

ENKELE GEDACHTEN AANGAANDE EEN

AANVAARDBAAR RISICONIVEAU IN

NEDERLAND

VOORWOORD

Het hierna volgende rapport is het resultaat van een studie, uitgevoerd door werkgroep 10 "Probabilistische methode" van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Het beoogt een stap te zijn op een lange weg naar een zo goed mogelijke objectieve bepaling van normen voor risiconiveaus.

Het rapport gaat in op de maatschappelijke aanvaardbaarheid van (falen van) (civiel-technische) werken, installaties en activiteiten.

Daarnaast spelen economische factoren een rol bij de beoordeling van de aanvaardbaarheid.

Voor het bepalen van een maatschappelijk aanvaardbaar risiconiveau worden twee sporen bewandeld, te weten:

- een mathematisch economische methode, die, met een hoofddaccent op de schadeverwachting, leidt tot een economisch optimum;
- een op ongevalsstatistieken gebaseerde methode, die, met een hoofddaccent op het verwachte aantal doden, leidt tot een (blijkbaar) geaccepteerde ongevalskans.

De twee benaderingen leiden tot soms essentieel verschillende uitkomsten. Het rapport stelt dat daar, waar de tweede benadering tot aanzienlijk hogere investeringen zou leiden dan de eerste, het uit macro-economische overwegingen geen aanbeveling verdient al te vaak en al te veel de tweede benadering te volgen.

De studie leidt overigens niet tot een standpunt ten aanzien van aanvaardbare risiconiveaus, omdat dit voorbehouden is aan besluitnemende en wetgevende instanties. Veeleer moet de studie dan ook worden gezien als een instrument om de gedachtenvorming omtrent een verantwoord veiligheidsniveau te ondersteunen.

Het onderhavige rapport is tot stand gekomen in het kader van een onderzoek naar de veiligheid van de waterkeringen.

Dat neemt echter niet weg dat de in het rapport gepresenteerde benadering van zodanig algemene aard is dat zij evenzeer van toepassing is op andere gevallen waarbij van risico sprake is, zoals bij weg- en waterverkeer resp. -transport, industriële installaties, elektrische centrales geba-

seerd op welke energiedrager dan ook, enz.

De commissie wil zich op dit moment onthouden van een oordeel over het rapport. Het is haar bekend dat in vele kringen in den lande wordt nagedacht over risiconormering en de wijze daartoe te geraken.

Het ministerie van VROM heeft bijvoorbeeld reeds een norm gesteld (Integrale Nota LPG; deze norm is overigens strenger dan uit het hier gepresenteerde rapport zou volgen).

De commissie acht het van het grootste belang, dat het onderhavige rapport voorwerp van discussie wordt tussen specialisten van verschillende disciplines alsmede beleidsmakers en -beslissers die zich met deze materie bezighouden. Zij wil het resultaat van deze discussies afwachten alvorens zich definitief over het rapport uit te spreken. Wel wil zij mede met het oog op de loop van de bedoelde discussies enkele kanttekeningen maken.

De commissie vraagt zich af of de opstelling van de bevolking tegenover risico's, verbonden aan een menselijke activiteit ("act of man"), een andere is dan die tegenover een natuurramp ("act of God").

De eerstbedoelde activiteit, ondernomen terwille van een zeker profijt (industrie, kerncentrale, enz.) kan men desgewenst nalaten of vaak genoeg budgettair neutraal van alternatieven voorzien: er zijn dan geen extra kosten voor de burger. De "act of God" (overstroming, orkaan, aardbeving) daarentegen is een gegeven risico waartegen men zich weliswaar steeds beter kan wapenen, maar zulks tegen stijgende kosten voor de bevolking. Dit (toch ook maatschappelijk) aspect - "act of man" dan wel "act of God" - is niet meegenomen in de mathematische beschrijving van het maatschappelijk aanvaardbare risico. Dit geldt ook voor het in het begin van het rapport vermelde psychologische effect van het publieke besef van georganiseerde controle en bewaking van de waterkeringen.

De indruk bestaat dat - anders dan bij "acts of man" - bij de beschouwingen omtrent het toelaatbare overstromingsrisico de mathematisch-economische benadering tevens goeddeels representatief is voor het maatschappelijk denken terzake.

De commissie meent dat met dit rapport een belangrijke bijdrage is geleverd aan de discussie over de moeilijke materie van de bepaling van normen voor risiconiveaus. Zij vertrouwt erop dat van de bespreking van dit rapport in wijdere kring stimulansen zullen uitgaan naar haar eigen werkzaamheden.

De samenstelling van werkgroep 10 "Probabilistische methode" ten tijde van het opmaken van dit rapport, was als volgt:

Voorzitter: prof.ir. J.F. Agema (Adviseur)

Secretaris: ir. D. Dillingh (RWS, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)

leden: ir. W.T. Bakker (RWS, Dienst Getijdewateren)

ir. E.O.F. Calle (LGM)

ir. A.M. de Graauw (PW Zeeland)

ir. A. Hoekstra (RWS Dienst Getijdewateren)

ir. R.A.J. de Kock (PW Zuid-Holland)

ir. P.C. Mazure (RWS, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)

ir. W. Meermans (THD)

ir. L. de Quelerij (RWS, Dienst Weg- en Waterbouwkunde)

ir. A.C.W.M. Vrouwenfelder (TNO-IBBC)

drs.ir. J.K. Vrijling (RWS, Dir. Sluizen en Stuwen)

ir. P.J.J. Willems (WS Salland)

Het rapport is geschreven door drs.ir. J.K. Vrijling.

De voorzitter van de Technische
Adviescommissie voor de Waterkeringen,

(A. de Graaff)

	<u>INHOUD</u>	blz.
	NOTATIES	6
1.	INLEIDING	7
2.	DE BEOORDELING VAN DE RISICONIVEAUS	8
2.1	Algemeen	8
2.2	De deductieve benadering van het persoonlijk geaccepteerde risiconiveau; een onoplosbaar probleem	10
2.3	De inductieve benadering van het persoonlijk geaccepteerde risiconiveau	15
2.4	Enkele opmerkingen over het maatschappelijk geaccepteerde risiconiveau	18
2.5	De deductieve benadering van het maatschappelijk geaccepteerde risiconiveau; een mathematisch economische afweging	20
2.6	De inductieve benadering van het maatschappelijk geaccepteerde risiconiveau; ongevalstatistieken en andere overwegingen	34
3.	DE SYNTHESE TOT EEN TOTALE VISIE OP HET AANVAARDBARE RISICO	53

NOTATIES

- C - contante waarde van het risico
- $E()$ - verwachtingswaarde
- $F()$ - cumulatieve verdelingsfunctie
- g - groeivoet (1 = 100 %)
- h - dijkhoogte
- h_0 - huidige dijkhoogte
- h_{opt} - optimale dijkhoogte
- I - totaal investeringsbedrag
- I_0 - mobilisatiekosten
- I' - kosten per m dijkverhoging
- i - index ter aanduiding van activiteit; inflatiecijfer (1 = 100 %)
- K - totale kosten (I + C)
- K_0 - contante waarde van het risico in de oude situatie
- k - aversiefactor; aantal malen (de standaardafwijking)
- N - levensduur in jaren
- N_A - aantal onafhankelijke plaatsen waar een activiteit wordt uitgevoerd
- N_{P_i} - aantal deelnemers aan activiteit i
- N_{d_i} - aantal doden bij activiteit i
- $P()$ - kans op een bepaalde gebeurtenis
- P_{d_i} - kans op een dode bij activiteit i
- P_{f_i} - kans op een ongeval, c.q. faalkans van een systeem, bij activiteit i
- $P_{f_{acc}}$ - acceptabele faalkans
- $P_{f_{opt}}$ - optimale faalkans
- P_{df_i} - kans op een dode, gegeven een ongeval bij activiteit i
- r - rentevoet (1 = 100 %)
- r' - reële rentevoet (1 = 100 %)
- S - totale materiële schade
- s - waarde van een mensenleven
- Var() - variantie
- z - waterhoogte tijdens stormvloed
- α - constante
- β - constante
- β^* - beleidsfactor
- $\sigma()$ - standaardafwijking
- $\phi()$ - betrouwbaarheidseis

1. INLEIDING

De beoordeling van de maatschappelijke aanvaardbaarheid van riskante activiteiten heeft twee kanten: enerzijds de maatstaven die de bevolking aanlegt, anderzijds de objectieve methoden ter bepaling van de gevolgen van ongewenste gebeurtenissen en de kans daarop. Vooral de tweede kant van het probleem is het werkgebied van de ontwerpende civielingenieur gaan raken. De gedachten gaan uit naar het ontwerp van de stormvloedkering Oosterschelde, de nieuwe leidraad duinafslag, etc. In deze bijdrage wordt de aanvaardbaarheid van risico's vanuit enkele oogpunten onder de loep genomen.

2. DE BEOORDELING VAN DE RISICONIVEAUS

2.1 Algemeen

Wanneer van ingenieurs gevraagd wordt bij het ontwerp van installaties voor nieuwe activiteiten zorg te dragen en voor voldoende veiligheid, dan volgt onmiddellijk een tegenvraag:

- wat verstaat u onder veiligheid of risico?
- welke mate van veiligheid eist u?

In politieke discussies over de risico's van kernenergie, L.N.G.-aanvoer, etc. kan het antwoord op deze vragen lang in het midden blijven, zoals men dagelijks in de nieuwsmedia ziet. Doch voor een wetenschappelijke discussie zijn definities van begrippen, hoe tentatief ook, noodzakelijk. En zodra de maatschappelijke eisen omgezet worden in concrete constructies, is een uitspraak omtrent de geëiste beperking van het risico onvermijdelijk.

Ook in wetenschappelijke kringen bestaat geen eensluidendheid over de definitie van het begrip "risico". Een viertal definities is echter toegankelijk voor kwantitatieve analyse. De definities, die twee begrippen gemeen hebben, de kans op een gebeurtenis met ongewenste gevolgen (kans) en de omvang van de ongewenste gevolgen (gevolg), zijn:

risico = kans (1)

risico = gevolg (2)

risico = kans x gevolg (3)

risico = kans x gevolgⁿ (4)

In deze bijdrage zal de derde precisering van het risico-begrip worden gebruikt, tenzij anders vermeld.

Wat zijn nu de dimensies van risico? De kans is dimensieloos. Vaak wordt echter de kans vervangen door een frequentie, het aantal gebeurtenissen per tijdseenheid. In veel gevallen kiest men voor de tijdseenheid een jaar.

Het gevolg is complexer en kan bestaan uit materiële schade, verlies van toekomstig inkomen, gewonden en doden. Het gevolg is dus meer-dimensionaal, hetgeen problemen geeft bij de toepassing van het risico-begrip. [1]

Dit probleem van de meer-dimensionaliteit van het gevolg wordt in de literatuur vaak vermeden door alle dimensies op één na te verwaarlozen.

