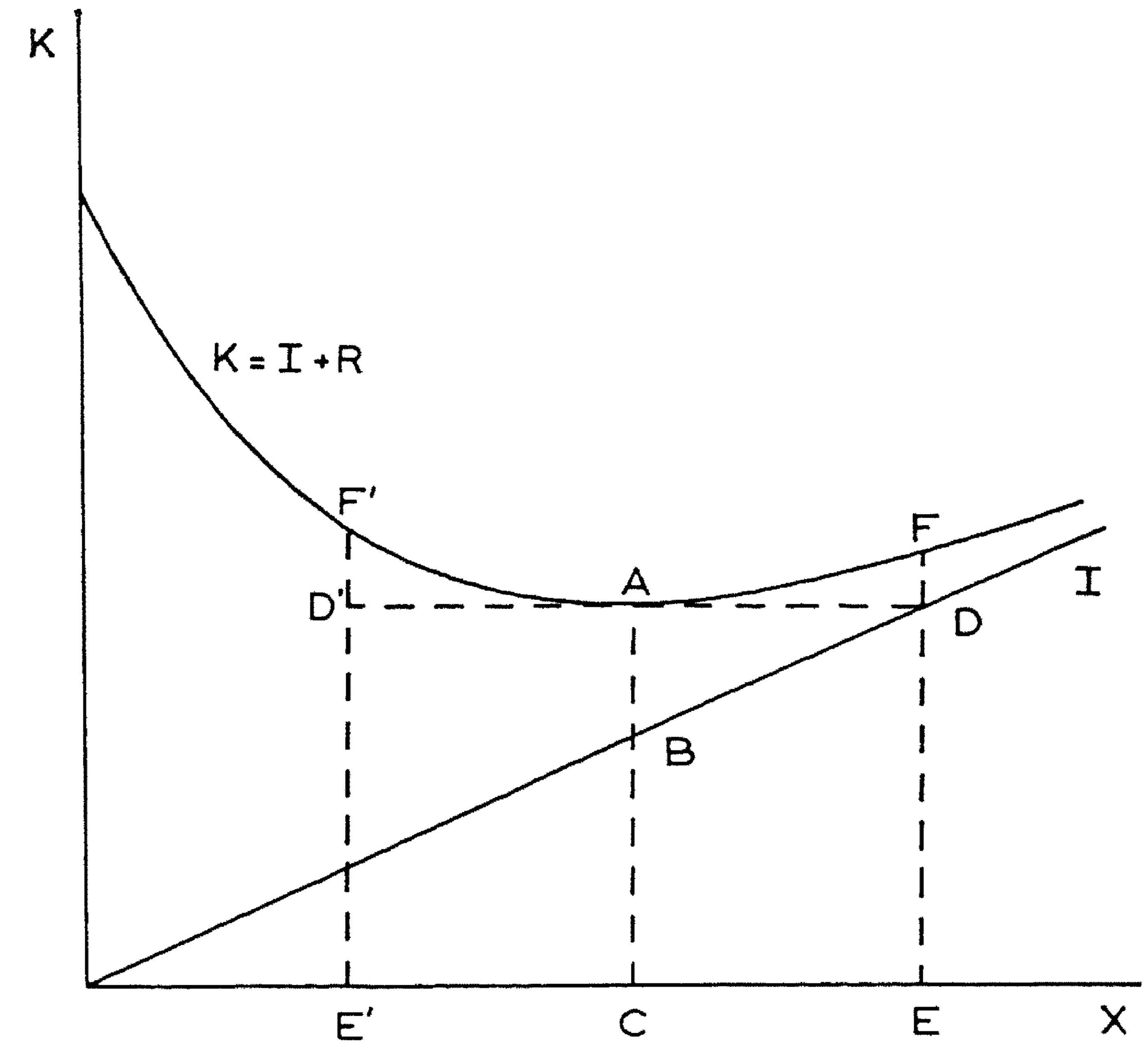
Hiermede is vraag *b* dus beantwoord. Het antwoord op vraag *a* kan nu kort zijn. Men dient na te gaan of dijkverhoging, mits deze optimaal geschiedt, voordeliger is dan handhaving van de bestaande toestand of niet (vgl. 3.4, conclusie I).

Het theoretische probleem is dus onder de vereenvoudigende onderstellingen opgelost. Alvorens verder te gaan, willen we aan het resultaat over de optimale dijkverhoging nog enige opmerkingen verbinden.

Daar de overblijvende rampschadeverwachting even groot is als de kosten van 0,34 m dijkverhoging, zou men wellicht geneigd zijn, de dijk tot 0,34 m *boven* het optimum te verhogen, ten einde daardoor de overblijvende rampschadeverwachting weg te krijgen. Dit is evenwel niet juist, zoals uit figuur 3.1.4 blijkt. De totale kosten $\hat{K} = \hat{I} + \hat{R}$ bij optimale dijkverhoging worden weer voorgesteld door het lijnstuk CA. Daarvan stelt BC de dijkverhogingskosten $\hat{I}$, AB de overblijvende rampschadeverwachting $\hat{R}$ voor. Wil men dit laatste bedrag eveneens in dijkverhoging investeren, dan kan men de alsdan verkregen verhoging als volgt vinden. Men trekt de horizontale lijn AD, vervolgens de verticale



Figuur 3.1.4. Vergelijking van de kosten bij optimale dijkverhoging en een verhoging die 0,34 m groter is



Figuur 3.1.5. Vergelijking van de totale kosten bij kleinere en grotere dijkverhogingen dan de optimale

lijn DE en verhoogt de dijk zoveel als met OE in plaats van met OC overeenkomt. Als men echter de kromme $\hat{K} = \hat{I} + \hat{R}$ ook doortrekt, ziet men, dat bij dijkverhoging OE de overblijvende schadeverwachting wel verminderd, maar niet nul geworden is, zij wordt door DF voorgesteld. Berekening toont, dat zij tot 37 % van de optimale waarde BA is teruggebracht, maar de *totale* kosten bij dijkverhoging OE, t.w. EF, zijn groter dan bij de optimale, t.w. CA.

Een opvallend kenmerk van de bovenstaande figuren is het volgende. De kromme $\hat{R}$ in figuur 3.1.2 daalt (van links naar rechts gaande) in het begin zeer snel; $\hat{I}$ daarentegen stijgt langzaam. Dientengevolge stijgt $\hat{I} + \hat{R}$ in figuur 3.1.3 van A naar rechts gaande langzaam en van A naar links gaande snel, en wel is het verschil des te pregnanter, naar mate men zich verder van A verwijdert. Ook indien men de hier verwaarloosde factoren in aanmerking neemt, blijft dit verschijnsel bestaan. De betekenis er van is de volgende (figuur 3.1.5).

Het kan zijn, dat men de dijkverhoging om de een of andere reden niet optimaal kiest, dus niet gelijk aan OC, maar hetzij te groot, bijv. OE, of te klein, bijv. OE'. In beide gevallen zijn de totale kosten EF, resp. E'F' groter dan de optimale CA. Het verschil, dus de hoogte DF resp. D'F' van F resp. F' boven A zou men de „spijt" kunnen noemen, dus het bedrag, dat verloren gaat doordat men de optimale keuze gemist heeft. We zien nu uit figuur 3.1.5, dat de „spijt" bij een te *grote* dijkverhoging véél kleiner is dan bij een evenveel te *kleine* verhoging [1]). Men kan zich de mate, waarin dit het geval is, aanschouwelijk maken, door het bedrag van de „spijt" uit te drukken in de grootte ener extra-dijkverhoging, die men er voor zou kunnen betalen. Enige getallen dienaangaande zijn in tabel 3.1.1 aangegeven, waarbij telkens gehele veelvouden van de halveringshoogte gebruikt zijn.

De „spijt" als men de dijk 0,46 m, dus bijna een halve meter *te hoog* maakt, komt bijvoorbeeld overeen met een verhoging van 1/5 meter; het verschil, dus 1/4 meter is winst aan veiligheid (d.i. vermindering van de overblijvende rampschadeverwachting). Maakt men echter de dijk evenveel (iets minder dan ½ meter) *te laag*, dan wint men enerzijds 0,46 m dijkverhogingskosten als directe besparing. Deze wordt echter verre overgecompenseerd door vermeerderde rampschadeverwachting, die met bijna één meter dijkverhoging overeenkomt. Het verschil van 0,53 m is een overbodige uitgave, de „spijt", die ongeveer 2½ maal zo groot is als bij een evenveel te *grote* dijkverhoging het geval zou zijn. Is de afwijking van de optimale keuze nòg groter, dan geldt dit alles in zeer versterkte mate. Als men

[1]) De benaming „spijt" is overigens voor een te *grote* dijkverhoging aanvechtbaar. In alle gevallen immers, waarin een waterstand optreedt, hoger dan het kritieke peil, behorend bij de optimale dijkhoogte, maar lager dan dat, behorend bij de werkelijk tot stand gebrachte dijkhoogte, zal de „spijt" in voldoening verkeren.

Tabel 3.1.1
„Spijt" bij niet-optimale verhoging

Afwijking van optimale dijkverhoging in m	Overblijvende schadeverwachting	„Spijt"	Overeenkomstige dijkverhoging in m
0,23 te hoog	0,51 $\hat{R}$	0,19 $\hat{R}$	0,06
te laag	1,98 $\hat{R}$	0,30 $\hat{R}$	0,10
0,46 te hoog	0,26 $\hat{R}$	0,62 $\hat{R}$	0,21
te laag	3,92 $\hat{R}$	1,55 $\hat{R}$	0,53
0,69 te hoog	0,13 $\hat{R}$	1,18 $\hat{R}$	0,40
te laag	7,75 $\hat{R}$	4,70 $\hat{R}$	1,60
0,92 te hoog	0,07 $\hat{R}$	1,80 $\hat{R}$	0,61
te laag	15,33 $\hat{R}$	11,60 $\hat{R}$	3,94
1,38 te hoog	0,017 $\hat{R}$	3,11 $\hat{R}$	1,06
te laag	60,04 $\hat{R}$	54,94 $\hat{R}$	18,68
1,84 te hoog	0,0043 $\hat{R}$	4,46 $\hat{R}$	1,52
te laag	235,07 $\hat{R}$	228,61 $\hat{R}$	77,73

bijv. de dijk 0,69 m te laag maakt, komt de overblijvende rampschadeverwachting met niet minder dan 2,61 m, de „spijt" met 1,60 m dijkverhoging, d.i. ongeveer $2\frac{1}{4}$ maal 0,69 m, overeen.

Deze getallen zijn gebaseerd op een halveringshoogte van 0,23 m. Als deze enkele cm groter of kleiner mocht zijn (meer is het verschil zeker niet), veranderen zij een weinig, maar niet veel. Van andere, niet volledig bekende grootheden, zoals de rentefactor, de dijkbouwkosten per meter verhoging, e.d. hangen zij *niet* af.

Hier geldt dus wel in bijzonder sterke mate, dat „zuinigheid de wijsheid bedriegt": een aanvankelijke besparing op dijkbouwkosten heeft een zéér veel grotere uiteindelijke *vermeerdering* van de totale kosten ten gevolge. Dus bijv. $\frac{3}{4}$ meter te hoog is uiteindelijk goedkoper dan $\frac{1}{2}$ meter te laag.

We besluiten dit gedeelte met een tweetal mogelijke tegenwerpingen.

Vooreerst zou men bezwaar kunnen maken tegen het gebruik van de rampschade*verwachting* alsof deze een werkelijk verlies is. Dit is echter op de volgende gronden gerechtvaardigd. In de dagelijkse industriële praktijk worden thans reeds zeer vele beslissingen op kleine schaal op de basis van de wiskundige verwachting van winst of verlies genomen en het ligt in de rede, dat dit in de toekomst meer en meer, óók met beslissingen van grote draagwijdte, het geval zal zijn.

Onder voorbehoud, dat bij alle beslissingen de kansen correct geschat zijn, geldt nu volgens de „wet der grote aantallen", dat *voor alle beslissingen te zamen* de winst- of verliesverwachtingen in goede benadering met de werkelijke winsten of verliezen zullen overeenstemmen, en wel des te beter naarmate er meer onderling onafhankelijke beslissingen getroffen worden. Als dus de staat jaarlijks een groot aantal beslissingen, onafhankelijk van elkaar, alle op de basis der verwachtingswaarde zal treffen, kan bij elk dezer beslissingen *afzonderlijk* de uitkomst aanzienlijk van de verwachting afwijken, maar de verschillen zullen elkaar vrijwel compenseren en voor alle *te zamen* zal de uitkomst telkenjare slechts weinig van de verwachting verschillen. Deze beslissingen behoeven niet van dezelfde soort te zijn (bijv. niet alle op waterstaatkundig gebied te liggen). Wel moeten er voldoend vele van vergelijkbare grootte zijn.

Ook zou men bezwaren kunnen hebben tegen het optellen bij elkaar van werkelijke uitgaven voor dijkbouw en fictieve afkoopsommen voor fictieve verzekeringspremies. Dàt deze fictief zijn, is onbestrijdbaar en onvermijdelijk, want er bestaat geen schadeverzekeringsmaatschappij, die in staat zou zijn risico's, zo groot als de in 7.0 en 8.0 genoemde, te dekken. Wanneer men zou trachten dit toch te doen, dan zou men het gereserveerde bedrag moeten beleggen op een wijze, die het vrijwaart tegen de seculaire waardedaling van het geld en die de rente verzekert. Zou men daarvoor bijv. industrieën kiezen, dan mogen deze *niet* in het lage gedeelte van ons land worden gevestigd, omdat anders mèt het verzekerde object ook de schadedekkingsmiddelen verloren zouden kunnen gaan. Het is dus wel duidelijk, dat bedragen als de onderhavige niet in Nederland verzekerd kunnen worden. Doch ook internationaal is verzekering niet realiseerbaar, o.a. omdat het ook voor een internationale maatschappij wel nauwelijks mogelijk ware, op een vooraf onbekend tijdstip, waarop een ramp zou plaatsvinden, in korte tijd voldoende middelen liquide te maken om de schade te dekken. Bovendien zou de kans veel te groot zijn, dat zulk een maatschappij ten gevolge van economische of politieke omstandigheden een schadeclaim niet zou kunnen of willen of mogen voldoen. De onrealiseerbaarheid evenwel van een werkelijke verzekering doet aan de resultaten geen afbreuk. De „verzekering" is alleen als een „model" gebruikt om het betoog aanschouwelijk te maken. Dit model kan op verschillende wijzen door een ander vervangen worden of de redenering kan geheel abstract gevoerd worden. *De resultaten blijven dezelfde.*

3.2 Wiskundig gedeelte

Evenals in 3.1 zullen wij eerst nagaan met hoeveel meter de dijken verhoogd moeten worden, *als* men tot verhoging overgaat.

In Bijdrage II.1 is aangetoond, dat de thans met voldoende nauwkeurigheid bekende hoogwaterstanden te Hoek van Holland een exponentiële verdeling [1]) bezitten, d.w.z. dat de kans $p(h)$, dat deze in een jaar een niveau h zullen overschrijden voor niet te kleine h in goede benadering gegeven is door

$$p(h) = e^{-\alpha(h - H_1)}, \tag{1}$$

waarin α en H_1 constanten zijn.

Hierin ligt opgesloten, dat de overschrijdingskansen in de tijd constant zijn. Onze eerste vereenvoudigende onderstelling luidt dus:

a. De overschrijdingskansen bezitten een in de tijd constante exponentiële verdeling.

Voor (1) kan ook geschreven worden

$$p(h) = 2^{-(h - H_1)/a_2} = 10^{-(h - H_1)/a_{10}},$$

waarin

$$a_2 = \frac{1}{\alpha} \ln 2 = 0{,}693/\alpha, \; a_{10} = \frac{1}{\alpha} \ln 10 = 2{,}303/\alpha$$

de halveringshoogte, resp. de decimeringshoogte in meters is. Voor Hoek van Holland is gevonden:

$$\alpha = 2{,}97, \quad a_2 = 0{,}23 \text{ m}, \quad a_{10} = 0{,}78 \text{ m}.$$

Alle numerieke beschouwingen zijn op deze waarden gebaseerd en moeten natuurlijk overal, waar andere getallenwaarden voorkomen, dienovereenkomstig worden gewijzigd [2]). In de verbale beschrijving zijn vaak afgeronde waarden gebruikt – die evenwel niet precies met elkaar overeenstemmen – t.w.

$$\alpha = 3, \; a_2 = \frac{1}{4} \text{ meter en } a_{10} = \frac{4}{5} \text{ meter.}$$

Over het optreden van schaden en de omvang hiervan maken wij de volgende onderstellingen:

b. Er bestaat bij de huidige toestand een bepaald zeeniveau H_0, zodanig, dat geen stormvloedschade optreedt zolang $h \leqq H_0$ is en iedere stand $h > H_0$ schade veroorzaakt [3]). We noemen H_0 het huidige *kritieke peil*. De werkelijke *kruinhoogte* van de dijk zal dus, naar gelang van golfoploop en andere plaatselijke omstandigheden, zoveel groter dan H_0 moeten zijn, als nodig is om de nodige „waakhoogte" over te houden.

---

[1]) Bedoeld is steeds: niet exact, maar bij benadering, met voldoende graad van nauwkeurigheid. Toekomstige waarnemingen kunnen tot wijziging hiervan leiden, maar voor het betrekkelijk kleine interval van waarden van h, die werkelijk in de beschouwing optreden, is niet aannemelijk, dat eventuele wijzigingen veel invloed zullen hebben (behalve dan die, in 4.0 te bespreken).

[2]) Hogerop in de estuariën geldt ook (1) niet meer. Vergelijk WEMELSFELDER [21]. Op de wijzigingen, die daar nodig zijn, gaan we hier niet in.

[3]) In werkelijkheid is dit natuurlijk niet een vraag van $h \leqq H_0$ of $h > H_0$ alleen. Vergelijk ook 8.2.

c. Als het kritieke peil overschreden wordt, gaat de laaggelegen inhoud van de polder *volledig* verloren; we laten dus de mogelijkheid van partiële schaden buiten beschouwing (vergelijk echter 8.0).

d. De door de dijken „te beschermen waarde" W omvat niet alleen de totale reële waarde van alle laaggelegen goederen in de polder, maar ook de kosten van dijkherstel en wederdrooglegging na dijkdoorbraak en alle indirecte schaden.

e. Deze te beschermen waarde, uitgedrukt in een waardevaste geldeenheid en de interestvoet, is in de tijd constant.

f. Na een dijkdoorbraak kan dijkherstel tot de vóór de doorbraak bestaande toestand binnen een jaar geschieden.

Bij de bestaande toestand is de kans op overschrijding van het kritieke peil, steeds per jaar, $p\,(H_0)$, waarvoor we ter afkorting ook wel p_0 schrijven. Het honderdvoud daarvan zullen we door P_0 voorstellen. Bij zéér kleine p_0 is P_0 in voldoend nauwkeurige benadering de overschrijdingskans per eeuw.

We onderstellen nu, dat de dijken over de gehele lengte met X meter verhoogd worden en dat dientengevolge het kritieke peil eveneens met X meter tot H meter verhoogd wordt; dus

$$X = H - H_0 \tag{2}$$

Dan volgt uit (1):

$$p\,(H) = p_0\, e^{-\alpha X}. \tag{3}$$

Na de verhoging is volgens de onderstellingen b tot en met f de wiskundige verwachting van de schade in ieder jaar gelijk $p\,(H)\,.\,W$. Is δ de continue rentevoet in procenten per jaar, of ook in per unum per eeuw, dan wordt de constante waarde van een na t jaren optredende schade verkregen door deze met $e^{-t\delta/100}$ te vermenigvuldigen. De totale verdisconteerde schadeverwachting is dus [1]:

$$R = \int_0^\infty e^{-t\delta/100}\, dt\ .\ p_0 W e^{-\alpha X} = \frac{P_0 W e^{-\alpha X}}{\delta}. \tag{4}$$

De laatste onderstelling betreft de kosten, benodigd om het kritieke peil van de dijk van H_0 meter met X meter tot H meter te verhogen. Hierbij laten wij zeer kleine en zeer grote waarden van X, die bij de beslissing toch niet in aanmerking komen, buiten beschouwing. Wij nemen nu aan:

g. De kosten van dijkverbetering vormen een lineaire functie van de verhoging van het kritieke peil, en wel:

$$I = I_0 + I'X. \tag{5}$$

Hierin kan I_0 als het bedrag der „initiële" kosten worden beschouwd, welke optreden als de dijk verhoogd wordt, ongeacht hoeveel, terwijl I' het bedrag der kosten per meter verhoging van de gehele dijk is.

De totale kosten, die we door K voorstellen, zijn dus:

$$K = I + R = I_0 + I'X + \frac{P_0 W e^{-\alpha X}}{\delta}. \tag{6}$$

K is dus nog een functie van X. Wij kiezen X nu zodanig, dat K minimaal is. Hiertoe differentiëren wij K naar X, waardoor we krijgen:

$$\frac{dK}{dX} = I' - \frac{P_0 W \alpha}{\delta}\, e^{-\alpha X}. \tag{7}$$

---

[1]) Werkt men met jaarlijkse in plaats van continue rentetoevoeging, dan is bij een interest van δ % per jaar

$$R = \sum_1^\infty \frac{1}{(1 + \delta/100)^n}\, p_0 W e^{-\alpha X},$$

dus eveneens de in (4) aangegeven uitdrukking. De beide waarden van δ verschillen iets, maar het verschil is van geen betekenis.

Dit is nul voor $X = \hat{X}$, als $\hat{X}$ voldoet aan

$$e^{\alpha\hat{X}} = \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta}, \tag{8}$$

of

$$\hat{X} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta}; \tag{9}$$

hierin is ln het symbool voor de natuurlijke logaritme, d.i. de logaritme met grondtal e. Daar uit (7) volgt, dat voor grotere, resp. kleinere X dan $\hat{X}$ de afgeleide $\frac{dK}{dX} > 0$ resp. < 0 is, maakt $\hat{X}$ de totale kosten K inderdaad tot een *minimum*. De bij de door (9) gegeven „optimale" waarde $\hat{X}$ van X behorende waarden van I, R, K en H zullen we met $\hat{I}$, $\hat{R}$, $\hat{K}$ resp. $\hat{H}$ aangeven. Voor (8) kan men ook met gebruikmaking van tientallige logaritmen schrijven:

$$\frac{\hat{X}}{a_{10}} = {}^{10}\log \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta}.$$

Uit (4) volgt met behulp van (8):

$$\hat{R} = \frac{I'}{\alpha}, \tag{10}$$

en van (6):

$$\hat{K} = \hat{I} + \hat{R} = I_0 + I'\hat{X} + \frac{I'}{\alpha}, \tag{11}$$

waarin voor $\hat{X}$ nog de waarde (9) gesubstitueerd moet worden.