In het Rapport van de Deltacommissie [2] is op deze wijze het gevolg van een overstroming beperkt tot het directe materiële verlies uitgedrukt in guldens.

Andere benaderingen beperken zich tot de aantallen doden en gewonden, die het gevolg zijn van een ongewenste gebeurtenis, omdat een in materialisme wortelende economische beschouwing van het risico ethisch onverantwoord wordt geacht.

Het behoeft geen betoog, dat de waarde van de resultaten van dergelijke beschouwingen lijdt onder een zo vergaande schematisatie.

Toch zal ook in deze studie noodgedwongen een vereenvoudiging van het gevolg tot materiële schade of aantallen doden worden toegepast.

Een tweede aandachtspunt bij de beoordeling van de aanvaardbaarheid van risico's is de draagwijdte van het oordeel.

Men kan oordelen over het risico van een activiteit in het kader van de vraag of men zelf de activiteit wil of moet uitvoeren. Er wordt dan een persoonlijke afweging gemaakt, die geen maatschappelijke draagwijdte heeft.

Anderzijds kan men ook oordelen over het risico van een activiteit in maatschappelijk kader. Het aanvangen of voortzetten van de activiteit betekent dat leden van de maatschappij, waaronder mogelijk men zelf, risico lopen.

De twee oogpunten, het persoonlijke en het maatschappelijke, zullen afzonderlijk behandeld worden, omdat zij tot andere conclusies leiden.

2.2 De deductieve benadering van het persoonlijk geaccepteerde risiconiveau;
een onoplosbaar probleem

De kleinste bouwsteen van het maatschappelijk geaccepteerde risiconiveau is de persoonlijke beoordeling van risico's door het individu. Het leven dwingt de mens voortdurend een compromis te zoeken tussen nagestreefde voordelen en de daaraan verbonden risico's. Zolang deze afwegingen niet verder reiken dan de persoonlijke sfeer, worden ze in het algemeen snel gemaakt. De mate van risico die een individu accepteert, hangt onder meer af van zijn leeftijd en zijn persoonlijke instelling, doch ook de volgende factoren spelen een rol:

1. de mate, waarin het risico vrijwillig wordt geaccepteerd; persoonlijke vermijdbaarheid van het risico;
2. de herkenbaarheid van het risico;
3. het persoonlijk voordeel, verbonden aan het trotseren van het risico;
4. het maatschappelijk voordeel, verbonden aan het trotseren van het risico;
5. de maatschappelijke mogelijkheden om het risico te beperken;
6. de historische achtergrond van het risico (herhalingstijd, gewenning).

Een poging om tot een theoretische ordening van de beoordelingsvariabelen te komen is gegeven in fig. 2.1. Het model veronderstelt een objectieve mathematisch economische afweging.

Enerzijds wordt het te behalen voordeel, dat kan bestaan uit een direct privé-voordeel of een meer diffuse maatschappelijke bate, in aanmerking genomen en anderzijds het risico in de zin van verwacht verlies (kans x gevolg).

De kanscomponent van het risico wordt door het individu afgeleid uit een schatting van de herhalingstijd van de ongewenste gebeurtenis.

Vaak ontleent hij een notie over de herhalingstijd aan zijn eigen ervaring, soms baseert hij zich op overlevering van anderen.

Wanneer het echter gaat om nieuwe activiteiten, waarbij de historische achtergrond van het risico ontbreekt, dan is een schatting van de kans

van optreden van de gebeurtenis en de gevolgen moeilijk en sterk subjectief.

Theoretisch staan weliswaar de methoden der risico-analyse ter beschikking, doch het is niet te verwachten dat men in de privésfeer een dergelijke diepgaande studie uitvoert.

Veeleer zal men trachten in de praktijk te ondervinden of het voordeel van de geëntameerde activiteit tegen het risico opweegt. Via "trial and error" wordt het optimum bewust of onbewust nagestreefd.

Hiermee samenhangend speelt de vrijwilligheid van de acceptatie van het risico (of vermijdbaarheid) een rol.

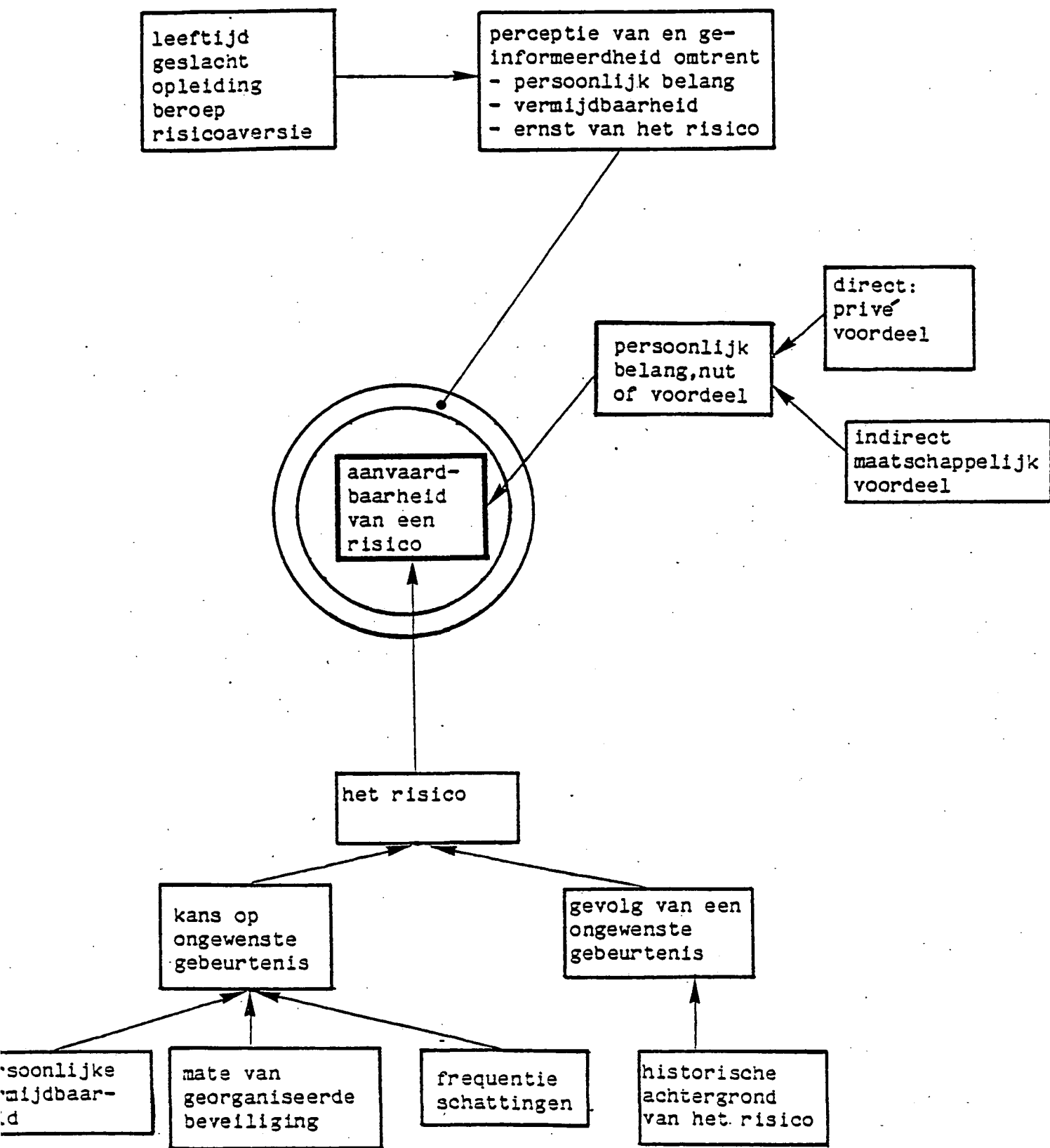


Fig. 2.1 Theoretische ordening van de beoordelingsvariabelen van de aanvaardbaarheid van risico's in de individuele sfeer.

Ten eerste maakt het individu bij een vrijwillige keuze gebruik van zijn eigen waardensysteem en worden hem geen preferenties opgelegd door één of ander besluitvormend lichaam.

Ten tweede kan bij een vrijwillige keuze de in het "trial and error" concept noodzakelijke bijstelling op grond van ervaringen snel geschieden.

Het bijstellen van de plannen van het besluitvormende lichaam via de maatschappelijke communicatiekanalen (politiek of economisch) is echter een traag proces.

Daarom zal het individu in het algemeen grote reserves hebben ten aanzien van hem opgelegde risico's.

Tot slot moet erop gewezen worden, dat het beslissingsmodel van fig. 2.1 sterk beïnvloed wordt door de wijze waarop het individu de feiten waarneemt.

De aangeboden informatie wordt als het ware gefilterd en niet alle objectieve feiten spelen mee in het beoordelingsproces:

De wijze en de mate van filtering hangt af van persoonlijke kenmerken als leeftijd, geslacht, opleiding, beroep, etc.

Bovendien vindt daarna nog een weging van de diverse factoren plaats volgens de persoonlijke preferenties.

Met deze laatste constatering is in feite het terrein van de psychologie betreden en er wordt dan ook op het gebied van de persoonlijke beoordeling van risico's veel psychologisch onderzoek verricht.

Van die zijde is opgemerkt, dat het in par. 2.1 gedefinieerde mathematische risico-begrip en noties als nut/voordeel te globaal, te abstract en te formeel zijn om in opinie- en besluitvormende discussies toe te passen.

Daarom zijn d.m.v. psychometrisch veldonderzoek de primaire risico-evaluatievariabelen opgespoord [3]. Een aantal hypothesen, die in een dergelijk onderzoek getoetst werden zijn:

- de geschatte ernst van een risico wordt grotendeels bepaald door de geschatte omvang van mogelijke ongevallen (en niet door de kans erop);

- de getaxeerde kans op een ongeval wordt overwegend bepaald door de mate van persoonlijke controle of door georganiseerde beveiliging (en niet door relatieve ongevalsfrequenties);
- de getaxeerde kans is mede afhankelijk van de voorstelbaarheid van het ongevalsscenario;
- de (cognitieve en emotionele) voorstelbaarheid van potentiële catastrofes is gering;
- de aanvaardbaarheid van een riskante activiteit wordt overwegend bepaald door zijn voordeel (en niet door zijn risico).

Het resultaat van het onderzoek onder 700 respondenten was o.a. dat men zei in hoofdzaak twee risicodimensies te onderscheiden:

1. de omvang van een mogelijk ongeval;
2. mate van georganiseerde beveiliging.

Ten aanzien van de fundamentele componenten van het voordeel stemden de resultaten overeen met de in fig. 2.1 genoemde. Over het relatieve gewicht van persoonlijk en maatschappelijk voordeel verschilden de meningen sterk.

De samenhang tussen risico, voordeel en aanvaardbaarheid volgt minder duidelijk uit het onderzoek.

Ten dele hangt dat samen met enkele, in het onderzoek gekozen, voorbeelden b.v. kernenergie en L.N.G. Beide paren een diffuus maatschappelijk voordeel aan een risico dat bestaat uit een zeer kleine kans op bijzonder ernstige gevolgen.

Binnen de conceptie van het in fig. 2.1 geschetste maar niet expliciet bekende mathematisch economische beslismodel, dat in de praktijk al tastend wordt opgelost, is de weerstand tegen deze nieuwe technologieën goed te verklaren.

Het individu ziet de noodzaak van nieuwe energiebronnen niet in zolang de electriciteits- en gasvoorziening voorspoedig functioneert. Ten aanzien van de kans op ongelukken met de nieuwe technologieën beschikt men niet over historische gegevens, die een indruk geven van de faalfrequentie. Wel bestaat een idee over de gevolgen van een ongeval met kernenergie. Een idee, dat al of niet terecht ontleend wordt aan de gebeurtenissen rond de bom op Hiroshima en de daaruit voortvloeiende genetische effecten die zich over de generaties kunnen uitstrekken.

2.3 De inductieve benadering van het persoonlijk geaccepteerde risiconiveau

Nu is vastgesteld, dat het expliciet oplossen van het in fig. 2.1 gegeven beslismodel voor persoonlijke risico-acceptatie niet mogelijk is, ligt het voor de hand de uitkomst van het afwegingsproces, zoals dat in het dagelijks leven van elk individu plaatsvindt te onderzoeken. Uit de uitkomsten zou, indien ze consistent zijn, een indicatie kunnen worden gekregen van de preferenties van het individu.

Een bron, waaruit de gemiddelde uitkomst van de afwegingsprocessen kan blijken, is de statistiek van doodsoorzaken.

Weliswaar is dan sprake van een beperking van het aantal risicodimensies tot één, maar voor een eerste indruk van het gemiddelde resultaat van de afwegingsprocessen vormt de statistiek een geschikt uitgangspunt.

De persoonlijke risico-acceptatie voor een bepaalde activiteit blijkt door het aantal doden dat gemiddeld jaarlijks valt bij de beoefening van de activiteit te delen door het aantal deelnemers:

$$P_{d_i} = \frac{N_{p_i} \cdot P_{f_i} \cdot P_{d_i|f_i}}{N_{p_i}} = \frac{N_{d_i}}{N_{p_i}}$$

waarin: N_{p_i} = aantal deelnemers aan activiteit i

P_{f_i} = kans op een ongeval bij activiteit i

$P_{d_i|f_i}$ = kans op een gedode deelnemer gegeven een ongeval

N_{d_i} = aantal doden bij activiteit i

Een eerste activiteit, waaraan iedereen deelneemt is het leven zelf. Uit de statistiek blijkt, dat in de westelijke landen voor personen jonger dan 60 jaar, de kans om te overlijden ten gevolge van ziekte ongeveer gelijk is aan 10^{-3} 1/jaar.

Overeenkomstig hetgeen men zou verwachten is het persoonlijke risico bij een duidelijk onvrijwillige activiteit als werken in een fabriek een orde kleiner. De kans op een dodelijk ongeval in de industrie betrokken op het aantal arbeiders is ongeveer 10^{-5} 1/jaar (zie fig. 2.2). Anderzijds is de kans op een dodelijk ongeval bij de beoefening van de bergsport aanzienlijk groter. Zij stijgt zelfs uit boven de kans te overlijden door ziekte.

De activiteit autorijden, die naar huidige begrippen niet geheel vrijwillig wordt ondernomen, blijkt een kans op overlijden met zich mee te brengen van ongeveer 10^{-4} 1/jaar.

Het geheel van fig. 2.2 overziende lijkt er sprake te zijn van consistentie in de persoonlijke risico-acceptatie.

Voor vrijwillig ondernomen activiteiten lijkt het individu gemiddeld genomen een kans op overlijden te accepteren die ongeveer gelijk is aan de sterftekans door ziekte.

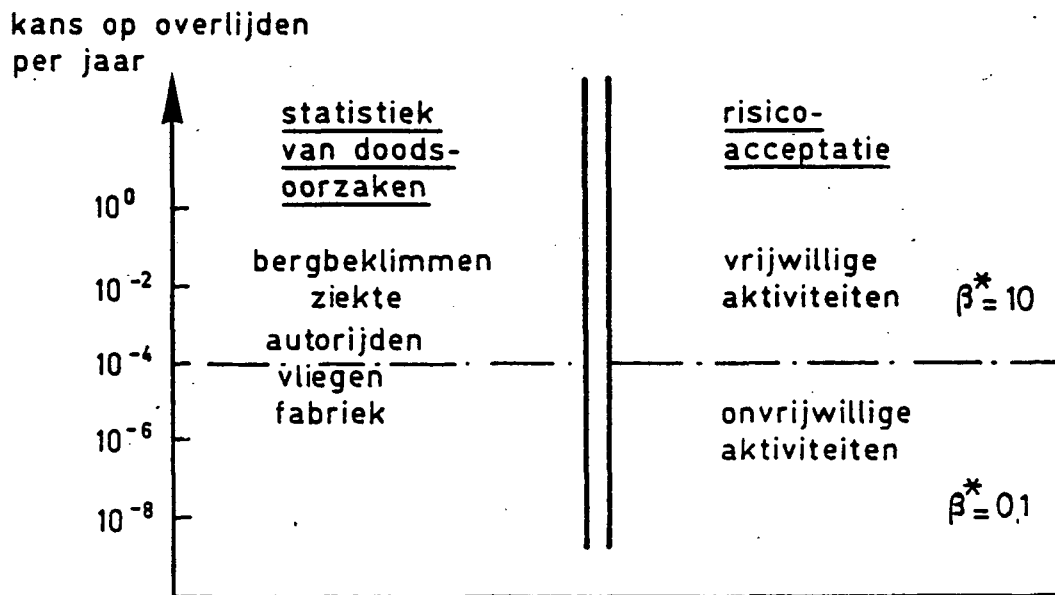


Fig. 2.2 De persoonlijke risico's in de westelijke landen afgeleid uit de statistiek van doodsoorzaken, betrokken op het aantal deelnemers per activiteit.

Van onvrijwillige activiteiten wordt echter een grotere veiligheid verwacht. Hier is een kans op overlijden van 10^{-4} 1/jaar de bovengrens.

Men kan nu stellen, dat er bij het ondernemen van activiteiten de facto een afweging plaatsvindt van de te behalen voordelen tegen het risico in de vorm van de kans op overlijden en dat het resultaat van dit afwegingsproces blijkt uit de ongevalsstatistiek.

Aangezien de gepresenteerde sterftekansen stabiel zijn in de tijd en een licht dalende tendens vertonen die samenhangt met het voortschrijden van de techniek, lijkt het toegestaan er een leidraad voor beslissingen t.a.v. het acceptabele persoonlijke risiconiveau uit af te leiden.

Bezien vanuit het individu lijkt een activiteit i aanvaardbaar indien:

$$\frac{E(N_{d_i})}{N_{P_i}} = \frac{N_{P_i} \cdot P_{f_i} \cdot P_{d|f_i}}{N_{P_i}} < \beta^* \cdot 10^{-4}$$

waarin $E(N_{d_i})$ = verwachtingswaarde van het aantal doden bij activiteit i ,

β^* = beleidsfactor, die afhankelijk is van de mate van vrijwilligheid waarmee de activiteit wordt ondernomen.

Hieruit volgt voor de toelaatbare kans op een ongeval bij activiteit i :

$$P_{f_i} < \frac{\beta^* \cdot 10^{-4}}{P_{d|f_i}}$$

De beleidsfactor β^* varieert met de mate van vrijwilligheid waarmee de activiteit wordt ondernomen van 10 bij vrijwillige activiteiten tot 0,1 bij onvrijwillige.

2.4 Enkele algemene opmerkingen over het maatschappelijk geaccepteerde risiconiveau

Hetgeen een democratische maatschappij aan risico's accepteert is in theorie de samenvoeging van alle individuele afwegingen.

Men vindt de optimale faalkans van een activiteit door de oplossing van de geaggregeerde versie van het beslismodel van fig. 2.1.

Doch ook hier maakt het feit dat het model niet expliciet bekend is een dergelijke weg onbegaanbaar.

Toch kan men stellen, dat op maatschappelijk niveau voor elk project de kosten tegenover de baten worden gezet. Misschien zou dat ruimer moeten geschieden door de sociale kosten tegenover de sociale baten te zetten, waardoor ook de risico-aspecten in de afweging worden betrokken. Gezien de complexiteit van een dergelijke afweging en het gesignaleerde gebrek aan expliciete modellen geschiedt ook de maatschappelijke optimalisering tastend.

De bestuurlijke lichamen doen een keuze en vervolgens leert de loop van het leven hoe aanvaardbaar deze keuze was.

Keuze overheid	één der gevolgen
Delta Cie $P(\text{overstroming}) = 10^{-5}$	In sommige gevallen langs de rivieren schade aan het landschap
Cie Becht (rivieren) $P(\text{overstroming}) = 8 \cdot 10^{-4}$	Dat leert de toekomst
Stimulering basischemie in Nederland	Chemisch afvalprobleem

Indien voor een bepaald project een maatschappelijk acceptabel risiconiveau moet worden gedefinieerd staan twee wegen open, die beide een sterke vereenvoudiging van het probleem inhouden.

De eerste methode gaat terug naar het mathematisch economische beslismodel van fig. 2.1 en streeft naar een zodanige schematisatie van het probleem, dat het optimum voor berekening toegankelijk is.

Daartoe dienen alle dimensies van het risico in één monetaire maat te worden getransformeerd.

Het tweede spoor leidt via de in par. 2.2 reeds behandelde weg van de ongevallenstatistiek.

2.5 De deductieve benadering van het maatschappelijk geaccepteerde risico-
niveau; een mathematisch economische afweging

Volgens de gekozen definitie is het risico gelijk aan de mathematische verwachtingswaarde van de verliezen die het gevolg zijn van het falen van het systeem.

Inherent aan de economische benadering is, dat de schade die het gevolg is van het falen in een monetaire maat moet worden uitgedrukt.

De totale schade bestaat uit een aantal posten van principieel verschillende aard (tabel I).

Allereerst onderscheidt men de directe gevolgen van het falen. Deze omvatten het herstel of de vervanging van de constructie zelf en van zaken die vielen binnen het kader van de functie van het constructieve systeem.