Men kan de gevonden betrekkingen een eenvoudiger vorm geven door over te gaan tot „natuurlijke eenheden". Hiertoe voeren wij de grootheid a_e in, de „nepereringshoogte" [1]), welke is gedefinieerd door

$$a_e = \frac{1}{\alpha}. \tag{12}$$

Terwijl een verhoging met a_2 meter de overschrijdingskans halveert en met a_{10} meter deze decimeert, wordt ze door een verhoging met a_e meter in de verhouding 1 : e teruggebracht. Ook heeft a_e de volgende betekenis: $a_e = \frac{1}{\alpha}$ is de gemiddelde hoogte (in de zin der kansrekening) boven een gegeven peil van alle vloedstanden, die dit peil overschrijden. Dit volgt uit de volgende identiteit:

$$\int_{H_0}^{\infty} (h - H_0)\, e^{-\alpha(h-H_0)}\, \alpha\, dh = \frac{1}{\alpha}.$$

Voor Hoek van Holland is $a_e = 0{,}34$ m; of 1 m $\approx$ 3 nepereringshoogten.

De dijkverhogingskosten bedragen I' per meter, dus

$$I_e = \frac{I'}{\alpha} \tag{13}$$

per nepereringshoogte. Dit bedrag worde als eenheid van dijkverhogingskosten beschouwd en nepererings*kosten* genoemd. De interest, die dit bedrag per jaar zou opbrengen, wordt door r_e voorgesteld en nepererings*rente* genoemd. Dan is:

$$r_e = \frac{I'}{\alpha} \cdot \frac{\delta}{100}. \tag{14}$$

---

[1]) Of Napiereringshoogte. Naar JOHN NAPIER of NEPER, die in 1614 de natuurlijke logaritmen invoerde.

Voorts is $\alpha\hat{X}$ de optimale dijkverhoging, gemeten in nepereringshoogte als eenheid.

Door dijkverhoging met X meter wordt de overschrijdingskans $e^{+\alpha X}$ maal zo klein, d.i. $e^{-\alpha X}$ maal zo groot. We zullen deze grootheid $e^{\alpha X}$ de *veiligheidsfactor* noemen en met de letter v aanduiden:

$$v = e^{\alpha X}. \tag{15}$$

In het bijzonder is dus

$$\hat{v} = e^{\alpha\hat{X}} \tag{16}$$

de veiligheidsfactor der optimale dijkverhoging. Verder kan nu voor (10) geschreven worden

$$\hat{R} = I_e \tag{17}$$

en voor (8) in combinatie met (3) en (14)

$$e^{-\alpha\hat{H}} = p_0\, e^{-\alpha\hat{X}} = \frac{I'\delta}{100 W\alpha} = \frac{r_e}{W}. \tag{18}$$

Opmerkenswaard is nog, dat I_e, dus $\hat{R}$, alleen van de helling der logaritmisch weergegeven overschrijdingslijn en van die der dijkverhogingskostenlijn afhangt; niet van de „beginpunten" H_0 (of ook p_0) en I_0 en evenmin van de „economische" grootheden W en δ. Daarentegen hangt $\hat{X}$, en dus ook $\hat{I}$, $\hat{v}$ en $\hat{K}$ wèl van deze grootheden af.

Wij gaan nu over tot de behandeling van de vraag, in welk geval men de dijken moet verhogen (en dan uiteraard met de optimale verhoging) en in welk geval men dit niet zal moeten doen. In het laatste geval stelt $\hat{X}$ dus in werkelijkheid niet de optimale dijkverhoging voor; deze is dan nul.

Om deze vraag te beantwoorden, moeten we de totale kosten K bij optimale dijkverhoging vergelijken met dezelfde grootheid zònder dijkverhoging, dus bij de huidige toestand. We duiden deze laatste met K_0 aan. Dan is eenvoudig:

$$K_0 = R_0 = \frac{P_0 W}{\delta}. \tag{19}$$

Dijkverhoging is dus voordeliger, als $\hat{K} < K_0$ is, en de winst der dijkverhoging is dan:

$$K_0 - \hat{K} = \frac{P_0 W}{\delta} - \hat{I} - \frac{I'}{\alpha} = \frac{P_0 W\alpha}{I'\delta} \cdot I_e - \hat{I} - I_e = (\hat{v} - 1)\, I_e - \hat{I}. \tag{20}$$

Dit is positief, indien

$$\hat{I} < (\hat{v} - 1)\, I_e \tag{21}$$

is, en slechts dan. Het verschil (20) zou men de „voldoening" [1]) kunnen noemen, die men van een (optimale) dijkverhoging geniet. Als bijv. de optimale dijkverhoging ruim $1\frac{1}{2}$ meter, dat is ongeveer $4\frac{1}{2}$ nepereringshoogten bedraagt, zodat de veiligheidsfactor $\hat{v} = 100$ is, dan mogen de *totale* dijkverhogingskosten hoogstens 99 nepereringskosten bedragen, d.i. de initiële kosten I_0 mogen hoogstens $94\frac{1}{2}$ nepereringskosten, d.i. $94\frac{1}{2}$ maal de kosten van $\frac{1}{3}$ meter extra-dijkverhoging bedragen. Het is duidelijk, dat de initiële kosten wel zelden zo uitzonderlijk hoog zullen zijn.

Voor (21) kan men ook schrijven:

$$I_0 < (e^{\alpha\hat{X}} - 1 - \alpha\hat{X})\, I_e$$

of

$$\frac{I_0}{I_e} < e^{\alpha\hat{X}} - 1 - \alpha\hat{X}. \tag{22}$$

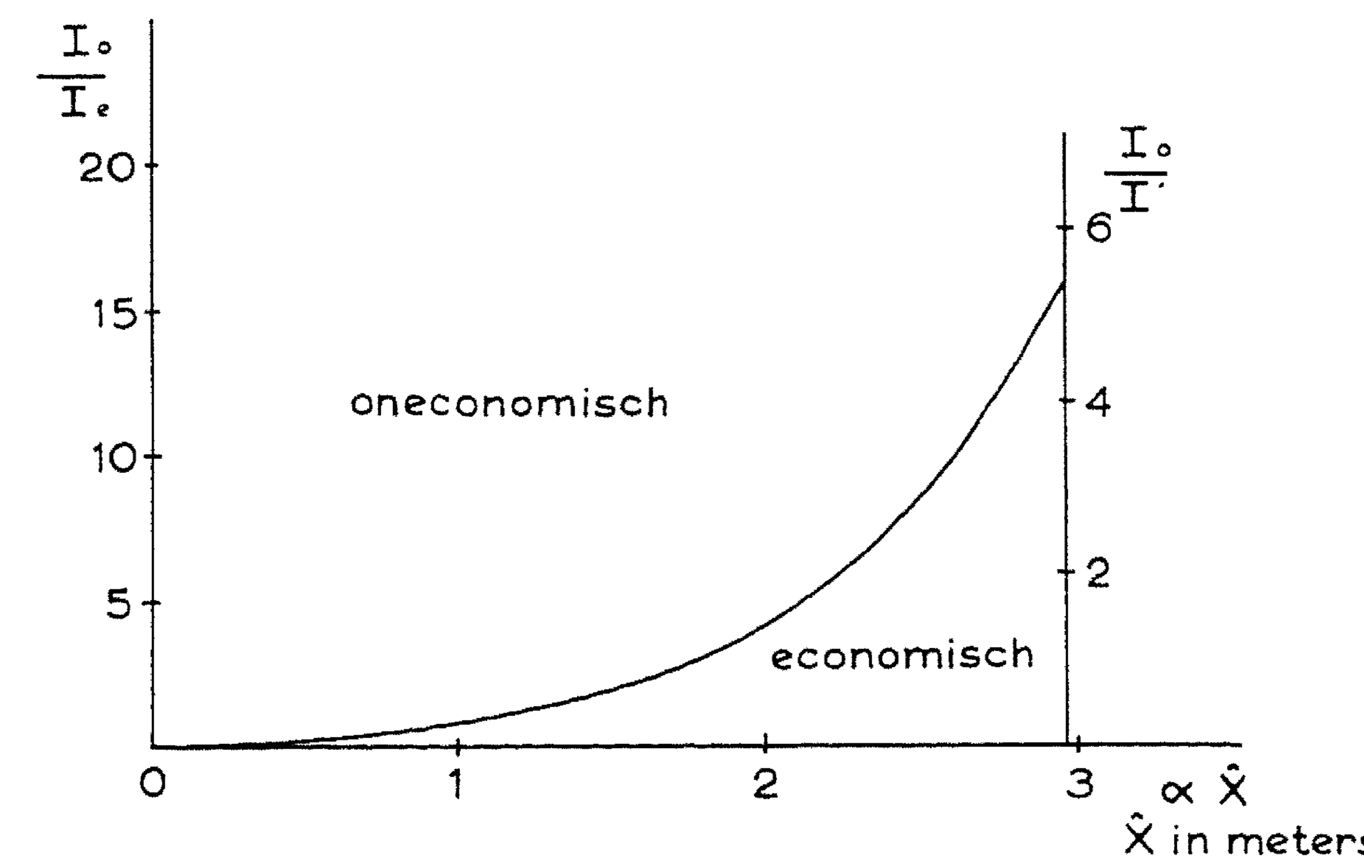
Met behulp hiervan kan men berekenen, hoe groot de *optimale* dijkverhoging *minstens* moet zijn, opdat zij bij gegeven initiële kosten economisch verantwoord zal zijn. Zie hiertoe tabel 3.2.1 en figuur 3.2.1.

---

[1]) Eigenlijk: de wiskundige verwachting daarvan.

Tabel 3.2.1
Lonende dijkverhogingen

$\frac{I_0}{I_e} = \alpha \frac{I_0}{I'}$	Minimaal lonende $\alpha\hat{X}$
0,25	0,64
0,50	0,86
1	1,15
1,5	1,35
2	1,51
3	1,75
4	1,94
10	2,61
25	3,38



Figuur 3.2.1 Economische en oneconomische optimale dijkverhogingen

Het verband tussen maximaal toelaatbare $\frac{I_0}{I_e}$ bij gegeven $\alpha\hat{X}$ of ook tussen minimaal toelaatbare $\alpha\hat{X}$ bij gegeven $\frac{I_0}{I_e}$ kan ook uit de figuur afgelezen worden.

De tot dusverre gevonden resultaten kunnen door de volgende regels tot uitdrukking worden gebracht.

De beslissing „dijkverhoging", mits deze optimaal geschiedt, is voordeliger dan de beslissing „geen dijkverhoging", indien geldt:

I $\boxed{\dfrac{\text{Totale dijkverhogingskosten}}{\text{nepereringskosten}} < \text{veiligheidsfactor} - 1}$ [1]

Wanneer men nu inderdaad tot verhoging overgaat, dan luidt de interpretatie van de formules (17), (18), (8) en (9) respectievelijk [2]:

II $\boxed{\text{Rampschadeverwachting na optimale dijkverhoging} = \text{nepereringskosten}}$

III $\boxed{\text{Overschrijdingskans per jaar na optimale dijkverhoging} = \dfrac{\text{nepereringsrente per jaar}}{\text{te beschermen waarde}}}$

IV $\boxed{\text{Veiligheidsfactor der optimale dijkverhoging} = \dfrac{\text{huidige rampschadeverwachting per jaar}}{\text{nepereringsrente per jaar}}}$

en

V $\boxed{\text{Optimale dijkverhoging, uitgedrukt in nepereringshoogten} = \text{de natuurlijke logaritme van } \dfrac{\text{huidige rampschadeverwachting per jaar}}{\text{nepereringsrente per jaar}}}$

Ten overvloede zij er nogmaals op gewezen, dat deze eenvoudige betrekkingen slechts gelden onder de vereenvoudigende onderstellingen, die aan deze paragraaf ten grondslag gelegd zijn. In werkelijkheid zijn zij ten gevolge van aan te brengen correcties iets gecompliceerder (vgl. 4.2).

[1] Ten gevolge van de verschillende onvermijdelijke benaderingen en vereenvoudigingen zal men natuurlijk niet slechts eisen, dat het rechterlid van (19) groter is dan het linker, maar dat het *aanmerkelijk* groter is. Veelal zal de veiligheidsfactor zo groot zijn, dat de term — 1 verwaarloosd kan worden.

[2] In plaats van een jaar kan ook een andere korte tijdsduur gekozen worden, mits natuurlijk dezelfde in teller en noemer.

Tot slot van deze paragraaf gaan we nog na wat er gebeurt, als de dijkverhoging *niet* optimaal, maar $= X \neq \hat{X}$ wordt gekozen. Er treedt dan een „spijt" $K - \hat{K}$ op. Stellen we ter afkorting

$$y = \alpha (X - \hat{X}), \tag{23}$$

zodat y positief of negatief kan zijn, te weten het aantal dijkverhogingseenheden, dat de dijkverhoging te groot of te klein is, dan volgt uit (4):

$$R = \hat{R} e^{-y} \tag{24}$$

en uit (10):

$$K - \hat{K} = \frac{I'}{\alpha} y + \hat{R} e^{-y} - \hat{R} = (e^{-y} - 1 + y)\, I_e. \tag{25}$$

De „spijt" bedraagt dus

$$e^{-y} - 1 + y$$

maal de nepereringskosten. Bijv. voor $y = 2$ (dus ongeveer $\frac{2}{3}$ meter te hoog) is $e^{-2} - 1 + 2 = 0{,}14 - 1 + 2 = 1{,}14$; de spijt bedraagt dus 1,14 maal de nepereringskosten, d.i. de kosten van 0,39 m dijkverhoging. Is daarentegen $y = -2$ (dus ongeveer $\frac{2}{3}$ meter te laag), dan is de spijt $e^2 - 1 - 2 = 4{,}39$ maal de nepereringskosten, overeenkomende met 1,49 m.

3.3 Samenvatting van 3.0

3.3.1 De hierna vermelde conclusies hebben betrekking op de oplossing van het decisieprobleem onder de volgende vereenvoudigende onderstellingen.

a. De overschrijdingskansen bezitten een in de tijd constante exponentiële verdeling.

b. Er is, zowel vóór als na dijkverhoging, een ondubbelzinnig bepaald „kritiek peil", dat is een peil zodanig, dat waterstanden te Hoek van Holland, die er beneden blijven, geen stormvloedschade in het beschouwde poldergebied veroorzaken, en waterstanden, die het te boven gaan, wel.

c. Indien het kritieke peil overschreden wordt, gaat de laaggelegen inhoud van de polder volledig verloren.

d. De „te beschermen waarde" omvat de totale reële waarde van alle laaggelegen, in de polder aanwezige goederen, de kosten van dijkherstel en wederdrooglegging na dijkdoorbraak en alle indirecte schade, waaronder productiederving.

e. De te beschermen waarde, uitgedrukt in een waardevaste geldeenheid, en de interestvoet zijn in de tijd constant.

f. Alle door een overstroming veroorzaakte schade kan binnen een jaar hersteld zijn.

g. De kosten van dijkverbetering vormen een lineaire functie van de verhoging van het kritieke peil.

3.3.2 Daarbij wordt gebruik gemaakt van de volgende definities.

a. De *rampschadeverwachting per jaar* is het produkt van de te beschermen waarde en de kans op overschrijding van het kritieke peil in dat jaar.

b. De *totale verdisconteerde rampschadeverwachting*, kortweg *rampschadeverwachting*, is de som van *alle* naar het heden verdisconteerde toekomstige rampschadeverwachtingen per jaar.

c. De *dijkverhogingskosten* omvatten de som van de bij iedere verhoging noodzakelijke initiële kosten en van de kosten der verhoging zelf.

d. De *totale kosten* zijn de som van de (totale verdisconteerde) rampschadeverwachting en de dijkverhogingskosten.

e. De dijkverhoging is *optimaal*, wanneer de totale kosten minimaal zijn.

f. De *veiligheidsfactor* is de verhouding van de overschrijdingskans van het kritieke peil vóór dijkverhoging tot die na dijkverhoging.

g. De *nepereringshoogte* is de dijkverhoging, die de kans op overschrijding in de verhouding $1 : e$, dat is $1 : 2{,}718\ldots$ terugbrengt.

h. De *nepereringskosten* zijn de kosten van dijkverhoging met één nepereringshoogte.

i. De *nepereringsrente* is de rente per jaar van de nepereringskosten.

3.3.3 De huidige (totale verdisconteerde) rampschadeverwachting is gelijk aan het quotiënt van de huidige rampschadeverwachting per jaar en de interestvoet in per unum per jaar.

3.4 Conclusies van 3.0

Conclusie I. Met in aanmerking nemen van de initiële kosten is dijkverhoging, mits optimaal, voordeliger dan handhaving van de oude toestand, als de verhouding van de *totale* dijkverhogingskosten tot de nepereringsrente kleiner is dan de met 1 verminderde veiligheidsfactor.

Conclusie II. Na optimale dijkverhoging blijft een rampschadeverwachting over, gelijk aan de nepereringskosten.

Conclusie III. Na optimale dijkverhoging blijft een overschrijdingskans over, die per jaar gelijk is aan de verhouding der jaarlijkse nepereringsrente tot de te beschermen waarde.

Conclusie IV. De veiligheidsfactor bij optimale dijkverhoging is gelijk aan de verhouding der vóór deze verhoging aanwezige rampschadeverwachting per jaar tot de jaarlijkse nepereringsrente.

Conclusie V. Bij niet-optimale dijkverhoging treedt een onnodig verlies op, de „spijt", dat bij te kleine dijkverhoging groter – en, als de afwijking van de optimaliteit groot is, zéér veel groter – is dan bij een evenveel te grote dijkverhoging. Te kleine dijkverhoging is daarom, ondanks directe besparing van dijkbouwkosten, uiteindelijk hoogst oneconomisch.

4.0 ECONOMISCHE EXPANSIE, BODEMDALING, ZEESPIEGELRIJZING

4.1 Algemeen gedeelte

In 3.0 is reeds gezegd, dat de daar gegeven berekeningen van de optimale dijkverhoging gebaseerd waren op vereenvoudigende onderstellingen, die in werkelijkheid niet vervuld zijn. Deze berekeningen behoeven derhalve verschillende correcties, die we thans achtereenvolgens zullen bespreken.

4.1.1 *Economische expansie en gereduceerde rentevoet*

In 3.0 is ondersteld, dat de te beschermen waarde, uitgedrukt in een waardevaste geldeenheid, in de loop der tijden niet verandert. Er vindt echter, niet slechts in onze tijd, maar ook gemiddeld over zeer lange perioden, bijv. van vele eeuwen, een geleidelijke reële waardevermeerdering plaats ten gevolge van voortdurende vermeerdering der zich in het gebied bevindende kapitaalgoederen door toenemende investeringen, dus door voortgaande economische expansie. Dit is een seculair verschijnsel en het feit, dat er ook perioden van stilstand en zelfs van teruggang voorkomen, doet aan dit gemiddelde verloop geen afbreuk. Er bestaat natuurlijk volstrekt geen zekerheid, dat dit ook in de toekomst steeds het geval zal zijn. Desondanks moeten we daarmede rekening houden en dit kan alleen worden gedaan door naar de beste stand van onze *huidige* kennis een schatting te maken van de gemiddelde reële interestvoet en de „gemiddelde *expansiecoëfficiënt*", dat is het *gemiddelde* percentage, waarmede de reële beschermde waarde jaarlijks toeneemt.

In het wiskundige gedeelte van dit hoofdstuk zal blijken, dat de in 3.0 gebruikte rentevoet dientengevolge vervangen dient te worden door de „*gereduceerde rentevoet*", d.i. het verschil van de rentevoet (interest in % per jaar) en deze expansiecoëfficiënt (uitbreiding van de reële waarde der bedoelde goederen in % per jaar). Voor *beide* grootheden zullen we de gemiddelde waarde over een lange periode hebben te nemen.

Door de onlangs overleden VON NEUMANN, een der grootste wiskundigen van onze tijd, is in 1937 een artikel gepubliceerd [12] waarin hij onder bepaalde vereenvoudigende veronderstellingen aantoonde, dat een gelijkmatig expanderende economie alleen dan kan bestaan, als de rentevoet gelijk is aan de expansiecoëfficiënt, d.w.z. dat de gereduceerde rentevoet exact *nul* is. Zijn veronderstellingen zijn echter te zeer vereenvoudigd om rechtstreeks op de werkelijkheid toepasbaar te zijn. Tot VON NEUMANN's onderstellingen behoort o.a. „dass die natürlichen Produktionsfaktoren, einschliesslich der der Arbeit, unbeschränkt zur Verfügung stehen", en „dass jedes über das Lebensminimum hinausgehende Einkommen vollkommen reinvestiert wird".

Deze beide veronderstellingen verwijderen zich verre van wat in een westers land aanvaardbaar wordt geacht. Dit heeft ten gevolge, dat de rentevoet door de expansiecoëfficiënt niet geheel, maar slechts gedeeltelijk wordt gecompenseerd, zodat er een gereduceerde rentevoet overblijft.

Het beantwoorden van de vraag hoeveel deze gereduceerde rentevoet, gemiddeld over een zo lang mogelijke, maar nog overzienbare periode, bedraagt, valt buiten onze competentie. De vraag is ook geenszins gemakkelijk te beantwoorden. Vooreerst de expansiecoëfficiënt. Om te weten of de waarde bijv. van de in een gebied gevestigde industrieën *werkelijk* is toegenomen in een bepaalde periode, moeten we een stabiele eenheid hebben, waarin de waarden op beide tijdstippen kunnen worden uitgedrukt. Het is duidelijk, dat monetaire eenheden ten gevolge van fluctuaties en van de seculaire waardevermindering van het geld niet aan deze voorwaarden voldoen. De vraag berust dus op een indexcijferprobleem en het is geenszins zeker, dat een indexcijfer met zó grote nauwkeurigheid kan worden gedefinieerd, dat kwantitatieve vergelijking van waarden op twee tijdstippen, die bijv. een eeuw verschillen, zinvol is. Voor kortere perioden is de moeilijkheid niet zó ernstig, daar dan een materiële index, gebaseerd op realia, kan worden gebruikt. Maar bij veranderingen in de technologie wordt het moeilijk, het verloop van zulk een index over lange perioden te extrapoleren.