Tot de indirecte schade rekent men het verlies aan toegevoegde waarde, dat ontstaat doordat bepaalde activiteiten geen doorgang kunnen vinden als gevolg van het niet functioneren (disfunctie) van het systeem.

Ook de verhindering van activiteiten in de nabijheid van het systeem veroorzaakt indirecte schade.

Verder plant de onderbreking van bepaalde activiteiten zich voort in het economisch systeem zodat ook elders verliezen ontstaan.

Men denke, daarbij aan de stagnerende leveranties door getroffen bedrijven.

Naast de genoemde materiële verliezen, die eenvoudig in geld te waarderen zijn, zal soms ook het verlies van levens te betreuren zijn. Ook hier onderscheidt men de directe gevolgen i.c. de doden en gewonden die rechtstreeks veroorzaakt worden door de disfunctie van het systeem en de indirecte gevolgen.

De indirecte gevolgen omvatten het leed en de sociale disruptie, die door de ramp veroorzaakt worden.

Tabel I: Een globaal overzicht van de verliezen die ontstaan door het falen van een systeem.

	ponderabel	imponderabel
direct	<p>vervangings- of herstelkosten van het systeem zelve</p> <p>vervangings- of herstelkosten van zaken die betrokken zijn bij het functieverlies van het systeem</p> <p>vervangings- of herstelkosten van zaken die zich in de fysieke nabijheid van het systeem bevonden</p>	<p>verlies van mensenlevens</p> <p>gewonden</p> <p>verlies van onvervangbare zaken</p> <p>schade aan het milieu</p>
indirect	<p>productiederving die het gevolg is van het functieverlies van het systeem</p> <p>productiederving veroorzaakt door de fysieke nabijheid van het systeem</p> <p>productiederving elders in het economisch systeem doch geïnduceerd door de twee bovengenoemde productiestagnaties</p>	<p>leed en sociale disruptie</p> <p>spanning, angst en verhoogde kans op ziekte</p>

Bij toepassing van het economisch mathematisch beslismodel wordt het ethisch moeilijke probleem, het verlies aan mensenlevens en het menselijk leed in geld te waarderen, veelal vermeden door de waarde van de verloren mensenlevens en het leed te verwaarlozen.

Veronderstelt men nu voor het moment, dat de materiële verliezen die het gevolg zijn van het falen van het systeem een totale schade S omvatten, dan mag men volgens de gekozen definitie het risico schrijven als:

$$P_{f_i} \cdot S \text{ [gld/jaar]}$$

waarin P_{f_i} = faalkans van het systeem behorend bij activiteit i
[1/jaar]

Dit risico kan ook worden beschouwd als de hoogte van de verzekeringspremie, die elk jaar betaald zou moeten worden, indien men zich tegen de gevolgen van het falen van het systeem wil verzekeren.

Gezien de voortdurende waardedaling van het geld (inflatie) zal de verzekeringspremie toenemen volgens:

$$P_f \cdot S \cdot (1+i)^n$$

waarin i = inflatie

De gekapitaliseerde som van de gedurende de levensduur N van het systeem te betalen verzekeringspremies of de contante waarde C van het risico is:

$$C = \sum_{n=1}^N \frac{P_f \cdot S \cdot (1+i)^n}{(1+r)^n}$$

waarin r = rentevoet.

Voor kleine waarden van de inflatie- en de rentevoet mag men de contante waarde ook schrijven als:

$$C = \sum_{n=1}^N \frac{P_f \cdot S}{(1+r-i)^n}$$
$$= \sum_{n=1}^N \frac{P_f \cdot S}{(1+r')^n}$$

waarin r' = reële rentevoet

Deze schrijfwijze veronderstelt stilzwijgend dat de marktrente r de inflatie i overtreft hetgeen in het recente verleden niet zo was. Over langere perioden gezien is de reële rentevoet echter positief.

Een aspect dat op dezelfde wijze te behandelen is, is de economische groei die de waarde van de zaken, die bij het falen van het systeem betrokken zijn, zal doen toenemen. Zo zal ten gevolge van de economische groei het verkeer over een brug toenemen. Ook de in een polder aanwezige gebouwen en voorzieningen zullen in aantal en waarde groeien bij een normale economische ontwikkeling.

Daardoor groeit het risico in reële termen:

$$P_f \cdot S \cdot (1+g)^n$$

waarin g = groeivoet.

De contante waarde van het groeiende risico wordt nu:

$$C = \sum_{n=1}^N \frac{P_f \cdot S}{(1+r'-g)^n}$$

Door Von Neumann [4] is aangetoond dat alleen in een economie waarin de mensen bereid zijn met het bestaansminimum genoeg te nemen, de reële rentevoet gelijk is aan de groeivoet van de economie.

Zodra er sprake is van enige spanning tussen consumptie en investeringen zal de rentevoet de groeivoet overtreffen.

Het risico kan uiteraard worden verkleind door het systeem veiliger te maken.

De beide beschikbare wegen, het aanbrengen van parallelle systemen en het terugbrengen van de faalkans van de samenstellende componenten gaan gepaard met een verhoging van het totale investeringsbedrag I dat derhalve onder andere een functie is van de faalkans van het systeem:

$$I = I (P_f)$$

De economische rationaliteit vereist dat de som van het investeringsbedrag en de contante waarde van het risico minimaal is. Het minimum van de totale kostenfunctie en de daarbij behorende mate van dijkverhoging kan door differentiatie worden gevonden (zie fig. 2.3):

$$\frac{d (C + I)}{d P_f} = 0$$

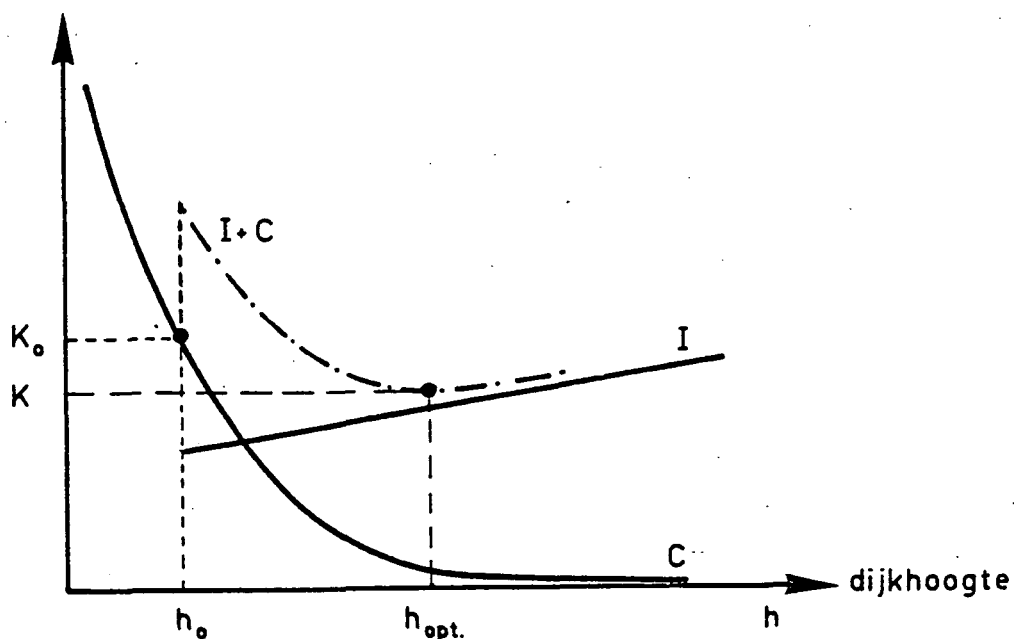


Fig. 2.3 Het economisch optimale risiconiveau: een afweging tussen investering en gekapitaliseerd risico.

Verder moet worden bekeken of de totale kosten bij dijkverhoging lager zijn dan de contante waarde van het risico indien de situatie bij het oude wordt gelaten. Alleen indien aan beide voorwaarden wordt voldaan, is de dijkverhoging optimaal.

De hier geschetste berekeningswijze is door Prof. van Dantzig toegepast ter bepaling van de optimale hoogte van de dijken van het Deltaplan.

Bij wijze van voorbeeld volgt nu een vereenvoudigde versie van deze berekening die volledig is weergegeven in deel 3 van het Deltarapport [2].

Voorbeeld:

De bepaling van een optimale dijkverhoging

Ter vereenvoudiging van het probleem wordt de hoogte van de dijk geacht een deterministische grootte te zijn.

Verder wordt als enig bezwijkmechanisme het overlopen van de dijk in beschouwing genomen. Derhalve vindt inundatie van de polder plaats, zodra de stormvloedstand de dijkhoogte overtreft.

De kans op deze gebeurtenis kan eenvoudig worden afgeleid uit de hoogwater-overschrijdingslijn.

$$P(z > h) = \bar{F}_z(h) = e^{-\frac{h - \alpha}{\beta}}$$

waarin z = stormvloedstand

h = dijkhoogte

α, β = constanten

$\bar{F}(x)$ = $1 - F(x)$

$F(x)$ = kansverdelingsfunctie

Als de dijk overstroomt en de polder onderloopt, bedraagt de totale schade aan gebouwen, voorraden, vee en productiemiddelen S . Met gederfd inkomen, verlies van mensenlevens, etc. houdt men in eerste benadering geen rekening.

De mathematische verwachtingswaarde van dit verlies is in ieder jaar:

$$S \cdot e^{-\frac{h - \alpha}{\beta}} \quad [\text{gld/jaar}]$$

De contante waarde van dit verwachte verlies over de gehele toekomst ($N = \infty$):

$$C = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{S \cdot e^{-\frac{h - \alpha}{\beta}}}{(1+r'-g)^n} = \frac{S \cdot e^{-\frac{h - \alpha}{\beta}}}{r' - g}$$

Ter beperking van het risico kan men de dijken verhogen (zie fig. 2.4). De kosten van deze beveiligingsmaatregel zijn bij benadering evenredig met de verhoging:

$$I = I_0 + I' (h - h_0)$$

waarin I_0 = mobilisatiekosten

I' = kosten per meter verhoging

h_0 = huidige dijkhoogte.

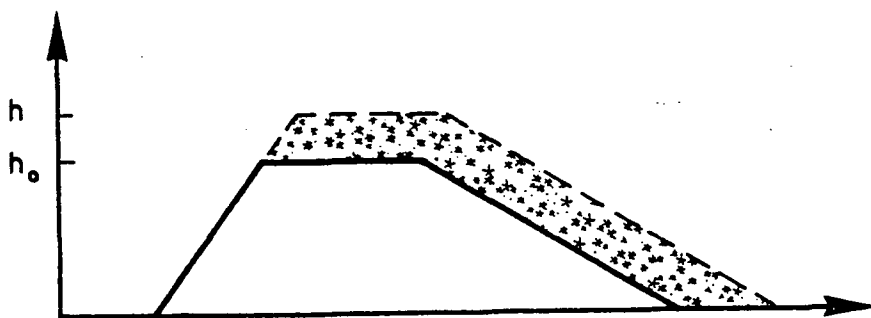


Fig. 2.4 De hoeveelheid grondverzet bij een verhoging van de dijk.

De totale kosten K zijn nu de som van de kosten van de verhoging van de dijk en de contante waarde van het verwachte verlies:

$$K = I + C .$$

Of na substitutie voluit geschreven:

$$K = I_0 + I' (h-h_0) + \frac{S \cdot e^{-\frac{h-\alpha}{\beta}}}{(r'-g)}$$

De optimale dijkhoogte (zie ook fig. 2.5) wordt nu bepaald door differentiatie naar de beslissingsvariabele h:

$$\frac{dK}{dh} = I' - \frac{S \cdot e^{-\frac{h-\alpha}{\beta}}}{\beta(r'-g)} = 0$$

De optimale hoogte van de dijk kan hieruit worden opgelost evenals de optimale faalkans:

$$h_{opt} = \alpha + \beta \ln \left\{ \frac{S}{I' \beta (r'-g)} \right\}; \quad P_{f_{opt}} = \frac{I' \beta (r'-g)}{S}$$

Het is merkwaardig te zien dat noch de mobilisatiekosten I_0 , noch de reeds aanwezige dijkhoogte h_0 in de uitdrukking voor de optimale faalkans voorkomen.

Toch moet worden vastgesteld of verhoging van de dijk economisch interessant is.

Daartoe moet men de totale kosten van beide alternatieven vergelijken. De totale kosten van het dijkverhoging-alternatief zijn bekend:

$$K = I_0 + I' (h_{opt} - h_0) + \frac{S \cdot e^{-\frac{h_{opt}-\alpha}{\beta}}}{(r'-g)}$$

De verhoging van de dijken zal nu alleen plaatsvinden indien (zie fig. 2.3) de totale kosten van het dijkverhogingsalternatief lager zijn, dan de contante waarde van het risico in de oude situatie:

$$K < K_0 = \frac{S \cdot e^{-\frac{h_0 - \alpha}{\beta}}}{(r' - g)}$$

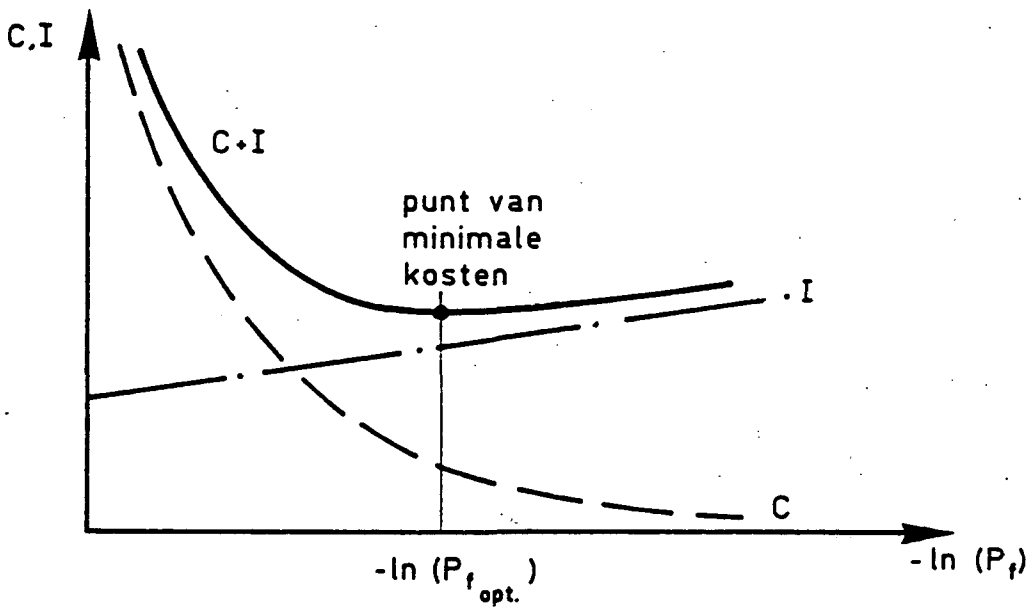


Fig. 2.5 De bepaling van de optimale dijkhoogte.

De waarde van de constanten waren voor het Deltaplan in 1954:

- | | | |
|----------------|--------------------------|---------|
| S | = 24,2 · 10 ⁹ | [gld] |
| r'-g | = 0,015 | |
| I' | = 40,1 · 10 ⁶ | [gld/m] |
| α | = 1,96 | [m] |
| β | = 0,33 | [m] |
| h ₀ | = 3,25 | [m] |
| I ₀ | = 110 · 10 ⁶ | [gld] |

Uit deze waarden volgde een dijkhoogte en een faalkans van:

$$h_{\text{opt}} = 5,83 \text{ m} \qquad P_{f_{\text{opt}}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/jaar}$$

Het resultaat van het gekozen voorbeeld is van wijdere strekking dan uitsluitend een aanwijzing voor de dijkhoogten rond Centraal-Holland. In veel gevallen zijn de benodigde marginale investeringen (I') constant voor vrij grote variaties in de sterkte van de constructie en volgt de faalkans een extreme waardeverdeling [5].

De gevonden betrekking voor de optimale faalkans van het bij activiteit i betrokken systeem heeft dus binnen zekere grenzen een algemene geldigheid:

$$P_{f_{i \text{ opt}}} = \frac{I' \beta (r' - g)}{S}$$

Indien men ondanks de ethische bezwaren, die daartegen bestaan, aan het verlies van een mensenleven toch een prijs s toekent, ontstaat inzicht in de invloed hiervan op de optimale faalkans.

Daartoe wordt het bedrag voor de materiële schade S verhoogd tot:

$$P_d \Big|_{f_i} \cdot N_{p_i} \cdot s + S$$

waarin $P_d \Big|_{f_i}$ = kans op overlijden gegeven falen
 N_{p_i} = aantal inwoners

De afgeleide uitdrukking voor de optimale faalkans wijzigt ten gevolge van deze aanpassing van het totale schadebedrag:

$$P_{f_{i \text{ opt}}} = \frac{\beta I' (r' - g)}{P_d \Big|_{f_i} N_{p_i} \cdot s + S}$$

Men ziet dat de optimale faalkans een dalende tendens vertoont bij een toenemend aantal slachtoffers.

Met deze toevoeging is echter het probleem van de waarde van een mensenleven geïntroduceerd.

In de literatuur worden hiervoor talloze benaderingen gegeven.

Hier wordt voorgesteld de waarde van een mensenleven gelijk te stellen aan de contante waarde van het netto nationaal produkt per inwoner van Nederland.

Bij de beoordeling van aanvaardbare risiconiveaus verdient het aanbeveling het eventuele verlies van mensenlevens op deze wijze in rekening te brengen.

De betaalbaarheid van veiligheidsmaatregelen in het licht van het nationaal inkomen blijft gewaarborgd indien die beschreven methode een leidraad is.

Een beperking van de mathematisch economische benadering is dat zij veronderstelt dat de totale schade in geval van falen klein is t.o.v. de totale economie. Het is immers in zekere zin het vertrouwen in de totale economie, dat herstel tot een zinvolle zaak maakt.

Bij zeer grote schade zou de risico-neutrale houding die in de berekeningen is verondersteld niet langer gelden.

Voorbeeld

Ter illustratie kan de berekening van de dijkhoogte rond Centraal-Holland worden uitgebreid met een waardeschatting voor het aantal slachtoffers.

Voor de constanten worden de volgende waarden gekozen:

$$P_d \Big|_{f_1} = 10^{-2}$$

$$N_p = 5 \cdot 10^6 \text{ [personen]}$$

$$s = 10^5 \text{ [gld/persoon]}$$

De optimale dijkhoogte en de faalkans zijn:

$$h_{\text{opt}} = 5,89 \text{ m} \quad P_{f_{\text{opt}}} = 6,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/jaar}$$

zodat in dit voorbeeld het effect van het verlies van mensenlevens beperkt blijft tot 6 cm dijkhoogte. Zelfs wanneer de waarde s van een mensenleven vertienvoudigd wordt blijft de invloed beperkt.

$$h_{\text{opt}} = 6,19 \text{ m} \quad P_{f_{\text{opt}}} = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/jaar}$$

In feite bestaat de formule voor de optimale faalkans uit twee gedeelten.

Een startwaarde die afhankelijk is van de materiële schade:

$$P_{f_{\text{opt}}} = \frac{I' \beta (r' - g)}{S}$$

en een asymptoot waartoe de functie nadert bij een toenemend aantal dodelijke slachtoffers:

$$P_{f_{\text{opt}}} = \frac{I' \beta (r' - g)}{P_d \Big|_f \frac{N_p \cdot s}{N_p \cdot s}}$$

Indien men de optimale faalkans als functie van het aantal dodelijke slachtoffers uitzet voor de getalwaarden van het voorbeeld ontstaat fig. 2.6. In deze figuur is tevens de gevoeligheid van de optimale faalkans voor de prijs van een mensenleven ($s = 10^6$) aangegeven.

Ter illustratie is de berekening ook uitgevoerd voor het Engelse stadje Whitstable aan de Thames (fig. 2.7).

Inwonertal	= 5 000	[personen]
Schade	= $100 \cdot 10^6$	[gld]
I'	= $5 \cdot 10^6$	[gld/m]

De optimale faalkans onder verwaarlozing van het dodental is:

$$P_{f_{\text{opt}}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ 1/jaar}$$

Het in rekening brengen van 50 doden verlaagt de faalkans tot:

$$P_{f \text{ opt}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ 1/jaar}$$

Het verschil in optimale dijkhoogte is 14 cm:

exclusief doden 5,60 m AOD en

inclusief doden 5,74 m AOD.