Met betrekking tot de ongereduceerde rentevoet is de situatie nauwelijks minder gecompliceerd. Er schijnt geen marktwaarde van kapitaal te bestaan, die we als uitgangspunt zouden kunnen nemen voor het waarderen van investeringsprojecten op zó lange termijn als het onderhavige. De nominale rentevoet is sinds het begin van dit onderzoek (1953) van circa 3¼ tot circa 6 % toegenomen en daarna weer tot circa 4½ % gedaald, zodat deze voor ons doel niet bruikbaar is. Het is namelijk bezwaarlijk in te zien, waarom de graad van veiligheid, die de dijken ons nageslacht zullen verschaffen, zó sterk afhankelijk zou moeten zijn van de waarde, die de zo sterk schommelende kapitaal-interest op een betrekkelijk willekeurig gekozen ogenblik bezit, temeer daar de kosten van uitvoering van het project over een lange reeks van jaren zullen worden verdeeld.

Voor de gereduceerde rentevoet zal dus het verschil van een gemiddelde expansiecoëfficiënt en een gemiddelde reële interestvoet genomen moeten worden.

De directeur van het Centraal Planbureau, PROF. P. DE WOLFF heeft voor de gemiddelde ongereduceerde reële rentevoet een bedrag van 3½ à 4½ % per jaar opgegeven, voor de expansiecoëfficiënt voor Centraal-Holland 2 à 3 % en voor het deltagebied 1 à 1½ %. In een brief van 23 september 1957 gaf hij de volgende toelichting daarop, die met zijn toestemming hieronder wordt afgedrukt.

„Volgens de publikatie [1]) met betrekking tot de vermoedelijke ontwikkeling van de Nederlandse economie tot 1970 zou het reële nationale inkomen in de periode 1950–1970 toenemen met 2,3 à 2,9 % per jaar. De stijging van de kapitaalgoederenvoorraad van bedrijven zou weinig minder zijn (zie blz. 31 van genoemde publikatie). Gezien de sterkere expansie, welke in de afgelopen jaren van hoogconjunctuur is opgetreden, bestaat de indruk, dat, over de gehele periode genomen, wellicht het hoogste alternatief zal worden gerealiseerd. Bij wijze van vergelijking vermeld ik, dat blijkens een recente berekening op basis van materiaal van het Centraal Bureau voor de Statistiek het reële nationale inkomen in de jaren 1923 t/m 1938 is gestegen met gemiddeld 1,86 % en in deze periode te zamen met 1949 t/m 1954 met 2,49 %. In het licht hiervan lijkt mij voor de expansie van het reële nationale inkomen en de kapitaalgoederenvoorraad een percentage van 2 à 3 aanvaardbaar. Volledigheidshalve merk ik hierbij op, dat het roerende vermogen bij particulieren in de vorm van meubilair en ander huisraad van betrekkelijk geringe betekenis is in vergelijking met het totale nationale vermogen.

De hiervoor genoemde percentages van 2 à 3 voor de expansie hebben betrekking op de gehele Nederlandse economie. Blijkens Bijlage A van de publikatie inzake 1970 zal de beroepsbevolking en de werkgelegenheid in Noord- en Zuid-Holland zich ongeveer in hetzelfde tempo ontwikkelen als voor het gehele land is aangenomen. In het licht hiervan zou het percentage van 2 à 3 ook voor deze provincies kunnen worden toegepast. Daarentegen zou voor het deltagebied, waar de economische groei bij niet-uitvoering van het Deltaplan zeer waarschijnlijk bij de landelijke ontwikkeling ten achter zal blijven, een percentage van 1 à 1½ kunnen worden aangehouden.

Het rendement van staatsleningen op lange termijn van 2½ en 3½ % blijkt gedurende de jaren 1923 t/m 1938 en in deze periode te zamen met 1949 t/m 1954 gemiddeld respectievelijk 3,8 % en 3,7 % te zijn geweest (met als uitersten 4,7 en 3,0 %). Gezien de onzekerheid met betrekking tot de toekomstige ontwikkeling van de kapitaalmarkt lijkt het hanteren van een rentevoet van 3½ à 4½ % aanvaardbaar en, gezien de cijfers over het verleden, eventueel ook wel van 3½ à 4 %."

Op grond hiervan zullen we in onze numerieke voorbeelden voor Centraal-Holland een gereduceerde rentevoet van 1½ % gebruiken [2]) en voor het deltagebied één van 2½ %.

---

[1]) Een verkenning der economische toekomstmogelijkheden van Nederland van 1950 tot 1970. Centraal Planbureau, 's-Gravenhage, 1955.

[2]) Vervanging hiervan door 2 % zou slechts een geringe invloed op de optimale uitkomst hebben (vgl. 4.3.2).

4.1.2 *Zeespiegelrijzing en bodemdaling*

Een tweede, aan 3.0 ten grondslag liggende onderstelling, die niet houdbaar is, houdt in, dat de overschrijdingskans van een bepaald peil in de loop der tijden constant blijft. Dit is niet het geval, doordat ons land langzaam daalt in vergelijking met het gemiddeld zeeniveau. Over de vraag evenwel, hoe groot deze daling is, bestaat geen eenstemmig oordeel. Wel schijnt vast te staan, dat het verschijnsel zéér gecompliceerd is en dat er niet onaanzienlijke lokale verschillen zijn. Omtrent de belangrijkste componenten hebben wij het volgende kunnen vinden.

A. *Zeespiegelrijzing.* Het staat wel vast, dat de poolkap geleidelijk afsmelt, waardoor het niveau van de oceanen stijgt [1, 15], d.w.z. dat de aarde zich van een ijstijd („glaciaal") naar een „interglaciaal" beweegt. Er is een wiskundig uitgewerkte theorie van de Servische astronoom MILANKOVITCH [11], die een verband legt tussen de ijstijden en de posities van de aardas ten opzichte van de zon. Deze is door GAMOV [8] tot de toekomst uitgebreid. Volgens GAMOV zouden we over ongeveer 20 000 jaar een nieuw interglaciaal bereiken [1]). Indien de polaire ijskappen geheel zouden afsmelten, zou dit een verhoging van de zeespiegel van ongeveer 50 meter veroorzaken [1, 10] [2]). Aangezien GAMOV zelf erkent, dat zijn extrapolatie slechts zeer ruw is en er ook tegen de theorie van MILANKOVITCH ernstige bezwaren zijn ingebracht, schijnt het op het ogenblik niet mogelijk te zijn betrouwbare schattingen te geven van de zeespiegelrijzing in de toekomst [3]).

B. *Bodemdaling.* Ook hieromtrent bestaat een wiskundig uitgewerkte theorie. Volgens VENINGH MEINESZ [18] daalt de vaste aardkorst onder ons land ten gevolge van een zich herstellend evenwicht, dat circa 10 000 jaar geleden door het afsmelten van de ijskap boven de omgeving van de Botnische Golf is verbroken. Op het ogenblik is de snelheid van daling (die aanvankelijk wel 2 meter per jaar zou hebben bedragen) ongeveer 20 cm per eeuw. Deze daling wordt volgens dezelfde geleerde gedeeltelijk gecompenseerd door een stijging van het zuidelijk gedeelte van ons land (ongeveer tot aan de grote rivieren) ten gevolge van een noordwaartse stroming onder de vaste korst, afkomstig van een afsmelten van het ijs aan de wortel der Alpen. De grootte van deze compensatie is evenwel niet bekend. Wel schijnt op grond van geodetische metingen vast te staan [7], dat inderdaad het zuiden van ons land ten opzichte van het noorden stijgt, en wel in 50 jaar met 8 à 10 cm, d.i. ongeveer 20 cm per eeuw.

Over de absolute daling, of ook de daling van het centrum, ten opzichte van de zee, geven deze metingen echter geen informatie. Deze theorie geeft een bijzonder interessante verklaring van het onderzochte verschijnsel en is wel de enige, die voldoende ver wiskundig is uitgewerkt om, althans gedeeltelijk, tot kwantitatieve resultaten te leiden, maar ook haar grondslag is hypothetisch.

Tot de bodemdaling draagt ook de inklinking van de jongere geologische lagen bij. Verschillende auteurs hebben getracht, met geologische, palaeontologische en archaeologische methoden het totale effect, dus de *relatieve* bodemdaling, dat is de som van bodemdaling en zeespiegelrijzing te schatten [14]. De uitkomsten lopen echter zéér uiteen. Er is vrijwel eenstemmigheid over het feit, dat de huidige methoden nog weinig betrouwbaar zijn. Daar de dijken zelf ook, en zelfs vrij veel inklinken, zal de kruindaling wezenlijk meer moeten bedragen. Volgens VAN VEEN [16, 17] komt ½ meter per eeuw herhaaldelijk voor, maar treden ook aanzienlijk grotere waarden op. Ook moet opgemerkt worden, dat KUENEN [10], die overigens tot zeer gematigde schattingen neigt, er tot tweemaal toe op wijst, dat de relatieve *bodem*daling (dus zonder inklinken der dijken) althans in sommige perioden een meter of meer per eeuw moet hebben bedragen [4]).

Resumerende kunnen we vaststellen, zonder ons nochtans een oordeel te willen aanmatigen over onderzoekingen op een buiten onze competentie vallend gebied, dat het hoogst onzeker is, met *welke* snelheid de dijkkruin ten opzichte van het zeeniveau daalt.

---

[1]) Op blz. 185 schrijft GAMOV: Further inspection of the curves indicating the climates of the future also shows us that *before the next advance of ice the climate of the Earth is bound to become much warmer than it is at present and that the maximum will be reached about the year A.D.* 20 000.

[2]) Schattingen lopen uiteen van circa 20 tot circa 90 meter, maar waarden van 40 tot 60 meter worden het meest algemeen aanvaard.

[3]) Theoretisch kan men natuurlijk de mogelijkheid niet met zekerheid uitsluiten, dat de langzame klimaatverandering (die wel schijnt vast te staan, vergelijk [1, 15]) nog op andere wijze dan door de zeespiegelrijzing de overschrijdingskansen geleidelijk zou doen veranderen, bijv. door statistische veranderingen in de meteorologische toestand. Daar er, voor zover ons bekend, geen aanwijzingen bestaan, dat zulks het geval zou zijn, noch in welke richting zulke veranderingen eventueel zouden werken, hebben wij aangenomen, dat de overschrijdingskansen, afgezien van de relatieve bodemdaling, in de tijd constant zijn.

[4]) "On an average sea-level has risen 36 cm since [25 000 years]. However, there have been several periods of standstill or even readvance of the icefront [– – – –]. The average during the active periods of melting must have been 50 cm per century [– – –]. Recession was far above the average for some periods. It can therefore be confidently assumed that these times were marked by a secular rise of sea-level amounting to 100 cm"([10], blz. 151). "The sword of Damocles hanging over the Low Countries is formed by the waters put up in the ice sheets of Greenland and Antarctica. An adverse shift in the water budgets of these countries could easily render the situation critical if not hopeless in less than a century's time. There have been times [– – –] in which a secular rise of 1 meter was attained and a third of the ice still remains, plenty to repeat this experience" ([10], blz. 153).

4.1.3 *Wijziging in het in* 3.0 *gebruikte model*

Uit het over de economische expansie gezegde volgt, dat we niet met de momentele rentevoet, maar met de *gereduceerde* rentevoet moeten rekenen en dat deze voor Centraal-Holland ongeveer $1\frac{1}{2}$ % en voor het deltagebied ongeveer $2\frac{1}{2}$% per jaar bedraagt.

Voorts moet met de daling van de kritieke hoogte rekening worden gehouden, en wel niet alleen bij de berekening, maar ook bij de dijkbouw zelf. Immers al maken we de dijk, binnen redelijke grenzen, nòg zo hoog, als hij aan zichzelf overgelaten wordt zal hij op de lange duur in zee verzinken. Het is dus nodig, de dijk periodiek te regenereren. Als men de periode, waarna telkens de dijk weer op peil gebracht wordt, kent, kan de optimale dijkverhoging worden berekend, behoudens de onzekerheid van de grootte der kruindaling.

Nu het toch noodzakelijk is, de dijken regelmatig te regenereren, zou men kunnen overwegen, analoog met een in de verzekeringsleer veel gebruikte methode, vergelijk bijv. [3], bij iedere periodieke verhoging de dijk steeds wat méér te verhogen dan de peildaling heeft bedragen. Men zou daardoor een steeds grotere veiligheid verkrijgen en op de duur een verwaarloosbaar kleine overschrijdingskans. Men zou bij voorbeeld kunnen overwegen steeds een verhoging van $\frac{1}{2}$ meter aan te brengen, zodra het kritieke peil $\frac{1}{4}$ meter is gedaald. De optimale *eerste* verhoging ondergaat hierdoor geen wijziging.

In het wiskundige gedeelte zal blijken, dat men, door de regeneratieperiode betrekkelijk klein te kiezen, de zowel feitelijk als wiskundig storende onbekendheid der relatieve bodemdaling belangrijk minder hinderlijk kan maken. Verkorting der regeneratieperiode kan wellicht bereikt worden door niet telkens na een periode de dijk in zijn geheel te verhogen, maar dit na een aanvangstermijn met betrekkelijk korte tussenpozen, als het ware in continubedrijf, te doen, telkens met een *gedeelte* van de dijk of van een dijkcomplex.

Adaequate dijkregeneratie zal echter in ieder geval vereisen, dat door bevordering van daartoe strekkend wetenschappelijk onderzoek, grondige kennis omtrent de relatieve bodem- en kruindaling verkregen wordt, zodat men door meting zal kunnen ervaren, hoeveel deze in een bepaalde periode hebben bedragen.

4.2 Wiskundig gedeelte

4.2.1 *Afleiding van de nieuwe formules*

We onderstellen, dat de overschrijdingskans dezelfde wet volgt, als in 3.2 aangegeven, en dat een relatieve daling van het *kritieke peil* ten opzichte van de zeespiegel plaatsvindt ten bedrage van η meter per eeuw. De tijd, uitgedrukt in jaren, zal worden aangeduid met de letter t, uitgedrukt in eeuwen met de letter τ, zodat $\tau = 100\,t$. Natuurlijk kan τ ook een breuk < 1 zijn. Indien de dijk tot een *huidig* kritiek niveau H wordt verhoogd, zal dit na τ eeuwen tot $H - \eta\tau$, dus $H - \eta\tau - H_0$ boven het huidige niveau vóór dijkverhoging zijn verminderd. De overschrijdingskans, voor te stellen door $p\,(H, \tau)$, zal dan zijn:

$$p\,(H, \tau) = p_0 e^{-\alpha\,(H - \eta\tau - H_0)} = p_0 e^{-\alpha X + \beta\tau}, \tag{1}$$

wanneer we

$$\beta = \alpha\eta \tag{2}$$

en, evenals te voren

$$X = H - H_0$$

stellen. De uitdrukking (1) kan echter niet voor alle τ de overschrijdingskans voorstellen. Immers bij toenemende τ neemt ook het laatste lid van (1) onbeperkt toe, terwijl een kans altijd $\leqq 1$ blijft. Dit heeft ten gevolge, dat bij toenemende τ vooreerst $p\,(H, \tau)$ overeenkomstig (1) toeneemt, totdat de waarde 1 bereikt zal zijn. De dijk is dan vrijwel geheel in de zee verzonken, zodat overschrijding vrijwel telkenjare plaatsvindt, en dit blijft ook bij verdere daling het geval.

We moeten dus niet alleen de formule voor de overschrijdingskans, maar ook de dijk zèlf aan de relatieve bodemdaling aanpassen. We onderstellen daartoe, dat telkenmale na een bepaalde periode van T eeuwen regeneratie van de dijk plaatsvindt. Over de grootte van T, die naar willekeur gekozen kan worden, zal later iets gezegd worden. De mogelijkheid, dat na één of meer regeneratieperioden nieuwe technologische procédés beschikbaar zullen zijn, die de dijkregeneratie kunnen vervangen – zoals thans het Deltaplan althans ten dele de verhoging der dijken in het deltagebied vervangt –, moet buiten beschouwing blijven, daar de consequenties daarvan thans niet te overzien zijn. Men mag wel aannemen, dat deze, wat hun kosten betreft, niet al te veel van de huidige zullen verschillen, terwijl bovendien hun invloed op de uitkomst ten gevolge van de discontering steeds kleiner wordt.

Gedurende de eerste periode $0 < \tau < T$ zal in het $(100\,\tau)^{\text{de}}$ jaar [1]) de overschrijdingskans

$$p\,(H,\,\tau) = p_0 e^{-aX + \beta\tau} \tag{3}$$

bedragen.

Voorts onderstellen we, dat de totale waarde van het beschermde gebied thans W bedraagt en per jaar met γ % toeneemt. Daar γ toch slechts ruw geschat kan worden, kunnen we evengoed met een continue toeneming rekenen, die dan γ „per unum" per eeuw bedraagt of 0,01 γ per jaar, waarin we γ, evenals δ, constant onderstellen [2]). De waarde na 100 τ jaar is dan $We^{\gamma\tau}$ geworden en de schadeverwachting is het produkt daarvan met (3). De contante waarde verkrijgen we door deze uitdrukking met $e^{-\delta\tau}$ te vermenigvuldigen. Nu is $e^{\gamma\tau}\,e^{-\delta\tau} = e^{-\delta'\tau}$ als

$$\delta' = \delta - \gamma \tag{4}$$

is. Dus is δ' de *gereduceerde* rentevoet. De totale verdisconteerde schadeverwachting gedurende de eerste periode verkrijgen we nu door het produkt der gevonden uitdrukkingen over τ tussen 0 en T te integreren. Dit geeft dus:

$$\int_0^T p_0 W e^{-aX + \beta\tau}\, e^{-\delta'\tau}\, 100\, d\tau = P_0 W\, e^{-aX} \int_0^T e^{-(\delta' - \beta)\tau}\, d\tau =$$

$$= P_0 W\, e^{-aX}\, \frac{1 - e^{-(\delta' - \beta)\,T}}{\delta' - \beta}.$$

We merken op, dat teller en noemer van de breuk in het laatste lid voor $\delta' > \beta$ beide positief en voor $\delta' < \beta$ beide negatief zijn, zodat in het laatste geval de breuk beter in de aequivalente vorm

$$\frac{e^{(\beta - \delta')\,T} - 1}{\beta - \delta'}$$

geschreven kan worden. Indien $\delta' = \beta$ is, neemt de breuk eenvoudig de waarde T aan.

In de daaropvolgende periode hebben we opnieuw een totale verdisconteerde schadeverwachting, die, doordat deze T eeuwen later plaatsvindt, $e^{-\delta' T}$ maal zo groot is (δ'; niet δ, doordat ook W weer toegenomen is). Zo voortgaande verkrijgen we voor de totale verdisconteerde schadeverwachting, daar δ' een positief getal is [3]), ten gevolge waarvan de reeks in het tweede lid convergeert:

$$R = 100\, p_0 W e^{-aX}\, \frac{1 - e^{-(\delta' - \beta)\,T}}{\delta' - \beta}\, (1 + e^{-\delta' T} + e^{-2\delta' T} + \ldots) =$$

$$= P_0 W e^{-aX}\, \frac{1 - e^{-(\delta' - \beta)\,T}}{\delta' - \beta} \cdot \frac{1}{1 - e^{-\delta' T}} = \frac{P_0 W e^{-aX + \frac{1}{2}\beta T}}{\delta'} \,.\, C\,. \tag{5}$$

Hierin hebben we

$$C = e^{-\frac{1}{2}\beta T} \cdot \frac{1 - e^{-(\delta' - \beta)\,T}}{\delta' - \beta} \cdot \frac{\delta'}{1 - e^{-\delta' T}} =$$

$$= \frac{e^{\frac{1}{2}(\delta' - \beta)\,T} - e^{-\frac{1}{2}(\delta' - \beta)\,T}}{\delta' - \beta} \cdot \frac{\delta'}{e^{\frac{1}{2}\delta' T} - e^{-\frac{1}{2}\delta' T}} = \frac{\operatorname{sh} \frac{1}{2}(\delta' - \beta)\,T}{\frac{1}{2}(\delta' - \beta)\,T} \cdot \frac{\frac{1}{2}\delta' T}{\operatorname{sh} \frac{1}{2}\delta' T} \tag{6}$$

gesteld, waarin sh x de hyperbolische sinus van x voorstelt.

---

[1]) Hierin zal τ een klein getal zijn, dus bijv. voor $\tau = 0{,}10$ is dit het 10de jaar.

[2]) Abstract beschouwd is deze onderstelling niet bijzonder aannemelijk. Het is echter moeilijk te zien, dat een functie van de tijd bij de huidige geringe kennis beter gefundeerd zou kunnen worden dan de constante.

[3]) Indien, overeenkomstig Von Neumann's theorie [12], δ' nul zou zijn, zou de reeks divergeren en R zowel als de optimale dijkhoogte zou oneindig groot zijn. Dat wil zeggen: elke, nog zo grote dijkverhoging ware economisch verantwoord. Ditzelfde zou a fortiori het geval zijn als δ' negatief zou zijn. Op zichzelf beschouwd is een zo snelle economische expansie, zeker gedurende betrekkelijk korte tijd, niet geheel ondenkbaar.

De kosten der dijkverhoging bij het begin der eerste periode stellen wij evenals in 3.2 voor door I; zij bedragen evenals daar:

$$I_0 + I'X.$$

Aan het einde der eerste periode vindt opnieuw een dijkverhoging plaats ter hoogte van ηT, die dus, als de initiële kosten, die dàn zouden optreden, reeds in I_0 opgenomen zijn en I' in de loop der jaren gelijk blijft, $I'\eta T$ kost. In werkelijkheid lijkt het niet onaannemelijk, dat ook I' zal stijgen ten gevolge van de economische expansie, zij het vermoedelijk niet met de volledige γ % per jaar. Aangezien het bij de dijkbouwkosten, in tegenstelling tot bij de te beschermen waarde, voor het uiteindelijke resultaat vrijwel geen verschil maakt of wij tegen δ of tegen δ' % verdisconteren, zullen wij eenvoudigheidshalve de gereduceerde rentevoet δ' gebruiken.

De som van de verdisconteerde kosten van alle dijkverhogingen is dan:

$$I = I_0 + I'X + J, \tag{7}$$

waarin

$$J = I'\eta T e^{-\delta' T} + I'\eta T e^{-2\delta' T} + \ldots = \frac{I'\eta T}{e^{\delta' T} - 1} \tag{8}$$

is, en evenals I_0 niet van X afhangt.

De totale kosten bedragen nu $K = I + R$ of:

$$K = J + I_0 + I'X + \frac{P_0 W}{\delta'} e^{-\alpha X + \frac{1}{2}\beta T} . C. \tag{9}$$

Het enige verschil in vergelijking met (6) in 3.2 is dus gelegen in de toevoeging van de factor $e^{\frac{1}{2}\beta T}. C$ in de laatste term, benevens de toevoeging van de term J en de vervanging van δ door δ'.

Voor de optimale dijkverhoging vinden we dus, analoog met (8) van 3.2:

$$e^{\alpha \hat{X}} = \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta'} e^{\frac{1}{2}\beta T} . C, \tag{10}$$

dus:

$$\hat{X} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta'} + \tfrac{1}{2}\eta T + \frac{1}{\alpha} \ln C. \tag{11}$$

Om de optimale waarde van T te bepalen moet $\hat{K} = \hat{I} + \hat{R}$, waarin (7) en (11) gesubstitueerd zijn, als functie van T beschouwd worden. Reeksontwikkeling leert, dat voor kleine waarden van T in tweede benadering

$$\hat{K} = \left(I_0 + \frac{I'\eta}{\delta'} + \frac{I'}{\alpha} \ln \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta'} + \frac{I'}{\alpha}\right) + \frac{\alpha}{24} I'\eta^2 T^2 \tag{12}$$

is, en dus een minimum heeft voor $T = 0$, dat door de term tussen haken wordt voorgesteld [1]).

Voor kleine waarden van T (bijv. $T = 1/10$ of $T = 1/5$, d.i. 10 resp. 20 jaar) blijkt de laatste term in (11), t.w. $\frac{1}{\alpha} \ln C$, slechts enkele centimeters te bedragen en negatief te zijn. Daar een kleine *overschatting* van het optimum geen noemenswaardige invloed heeft, kan deze term weggelaten worden, zodat we in plaats van (11) krijgen:

$$\hat{X} \approx \frac{1}{\alpha} \ln \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta'} + \tfrac{1}{2}\eta T. \tag{13}$$

---

[1]) Wanneer het niet mogelijk is alle initiële kosten van de periodieke verhogingen in I_0 op te nemen en er dus een klein bedrag I'_0 aan initiële kosten bij iedere periodieke verhoging overblijft, dan volgt de optimale waarde van T in goede benadering uit:

$$T^3 = \frac{12\, I_0'}{\alpha\, \delta'\, I'\, \eta^2}.$$

De optimale waarde is dan een klein getal, maar bij onbekende η niet berekenbaar. Het kiezen van een kleine waarde voor T is dus ook in dit geval aanvaardbaar.

Deze uitdrukking onderscheidt zich in tweeërlei opzicht van (9) van 3.0. Vooreerst is de nominale rentevoet δ door de gereduceerde rentevoet δ' vervangen, waardoor de invloed van de economische expansie tot uitdrukking is gebracht. Voorts is er de term $\frac{1}{2}\eta T$ bijgekomen, die aangeeft, dat bij het bepalen van de optimale dijkverhoging niet de toestand bij het begin of het einde, maar die in het *midden* van een periode in rekening moet worden gebracht.

Voor de overblijvende rampschadeverwachting $\hat{R}$ vinden we uit (5) voor iedere positieve waarde van T en dus ook in de limiet voor $T = 0$, precies als te voren (vergelijk (17) van 3.0):

$$\hat{R} = \frac{I'}{\alpha} = I_e. \tag{14}$$

In plaats van de initiële kosten I_0 komt nu, onder verwaarlozing van termen van de tweede of hogere orde in T:

$$I_0 + J = I_0 + \frac{I'\eta}{\delta'} - \tfrac{1}{2}I'\eta T, \tag{15}$$

waarbij we nogmaals vermelden, dat I_0 groter is geworden, doordat er de toekomstige *initiële* kosten in opgenomen zijn. De tweede en derde term in het rechterlid van (15) stellen de som der verdisconteerde *toekomstige* dijkverhogingskosten voor, die dienen om de dijk telkens weer op peil te brengen. In de totale kosten $\hat{K}$ ten slotte kan de laatste term van (12) weer weggelaten worden, daar deze bijv. voor $T = 1/5$ (20 jaren) en $\eta = 1$ m per eeuw slechts $\frac{1}{2}$ cm dijkverhogingskosten bedraagt. We krijgen dus:

$$\hat{K} = I_0 + \frac{I'\eta}{\delta'} + \frac{I'}{\alpha} \ln \frac{P_0 W \alpha}{I'\delta'}. \tag{16}$$

4.2.2 *De gewijzigde regels*

We gaan nu na, in hoeverre de samenvattende regels I – V van 3.2 wijziging behoeven. Hierbij onderstellen we, dat bij niet-uitvoeren van de overwogen optimale dijkverhoging in ieder geval wel de periodieke regeneratie, dan tot het *huidige* peil, plaatsvindt; verder nemen wij aan, dat de contante waarde van de hiertoe vereiste initiële kosten te verwaarlozen is [1]). We vinden dan, dat de regels bijna onveranderd geldig blijven. Precieser gezegd:

I blijft exact en ongewijzigd geldig;

II evenzo;

III blijft bij de in formule (13) aangegeven benadering geldig, wanneer in het linkerlid de optimale overschrijdingskans na een halve periode en in het rechterlid de gereduceerde nepereringsrente genomen wordt;

IV blijft bij de in formule (13) aangegeven benadering geldig, wanneer in het linkerlid de veiligheidsfactor een halve periode na de optimale verhoging en in het rechterlid de gereduceerde nepereringsrente genomen wordt;

V gaat bij de in formule (13) aangegeven benadering over in:
optimale dijkverhoging, uitgedrukt in nepereringshoogten = de natuurlijke logaritme van $\dfrac{\text{huidige rampschadeverwachting per jaar}}{\text{gereduceerde nepereringsrente per jaar}}$, vermeerderd met bodemdaling gedurende een halve periode, uitgedrukt in nepereringshoogten.

Wij merken op, dat in Regel I de veiligheidsfactor op het ogenblik van de verhoging voorkomt en in Regel IV de veiligheidsfactor, behorende bij de situatie, een halve periode na de verhoging.

---

[1]) In gevallen waarin deze laatste onderstelling niet aanvaardbaar is, zal alleen regel I een kleine wijziging ondergaan, welke ten gevolge heeft, dat het linkerlid wat kleiner wordt. Daar men echter toch zal eisen, dat het rechterlid in regel I veel groter is dan het linker, zal de genoemde wijziging geen invloed hebben op de te nemen beslissing.

Samenvattende zien we dus, dat we al in 3.0, ondanks de toen aangenomen vèrgaande vereenvoudigingen, de wezenlijke kenmerken van de oplossing gevonden hadden. Behalve de vervanging van nominale door gereduceerde rente blijven slechts kleine en in ieder geval eenvoudige correcties over. Ook de beschouwingen aan het einde van 3.1 over het fundamentele verschil tussen (ongevaarlijke) overschatting en (zeer kostbare) onderschatting van het optimum blijven onveranderd geldig.

Wij willen nu overgaan tot de behandeling van een tweetal punten, die zich voor bespreking in het algemene gedeelte minder goed lenen.

4.3 Invloed van de gemaakte onderstellingen en de onnauwkeurigheden in de schattingen der constanten

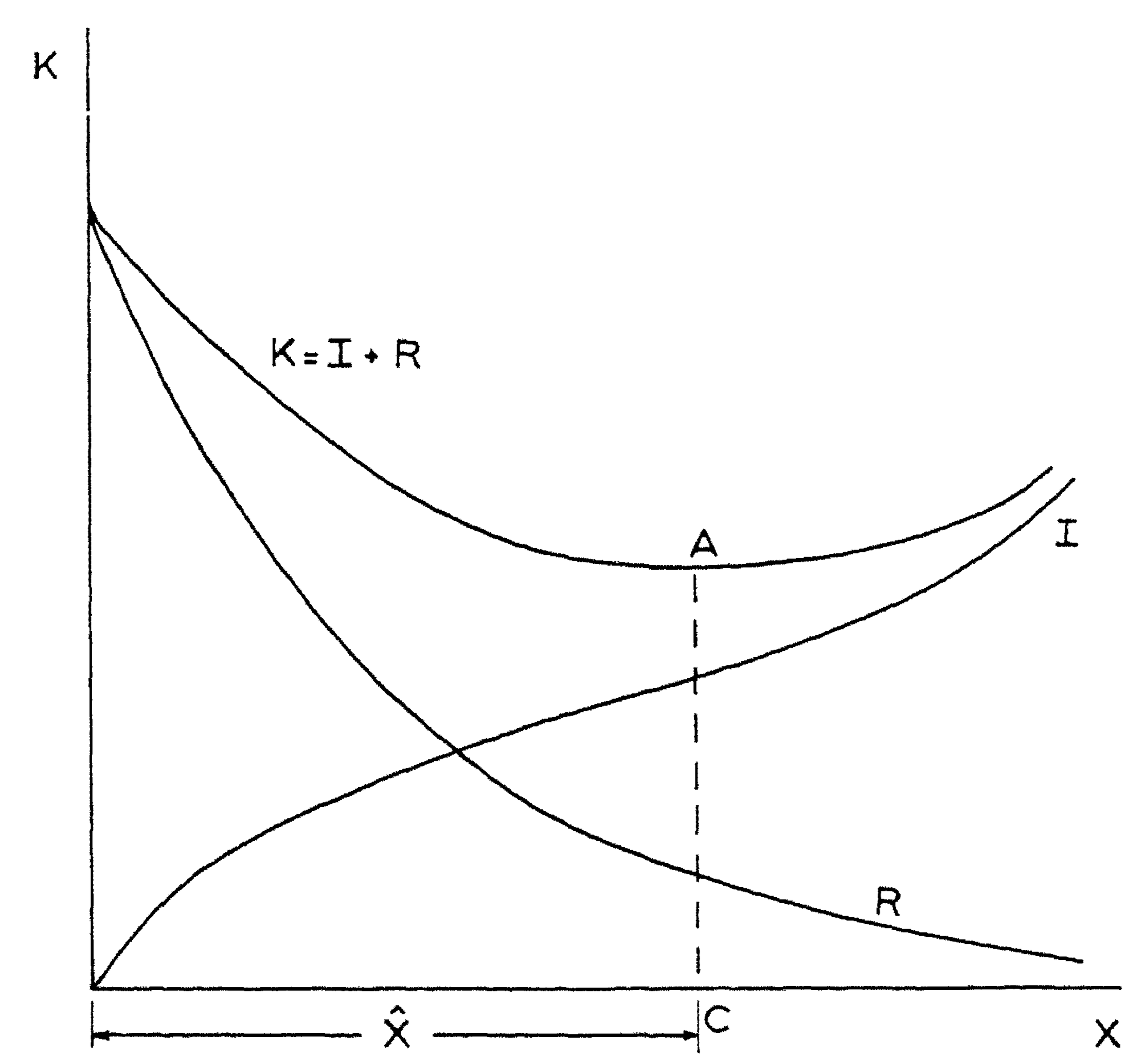
4.3.1 *Opheffing van de lineariteitsonderstellingen*

De voorafgaande berekeningen zijn gebaseerd op de onderstellingen:

1. dat $\log p(h)$ een lineaire functie van h is;
2. dat $I = I(X)$ een lineaire functie van X is.

Beide onderstellingen zijn niet wezenlijk voor de gebruikte methode. Als toekomstige waarnemingen leren, dat een andere dan de exponentiële verdeling der hoogwaterstanden een betere aanpassing veroorlooft – hetgeen bij de *thans* ter beschikking staande gegevens nog niet het geval is –, dan substitueert men eenvoudig de verbeterde uitdrukking voor de overschrijdingskans. De algebraïsche bewerkingen en de differentiaties kunnen iets gecompliceerder worden en de numerieke uitkomsten kunnen enige wijziging ondergaan, maar overigens blijft de methode dezelfde. Voorwaarde is natuurlijk, dat de in de verdelingsfunctie optredende constanten met voldoende nauwkeurigheid bepaald kunnen worden. Hetzelfde geldt, mutatis mutandis, voor de dijkverhogingskosten, waarvan we al wel weten, dat ze slechts bij vrij ruwe benadering door een lineaire functie kunnen worden voorgesteld.

Indien afwijkingen van de lineariteit van belang worden, zal het veelal nuttig zijn, in stede van naar een gecompliceerde analytische uitdrukking te zoeken, een grafische methode toe te passen, zoals bij voorbeeld door BISCHOFF VAN HEEMSKERCK [2] gedaan is. Het globale verloop van de krommen wordt dan ongeveer zoals in figuur 4.3.1 weergegeven, die dan in de plaats treedt van figuur 3.1.3. Voor grote X zal $I + R$, evenals voorheen, niet van I onderscheidbaar zijn.



Figuur 4.3.1. Kosten K bij dijkverhoging met X meter

In de meeste gevallen zal men echter de gedeelten van de krommen, die $\log p(h)$ en $I(X)$ voorstellen, die op de omgeving van het vooraf reeds globaal geschatte optimum betrekking hebben, met voldoende nauwkeurigheid door lineaire functies kunnen voorstellen. De boven gegeven formules blijven dan toepasbaar, mits men voor p_0 (of H_0) en α resp. I_0 en I' de bij de *approximerende rechten* behorende waarden substitueert.

Van belang is nog op te merken, dat de stijging der kostenkromme geleidelijk afneemt, althans zo lang men geen excessief hoge niveaux beschouwt. In dat geval geldt de beschouwing behorende bij figuur 3.1.5 met versterkte kracht: de „spijt" bij een hoger dan optimaal kritiek peil wordt nòg kleiner dan zij bij een lineaire kostenkromme zou zijn; tegen relatief zeer geringe extra-kosten wordt een zeer grote verhoging van de veiligheid verkregen. Alleen *onder*schrijding van het optimum moet vermeden worden; *over*schrijding – mits niet excessief hoog – brengt geen verlies van enige betekenis met zich en kan de veiligheid welhaast onbeperkt doen stijgen.

4.3.2 *Invloed van de schattingen der constanten*

Alle in de formules optredende constanten p_0, α, δ, I_0, I', δ', W en η moeten op grond van min of meer onzekere gegevens worden geschat, met uitzondering van T, die naar willekeur kan worden vastgesteld (mits, indien onze benaderingen worden gebruikt, voldoend klein). De vraag is dus, welke invloed onnauwkeurigheden in de schattingen kunnen hebben.

De constanten zijn van zéér verschillende aard. Vooreerst zijn p_0 en α aan *statistisch* materiaal ontleend en met veel grotere nauwkeurigheid bekend dan de andere constanten.

De invloed op $\hat{X}$ van een kleine verandering $\partial\alpha$ in de waarde van α wordt gevonden uit (11) van 4.2:

$$\frac{\partial \hat{X}}{\partial \alpha} = \frac{1}{\alpha^2} - \frac{\hat{X}}{\alpha}$$

dus:

$$\partial \hat{X} \approx \left(\frac{1}{\alpha} - \hat{X}\right)\frac{\partial\alpha}{\alpha} \tag{1}$$

De tweede-ordetermen geven $\frac{1}{2}\left(\hat{X} - \frac{3}{2}\alpha\right)\left(\frac{\partial\alpha}{\alpha}\right)^2$ en zijn voor $\frac{\partial\alpha}{\alpha} \leqq \pm\, 0{,}1$ evenals de vormen van hogere orde verwaarloosbaar. Bovendien zijn de gegeven betrekkingen alleen dan juist, wanneer termen van de tweede en hogere orde in T verwaarloosd worden. In het volgende beperken wij ons tot (1). Steeds ons bepalende tot Hoek van Holland, kan wel gezegd worden, dat een afwijking $\partial\alpha = \pm\, 0{,}5$ van de hier aangenomen waarde ons reeds vrij groot voorkomt. Daarmede wordt (1):

$$\partial \hat{X} \approx \pm \frac{0{,}5}{3}\,(0{,}34 - \hat{X}).$$

De eerste term is in ieder geval verwaarloosbaar (5 à 6 cm), dus $\partial X \approx \mp\, 0{,}17\, \hat{X}$, dat wil zeggen: de onzekerheid van $\hat{X}$ ten gevolge van die van α wordt met 20 % hóóg geschat.

Het tweede paar constanten, I_0 en I' is uit de marktsituatie te bepalen; deze kunnen als voldoende bekend worden beschouwd.

Het derde paar, t.w. δ' en W, geeft de grootste moeilijkheden, daar deze aan nationaal-economische beschouwingen ontleend moeten worden. De laatste constante ten slotte, η, is van geofysische, klimatologische, geologische en waterstaatkundige aard en hoogst onzeker. De hierdoor veroorzaakte onzekerheid kan men verminderen door de regeneratieperiode T niet al te groot te kiezen. Door voortgezet wetenschappelijk onderzoek zal η op de duur ongetwijfeld beter bekend worden.

Ter discussie blijven dus de eigenlijk economische constanten δ' en W. De constanten p_0, W, δ' en I' komen in (11) van 4.2 uitsluitend onder het logaritmeteken voor. Een factor 2 in één dezer constanten of in hun combinatie $p_0\, W/I'\, \delta'$ heeft één halveringshoogte, dus ongeveer $\frac{1}{4}$ m verschil in de dijkhoogte ten gevolge. Een fout van enkele tientallen procenten wordt door de factor $\frac{1}{\alpha}$ vóór de logaritme ongeveer getiërceerd en heeft dus geen gevolgen van betekenis. Een factor 2 of groter daarentegen is niet te verwaarlozen en we moeten, zoals gezegd, vooral op onze hoede zijn voor *onderschatting* van het optimum. Indien voor Centraal-Holland in plaats van de gereduceerde rente de marktrente gebruikt zou worden, zou een fout met een factor $2\frac{1}{2}$ à 3 gemaakt worden. De dijk zou 31 à 37 cm te laag gebouwd worden, hetgeen schijnbaar een winst, maar in werkelijkheid een verlies van omstreeks 15 cm dijkverhoging met zich zou brengen.

De vraag, of de gereduceerde rentevoet voor Centraal-Holland $1\frac{1}{2}$ %, dan wel 2 % genomen wordt, betekent slechts ongeveer een factor $\frac{4}{3}$ in de veiligheidsfactor (het rechterlid van (10) van 4.2) of ook een verschil van minder dan 10 cm in de optimale dijkverhoging. Voor het deltagebied heeft een verhoging van δ' met $\frac{1}{2}$ % nog minder invloed op het eindresultaat. De uit 3.0 voortvloeiende wenselijkheid, onderschatting steeds te vermijden, noopt ons dus voor δ' de waarden $1\frac{1}{2}$ %, resp. $2\frac{1}{2}$ % te aanvaarden, een aanname waarheen ook DE WOLFF's slotopmerking (zie 4.1.1) wijst.

Over de waarde van W ten slotte, die zo onzeker is, dat ze een niet verwaarloosbare invloed kan hebben, zullen we in 7.0 en 8.0 spreken.

4.4 Samenvatting en conclusies van 4.0

1. De hieronder aangegeven conclusies hebben betrekking op de oplossing van het beslissingsprobleem bij de volgende onderstellingen:

   De onderstellingen *b*, *c*, *d*, *f* en *g* van 3.2.
   Onderstelling *a* van 3.2, mits de overschrijdingskansen worden beschouwd van een peil, dat een onveranderlijke hoogte boven het zeeniveau bezit. Het kritieke peil evenwel wordt ondersteld, gelijkmatig ten opzichte van het gemiddeld zeeniveau te dalen.

   f. De te beschermen waarde, uitgedrukt in een waardevaste geldeenheid, neemt jaarlijks met een bepaald percentage toe. De gereduceerde rentevoet, dat is het verschil van de reële interestvoet en dit percentage, wordt als constant beschouwd.

   h. Telkenmale na een bepaalde periode van T eeuwen (waarin T een gebroken getal zal zijn) wordt de dijk evenveel verhoogd als de daling van het kritieke peil gedurende die periode heeft bedragen.

2. De conclusies I en II van 3.2 blijven exact en ongewijzigd geldig. De conclusies III en IV blijven in goede benadering gelden, indien:

   1. de reële interestvoet door de gereduceerde wordt vervangen;
   2. de overschrijdingskans, respectievelijk de veiligheidsfactor wordt genomen na een halve periode in plaats van onmiddellijk na de verhoging.

   Conclusie V gaat over in: de optimale dijkverhoging, uitgedrukt in nepereringshoogten, is gelijk aan de natuurlijke logaritme van het quotiënt van de huidige rampschadeverwachting per jaar en de gereduceerde nepereringsrente per jaar, vermeerderd met de bodemdaling gedurende een halve periode, uitgedrukt in nepereringshoogten.

3. Conclusie V van 3.4 blijft ongewijzigd geldig.

4. Het verdient overweging, analoog met een in de verzekeringswetenschap soms gevolgde methode, bij de periodieke regeneraties de dijken telkenmale wat meer te verhogen dan de peildaling heeft bedragen. Men verkrijgt hierdoor een steeds grotere veiligheid en op de duur een verwaarloosbare overschrijdingskans.

5. De onnauwkeurigheden in de schattingen van de statistische constanten (p_0 en α) zijn klein ten opzichte van de onnauwkeurigheden in de schattingen van de bodemdaling (η) en de zuiver economische constanten (W en δ'). Hoewel vooral de onzekerheid in de schatting van de te beschermen waarde (W) groot is, mag wel worden aangenomen, dat deze niet wezenlijk groter is dan de onnauwkeurigheden, welke in vele andere, met het onderhavige vergelijkbare projecten voorkomen.