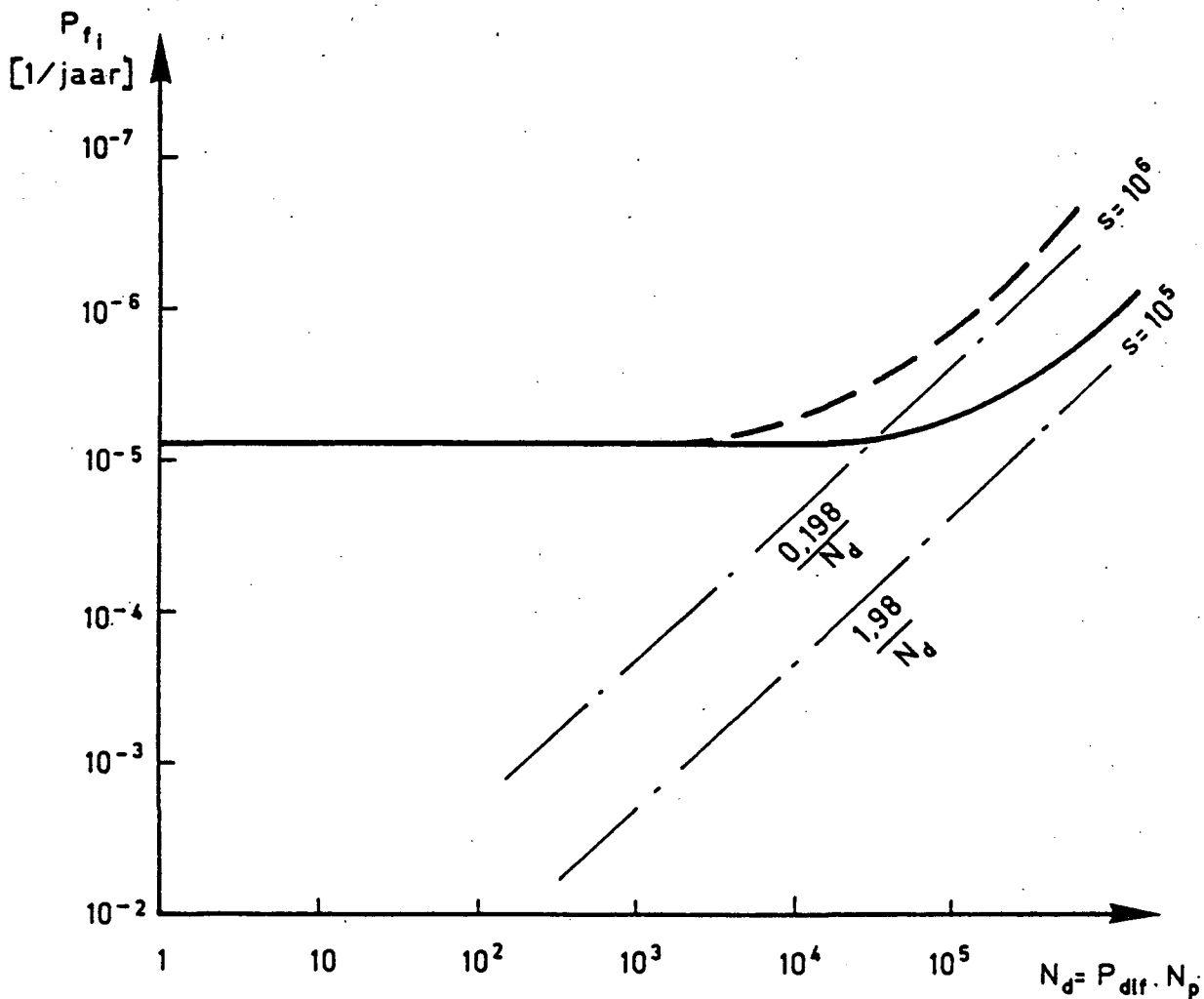


Fig. 2.6 De economisch optimale faalkans als functie van het aantal dodelijke slachtoffers, dat valt bij een overstrooming van Centraal-Holland

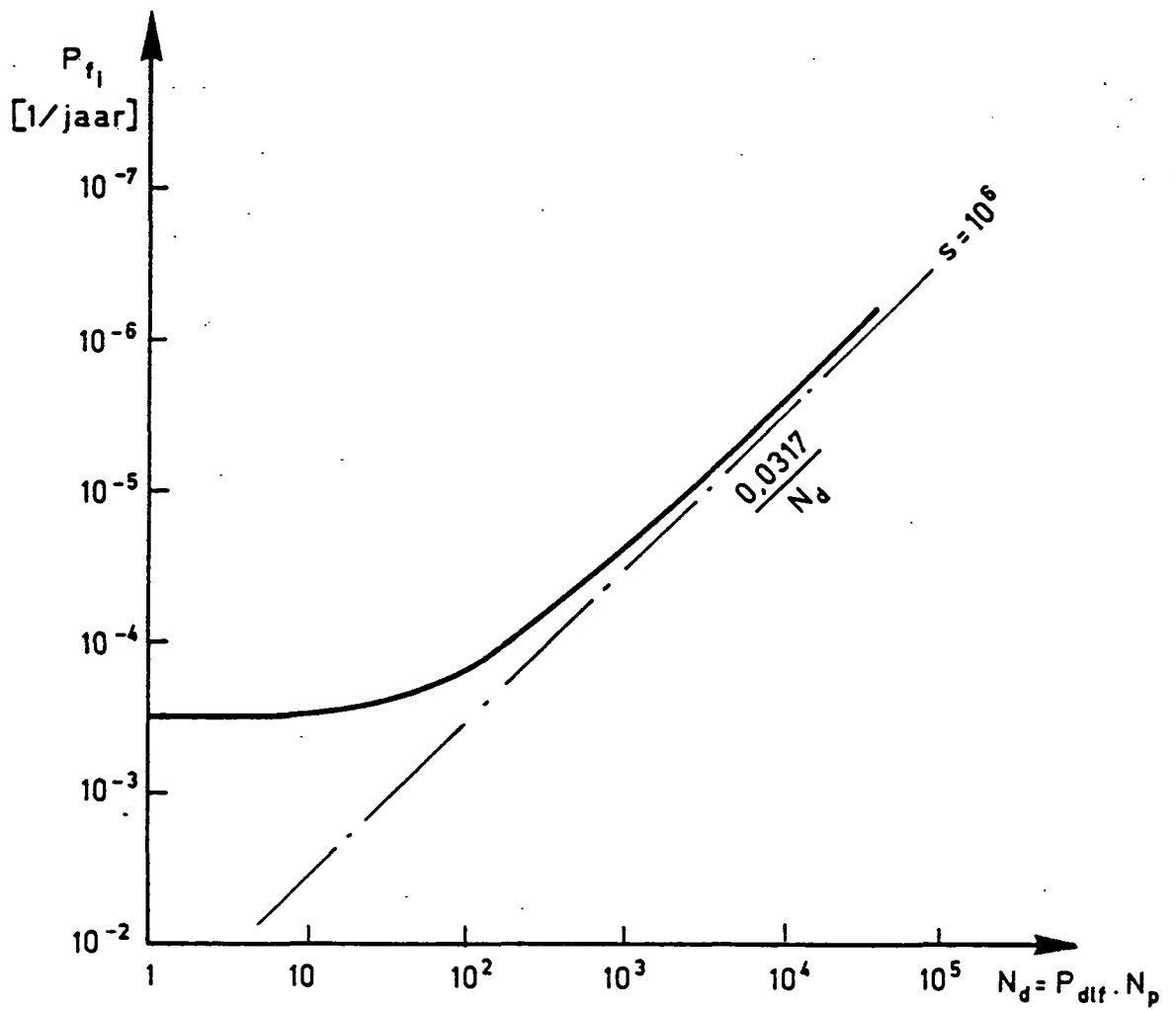


Fig. 2.7 De economisch optimale faalkans als functie van het aantal dodelijke slachtoffers, dat valt bij een overstroming van het stadje Whitstable.

2.6 De inductieve benadering van het maatschappelijk geaccepteerd risico-
niveau; ongevalstatistieken en andere overwegingen

Eerder is gesteld, dat afweging van de sociale kosten en de sociale baten voor iedere activiteit in de maatschappij impliciet worden gemaakt via een tastend zoeken.

Dit tastend zoeken is noodzakelijk omdat de faalkans en de gevolgen van het falen, de twee componenten van het risico niet precies bekend zijn, evenmin als de maatschappelijke preferenties.

De hypothese is, dat het resultaat van dit maatschappelijke zoekproces weerspiegeld wordt in de ongevallenstatistieken.

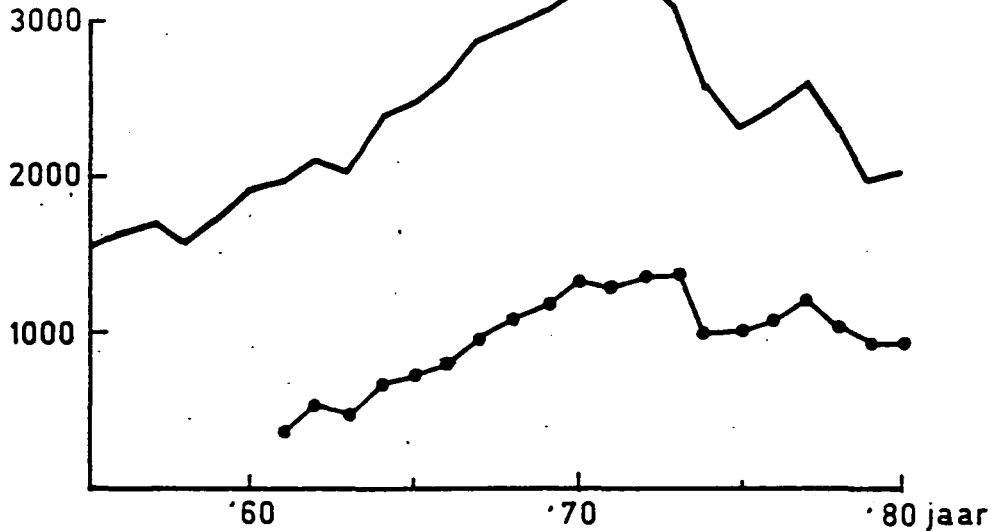
Als oppervlakkige toetsing van de hypothese is het verloop van het aantal verkeersslachtoffers in de tijd bestudeerd, aangezien het verkeer één van de belangrijkste onnatuurlijke doodsoorzaken is. In de bovenste grafiek van figuur 2.8 is het verloop van het aantal slachtoffers als functie van de tijd geschetst. Het aantal doden t.g.v. ongevallen met personenwagens is afzonderlijk weergegeven. Men ziet dat tot de 60-er jaren het aantal doden ongeveer constant is (1500 doden/jaar). Daarna neemt het aantal doden toe in gelijke tred met de penetratie van het autobezit in de Nederlandse maatschappij tot een maximum van 3 264 in 1972.

Het persoonlijke risico verbonden aan het autorijden, dat benaderd is door het aantal doden bij ongevallen met personenauto's te betrekken op het aantal personenauto's vertoont in die jaren een licht dalende tendens van $6 \cdot 10^{-4}$ tot $5 \cdot 10^{-4}$ [doden/auto].