5.0 COMPARTIMENTENMETHODE

5.1 De verdeling van het land in compartimenten

Bij de modellen, gebruikt in 3.0 en 4.0, is ondersteld, dat er een precies en ondubbelzinnig bepaald kritiek peil is. Als dus een dijk overal hetzelfde kritieke peil zou bezitten, zou deze, bij overschrijding daarvan door het zeewater, het over de gehele lengte tegelijk begeven. In werkelijkheid is zulks niet het geval. Iedere storm heeft zijn individuele kenmerken, waarbij vooral windrichting en duur van de storm belangrijk zijn. Daardoor worden sommige delen van de dijk meer, andere minder bedreigd, afhankelijk van allerlei, door plaatselijke omstandigheden bepaalde factoren. Er is dus bij een bepaald zeeniveau, ook bij een dijk van zoveel mogelijk gelijkmatige veiligheid, nog altijd een van plaats tot plaats wisselende *kans* op doorbraak.

Desondanks is bij een gebied, dat als een enkelvoudige polder moet worden beschouwd omdat het in zijn geheel door één enkele dijkring wordt beschermd, ieder dijkgedeelte volledig „verantwoordelijk" voor de *gehele* polder. Vooral bij uitgebreide poldergebieden wordt daarmede een enorme verantwoordelijkheid op de hoofdwaterkeringen gelegd. De situatie vertoont enige gelijkenis met die van een schip, waarvan ieder gedeelte van de romp in eerste aanleg verantwoordelijk is voor het gehele schip.

Dáár lost men de moeilijkheid op door, ondanks zware eisen, aan de sterkte van de romp gesteld, en ondanks de zéér geringe frequentie [1]) – althans in vredestijd – van ernstige beschadigingen daarvan, het schip door waterdichte schotten in compartimenten te verdelen. Aan de grootte dezer compartimenten zijn zelfs bij internationale conventie grenzen gesteld.

Daar het beneden de zeespiegel gelegen deel van ons land enige overeenkomst met een schip vertoont, waarbij de hoofdwaterkeringen, te zamen met de natuurlijke bescherming, door duinen en hooggelegen gedeelten geboden, met de scheepswand overeenkomen, kan men trachten, ook de methode der indeling in compartimenten, door „waterdichte schotten" gescheiden, daarop toe te passen (vergelijk [5], blz. 19–20).

In eerste instantie ligt het voor de hand, voor zulke „waterdichte schotten" bestaande binnendijken te bestemmen. Immers, in geval van nood ten gevolge van een doorbraak zal men altijd trachten, zulk een binnendijk te behouden en als nood-waterkering te gebruiken door hem in allerijl te versterken en te verhogen. Het beginsel nu, voor zoverre mogelijk, alle eventualiteiten, die zich wellicht kunnen voordoen, in aanmerking te nemen en er binnen het bereik der mogelijkheden bij de te treffen beslissing rekening mede te houden, leidt er toe, dat men de verhoging liever vooràf zal uitvoeren, daar dit dan met minder kosten en met meer kans op succes zal kunnen geschieden. Daarbij is het natuurlijk vóór alles van belang, dat de binnendijken inderdaad, althans behoudens een verwaarloosbaar kleine kans en behoudens de mogelijkheid een beheersbare hoeveelheid water te spuien, „waterdicht", dus over hun gehele lengte voldoend hoog en sterk zijn en volledig op elkaar of op de hoofdwaterkeringen aansluiten. Bij de stormramp van 1953 evenwel hebben vele bestaande binnendijken onvoldoende bescherming geboden.

Het is dan ook in overeenstemming met wat wij kortweg het „beginsel der waterdichte compartimenten" [2]) zullen noemen – een beginsel, dat geenszins nieuw is –, dat de Deltacommissie in haar Eerste Interimadvies van 1954 heeft aanbevolen, de Schouwense Dijk te verhogen en te versterken.

Strikt economisch bezien zou men op grond van zulk een „waterdicht schot" de hoofdwaterkering iets minder kunnen verhogen. Beperken we ons tot het eenvoudigst denkbare geval, waarin een polder door een binnendijk in twee delen van gelijke waarde en gelijke dijkomvang wordt verdeeld. Elk deel van de buitendijk [3]) heeft dan nog slechts de helft van de oorspronkelijke verantwoordelijkheid te dragen; men zou dus de verhoging met één halveringshoogte, dus ongeveer $\frac{1}{4}$ meter, kunnen verminderen. In werkelijkheid echter kan de door de buitendijk in zijn geheel gedragen verantwoordelijkheid groter blijven dan de helft van de oorspronkelijke. Immers zodra het zeeniveau zó hoog wordt, dat doorbraak niet meer het gevolg is van plaatselijk wisselende kansen, zal doorbraak van beide buitendijkhelften kunnen optreden [4]). De binnendijk heeft dan als „waterdicht schot" geen functie meer, maar zal, zelfs nog in versterkte mate, waarde bezitten als vluchtplaats voor mensen en vee. Bovendien vergemakkelijkt hij in hoge mate het herstel van de hoofdwaterkering. Indien men daarom zou overwegen, de versterking van de binnendijk als een extra-beveiliging te beschouwen, zònder de primaire beveiliging daarom te verminderen, dan zou men zich met betrekking tot de hoofdwaterkering niet meer in de economisch optimale toestand bevinden, maar minder dan $\frac{1}{4}$ meter daarboven. Volgens tabel 3.1.1 komt dan de „spijt" overeen met ongeveer 6 cm dijkverhoging, een zeer klein bedrag.

Tot slot willen wij nog de ongetwijfeld bij sommigen opkomende vraag bespreken, of de gevaren waartegen maatregelen als de genoemde een beveiliging zouden moeten zijn, niet volkomen denkbeeldig zijn, gezien de uiterst kleine overschrijdingskansen, die na de uitvoering van het Deltaplan en de voorgenomen versterkingen van de hoofdwaterkeringen elders in het land zullen overblijven. Wij vrezen, dat dit niet het geval is, want niet alleen bevinden wij ons met onze kansberekeningen aan de grenzen van wat de statistische methoden vermogen, maar bovendien hebben deze alleen betrekking op de gevaren van meteorologische en oceanografische oorsprong. In het Voorlopig Verslag, behorende bij de behandeling van het Ontwerp-Deltawet in de Tweede Kamer evenwel, is reeds de mogelijkheid van accidentele of opzettelijke beschadiging van onze waterkeringen in geval van oorlog ter sprake ge-

---

[1]) Volgens Lloyd ging in 1951 t/m 1955 van de wereldtonnage 0,27 % door scheepsrampen verloren; voor de Nederlandse vloot bedroeg dit percentage 0,15 % of 3.10^{-4} per jaar.

[2]) Als afkorting voor „door waterdichte schotten gescheiden compartimenten".

[3]) Behalve de aansluitingspunten aan de binnendijk.

[4]) Overigens is het niet uitgesloten, dat doorbraak van één der dijkhelften de kans op doorbraak van de andere dijkhelft vermindert.

bracht. Het heeft geen zin, aan de kansen op dergelijke eventualiteiten getallenwaarden toe te kennen, maar wel niemand is zo optimistisch om ze zo klein als de berekende kansen van 10^{-2} of 10^{-3} per eeuw te achten. En als zich deze mogelijkheid zou voordoen, zou ons land niet slechts alle gevaren delen, waaraan ook onze buurlanden blootstaan, maar daarenboven bestaat nog exclusief voor ons het gevaar, dat het schip, dat de Lage Landen vormen, ,,getorpedeerd" kan worden. Vandaar dat een weldoordacht systeem van primaire en secundaire keringen voor relatief lage kosten een beveiliging biedt tegen catastrofen, die wèl een kleine waarschijnlijkheid bezitten, maar geenszins hersenschimmig zijn.

5.2 Samenvatting en conclusies van 5.0

1. Ieder dijkgedeelte is verantwoordelijk voor het *gehele* gebied, dat bij doorbraak overstroomd zou worden.
2. In gevallen, waarin door de uitgebreidheid van de polder deze verantwoordelijkheid zeer groot wordt, kan men deze verminderen bijv. door bestaande binnendijken te versterken tot ,,waterdichte schotten", waardoor het poldergebied in afzonderlijke compartimenten verdeeld wordt.
3. Hoewel hierdoor, zuiver economisch bezien, de optimale hoogte van de hoofdwaterkeringen een iets lagere waarde krijgt, zou men in sommige gevallen toch kunnen overwegen, het aanleggen van deze ,,schotten" als een extra-versterking te beschouwen, daar deze tevens verschillende andere functies vervullen, bijv. een vluchtplaats te bieden voor mensen en vee, verbindingen te handhaven, die anders verloren zouden gaan, en het herstel der hoofdwaterkeringen te vergemakkelijken, terwijl het verschil met de economisch-optimale toestand betrekkelijk gering is.

6.0 DE INVLOED VAN IMPONDERABILIA

6.1 De waarde van mensenlevens en ideële goederen en de beheersing van de situatie

Toen Sir William Petty [9] in 1669 de omvang van het bezit van zijn koning trachtte te berekenen, bracht hij daarbij voor diens onderdanen £ 69 per hoofd in rekening. De meesten onzer evenwel stuit het tegen het gemoed de waarde van een mensenleven als aequivalent met een bepaald bedrag in geld te beschouwen. Indien men, zoals in een recente studie van Reynolds [13] in verband met de schaden, veroorzaakt door verkeersongelukken, is geschied, de *economische gevolgen* van het verlies van mensenlevens in geld tracht te waarderen, door deze bijv. te vereenzelvigen met de wiskundige verwachting van de contante waarde van de economische goederen, die zij bij voortleven nog zouden voortbrengen, verminderd met wat zij zouden verbruiken, dan vindt men dat dit bedrag bijv. voor pasgeboren meisjes, voor zeer bejaarden en voor vrouwen van bijna alle leeftijden negatief is. Het hoogste in genoemde studie gevonden bedrag, t.w. voor mannen tussen 15 en 20 jaar is £ 15 700 per hoofd. Voor vrouwen is dit voor dezelfde leeftijdsgroep £ 1288 [1]). Het behoeft wel geen betoog, dat een dergelijke berekening voor het huidige probleem, waar het beschermen van de bevolking en haar levensbehoeften tegen overstromingen hoofddoel is, geen aanvaardbare grondslag zou bieden.

In plaats van te trachten mensenlevens op zichzelf in geld te waarderen, zou men kunnen onderzoeken hoeveel de staat per hoofd van de bevolking uitgeeft om de bevolking te beschermen tegen andere gevaren, zoals verkeersongevallen, bedrijfsongevallen en dood door verdrinking. Het is wel zèker, dat deze bedragen in hoge mate uiteenlopen. In enkele gevallen, die sterk tot de publieke verbeelding spreken (een tragische en sterke emoties wekkende mijnramp, een kapitein, die zijn ondergaand schip niet wil verlaten, enkele onvoorzichtige, door een sneeuwstorm overvallen alpinisten, e.d.), worden grote bedragen aan reddingspogingen besteed. In verreweg de meeste gevallen evenwel, waarbij de openbare mening niet of nauwelijks in het geding komt, wordt verzuimd, soms zelfs geweigerd, betrekkelijk kleine bedragen uit te geven, waarmede verlies van mensenlevens zou kunnen worden voorkomen. Ook als men het bedrag tot uitgangspunt neemt, waarvoor het leven van hogere rijksambtenaren,

---

[1]) Reynolds' studie bevat geen gemiddelde voor de gehele bevolking. Wel kan op grond van zijn gegevens worden berekend, dat voor degenen, die aan verkeersongevallen zijn blootgesteld, dit bedrag bij een verdisconteringsfactor van 4 % per hoofd £ 3000 bedraagt.

die in dienst van het rijk per vliegtuig reizen, door het rijk verzekerd wordt, dan komt men nog tot weinig bruikbare resultaten. In de eerste plaats is dit bedrag niet een maat voor de waarde, die de staat aan het behoud van de levens van zijn ambtenaren hecht, maar een dekking tegen de aanspraken van nabestaanden. Bovendien echter is dit bedrag geen gemiddelde voor alle ambtenaren en nog minder voor alle burgers. Ook zullen slechts zeer enkelen zich kunnen veroorloven, hun *eigen* leven onder alle omstandigheden zo hoog te waarderen, door een levensverzekering af te sluiten met een gekapitaliseerde waarde van bijv. f 100 000,—. Anderzijds evenwel zou zèlfs een *gemiddelde* van f 100 000,— per hoofd nauwelijks enig effect hebben. Immers bij de stormramp 1953 zijn 1800 mensenlevens en een economische waarde van de orde van 1,5 miljard gulden verloren gegaan. Deze 1800 mensenlevens zouden tegen f 100 000,— per hoofd een bedrag van 180 miljoen vertegenwoordigen, dus de economische schade slechts met ruim 10% verhogen. Dit zou leiden tot een *extra*-dijkverhoging van nog $1{,}1 = 0{,}04$ decimeringshoogten of ongeveer 3 cm. Als men de door Reynolds aangegeven bedragen neemt, wordt dit zelfs nog minder. Nu is een extra-dijkverhoging van enkele centimeters ter bescherming van mensenlevens technisch zinledig, maar ook psychologisch onaanvaardbaar. Om al deze redenen is het ongewenst, in een geval als het huidige, waar een bewuste beslissing dienaangaande genomen moet worden, deze te baseren op een aan de huidige praktijk ontleend statistisch gemiddelde. Het is beter van een economische waardering van mensenlevens geheel af te zien en te trachten deze te zamen met andere, niet-economische waarden in aanmerking te nemen.

Voor culturele goederen immers geldt een gelijksoortige beschouwing.

Verder kan men er bezwaar tegen maken, dat schadeverwachting en investering in dijkbouw zonder meer zijn opgeteld. Indien men immers de keuze heeft een zelfde bedrag uit te geven, hetzij voor dijkbouw, hetzij voor vergoeding en herstel van rampschade, dan zal men ongetwijfeld aan het eerstgenoemde de voorkeur geven. Zelfs zal men bereid zijn *een veelvoud* van het bedrag uit te geven, dat door stormvloed verloren zou gaan, als men deze daarmede kan vermijden. Het verschil dient om een nauwelijks te overzien soort van „consequential loss" te voorkomen, welke bestaat uit de door een overstroming veroorzaakte desorganisatie van het maatschappelijk leven, de verhoogde kans op besmettelijke ziekten en de psychologische, sociale en economische „shock". Verder wordt door dit verschil rekening gehouden met de mogelijkheid, dat de ramp zou kunnen gebeuren juist op een ogenblik, waarop deze, politiek en economisch bezien, het meest ongelegen zou komen, en met de psychologische waarde van een gerechtvaardigde verhoging van het gevoel van veiligheid der bevolking. In het algemeen kan men zeggen, dat men bereid is dit extra-bedrag uit te geven omdat men de voorkeur geeft aan een beheerste toestand boven een niet beheerste, die bij een eventuele ramp zou ontstaan.

We zullen alle genoemde (en ook de hier niet besproken) niet-economische waarden samenvatten in een factor, waarmede de zuiver economisch te „beschermen waarde" moet worden vermenigvuldigd. Het bepalen van deze factor, die uiteraard groter dan één zal zijn, kan niet geschieden op mathematisch-statistische, technische of economische gronden, doch moet, mede vanwege het subjectieve element, dat hierin gelegen is, veeleer worden beschouwd als een handeling van beleid. Keuze van een enigszins grote waarde van deze factor kan ook gezien worden als een middel om te voorkomen, dat de economische overwegingen bij een beslissing van zo grote draagwijdte als de onderhavige een al te sterke nadruk krijgen. Zo wil het ons voorkomen, dat een factor 2 zeker niet te hoog zou zijn.

Om ten slotte nogmaals op het verlies van mensenlevens bij stormrampen terug te komen: de kans daarop is sinds 1953 reeds aanzienlijk verminderd, mede ten gevolge van een wezenlijk verbeterd waarschuwingssysteem. Het lijkt mogelijk, niet alleen te trachten dit systeem nog verder te verbeteren, doch eveneens *vooraf* te zorgen voor reddingsmiddelen [1]).

6.2 Samenvatting en conclusies van 6.0

1. Ten einde te vermijden, dat men de waarde van mensenlevens in geld zou moeten waarderen, is het beter, deze waarde niet afzonderlijk in aanmerking te nemen, doch te zamen met andere niet-economische waarden, zoals culturele goederen benevens de voordelen, gelegen in het beheersen van een

---

[1]) Ook hier dringt zich de analogie met een schip op: dààr is, ondanks de geringe frequentie van scheepsrampen, de aanwezigheid en onmiddellijke beschikbaarheid van een reddingsboei en een plaats in een reddingsboot voor iedere passagier een wettelijke verplichting.

situatie boven de niet te beheersen situatie, die bij een ramp zou kunnen ontstaan. Men kan dit doen door de te beschermen zuiver economische waarde met een factor te vermenigvuldigen.

2. De grootte van deze factor kan niet op mathematisch-statistische, economische of technische gronden geschieden, doch moet veeleer als een handeling van beleid worden beschouwd.

7.0 DE VEILIGHEID VAN CENTRAAL-HOLLAND

7.1 Toepassing van de in 4.0 afgeleide formules op Centraal-Holland

We passen nu de voorafgaande beschouwingen toe op Centraal-Holland. Daaronder verstaan we het gebied, begrensd door de Noordzee, de Rotterdamse Waterweg, de Nieuwe Maas, de Lek, het Amsterdam–Rijnkanaal, het IJ en het Noordzeekanaal. Hoewel het uit vele afzonderlijke polders bestaat, is het in wezen één enkel bekken. Aan de westzijde is het beschermd door de duinenreeks, een „Maginotlinie", die door de zee, behalve op enkele punten, nauwelijks doorbroken, maar wel omtrokken kan worden.

De *statistische constanten* zijn vrij goed bekend; de waarden voor Hoek van Holland kunnen voor de gehele zeekust gebruikt worden en de waarden verder landinwaarts kunnen daaruit worden afgeleid. We kunnen aannemen, dat deze reductie tot de hoogte van de zeespiegel te Hoek van Holland heeft plaats gehad en uitsluitend deze laatste in onze berekeningen opnemen. Het *kritieke peil* kon vóór de voltooiing van de stormvloedstuw in de Hollandse IJssel worden gelijkgesteld aan het peil van de februari-stormvloed, t.w. N.A.P. + 3,85 m; de overschrijdingskans daarvan is 0,45 (of 45%) per eeuw. De vraag hoe hoog het tegenwoordige kritieke peil is, na de afsluiting dus van de Hollandse IJssel, is niet gemakkelijk te beantwoorden. Men kan deze vraag echter vermijden door er van uit te gaan, dat de dijk in ieder geval verhoogd zal worden tot het door de Deltacommissie aangegeven „basispeil", hetwelk volgens de oorspronkelijke schattingen N.A.P. + 5,00 m bedroeg. De kosten van de verhoging tot dit peil worden nu beschouwd als de „initiële kosten". Deze methode is gerechtvaardigd, aangezien zal blijken dat de optimale hoogte van de dijken boven N.A.P. + 5,00 m komt te liggen.

Voor de zuidelijke verdedigingslinie Kijkduin–Rotterdamse Waterweg–Krimpen aan de IJssel bedragen *de kosten van verhoging* tot het peil van N.A.P. + 5,00 m volgens een mededeling van VAN VEEN van de Rijkswaterstaat en volgens een rapport van BISCHOFF VAN HEEMSKERCK [2] ongeveer 110 miljoen gulden. Bij verhoging boven N.A.P. + 5,00 m is de kostenkromme ongeveer rechtlijnig, d.w.z. de extra-kosten van verhoging boven basispeil zijn met de extra-verhoging evenredig en bedragen 40 miljoen gulden voor één meter. (Beneden het peil van N.A.P. + 5,00 m is de kostenkromme niet de rechtlijnige voortzetting van het stuk boven N.A.P. + 5,00 m).

De geringe nauwkeurigheid, waarmede de *geologische* constante, de relatieve bodemdaling bekend is, stoort de berekeningen niet, indien op de in 4.0 beschreven wijze de dijkregeneratie met korte perioden roulerend wordt uitgevoerd.

De *nationaal-economische* constanten zijn de gereduceerde rentevoet en het „verzekerde bedrag" is de schade, die bij doorbraak zou worden geleden. Overeenkomstig 4.1.1 zullen we voor de gereduceerde rentevoet $1\frac{1}{2}\%$ per jaar kiezen.

Ten aanzien van de grootte van het „te verzekeren" bedrag zijn verschillende opvattingen mogelijk. Zoals in de schadeverzekering veel gedaan wordt en in overeenstemming met 3.0 en 4.0 zullen we alleen met een „total loss" van de op laaggelegen gronden aanwezige goederen rekenen. De wijzigingen, die voortvloeien uit de zeer moeilijk te schatten kansen, dat bij dijkdoorbraak een deel van de „inboedel" behouden blijft of niet geheel zijn waarde verliest, laten wij buiten beschouwing.

In verband met de grote bedragen die ter discussie staan, is het nuttig de op vele andere gebieden internationaal genormaliseerde benamingen voor decimale eenheden ook in de economie te gebruiken. Overeenkomstig bijv. 1 cm = 1 centimeter = $\frac{1}{100}$ meter en 1 kg = 1 kilogram = 1000 gram stellen wij dus voor, ook te zeggen : 1 cf = 1 centigulden = 1 cent en 1 kf = 1 kilogulden = f1000. In het bijzonder zullen we gebruiken: 1 Mf = 1 megagulden [1]) = een miljoen gulden, en 1 Gf = 1 gigagulden [1]) = een miljard gulden, waarbij we ter verdere afkorting het symbool f weglaten.

[1]) Grieks: megas = groot; gigas = reus, gigant.

Dus bijv. 1,42 M = 1,42 Mf = f 1 420 000,
2,13 G = 2130 M = 2,13 Gf = f 2 130 000 000.

Het ligt voor de hand, bij de bepaling van de te beschermen waarde uit te gaan van de in Centraal-Holland geïnvesteerde kapitaalgoederenvoorraad, vermeerderd met de bij particulieren aanwezige duurzame consumptiegoederen. Het Centraal Bureau voor de Statistiek (C.B.S.) heeft hiervan een schatting gemaakt, speciaal voor de studies in het kader van de werkzaamheden der Deltacommissie. Volgens globale ramingen was het genoemde bedrag voor Centraal-Holland eind 1952 ongeveer 24,2 miljard gulden. Hierin zijn dus het door de overheid in dit gebied belegde kapitaal en de duurzame consumptiegoederen wel begrepen, doch de waarde van spoor- en tramwegen, lucht- en scheepvaart nog niet, aangezien deze om technische redenen niet voor een bepaald gebied afzonderlijk berekend konden worden. Een deel van deze investeringen bevindt zich op hooggelegen gronden en wordt dus door een overstroming niet rechtstreeks getroffen. Hoe groot dit gedeelte is, kan zonder diepgaand onderzoek moeilijk worden geschat, maar het is in ieder geval vrij klein.