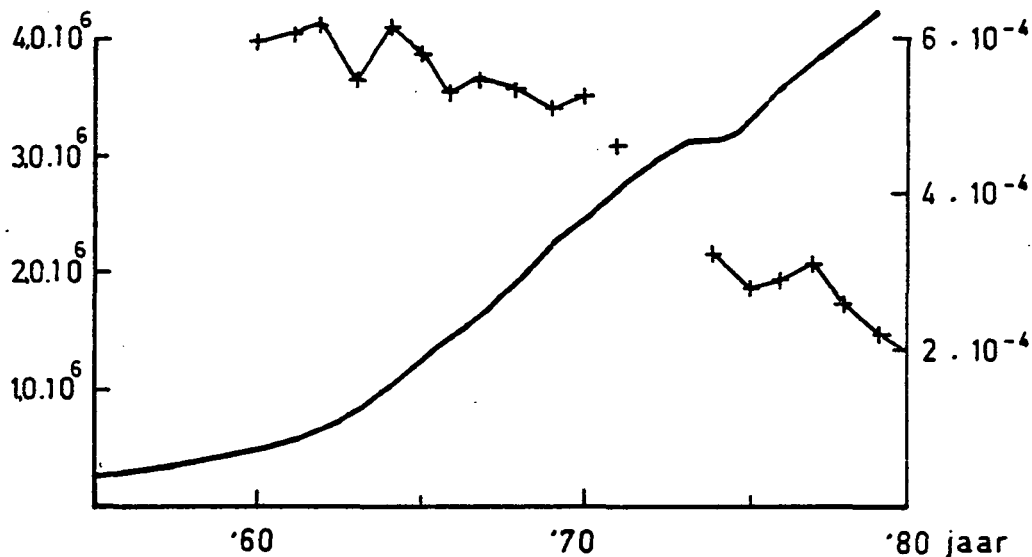
Maatschappelijk gezien loopt het risico echter sterk op. Het totaal aantal verkeersdoden betrokken op het bevolkingsaantal stijgt van $1,6 \cdot 10^{-4}$ tot bijna $2,5 \cdot 10^{-4}$.

In 1971 wordt ter verhoging van de verkeersveiligheid de autogordel verplicht gesteld. Van enig effect op het aantal slachtoffers blijkt weinig. Eerst het door de oliecrisis onvrijwillig opgelegde experiment van een autoloze zondag en een snelheidsbeperking hebben invloed.

aantal verkeersdoden



aantal pers. auto's



aantal doden per pers. auto

kans op een dodelijk ongeval per Nederlander

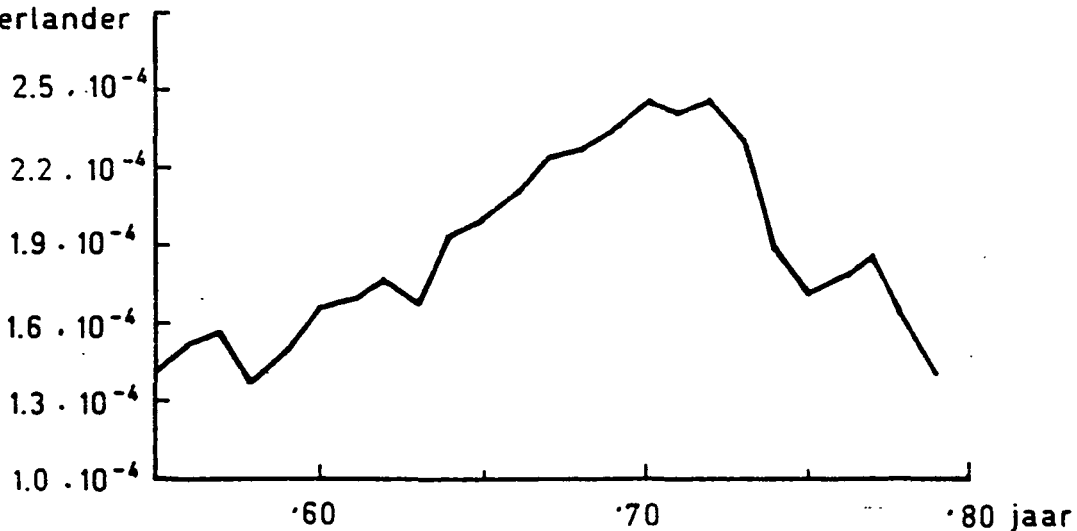


Fig. 2.8 Het verloop van enkele kentallen van het autoverkeer in de tijd.

De snelheidsbeperking blijft na dit succesvolle experiment gehandhaafd. Daarnaast leiden de hogere brandstofkosten tot een voorzichtiger auto-gebruik.

Het aantal verkeersdoden daalt, afgezien van een onderbreking in 1977 tot omstreeks 2 000 ondanks een nog steeds in omvang groeiend autopark.

Het persoonlijke risico voor de automobilist blijft afnemen tot een niveau van $2 \cdot 10^{-4}$ [1/jaar].

Het maatschappelijke risiconiveau daalt eveneens van $2,5 \cdot 10^{-4}$ tot $1,4 \cdot 10^{-4}$.

Bij het bestuderen van de figuren 2.8 dringen zich twee voorzichtige conclusies op:

1. Het persoonlijke risico daalt naarmate het "vrijwillige" karakter van autorijden vermindert, van $6 \cdot 10^{-4}$ tot $2 \cdot 10^{-4}$ [1/jaar].
2. De overschrijding van een bepaald acceptabel maatschappelijk risiconiveau van ongeveer $1,6 \cdot 10^{-4}$ brengt een maatschappelijke reactie teweeg, die na enkele jaren tot maatregelen leidt.

De maatregelen hebben succes en het risico daalt weer tot het oude niveau en lager.

Er lijkt dus sprake te zijn van een maatschappelijk afwegingsproces, dat een betrekkelijk stabiel risiconiveau tot resultaat heeft.

De iets verdergaande veronderstelling dat de risico-tolerantie van de maatschappij zich weerspiegelt in de ongevallenstatistiek wordt niet verworpen.

Een korte beschouwing van de statistiek van ongevallen met dodelijke afloop (zie tabel II) geeft een indruk van het risico, dat in Nederland maatschappelijk geaccepteerd wordt.

Het blijkt dat de ongevallen met dodelijke afloop in twee hoofdoorzaken uiteen vallen: ongelukken thuis en auto-ongelukken, die in 1977 elk ongeveer 2 500 doden per jaar eisten (tabel II). De kans op een ongeval in één van deze categorieën is gemiddeld per Nederlander $2 \cdot 10^{-4}$ per

jaar. De kans op een ongeval in fabrieken, aan boord van schepen, op haventerreinen en tijdens treinreizen is veel kleiner.

Indien dit aantal ongevallen tesamen betrokken wordt op de werkende beroepsbevolking, blijft het risico beperkt tot $5,5 \cdot 10^{-5}$ per jaar, hetgeen in overeenstemming is met figuur 2.2.

De totale gemiddelde kans op een ongeluk met dodelijke afloop bedraagt voor een Nederlander $4,0 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

Tabel II Aantal doden t.g.v. ongevallen in Nederland in 1976.

situatie	aantallen doden	kans
in huis jonger dan 70 j	808	$2 \cdot 10^{-4}$
ouder dan 70 j	1 368	
op straat	134	
spoorwegovergang	36	
openbare gebouwen	20	
gesticht/inrichting	79	
openbaar water	377	
	<hr/> 2 822 +	
fabriek	106	$5,5 \cdot 10^{-5}$
aan boord	2	
op zee	1	
zee- en luchthavens	8	
treinongevallen	67	
in het veld	24	
	<hr/> 208 +	
auto-ongevallen	2 270	$1,65 \cdot 10^{-4}$
sport en vrije tijd	33	
	<hr/> 2 303 +	
onbekend	299	$1,64 \cdot 10^{-5}$
totaal	5 562	$4,0 \cdot 10^{-4}$

Een dergelijk risiconiveau vindt men ook in de overige West-Europese landen, hetgeen de hypothese dat zij het resultaat is van een maatschappelijk afwegingsproces ondersteunt.

In andere delen van de wereld ligt het (geaccepteerde) risiconiveau geheel anders. Het risico in het autoverkeer is in ontwikkelingslanden bijv. in de orde van $200 \cdot 10^{-4}$ doden/auto.

In de internationale literatuur wordt het totale gemiddelde risico vaak beschouwd als de som van drie componenten:

1. Het basisrisico, dat is het onvermijdelijke minimum risico, dat een lid van de gemeenschap moet accepteren. Op de grootte van dit risico heeft het geen invloed en derden kunnen er niet voor aansprakelijk worden gesteld. Het is de laatste decennia de plicht van regeringsinstanties geworden dit risico op een maatschappelijk aanvaardbaar niveau te houden.
2. Het vrijwillige risico, dat alle risico's omvat die binnen de invloedssfeer van het individu vallen en waarvan hij beseft, dat ze uit zijn activiteiten voortvloeien.
3. Het aansprakelijkheidsrisico, dat van toepassing is op die gevallen waar de schuld van een verantwoordelijke instantie aanwijsbaar is.

Omdat het moeilijk is het totale risico onaanvechtbaar over de drie componenten te verdelen, kent men aan elke component ongeveer een derde van het totale risico toe, zodat het basisrisico in Nederland ongeveer gesteld kan worden op:

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{\text{aantal doden door ongelukken}}{\text{bevolkingsaantal}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{5562}{14 \cdot 10^6} = 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ jaar}$$

Uit dit basisrisico leidt men vervolgens een norm af voor de faalkans van de bij activiteiten betrokken systemen:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^* 1,33 \cdot 10^{-4}}{P_d | f_i N_{p_i}} < \frac{\beta^* 1,33 \cdot 10^{-4}}{N_{d_i}}$$

waarin β^* = beleidsfactor

N_{d_i} = aantal doden t.g.v. een ongeval bij activiteit i

Het probleem met deze in de literatuur vaak gepresenteerde formule is dat de aanwezigheid van het aantal doden in de noemer niet gerechtvaardigd wordt. De ervaring dat een ongeval met 100 doden veel minder aanvaardbaar is dan een ongeval met één dode lijkt intuïtief een goed argument. Dit argument is echter niet houdbaar.

Uit de formule kan worden afgeleid dat het verwachte aantal doden bij activiteit i beneden een toelaatbaar niveau van $\beta^* 1,33 \cdot 10^{-4}$ moet liggen.

$$E(N_{d_i}) = P_{f_i} N_{d_i} < \beta^* 1,33 \cdot 10^{-4} \text{ doden/jaar}$$

Uit tabel II blijkt evenwel, dat bij tal van activiteiten véél meer doden per jaar worden betreurd. Vanuit dit oogpunt bezien, lijkt het toestaan van $\beta^* 1,33 \cdot 10^{-4}$ doden per jaar een uiterst willekeurige keuze. Evengoed zouden waarden als 2000 doden per jaar (autoverkeer) of 100 per jaar (fabriek) aanvaardbaar genoemd kunnen worden.