Anderzijds moet het bedrag van 24,2 G nog worden vermeerderd met de schaden ten gevolge van produktiederving om de te beschermen zuiver economische waarde te vinden.

Na de stormramp van 1953 gelukte het door een uiterste krachtsinspanning, gesteund door een ongewoon gunstige economische en politieke situatie en belangeloze buitenlandse hulp, de dijken nog in hetzelfde jaar te dichten. De produktie kon echter eerst veel langzamer weer op gang komen. Indien een soortgelijke ramp zich in Centraal-Holland zou voordoen, ware het wel zeer optimistisch, te verwachten, dat de produktie na bijv. 3 jaren weer geheel of grotendeels hersteld zou zijn, daar de produktiemiddelen, die in 1953 het snelle herstel mogelijk maakten, voor een aanzienlijk deel juist in Centraal-Holland zijn gelegen en dus mede verloren zouden gaan.

Het uit Centraal-Holland afkomstige deel van het nationaal inkomen is door het C.B.S. voor 1952 op ongeveer 6,8 G geraamd. Dit bedrag kan echter niet volledig in rekening worden gebracht, zelfs niet voor het eerste jaar na de ramp, omdat een deel van de bevolking elders in het land werk zou kunnen vinden en zodoende daar tot de produktie zou bijdragen. Vermoedelijk zou de uit deze overweging vereiste correctie echter verre worden overgecompenseerd door derving van produktie buiten Centraal-Holland, die afhankelijk is van wegvallende produktie in Centraal-Holland.

De op de aangegeven wijze af te leiden te beschermen economische waarde moet nog worden vermenigvuldigd met de in 6.0 besproken factor voor de niet-economische waarden. Daar het nauwelijks mogelijk is, de waarde van de verhogende factoren (produktiederving in en buiten Centraal-Holland, niet-economische waarden) en de waarde van de verlagende factoren (gedeeltelijk behoud van goederen in hooggelegen delen en gedeeltelijk behoud van de produktiviteit van de bevolking) tegen elkaar af te wegen, zullen wij eenvoudigheidshalve de berekeningen geven, zoals deze zouden moeten zijn, indien de genoemde factoren elkaar juist zouden opheffen. Men moet vermoedelijk wel aannemen, dat dit een lage, dus optimistische schatting van de mogelijke rampschade inhoudt.

Samenvattende hebben wij dus:

Statistisch:	kritiek peil vóór afsluiting Hollandse IJssel N.A.P. + 3,85 m [1]); overschrijdingskans per eeuw: $P_0 = 0{,}45$; overschrijdingskans per eeuw van het peil van N.A.P. + 5,00 m: $P_0 = 0{,}015$; $\alpha = 2{,}97$; halveringshoogte $a_2 = 0{,}23$ m.
Dijkbouwkosten:	verhoging tot het peil van N.A.P. + 5,00 m: $I_0 = 110$ M $= 0{,}11$ G; kosten per meter vanaf het peil van N.A.P. + 5,00 m: $I' = 40$ M $= 0{,}04$ G.
Nationaal-economisch:	$\delta' = 1{,}5$ % per jaar; $W = 24{,}2$ G.
Geologisch:	η wordt verwaarloosd wegens periodieke regeneratie.

[1]) Wanneer men, zoals in het rapport van BISCHOFF VAN HEEMSKERCK [2] gebeurt, er van uitgaat dat het kritieke peil N.A.P. + 4,25 m bedraagt, dan beïnvloedt dit het optimale kritieke peil niet, aangezien bij de berekeningen van een initiële verhoging tot N.A.P. + 5,00 m wordt uitgegaan.

Wanneer men uitgaat van een initiële verhoging van het kritieke peil tot N.A.P. + 5,00 m, dan is na die verhoging de schadeverwachting per jaar $p\,(5{,}00)\,.\,W = 0{,}00015\,.\,24{,}2$ G $= 0{,}00363$ G $= 3{,}63$ M en de totale verdisconteerde schadeverwachting $\frac{0{,}015\,.\,24{,}2}{1{,}5}$ G $= 0{,}242$ G. De nepereringskosten, dat zijn de kosten van dijkverhoging met ongeveer $\frac{1}{3}$ meter, bedragen 0,0135 G = 13,5 M en de gereduceerde rente daarvan is 0,015 . 13,5 M = 0,20 M per jaar of 20 M = 0,020 G per eeuw.

We passen nu de Regels II t/m V uit 4.2 toe, waarbij we uitgaan van een kritieke dijkhoogte van N.A.P. + 5,00 m en de bodemdaling η verwaarlozen. We vinden dan:

Regel II Rampschadeverwachting na optimale dijkverhoging = nepereringskosten = 13,5 M.

Regel III Overschrijdingskans per jaar na optimale dijkverhoging $= \frac{\text{nepereringsrente per jaar}}{\text{te beschermen waarde}} = \frac{0{,}20\ \text{M}}{24{,}2\ \text{G}} \,.\, 8.10^{-6}$, of 0,0008 per eeuw.

Regel IV Veiligheidsfactor der optimale verhoging boven N.A.P. + 5,00 m = $\frac{\text{rampschadeverwachting per jaar bij N.A.P.} + 5{,}00\ \text{m}}{\text{nepereringsrente per jaar}} = 18.$

Regel V Optimale verhoging, uitgedrukt in nepereringshoogten = de natuurlijke logaritme van $\frac{\text{rampschadeverwachting per jaar bij N.A.P.} + 5{,}00\ \text{m}}{\text{nepereringsrente per jaar}} = 2{,}9.$

De optimale verhoging boven N.A.P. + 5,00 m bedraagt dus omstreeks één meter.

Wij moeten nog controleren of ook aan Regel I van 4.2 is voldaan. Wederom kosten van verhoging van het kritieke peil tot N.A.P. + 5,00 m „initieel" noemende, vinden wij, dat

$$\frac{\text{totale dijkverhogingskosten}}{\text{nepereringskosten}} = \frac{110 + 40}{13{,}5} = 11{,}1$$

kleiner moet zijn dan de met één verminderde veiligheidsfactor. Helaas kan deze veiligheidsfactor niet exact berekend worden, aangezien de overschrijdingskans na de afsluiting van de Hollandse IJssel niet bekend is. Het is echter wel zeker, dat deze veiligheidsfactor vele malen groter is dan 11,1[1]), zodat aan de gestelde eis ruimschoots is voldaan.

Resumerende dus: Indien de te beschermen waarde 24,2 G bedraagt, is het optimale kritieke peil N.A.P. + 6 m; de overschrijdingskans daarvan per jaar is 8.10^{-6} of 0,0008 per eeuw. De overblijvende verdisconteerde schadeverwachting is 13,5 M en de totale dijkbouwkosten bedragen 150 M.

De boven gevonden optimale hoogte van N.A.P. + 6 m is wel zeer hoog, te meer daar deze niet de kruinhoogte, maar het kritieke peil te Hoek van Holland voorstelt, waaruit de kruinhoogte, na omrekening op het plaatselijke kritieke peil wordt verkregen door er nog de waakhoogte bij op te tellen.

Deze optimale hoogte zou zelfs nog groter worden, zo de te beschermen waarde hoger, dus de rampschadeverwachting minder optimistisch zou moeten worden geschat. Algemeen geformuleerd kan men stellen, dat iedere factor 2 waarmee de te beschermen waarde wordt vermenigvuldigd, een verhoging van het optimale kritieke peil met één halveringshoogte, dus 0,23 m ten gevolge heeft.

Evenwel hangt de hoogte, welke men uiteindelijk aan de zuidelijke hoofdwaterkering zal geven, niet alleen af van de schatting van de te beschermen economische waarde en de grootte, die men aan de factor voor niet-economische waarden toekent. Immers, zeer grote verhogingen worden veeleer bepaald door technische mogelijkheden dan op grond van economische overwegingen.

Wij wenden ons thans tot de discussie van het probleem, verbonden aan de plaatsen, waar mogelijk „bressen" in de „Maginotlinie" zèlf zouden kunnen ontstaan, dus aan de kustverdediging tegen de zee. Dergelijke plaatsen zouden bijvoorbeeld Scheveningen, Katwijk en IJmuiden kunnen zijn. Een doorbraak aldaar heeft weliswaar reeds thans een kleine kans, maar deze is met het oog op het belang

[1]) Dit volgt reeds uit het feit dat zelfs de met één verminderde veiligheidsfactor boven N.A.P. + 5,00 m, dat is 19, groter is dan 11,1. Wanneer men er van uitgaat, dat na de afsluiting het kritieke peil N.A.P. + 4,25 m (de door BISCHOFF VAN HEEMSKERCK gebruikte waarde voor het tegenwoordige kritieke peil) bedraagt, dan zou men voor de veiligheidsfactor vinden $e^{2{,}97\,(6-4{,}25)}$. 180.

van het daarachter gelegen gebied niet te verwaarlozen. Immers *ieder* van deze punten is, evenals de zuidelijke hoofdwaterkering „verantwoordelijk" voor *geheel* Centraal-Holland.

Natuurlijk is het niet mogelijk, met enige zekerheid te voorspellen, welke gevolgen een doorbraak, bijv. bij Katwijk, zou hebben, maar men kan wel trachten zich de mogelijke economische gevolgen van een dergelijke catastrofe voor te stellen. Daartoe nemen wij aan, dat aldaar tijdens een extreem hoge waterstand een doorbraak zou ontstaan, die niet onmiddellijk gedicht zou kunnen worden.

Het mag bekend worden ondersteld, dat Centraal-Holland, met uitzondering van de kuststreek, een bekken is, naar grootte en diepte vergelijkbaar met de voormalige Zuiderzee. Het is niet in waterdichte compartimenten verdeeld; behoudens een enkele uitzondering ligt geen der binnendijken tussen de kust en het Amsterdam–Rijnkanaal hoger dan enkele decimeters boven N.A.P. Hun niveau zou dus meermalen per week worden overschreden. Om ze zelfs maar tot jaarpeil te brengen, zou een verhoging van omstreeks twee meter nodig zijn. Indien dus bij Katwijk een doorbraak zou ontstaan, die niet binnen zeer korte tijd gedicht zou kunnen worden, zou men er niet op mogen rekenen enig beneden N.A.P. gelegen deel van Centraal-Holland duurzaam te kunnen behouden.

Bij een eventuele overstroming zou dus een binnenmeer ontstaan waartoe de getijdestromingen, zij het aanvankelijk over een front van beperkte breedte, vrije toegang zouden hebben, op de duur vernielende wat aan technische werken oorspronkelijk nog overgebleven zou zijn. Alle hoofdverkeerswegen en grote delen der spoorwegen liggen laag en zouden na korte tijd onbruikbaar zijn. Alleen de boven N.A.P. liggende binnendijken zouden althans gedeeltelijk overblijven.

Er zou dus een waterstaatkundig probleem ontstaan, dat naar omvang en moeilijkheid dat van de drooglegging der Zuiderzee nabijkwam, terwijl de produktiemiddelen voor de uitvoering er van grotendeels verstoord waren, zodat buitenlandse hulp onontbeerlijk zou zijn. Of andere landen bereid en in staat zouden zijn, deze hulp te bieden, zou van de internationale economische en politieke toestand afhangen.

Bij het overwegen van de gevolgen, die een nieuwe stormramp zou kunnen hebben, moet ook worden bedacht, dat reeds na het bombardement van Walcheren in 1944 en vervolgens nogmaals na de stormramp van 1953 sommige buitenlandse economen de vraag hebben opgeworpen of het economisch wel verantwoord was, de verdronken grond terug te winnen. Bij een nieuwe stormramp zou deze vraag ongetwijfeld met meer klem worden gesteld en als wij voor het terugwinnen van het land op buitenlandse hulp zouden zijn aangewezen, zou vermoedelijk van sommige zijden worden betoogd, dat het duizend jaar oude experiment van een aan zee grenzend land beneden zeeniveau dan wel als definitief mislukt zou moeten worden beschouwd. Wij zouden dan een zeer krachtige en overtuigende argumentatie moeten bezitten, om deze opvatting te weerleggen. Met andere woorden: indien een nieuwe ernstige stormramp zou optreden, zou de mogelijkheid niet buiten beschouwing kunnen blijven, dat wij genoodzaakt zouden zijn, het verdronken land volledig te abandonneren, hetgeen een directe bedreiging van ons volksbestaan zou inhouden. Daarbij zou de vraag primair zijn, welke waarde wij zèlf blijkens onze daden aan het behoud daarvan toekennen.

Met het oog op het feit, dat de onderbrekingen in de duinenreeks bij Scheveningen, Katwijk en IJmuiden elk voor zich verantwoordelijk zijn voor gehéél Centraal-Holland, zal men dus de kwetsbaarheid dezer plaatsen wensen op te heffen.

De vraag, welke de optimale kritieke hoogte voor deze plekken is, kunnen wij thans niet beantwoorden, daar wij niet over de daartoe benodigde gegevens beschikken. Echter is door vergelijking met de voor de zuidelijke waterkering gevonden waarde ook zonder preciese berekening wel duidelijk, dat deze optimale hoogte zéér hoog zal zijn. Immers de investeringskosten zullen, waar het hier slechts korte afstanden betreft, uiterst laag zijn [1]) in vergelijking met de te beschermen waarde.

Zowel de bij onze bespreking over de beveiliging van Centraal-Holland aan de zuidzijde gevonden zeer grote optimale dijkverhoging als de gevolgen van een mogelijke bres in de „Maginotlinie" leiden er toe, te overwegen of de in 5.0 genoemde „compartimentenmethode" op Centraal-Holland zou kunnen worden toegepast.

In de eerste plaats kan men zich afvragen, of het niet mogelijk ware de Hoge Rijndijk van Katwijk naar Utrecht tot een „waterdicht schot" te bewerken en of het daartoe benodigde bedrag niet klein

---

[1]) Volgens voorlopige schattingen van de Rijkswaterstaat zouden de totale kosten van dijkverhoging voor alle drie bressen te zamen zeker aanzienlijk minder dan 0,1 G bedragen.

zou zijn in verhouding tot de schadevermindering, die daaruit in geval van een ramp zou voortvloeien.

Zonder ons in de waterstaatkundige mogelijkheden te begeven, welker beoordeling buiten onze competentie ligt, kunnen wij in ieder geval opmerken, dat door zulk een bewerking, zo deze mogelijk mocht blijken te zijn, in geval van een doorbraak hetzij in het zuidelijk deel (Rotterdamse Waterweg, Scheveningen), hetzij in het noordelijk deel (IJmuiden) het getroffen gebied ongeveer gehalveerd zou worden. Hierdoor zou dus de verantwoordelijkheid van de zuidelijke verdedigingslinie tot omstreeks de helft verminderd worden, waardoor de optimale kritieke hoogte circa $\frac{1}{4}$ m lager, dus circa N.A.P. + 5,75 m zou worden. De kosten van het „waterdicht" maken van de Hoge Rijndijk zijn hierbij niet in aanmerking genomen, omdat deze dijk naast zijn functie als „waterdicht schot" nog andere, nauwelijks minder belangrijke functies zou vervullen. In de eerste plaats immers zou deze dijk bij een eventuele ramp als vluchtplaats van groot belang zijn en in de tweede plaats zou een goede weg op deze dijk, die bij een ramp zou blijven bestaan, onschatbare waarde bezitten als hoog gelegen verbindingsweg met de kuststrook. Zou men de dijk zowel op de duinen ten noorden als op die ten zuiden van Katwijk „waterdicht" aansluiten, dan zou bovendien een bres bij Katwijk afgegrendeld worden.

Aangezien ook na het waterdicht maken van de Hoge Rijndijk de zuidelijke verdedigingslinie nog een zeer grote verantwoordelijkheid behoudt, zou men kunnen overwegen of Centraal-Holland niet nog verder in kleinere compartimenten verdeeld zou kunnen worden. Hierdoor zou de verantwoordelijkheid van de zuidelijke dijken opnieuw aanzienlijk verminderd worden, waardoor de optimale kritieke hoogte beneden N.A.P. + 5,75 m zou komen te liggen. Een optimale kritieke hoogte van circa N.A.P. + 5,25 m zou men bereiken, indien men het aan de Rotterdamse Waterweg grenzende „compartiment" tot circa 1/10 van geheel Centraal-Holland zou kunnen beperken.

7.2 Samenvatting en conclusies van 7.0

1. Onder Centraal-Holland verstaan we het gebied, begrensd door de Noordzee, de Rotterdamse Waterweg, de Nieuwe Maas, de Lek, het Amsterdam–Rijnkanaal, het IJ en het Noordzeekanaal.
2. Dit gebied wordt beschermd door een duinenreeks met slechts enkele enigszins kwetsbare plaatsen in het westen, benevens de Hoge Maasdijk in het zuiden.
3. Bij het bepalen van de optimale kritieke hoogte van de zuidelijke verdedigingslinie is van de volgende gegevens uitgegaan:
   a. Verhoging van het kritieke peil tot N.A.P. + 5,00 m kost 110 M.
   b. De kosten van verhoging boven N.A.P. + 5,00 m bedragen 40 M per m.
   c. De gereduceerde rentevoet bedraagt 1,5 %.
   d. Het in dit gebied geïnvesteerde nationale vermogen à 24,2 G is eenvoudigheidshalve als te beschermen waarde beschouwd. Dit is juist, indien de dit bedrag verhogende factoren (produktiederving in en buiten Centraal-Holland, niet-economische waarden) tegen de dit bedrag verlagende factoren (gedeeltelijk behoud van goederen in hoog gelegen delen en gedeeltelijk behoud van de produktiviteit van de bevolking) wegvallen.
4. Na optimale dijkverhoging bedraagt de (totale verdisconteerde) rampschadeverwachting 13,5 M = 0,0135 G.
5. Na optimale dijkverhoging bedraagt de overschrijdingskans per jaar 8.10^{-6} of 0,0008 per eeuw.
6. De optimale dijkverhoging boven N.A.P. + 5 m bedraagt 2,9 nepereringshoogten, dat is ongeveer één meter, waardoor het optimale kritieke peil N.A.P. + 6 m bedraagt.
7. De totale dijkbouwkosten zijn 110 + 40 = 150 M.
8. De keuze tussen geen dijkverhoging en optimale verhoging valt ruimschoots ten gunste van de laatste uit.
9. De zeer grote verantwoordelijkheid van de zuidelijke verdedigingslinie kan belangrijk worden verminderd door Centraal-Holland door middel van „waterdichte schotten" te verdelen in een aantal compartimenten. Hierdoor zou de optimale kritieke hoogte een wezenlijk lagere waarde aannemen.

10. In vergelijking met de catastrofale gevolgen, die een mogelijke doorbraak van een der enigszins kwetsbare plekken in de duinenreeks zou hebben, en de daarin gelegen bedreiging van ons volksbestaan is het bedrag, benodigd om deze kwetsbaarheid op te heffen, welhaast verwaarloosbaar klein.

8.0 DE ECONOMISCHE ACHTERGROND VAN HET DELTAPLAN

8.1 Algemeen gedeelte

Het kan niet onze taak worden geacht, op de basis van de vorenstaande beschouwingen de economie van het Deltaplan te onderzoeken.

Immers TINBERGEN heeft reeds zulk een onderzoek verricht en zijn „Economische balans van het Deltaplan" was in het Ontwerp-Deltawet opgenomen [1]). Voorts hebben eerst de Deltacommissie in haar Derde en Vijfde Interimadvies [2]), vervolgens de regering in haar Ontwerp-Deltawet en ten slotte de Staten-Generaal zich ten gunste van het Deltaplan uitgesproken. Ook de Deltacommissie, de regering en de volksvertegenwoordiging hebben aan de economische aspecten van het Deltaplan alle aandacht besteed, zonder deze echter primair te stellen. In alle instanties is de opvatting gehuldigd, dat men niet naar een goedkoopste, dat is economisch optimale oplossing moest streven, maar dat de mogelijkheid, een bijkans volmaakte graad van veiligheid voor het deltagebied te bereiken, een economisch offer waard is.

Daar dus het Nederlandse volk bij monde van regering en parlement zijn beslissing heeft genomen, bestaat er in deze geen besliskundig probleem meer. Wij kunnen ons dus van de taak, onze in de vooraf-gaande hoofdstukken ontwikkelde theoretische beschouwingen en methoden op het Deltaplan zelve toe te passen, ontheven achten.

Desondanks komt het ons zinvol voor, ook op grond van de in deze bijdrage gevolgde methoden, de economische aspecten van het Deltaplan nader te beschouwen.

In de eerste plaats moet dan opgemerkt worden, dat de problemen, verband houdende met de beveiliging van het deltagebied, waaronder wij verstaan het gebied, begrensd door de Westerschelde in het zuiden, de Rotterdamse Waterweg, de Nieuwe Maas en de Lek in het noorden, de Noordzee in het westen en de hoger gelegen delen van Noord-Brabant in het oosten, ons aan de grenzen van de toepasbaarheid en de bruikbaarheid der wiskundig-economische beslissingsmethoden brengen. De moeilijkheden zijn niet zo zeer van wiskundige aard. Hoewel het deltagebied zeer sterk afwijkt van het in 3.0 en 4.0 behandelde model van een enkelvoudige polder, laat de wiskundige theorie daarvan zich zonder grote moeilijkheden tot een gecompliceerd polderstelsel, zoals het deltagebied, uitbreiden. Voor de toepassing van deze uitgebreide theorie op het bepalen van de optimale oplossing voor de beveiliging van het deltagebied zou het evenwel nodig zijn, een groot aantal gegevens aanzienlijk nauwkeuriger te kennen dan op het ogenblik het geval is. Wij willen er daarom nogmaals op wijzen, dat de hieronder vermelde waarden slechts dienen om althans enig globaal inzicht te krijgen in de bedragen, die mogelijk in aanmerking komen.

In TINBERGEN's economische balans komt een „sluitpost ten laste van de veiligheid en (andere) imponderabele voordelen" voor, welke aldaar op 1,1 miljard gulden wordt gesteld. In deze balans wordt hetzelfde gebied beschouwd als hierboven omschreven is. Alleen is bij de batenzijde nog een voordeel voor het gebied ten noorden van de Rotterdamse Waterweg opgenomen, namelijk de verzoeting van het Westland, welke een gevolg is van de werken ten zuiden van de Rotterdamse Waterweg. De kosten van verhoging van de dijken langs de noordelijke oever van de Westerschelde zijn reeds in de balans opgenomen, terwijl de kosten van verhoging van de dijken langs de noordelijke oever van de Rotterdamse Waterweg niet zijn berekend. Als sluitpost ten laste van de beveiliging van het deltagebied kan dus inderdaad het bedrag van 1,1 G gebruikt worden.

In 8.2 wordt met behulp van de uitgebreidere theorie afgeleid onder welke voorwaarden de baten van het Deltaplan de lasten te boven gaan. Indien men behalve van de sluitpost à 1,1 G uitgaat van een gereduceerde rentevoet van 2,5 % en voor de andere constanten waarden invult, die volgens de nu

[1]) Zie o.a. Bijdrage VI.
[2]) Zie ook deel I.

beschikbare kennis redelijke schattingen vormen, dan blijkt de aanvaarding van het Deltaplan te impliceren, dat de in het deltagebied te beschermen waarde 6,5 G of meer bedraagt.

Ook voor dit gebied heeft het C.B.S. ten behoeve van de werkzaamheden in het kader van het Rapport Deltacommissie een globale schatting gemaakt van de aldaar aanwezige kapitaalgoederenvoorraad, vermeerderd met de duurzame consumptiegoederen; dit totale bedrag zullen wij kortweg het regionaal vermogen noemen. Met inbegrip van overheidsbezit en duurzame consumptiegoederen, doch zonder de waarde van spoor- en tramwegen, lucht- en scheepvaart raamde men dit regionaal vermogen voor eind 1952 op 4,3 miljard gulden of 4,3 G. Het „regionaal inkomen", dus het uit het beschouwde gebied afkomstige deel van het nationaal inkomen bedroeg volgens dezelfde bron in 1952 ongeveer 0,7 G.

Indien men dus zou moeten aannemen, dat bij een stormramp het regionaal vermogen benevens het regionaal inkomen gedurende één of twee jaar *volledig* verloren zou gaan, zou de schade 5,0 G, resp. 5,7 G bedragen. Met in acht nemen van een factor 2 voor niet-materiële waarden als in 6.0 zou dan de totale verdisconteerde schadeverwachting aanzienlijk groter zijn dan 6,5 G.

In tegenstelling tot Centraal-Holland evenwel is voor het deltagebied de onderstelling van een volledig verlies moeilijk te handhaven. Men moet hier rekening houden met een grotere kans, dat een vrij aanzienlijk deel van het regionaal vermogen niet verloren zou gaan, terwijl, mede ten gevolge van de zoveel geringere repercussies op de produktie in de rest van het land ten gevolge van tewerkstelling elders van de bevolking, ook een vrij groot deel van het regionaal inkomen na een betrekkelijk korte overgangsperiode behouden zou kunnen blijven. Voor de te beschermen zuiver economische waarde in het deltagebied moet daardoor een wezenlijk lager bedrag dan 5,0 G, resp. 5,7 G aanvaard worden.

Anderzijds moet opgemerkt worden, dat de beveiligende werking van het Deltaplan zich niet beperkt tot het deltagebied, doch dat ook delen van Centraal-Holland na de uitvoering van dit plan een wezenlijk kleinere kans op rampschade krijgen. Het zou derhalve zeker gerechtvaardigd zijn, zowel het regionaal vermogen als het regionaal inkomen van het deltagebied te vermeerderen met een deel van het regionaal vermogen, respectievelijk het regionaal inkomen van Centraal-Holland. De te beschermen waarde zou hierdoor met een aanzienlijk bedrag worden vermeerderd. Indien bij voorbeeld (zonder de minste pretentie, dat deze de juiste getallen zijn) voor het deltagebied $\frac{2}{3}$ van het bedrag van (4,3 + 0,7) G in rekening moet worden gebracht en voor Centraal-Holland 10 % van (24,2 + 6,8) G, dan zou de te beschermen zuiver economische waarde reeds ongeveer 6,5 G bedragen.

Zou men behalve $\frac{2}{3}$ van de in het deltagebied te beschermen waarde 20 % van de in Centraal-Holland te beschermen waarde in rekening brengen, dan zou in ieder geval de vereiste waarde van 6,5 G verre worden overtroffen.

Bovendien zijn de bijkomende voordelen, zoals TINBERGEN zelf eveneens vermeldt, met de in zijn balans opgenomen posten niet volledig uitgeput. De belangrijkste niet opgenomen post is de volgende.

De in het deltagebied te beschermen waarde is berekend op grond van een belangrijk hogere gereduceerde rentevoet dan de voor Centraal-Holland gebruikte. Dit was noodzakelijk wegens de kleinere expansie-coëfficiënt (vergelijk het citaat uit de brief van DE WOLFF in 4.1). Evenwel is de „waarde" van het betrokken gebied en met name de waardevermeerdering niet een eens en voor al gegeven grootheid. Deze hangt zelf namelijk weer af van de beslissing over de beveiligingsgraad. Zonder dit kwantitatief te preciseren, kunnen wij immers toch wel inzien, dat een relatief weinig beveiligd gebied op de duur in vergelijking met de rest van het land in waarde moet achterblijven, terwijl een voortreffelijk beveiligd en bij het moderne verkeersnet aangesloten gebied aantrekkelijk voor nieuwe investeringen is en dus sneller in waarde toeneemt.

Uit deze overweging volgt, indien de gegeven schattingen tenminste juist zijn, dat het deel van de kosten, dat ten laste van de veiligheid zèlve komt, met 1,1 G vermoedelijk hoog geschat is.

Indien de door ons bij wijze van voorbeeld gegeven getallen voor de te beschermen waarde en de sluitpost ten laste van de veiligheid niet al te veel mochten afwijken van de werkelijke waarden, dan zou de uitvoering van het Deltaplan reeds op zuiver economische gronden alleen, zonder een beroep op imponderabilia en gevoelsoverwegingen, gerechtvaardigd zijn.

Indien daarentegen mocht blijken, dat de aanvaarding van het Deltaplan impliceert, dat de in het deltagebied te beschermen waarde aanmerkelijk hoger zou zijn dan de genoemde 6,5 G, en wel zoveel, dat de in 6.0 genoemde factor voor niet-economische waarden onredelijk groot gekozen zou moeten worden, dan zou dit betekenen, dat de aan het deltagebied toegekende waarde op de basis van regionaal vermogen en regionaal inkomen alléén niet kan worden afgeleid. Mocht dit inderdaad het geval zijn, dan rijst een probleem van geheel andere aard.

De vraag, waarop wij doelen, luidt: welke waarde kennen wij toe aan het bezit of het behoud van een bepaald gedeelte van ons land?

Indien men de te beschermen waarde van een bepaalde landstreek, materiële zowel als immateriële, kent, dan kan men nagaan of het, zuiver economisch bezien, aanvaardbaar is, deze streek tegen bepaalde rampen te beschermen. Wanneer men tot bescherming besluit, dan kan met behulp van de in de voorafgaande hoofdstukken ontwikkelde methoden berekend worden, welke investering voor bescherming tegen bepaalde rampschadekansen de optimale is. Dat daarbij in het geval van het deltagebied naast de vroeger reeds genoemde onzekerheden nog een aantal andere optreden, moge voor een concrete numerieke berekening zeer hinderlijk zijn, maar aan de principiële aspecten van het vraagstuk doet dit weinig afbreuk. Omgekeerd echter kunnen wij ook uit het feit, dat de beslissing, een bepaald bedrag voor deze bescherming te investeren, genomen is, een raming afleiden van de waarde, die wij *ten minste* aan het betrokken gebied toekennen. Zoals gezegd, behoort deze afleiding strikt genomen niet meer tot de besliskunde. Het probleem zou veeleer enigszins analoog zijn aan de wijze, waarop in de theoretische economie de leer van het consumentengedrag wordt geformuleerd. In casu is het dan het gedrag van het Nederlandse volk als „consument van beveiligingsplannen", dat wordt onderzocht. Dat wij dit onderzoek op de genomen beslissing baseren, is geheel in overeenstemming met de opvatting, die door de meeste economen wordt aanvaard, inhoudende dat de „waarde" die een goed voor iemand heeft, wordt afgelezen uit zijn handelingen, met name uit de bedragen, die hij bereid is voor het verwerven of behouden er van uit te geven.

Indien dus uit latere schattingen mocht blijken, dat het hier gebruikte bedrag van 6,5 G aanzienlijk verhoogd moet worden, dan zou dus het besluit, het Deltaplan uit te voeren, betekenen, dat wij aan het deltagebied een wezenlijk grotere waarde toekennen dan op grond van regionaal vermogen en regionaal inkomen valt af te leiden. En het lijdt wel geen twijfel, dat àls dit het geval is, het niet uitsluitend voor het deltagebied zou gelden, maar dat voor andere delen van het land, als daarover een analoge beslissing getroffen zou moeten worden, hetzelfde zou gelden. Ook de inpoldering van de IJsselmeerpolders schijnt in deze richting te wijzen. Men zou in het geval van het deltagebied wellicht nog kunnen stellen, dat hier op emotionele gronden in herinnering aan de rampdagen een overwaardering zou hebben plaatsgevonden, maar het feit, dat de beslissing in rustige en zuiver zakelijke sfeer, meer dan $4\frac{1}{2}$ jaar na de stormramp en na grondige discussie, zowel in het openbaar, als in kleinere en grotere groepen van deskundigen en, afgezien van een voor ons probleem niet essentieel detail, met eenstemmigheid is genomen, is daarmede moeilijk in overeenstemming te brengen. Veeleer doet de genoemde mogelijkheid de vraag rijzen, of niet zulk een hoge waardering toch nog een zeer rationele achtergrond zou kunnen hebben, dus van de in 6.0 genoemde voorbeelden van sentimentshandelingen wezenlijk in aard zou verschillen. Dit zou wellicht kunnen inhouden, dat er nog belangrijke factoren met een volkomen rationele achtergrond zijn, waarmee echter tot nu toe geen rekening is gehouden.

Ten einde dit te onderzoeken, stellen wij ons de vraag, welke betekenis de uitspraak zou hebben, dat de economische waarde, die wij aan een gedeelte van het land toekennen, overeenkomt met het regionale vermogen, vermeerderd met (bij voorbeeld) één jaar regionaal inkomen. Dat zou dus voor het deltagebied circa 5,0 G, voor Centraal-Holland circa 31 G zijn, of ook, gemiddeld per hoofd der bevolking 10, respectievelijk 8,9 kilogulden.

Daar de fundamentele achtergrond van een probleem dikwijls het duidelijkst tot uitdrukking komt als men een extreem geval beschouwt en de onderstaande beschouwingen toch van geheel theoretische aard zijn, hebben wij in het volgende aangenomen, dat de te beschermen waarde op de onderstelling gebaseerd zou moeten zijn, dat het te beschermen gebied in geval van een ramp volledig zou moeten worden geabandonneerd. Waar deze mogelijkheid voor het deltagebied weinig reëel is, terwijl zij voor Centraal-Holland, naar wij zagen, niet geheel buiten beschouwing kan worden gelaten, kan men dit opvatten als een „transplantatie" van de beschouwingen over Centraal-Holland naar het deltagebied.

Stellen wij ons nu eens bij wijze van „gedachte-experiment" voor, dat een ander land zou aanbieden het deltagebied, ontruimd, voor zulk een bedrag van ons te kopen. Hoe zou onze reactie op zulk een aanbod zijn?

Het lijdt voor ons welhaast geen twijfel, dat geen rechtgeaard Nederlander en zeker geen verantwoordelijkheid dragende instantie zulk een aanbod serieus in overweging zou willen nemen.

Ten dele moge dit verklaard worden uit overwegingen van nationaal prestige. Dit heeft echter ten gevolge, dat wij in ieder gedeelte van ons land ook een zeker bedrag aan „waarde van nationaal prestige" geïnvesteerd moeten achten, dat bij de bovengenoemde economische waarde zou moeten worden opgeteld en dat deel uitmaakt van de te beschermen waarde. Hetzelfde geldt voor andere emotionele overwegingen, als gehechtheid aan omgeving, werkkring, traditie, historie, e.d.

Daarnaast echter rijst de vraag of, ook zuiver economisch beschouwd en afgezien van alle gevoelsoverwegingen, zulk een aanbod aanvaardbaar ware. De vraag dus, of een bedrag van bijvoorbeeld 5 G voldoende zou zijn om de bevolking van het deltagebied een onderkomen en bestaansmogelijkheid te verschaffen, gelijkwaardig aan de thans bestaande. Dit hangt af van de aanwezige alternatieve mogelijkheden en men zou dus na moeten gaan, of de gunstigste van deze alternatieven voor een bedrag van 5 G gerealiseerd kan worden.

Aangezien in een dichtbevolkt land als het onze migratie binnen het land vermoedelijk uitgesloten moet worden geacht, zou de bevolking moeten emigreren, hetzij met behoud van groepsverband, hetzij zonder behoud hiervan.

In beide gevallen zou in de eerste plaats onderzocht moeten worden, welke de economische gevolgen voor het in Nederland achterblijvende deel van de bevolking zouden zijn. Men kan deze bij emigratie van een zo groot deel van de bevolking niet zonder meer verwaarlozen. De omvang van het probleem is namelijk zodanig, dat het niet langer geoorloofd is, de consequenties uit die van de reeds plaatsvindende emigratie af te leiden door evenredige vermenigvuldiging. In de terminologie van de wiskunde betekent dit, dat er niet-lineaire effecten optreden, over de aard waarvan geen nauwkeurige uitspraken kunnen worden gedaan, aangezien wij slechts beschikken over gegevens bij problemen op een veel kleinere schaal dan het onderhavige. Geheel analoge moeilijkheden hebben wij reeds eerder in deze bijdrage ontmoet, onder andere bij het opstellen van het verzekeringsmodel in 3.1. Zij doen zich eveneens voor bij het bepalen van de waarde van een groot gebied; ook hier is de waarde van het geheel groter dan de som van de waarden van de afzonderlijke delen.

Bij het alternatief: emigratie zonder behoud van groepsverband, dat is dus de gebruikelijke vorm van emigratie, maar dan op sterk vergrote schaal, zou men verder dienen na te gaan, hoeveel de totale emigratiekosten zouden bedragen [1]).

Bij het alternatief: emigratie met behoud van groepsverband, zou men moeten nagaan, of men elders ter wereld, zeggen wij in de Franse Alpen of de Australische woestijn, een stuk land zou kunnen kopen, dit door bevloeiing en/of drainage voor bewoning geschikt zou kunnen maken, er industrieën, spoorwegen, verkeerswegen, woningen, hygiënische voorzieningen, scholen, kerken, cultuurcentra, bestuurslichamen, recreatiegelegenheid, enz., enz. zou kunnen vestigen, ten einde de bevolking van het „verkochte" gebied een inderdaad adaequate existentie en niet slechts een bestaan als ontheemden te verschaffen. Dit alles zou dan moeten geschieden voor de „koopsom", vermeerderd met een bedrag, dat het verschil tussen de waarde van „nieuw" en die van „oud" weergeeft.

Ons ontbreekt de competentie om de vraag te beantwoorden, welk een bedrag daartoe nodig ware. Wel menen wij onze indruk niet te moeten verhelen, dat dit veel hoger zou zijn, dan de bovengenoemde fictieve „koopsommen", afgezien nog van het feit, dat het, ongeacht voor welk bedrag, vrijwel onmogelijk zou zijn ergens ter wereld een bewoonbaar gebied te verwerven, groot genoeg om een bevolking van ettelijke honderdduizenden, of zelfs miljoenen, te herbergen.

Het is ons derhalve niet mogelijk, na te gaan welke van de genoemde alternatieven tegen de geringste prijs gerealiseerd kan worden. Zoals reeds gezegd, heeft ons „gedachte-experiment" echter geen andere strekking dan de tot oordelen bevoegde economisten de vraag voor te leggen, op welke wijze de *economische* [2]) waarde van een landstreek beoordeeld moet worden, alsmede ons vermoeden uit te spreken, dat deze door het regionale vermogen, vermeerderd met een klein aantal jaren regionaal

---

[1]) Deze kosten bedroegen volgens een schriftelijke mededeling d.d. 24 juli 1957 van het Centraal Planbureau in 1955 per gesubsidieerde emigrant f 760, of f 657 per emigrant, dat is dus rond 0,7 kilogulden per hoofd. Ook hier is het echter zeer de vraag, of de totale emigratiekosten van de bevolking van het deltagebied gevonden worden door het bedrag van 0,7 kilogulden te vermenigvuldigen met 500 000.

[2]) Een vermenigvuldigingsfactor van de in 6.0 besproken aard komt hier niet in aanmerking, daar wij mogen aannemen, dat de fictieve overdracht na grondige voorbereiding en in goede orde geschiedt en dat daarbij geen mensenlevens verloren gaan. Wèl echter een factor voor de in de tekst genoemde imponderabele waarden. Deze kan echter ook economisch geïnterpreteerd worden als een schadeloosstelling voor het *verlies* van deze waarden.

inkomen, slechts zeer ten dele wordt weergegeven. Daarbij zou tevens de vraag onder ogen kunnen worden gezien of er, behalve de emotionele overwegingen, ook zuiver economische oorzaken zijn voor het feit, dat er geen „marktwaarde" voor landstreken bestaat [1]).

Met betrekking tot de ten aanzien van het Deltaplan getroffen beslissing zou juistheid van ons vermoeden inhouden, dat, óók indien mocht blijken, dat het plan eerst dan op economische gronden kan worden verantwoord, wanneer de te beschermen waarde aanzienlijk meer bedraagt dan 6,5 G, voor de verantwoording geen beroep op emotionele overwegingen zou behoeven te worden gedaan, maar dat daarvoor zuiver economische en rationele overwegingen reeds voldoende zouden zijn.

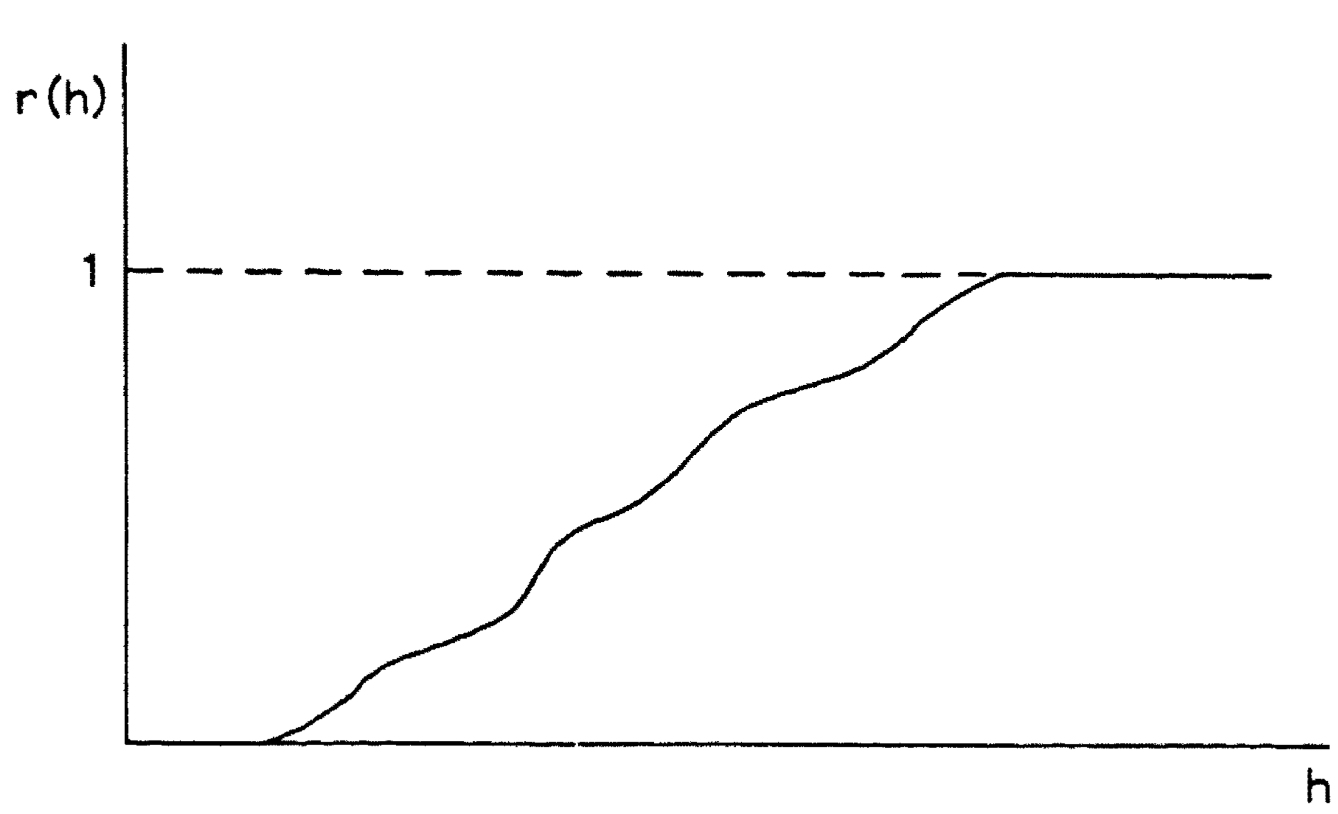
Hoewel wij, zoals gezegd, de oplossing van het gestelde probleem niet vermogen te geven, komt het ons voor, dat dit in theoretisch nationaal-economisch en filosofisch opzicht voldoende interessant is om hier gesteld en onder de aandacht der deskundigen gebracht te worden.

8.2 Wiskundig gedeelte

Ten gevolge van de gecompliceerdheid van het te beschermen polderstelsel is de in 3.0 en 4.0 gemaakte onderstelling, dat – bij de thans bestaande toestand – een zeeniveau beneden het kritieke peil geen, een er boven wèl tot onderlopen van de polder leidt, niet te handhaven.

In werkelijkheid is, zoals reeds in 3.2 en 5.0 is opgemerkt, het kritieke peil niet de enige bepalende factor. Er is daardoor bij een gegeven peil een bepaalde *kans*, dat de polder zal verdrinken. Voor waterstanden ver beneden het kritieke peil is de kans praktisch nul, voor standen ver er boven is deze praktisch 1 en in de buurt van het kritieke peil neemt de kans bij stijgend niveau sterk toe [2]). Bovendien zijn de dijkringen van de afzonderlijke polders van zeer ongelijke kwaliteit. Bij zeer lage waterstanden zal er niets gebeuren. Neemt het niveau toe, dan zullen bepaalde polders met relatief zwakke bescherming waarschijnlijk het eerst vollopen, dan andere met iets sterkere bescherming, enz. Bij extreem hoge waterstanden zal vrijwel niets behouden kunnen worden.

Wij zullen daarom thans aannemen, dat er voor iedere waterstand h bij Hoek van Holland een bepaalde *kansverdeling* bestaat voor de bij deze stand optredende schade in het Deltagebied. Deze schade drukken wij uit door haar verhouding tot de totale waarde van het gebied, de *schadefractie*. De voorwaardelijke wiskundige verwachting van deze schadefractie bij gegeven peil h bij de huidige toestand zal door $r(h)$ worden voorgesteld. Voor zeer kleine h zal $r(h)$ nul zijn; we zullen aannemen, dat dit bij het peil H_1 nog het geval is. Voor zeer grote h zal $r(h) = 1$ (of bijna 1) zijn. Verder is $r(h)$ een monotoon stijgende functie van h, die we ook continu kunnen onderstellen. Haar grafische voorstelling zal dus, globaal gezegd, van het type zijn, zoals in figuur 8.2.1 is aangegeven.



Figuur 8.2.1. Globale vorm van de functie $r(h)$

De kans op een waterstand $\leq h$ bedraagt $q(h) = 1 - p(h)$; bij toeneming van h met een klein bedrag dh zal deze kans dus met $dq(h) = 1 - dp(h)$ toenemen. Bij de exponentiële verdeling is $p(h) = e^{-\alpha h}$, dus $dq(h) = -\alpha\, dp(h) = \alpha e^{-\alpha h} dh$.

De totale schadefractieverwachting in een willekeurig jaar, die we door $\frac{Q_0}{100}$ zullen voorstellen, is dus:

$$\frac{Q_0}{100} = \int_{H_1}^{\infty} r(h)\, dq(h). \tag{1}$$

De totale verdisconteerde rampschadeverwachting bij de huidige toestand is dus (vergelijk (4) van 3.0):

$$R_0 = \int_0^{\infty} \frac{Q_0 W}{100} e^{-\delta' \tau}\, 100\, d\tau,$$

[1]) Wèl heeft verkoop van *koloniën* in het verleden enkele malen plaatsgevonden.

[2]) Het begrip „kritiek" peil is daardoor niet exact, maar slechts bij benadering bepaald.

of:

$$R_0 = \frac{Q_0 W}{\delta'}. \tag{2}$$

Deze onderscheidt zich van de vroeger gevonden uitdrukking

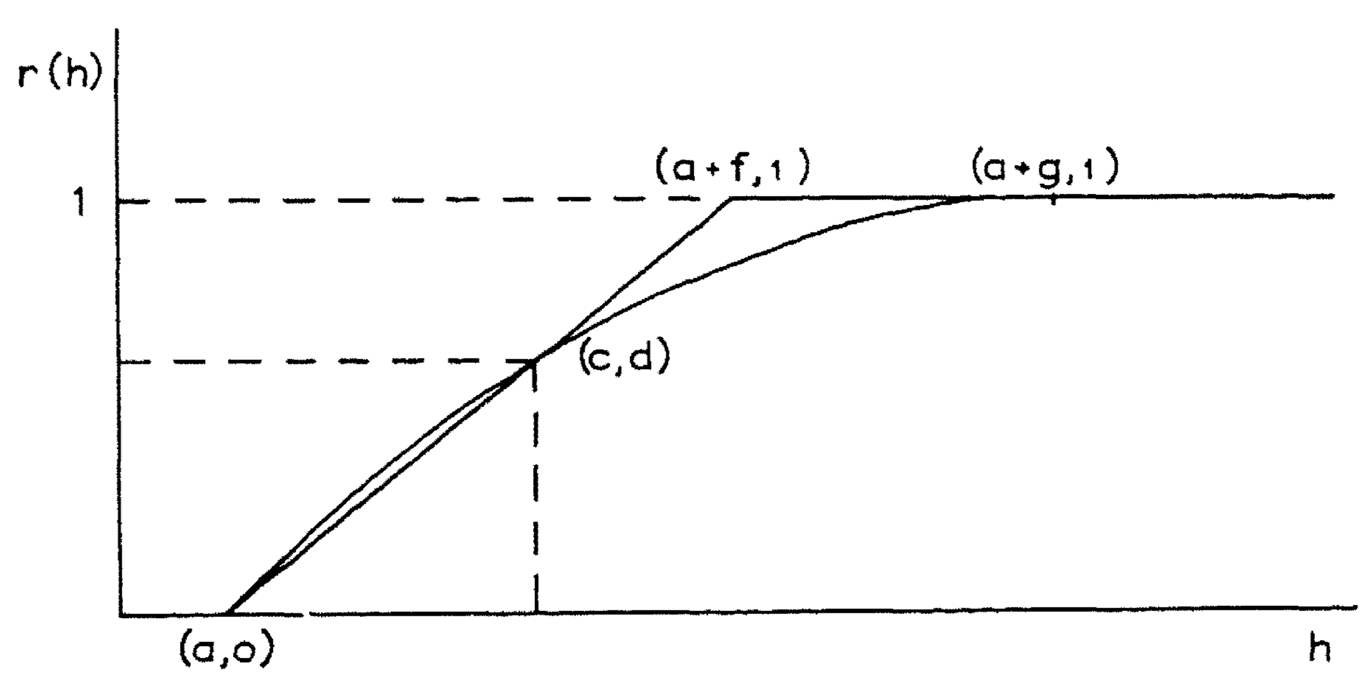
$$K_0 = R_0 = \frac{P_0 W}{\delta}$$

slechts daardoor, dat P_0 door Q_0 (en δ door δ') vervangen is.

De juiste waarde van R_0 is niet nauwkeurig op te geven omdat over de schadefractie $r(h)$ zeer weinig bekend is. Het ligt voor de hand, voor $h = 3{,}85$ m, het op 1 februari 1953 bereikte niveau $r(h)$ zo te kiezen, dat dit overeenkomt met de toen geleden schade. Deze schade moet worden vergeleken met de schade, die zou optreden, zo het gehele deltagebied zou worden overstroomd [1]. Dit is het enige punt van de kromme, dat enigszins nauwkeurig is te bepalen. Verder zal men grenzen kunnen aangeven, tussen welke zich het punt bevindt, waar de kromme zich van de h-as begint te verheffen, en verder voor het punt, waar de waarde één wordt bereikt. De coördinaten van deze twee punten zullen wij aangeven met $(a, 0)$, resp. $(b, 1)$ en van het met de stormvloed van 1 februari 1953 corresponderende punt met (c, d), dus $r(c) = d$. Over andere dan deze punten zijn op het ogenblik in het geheel geen gegevens beschikbaar en men kan zich dus afvragen, op welke wijze met deze gegevens een indruk kan worden verkregen omtrent de waarde van Q_0, respectievelijk R_0. Daartoe zullen wij de onbekende monotoon stijgende functie $r(h)$ vervangen door:

1. een rechte lijn;
2. een parabool, die de lijn $r(h) = 1$ raakt (vgl. figuur 8.2.2),

beide zodanig gekozen, dat de punten $(a, 0)$ en (c, d) er op gelegen zijn. De gegevens omtrent het punt $(b, 1)$ kunnen dan worden gebruikt om na te gaan of de bij de aangepaste functies behorende waarden hiermee in redelijke mate overeenstemmen.



Figuur 8.2.2. De schadefractie als functie van de waterhoogte

We kiezen dus:

$$r(h) = \begin{cases} 0 & \text{voor } h < a \\ \dfrac{h - a}{f} & \text{voor } a \leqq h < a + f \\ 1 & \text{voor } h \geqq a + f, \end{cases} \tag{3a}$$

waarin f volgt uit

$$r(c) = \frac{c - a}{f} = d, \tag{4a}$$

respectievelijk

$$r(h) = \begin{cases} 0 & \text{voor } h < a \\ \dfrac{1}{g^2}(h - a)(2g - h + a) & \text{voor } a \leqq h < a + g \\ 1 & \text{voor } h \geqq a + g, \end{cases} \tag{3b}$$

waarin g volgt uit

$$r(c) = \frac{1}{g^2}(c - a)(2g - c + a) = d \tag{4b}$$

of

$$\frac{1}{g} = \frac{1 - \sqrt{1 - d}}{c - a}.$$

[1]) Hierbij moet dan niet de huidige situatie, maar de toestand der dijken voor de stormramp, dus bijv. in 1952, tot uitgangspunt worden genomen, daar inmiddels door partiële verbeteringen (waarvan de kosten dan ook in de berekening moeten worden opgenomen) reeds een hogere graad van veiligheid is bereikt dan vóór 1953 bestond.

De lijn $r(h) = 1$ wordt bereikt voor $h = a + f$, respectievelijk $h = a + g$, en dit zijn dus de waarden, die moeten worden vergeleken met de gegevens omtrent het punt $(h, 1)$.

We substitueren nu (3a) resp. (3b) in (1) en kiezen als voorheen

$$p(h) = e^{-\alpha(h - H_1)} = p(a)e^{-\alpha(h-a)}, \tag{5}$$

waarin $\alpha = 3$ en $p(a)$ bij bekende waarde van a uit de in 3.2 vermelde gegevens is af te leiden. De lineaire, resp. kwadratische functie $\frac{h-a}{f}$ resp. $\frac{(h-a)(2g-h+a)}{g^2}$ moet van a tot $a+f$, resp. $a+g$ geïntegreerd worden en bij de uitkomst moet de integraal van 1 over $a+f<h<\infty$, resp. $a+g<h<\infty$, dat is $p(a+f)$, resp. $p(a+g)$ worden opgeteld. Deze laatste term is evenwel verwaarloosbaar in vergelijking met de eerste, evenals de integraal van de eerstgenoemde uitdrukkingen over $a+f<h<\infty$, resp. $a+g<h<\infty$, m.a.w. we kunnen deze uitdrukkingen direct van h tot ∞ integreren. We krijgen dan

$$0{,}01\, Q_0 = p(a) \int_a^{a+f} \frac{h-a}{f} e^{-\alpha(h-a)} \alpha\, dh \approx \frac{p(a)}{\alpha f} \int_0^{\infty} x\, e^{-\alpha x}\, dx = \frac{p(a)}{\alpha f}, \tag{6a}$$

dus

$$Q_0 = \frac{100\, p(a)}{\alpha f} = \frac{100\, p(a)}{\alpha} \cdot \frac{d}{c-a}, \tag{7a}$$

respectievelijk

$$0{,}01\, Q_0 = p(a) \int_a^{a+g} \frac{(h-a)(2g-h+a)}{g^2} e^{-\alpha(h-a)} \alpha\, dh \approx$$

$$\approx \frac{p(a)}{\alpha^2 g^2} \int_0^{\infty} x\,(2\alpha g - x)\, e^{-x}\, dx = \frac{p(a)}{\alpha^2 g^2}(2\alpha g - 2), \tag{6b}$$

dus:

$$Q_0 = \frac{200\, p(a)(\alpha g - 1)}{\alpha^2 g^2} = \frac{100\, p(a)}{\alpha} \cdot \frac{2 - 2\sqrt{1-d}}{c-a}\left(1 - \frac{1}{\alpha g}\right) \tag{7b}$$

We merken op, dat de factor $\frac{100\, p(a)}{\alpha}$ in (7a) zowel als in (7b) voorkomt, dat d tamelijk klein is, ten gevolge waarvan $\sqrt{1-d} = 1 - \frac{1}{2}d - \frac{1}{8}d^2 \ldots$ is, zodat de tweede breuk in (7b) van die in (7a) slechts in de orde d^2 verschilt, en dat αg tamelijk groot is, zodat de laatste factor in (7b) slechts weinig van 1 afwijkt. Daar bovendien $2 - 2\sqrt{1-d} \approx d + \frac{1}{4}d^2$, dus groter dan d is, zullen de beide afwijkingen van (7b) ten opzichte van (7a) elkaar nog gedeeltelijk compenseren. Ook andere krommen, die de schadefractie kunnen voorstellen, zullen ten naaste bij dezelfde waarde voor Q_0 geven, mits zij

1. door het punt $(a, 0)$ en door het punt (c, d) gaan,
2. voor de kleinere waarden van h geen bijzonder sterke stijgingen vertonen.

Bovendien varieert Q_0 voor de relevante waarden van de verschillende constanten slechts weinig, wanneer men het beginpunt a varieert [1]). Op zichzelf is het merkwaardig, dat Q_0 dus redelijk goed bepaald is door de gegevens over één punt, namelijk het punt (c, d). Hiervan is de c-coördinaat goed bekend, zodat de onnauwkeurigheid in de schatting van Q_0 hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door de onnauwkeurigheid in d.

Ten einde enig idee te krijgen van de waarden, die mogelijk in aanmerking komen, zullen wij ten slotte een getallenvoorbeeld uitwerken.

Hiertoe nemen wij aan, dat de bij de ramp op 1 februari 1953 geleden schade 1,2 G heeft bedragen en dat hierin nog geen post is opgenomen: *a.* voor indirecte schade; *b.* voor produktiederving; *c.* voor

[1]) Dit komt doordat Q_0 in de omgeving van de betreffende waarden juist een minimum heeft als functie van a.

dijkverbetering, behalve dijkherstel; *d.* voor „imponderabele schaden". We hebben dit bedrag dan te vergelijken met de schade, eveneens zonder de overeenkomstige posten, die zou optreden, zo het gehele deltagebied overstroomd zou worden. We zullen hiervoor het in het deltagebied geïnvesteerde nationale vermogen nemen, dat volgens een globale raming van het C.B.S. 4,3 G bedraagt. We hebben dan $r\,(3{,}85) = \frac{1{,}2}{4{,}3} = 0{,}279$, dus $c = = 3{,}85$ en $d = 0{,}279$. Als „beginpunt" voor het optreden van schaden kiezen wij $h = 3{,}25$, dus $a = 3{,}25$; met $\alpha = 2{,}97$ vinden we $p\,(a) = 0{,}0266$ per jaar.

Passen wij door deze punten een rechte lijn aan, dan vinden wij met (4a) $f = 2{,}15$ en met (6a) $Q_0 = 0{,}42$. Aanpassen van een aan $r\,(h) = 1$ rakende parabool levert voor g de waarde $g = 3{,}98$ en met (6b) voor $Q_0 = 0{,}41$. De twee waarden van Q_0 stemmen dus inderdaad overeen. Zouden wij voor a hebben gekozen de waarden $a = 3{,}00$, resp. $a = 3{,}50$, resp. $a = 3{,}75$, dan zouden wij voor Q_0 hebben gevonden 0,62, resp. 0,34, resp. 0,56; de variabiliteit van Q_0 als functie van a is dus inderdaad betrekkelijk gering, vooral als men bedenkt, dat de waarde $a = 3{,}00$ als te laag en de waarde $a = 3{,}75$ als te hoog moet worden beschouwd.

De gegevens omtrent de waarde van b dienen nu vergeleken te worden met $a + f = 5{,}40$, resp. $a + g = 7{,}25$. De eerste waarde is niet onredelijk, de tweede echter te hoog, daar reeds voor aanzienlijk lagere waterstanden aangenomen moet worden dat alles of vrijwel alles zou overstromen.

Indien nu – wederom slechts ten einde een globale indruk te krijgen, daar de onderstelling in werkelijkheid niet vervuld behoeft te zijn – de werkelijke schaden, met inbegrip dus van indirecte en imponderabele schaden, zich verhouden als de zuiver economische schaden, exclusief deze grootheden, dan vindt men met de hier gevonden waarde van Q_0 en de waarde 2,5 voor δ':

$$R_0 = 0{,}17\ W. \tag{8}$$

Indien de hier gebruikte constanten aanvaardbaar zouden zijn, zou de totale verdisconteerde rampschadeverwachting voor de februariramp dus $\frac{17}{100}$ deel zijn geweest van de te beschermen waarde. Mocht nu bovendien de in 8.1 gegeven schatting aanvaardbaar blijken, dan zou bij de uitvoering van het Deltaplan een sluitpost van 1,1 G [1]) ten laste van de veiligheid komen. Bij deze onderstellingen zou het Deltaplan dus op zuiver economische gronden alleen al aanvaardbaar zijn, als de te beschermen zuiver economische waarde groter zou zijn dan $\frac{100}{17} \cdot 1{,}1\ \text{G} = 6{,}5$ G. Hierbij willen wij er nogmaals de nadruk op leggen, dat dit bedrag niet anders dan een globale schatting kan zijn.

Het gevonden bedrag van 6,5 G zal vooral dan aanzienlijk van de werkelijke waarde afwijken, indien toekomstige onderzoekingen er toe zouden leiden, dat òf wel het bedrag van 1,1 G voor de „sluitpost" òf wel de verhouding 0,279 van de in 1953 geleden schade tot de in het deltagebied te beschermen waarde gewijzigd zou moeten worden.

8.3 Samenvatting en conclusies van 8.0

1. Aangezien het Deltaplan als zodanig reeds is aanvaard, bestaat er in dezen geen besliskundig probleem meer.
2. Desondanks is, ten einde het inzicht in problemen van een omvang als het Deltaplan te verdiepen, de economische achtergrond van dit plan nader onderzocht.
3. Uitgaande van de in de economische balans van TINBERGEN [2]) als voorlopige schattingen vermelde gegevens, is voorlopig ondersteld, dat de sluitpost ten laste van de beveiliging van het deltagebied 1,1 G (= 1,1 miljard gulden) bedraagt.
4. Indien voor de overige constanten redelijke schattingen worden gebruikt, zou de sluitpost van 1,1 G impliceren, dat de in het deltagebied te beschermen waarde 6,5 G of meer bedraagt.

---

[1]) Hierbij zouden eigenlijk nog de kosten van de sinds 1953 reeds uitgevoerde werken voor dijkverbetering (niet dijkherstel) moeten worden opgeteld, benevens de schadeverwachting gedurende de overgangstijd, gedurende dewelke het Deltaplan nog niet of niet geheel gerealiseerd zal zijn.
[2]) Zie Bijdrage VI.

5. Indien men kan aannemen, dat de te beschermen waarde bestaat uit een groot deel van het regionale vermogen, vermeerderd met een à twee jaar regionaal inkomen van het deltagebied en een klein deel van het regionaal vermogen, vermeerderd met een à twee jaar regionaal inkomen van Centraal-Holland, dan bedraagt de te beschermen zuiver economische waarde vermoedelijk al meer dan 6,5 G, zodat het Deltaplan dan reeds op zuiver economische gronden alléén, zonder een beroep op imponderabilia en gevoelsoverwegingen gerechtvaardigd zou zijn.
6. Ten gevolge van de onzekerheden in de schattingen van sommige constanten kan de mogelijkheid niet geheel worden uitgesloten, dat het in het vorige punt genoemde geval zich niet voordoet.
7. Mocht het bedrag inderdaad aanzienlijk hoger zijn dan 6,5 G, en wel in zodanige mate, dat de in 6.0 genoemde factor voor niet-economische waarden onredelijk groot gekozen zou moeten worden, dan zou men uit het aanvaarden van het Deltaplan kunnen afleiden, dat wij aan het deltagebied een wezenlijk grotere waarde toekennen dan op de basis van regionaal vermogen en regionaal inkomen alléén valt te berekenen, zodat het interessant ware de vraag te onderzoeken, op welke wijze in het algemeen de waarde bepaald zou moeten worden, die wij aan een gedeelte van ons land hechten.

9.0 OVERZICHT VAN DE IN DEZE BIJDRAGE GEBRUIKTE NUMERIEKE WAARDEN EN UITKOMSTEN

Parameter van de verdeling der overschrijdingskansen te Hoek van Holland: $\alpha = 2{,}97$ (per meter), afgerond $\alpha = 3$.

Halveringshoogte te Hoek van Holland: $a_2 = 0{,}23$ m, afgerond $a_2 = 0{,}25$ m.

Decimeringshoogte te Hoek van Holland: $a_{10} = 0{,}78$ m, afgerond $a_{10} = 0{,}80$ m.

Nepereringshoogte te Hoek van Holland: $a_e = 0{,}337$ m, afgerond $a_e = 0{,}34$ m of $\frac{1}{3}$ m.

Jaarpeil te Hoek van Holland: N.A.P. + 2,20 m.

Grenspeil te Hoek van Holland: N.A.P. + 2,39 m.

Huidig kritiek peil der dijken te Hoek van Holland = stormvloedhoogte 1953: H_0 = N.A.P. + 3,85 m.

Overschrijdingskans per jaar van het huidige kritieke peil te Hoek van Holland: $p_0 = 0{,}0045$.

Overschrijdingskans per jaar van het peil N.A.P. + 5,00 m te Hoek van Holland: $p\,(5{,}00) = 0{,}00015$.

Basispeil (overschrijdingskans per jaar 10^{-4}) te Hoek van Holland: N.A.P. + 5,10 m.

Gemiddelde gereduceerde rentevoet voor Nederland: $\delta' = 1{,}5\ \%$ per jaar.

Gemiddelde gereduceerde rentevoet voor Centraal-Holland: $\delta' = 1{,}5\ \%$ per jaar.

Gemiddelde gereduceerde rentevoet voor het deltagebied: $\delta' = 2{,}5\ \%$ per jaar.

Nationaal vermogen van Centraal-Holland: 24,2 miljard gulden.

Nationaal vermogen van het deltagebied: 4,3 miljard gulden.

Nationaal inkomen van Centraal-Holland: 6,8 miljard gulden per jaar.

Nationaal inkomen van het deltagebied: 0,7 miljard gulden per jaar.

Voor de zuidelijke verdedigingslinie van Centraal-Holland:

kosten dijkverhoging tot N.A.P. + 5,00 m: 110 miljoen gulden;

kosten dijkverhoging per meter boven N.A.P. + 5,00 m: 40 miljoen gulden;

optimaal kritiek peil: circa N.A.P. + 6,00 m;

overschrijdingskans optimaal kritiek peil: 8.10^{-6} per jaar of 8.10^{-4} per eeuw;

totale verdisconteerde schadeverwachting na optimale verhoging: 13,5 miljoen gulden;

totale kosten optimale dijkverhoging: 150 miljoen gulden.