Deze onbeslistheid van de normstelling leidt tot een verwerping van bovengenoemde formule.

Een normstelling voor maatschappelijk aanvaardbare risico's dient gebaseerd te zijn op een model voor de maatschappelijke risicobeleving. Met dit model moet men kunnen aantonen dat de bijzonder kleine kans op ongevallen met dodelijke afloop waarneembaar zijn voor leden van de maatschappij. Anders zou immers de gepostuleerde maatschappelijke reactie bij een overschrijding van zeer lage risiconiveaus niet aannemelijk zijn.

Ten tweede zou het model de omgekeerde evenredigheid tussen de toelaatbare kans op een ongeval en het aantal daarbij te betreuren doden moeten kunnen verklaren.

Als model-hypothese wordt in deze studie verondersteld dat een individu het maatschappelijke risiconiveau beoordeelt aan de hand van de gebeurtenissen in zijn kring van bekenden.

Indien men voor het moment de gemiddelde omvang van de kring van goede bekenden op 100 personen stelt dan is de kans op een dode in de kring door natuurlijke oorzaken gelijk aan:

$$P(\text{dode}) = 10^{-2} \text{ à } 10^{-3} \cdot 100 = 1,0 \text{ à } 0,1 \text{ per jaar}$$

Evenzo is de kans op een dode onder de bekenden ten gevolge van een verkeersongeval gegeven door:

$$1972: P(\text{dode}) = \frac{3 \ 300}{13 \cdot 10^6} \cdot 100 = 2,5 \cdot 10^{-2} = \frac{1}{40} \text{ per jaar}$$

$$1980: P(\text{dode}) = \frac{2 \ 200}{14 \cdot 10^6} \cdot 100 = 1,4 \cdot 10^{-2} = \frac{1}{72} \text{ per jaar}$$

Via het instrument van de kennissenkring zijn de bijzonder kleine kansen op een dodelijk ongeval, die maatschappelijk aanvaardbaar lijken, waarneembaar. De herhalingsstijd ligt binnen de orde van een mensenleef-tijd.

Indien men streeft naar een normstelling voor het acceptabele risiconiveau voor civiele constructies, sluit het meer bij de realiteit aan het aantal doden door andere oorzaken dan het verkeer en ongevallen in huis te kiezen, dan de betrekkelijke willekeurige driedeling in vrijwillig-, aansprakelijkheids- en basisrisico.

De kans op een dode in de kennissenkring t.g.v. een onvrijwillig ongeval in de fabriek, aan boord, op zee, etc. is ongeveer gelijk aan:

$$P(\text{dode}) = \frac{200 \cdot 100}{14 \cdot 10^6} = 1,4 \cdot 10^{-3}$$

Indien men deze waarnemingsfrequentie tot norm voor de beoordeling van de veiligheid van activiteiten i zou verheffen, dan geldt met inachtna-
 name van $\beta^* = 0,1$ voor het onvrijwillige karakter:

$$\frac{\sum N_{P_i} \cdot P_{d|f_i} \cdot P_{f_i} \cdot 100}{14 \cdot 10^6} < \beta^* 1,4 \cdot 10^{-2}$$

Hieruit volgt na herleiding, en een betrekkelijke willekeurige verdeling over bijvoorbeeld 20 activiteiten-categorieën de volgende norm voor een activiteit i in Nederlandse situaties:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^* \cdot 100}{N_{P_i} \cdot P_{d|f_i}}$$

Deze norm dient zo geïnterpreteerd te worden, dat een activiteit toelaatbaar is, zolang zij naar verwachting minder dan $\beta^* \cdot 100$ doden per jaar eist (Dit lijkt een realistischer uitgangspunt dan het eerder genoemde aantal van $\beta^* \cdot 1,33 \cdot 10^{-4}$ doden.).

Het model van de kennissenkring, als waarnemingsinstrument voor het individu, rechtvaardigt een omgekeerde evenredigheid tussen aanvaardbare faalkans en het dodental.

De voorgestelde norm maakt evenwel geen onderscheid tussen twee activiteiten met de volgende gevaarsaspecten:

	P_{f_i}	$\cdot N_d$	$= E(N_d)$
1	1,0	$\cdot 100$	$= 100$
2	0,001	$\cdot 100\ 000$	$= 100$

De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers is weliswaar gelijk doch in het ene geval zijn er 10 doden te betreuren, terwijl bij het optreden van het tweede ongeval 100 000 doden vallen. Dit duidelijk in-voelbare verschil komt wiskundig alleen tot uiting in de spreiding van het aantal doden die met behulp van de binominaal verdeling te bere-kenen is.

	$E(N_d)$	$\sigma(N_d)$	$\sigma^2(N_d) = P_{f_i} \cdot (1 - P_{f_i}) \cdot N_d$
1	100	0	0 = 1,0 (1-1,0).100
2	100	10	100 = 0,001 (1-0,001).100000

Het is mogelijk de aversie tegen het tweede geval wiskundig weer te geven door aan de onderschrijding van de norm een betrouwbaarheidseis toe te voegen. Daartoe wordt de verwachtingswaarde van het aantal doden verhoogd met het gewenste aantal malen de standaardafwijking, alvorens de toetsing aan de norm plaatsvindt.

$$E(N_d) + k \cdot \sigma(N_d) < \beta^* \cdot 100$$

waarin k = aantal malen (de standaardafwijking)

$\Phi(k)$ = betrouwbaarheidseis

Voor een correcte bepaling van de verwachtingswaarde en de standaard-afwijking van het aantal doden, dat jaarlijks valt bij de beoefening van activiteit i , is het nodig mede in aanmerking te nemen op hoeveel onafhankelijke plaatsen N_A de bestudeerde activiteit wordt uitgevoerd. Het aantal onafhankelijke plaatsen waar de activiteit wordt uitgevoerd, heeft geen invloed op de verwachtingswaarde van het aantal doden, maar wel op de spreiding daarin. Hoe groter het aantal onafhankelijke plaat-sen N_A , des te kleiner de spreiding in het aantal dodelijke slachtoffers per jaar.

De verwachtingswaarde en de variantie van het aantal slachtoffers per jaar zijn in formulevorm:

$$E(N_d) = N_A \cdot P_{f_i} \left\{ \frac{N_p}{N_A} \cdot P_d | f_i \right\}$$

$$\text{Var}(N_d) = N_A \cdot P_{f_i} (1 - P_{f_i}) \left\{ \frac{N_p}{N_A} \cdot P_d | f_i \right\}^2$$

$$\sigma(N_d) = \left\{ N_A \cdot P_{f_i} (1 - P_{f_i}) \right\}^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{N_p}{N_A} \cdot P_d | f_i \right\}$$

Bij substitutie van deze uitdrukkingen in de eerder afgeleide uitdrukking waarin de risico-aversie werd weergegeven door de verwachtingswaarde met een aantal malen de standaardafwijking te verhogen, ontstaat na enig herleiden het volgende resultaat voor de toelaatbare faalkans:

$$P_{f_i} < \left\{ -\frac{k}{2\sqrt{N_A}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k^2}{N_A} + \frac{4\beta^* \cdot 100}{N_p \cdot P_d | f_i}} \right\}^2$$

In figuur 2.9 is de toelaatbare faalkans voor een aantal waarden van N_A en de beleidsfactor β^* geschetst. De waarde van β^* varieert van 10 tot 0,1. Voor de betrouwbaarheidseis is voorlopig uitgegaan van een waarde van 99% ($k=3$).

Voor grote waarden van N_A ontardt de formule in een norm, waarbij de acceptabele faalkans omgekeerd evenredig is met het aantal doden:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^* 100}{N_p \cdot P_d | f_i}$$

Voor $N_A = 1$ neemt de eis een strengere vorm aan:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^*{}^2 \cdot 100^2 \cdot N_A}{k^2 (N_p \cdot P_d|_{f_i})^2}$$

De meer dan evenredige afname van de toegestane faalkans met het aantal doden $N_p \cdot P_d|_{f_i}$ is gegrondvest op de, op risico-aversie gebaseerde, betrouwbaarheidseis aan het verwachte aantal doden.

Andere verklaringen voor een meer dan evenredige afname kunnen zijn:

1. Economies of scale in de bescherming van een groter aantal mensen. Ook exercities volgens de econometrische berekeningswijze zullen leiden tot kleinere faalkansen voor grotere gevolgen.
2. De werking van de maatschappelijke communicatie-kanalen is heviger bij 100 doden ineens dan bij 100 x 1 dode. De oorzaak ligt in economies of scale bij politiek en pers.
3. De maatschappelijke disruptie is meer dan evenredig met $P_d|_{f_i}$. Indien bij een ongeval 1% van een sociale entiteit omkomt is verder functioneren mogelijk. Bij een trefpercentage van bijv. 50% is de sociale structuur verbroken en wordt het voortbestaan van de organisatie als geheel twijfelachtig, ook al heeft de helft van de individuen het ongeval overleefd.

Deze overwegingen zijn echter niet in het gepresenteerde model tot uitdrukking gebracht.

Om het model te kunnen toetsen aan hetgeen in Nederland toelaatbaar wordt geacht zijn in fig. 2.10 in hetzelfde assenstelsel enige activiteiten geplot. Op de verticale as is de kans op een ongeval of het falen van een systeem weergegeven terwijl op de horizontale as het aantal doden staat, dat te betreuren zal zijn indien het ongeval optreedt. Zo is de kans op een overstroming van Centraal-Holland volgens de richtlijnen van de Deltacommissie van de orde 10^{-4} . Indien Centraal Holland overstroomt zal het aantal doden in de orde van 10 000 zijn.

Indien alle auto's in Nederland een zwaar ongeval krijgen, dan is het aantal doden $\sim 4 \cdot 10^6$. De kans op een ongeval is echter $2 \cdot 10^{-4}$ per auto. De lijnen onder 45° zijn lijnen van een constante verwachtingswaarde van het aantal doden. Jaarlijks wordt bijvoorbeeld een honderdtal doden in de fabrieksomgeving verwacht. De verwachtingswaarde van het aantal doden t.g.v. de overstroming van Centraal-Holland is $10^{-4} \cdot 10^4 = 1,0$. De verwachtingswaarde van het aantal doden in het autoverkeer is $\sim 1\ 500$.

Uit een vergelijking van de fig. 2.9 en 2.10 blijkt, dat het model voor een bepaalde parameterkeuze de realiteit redelijk benadert.

Voor het autoverkeer geldt voor $\beta^* = 10$ en bijvoorbeeld de volgende waarden der parameters:

$$\begin{array}{ll} N_A = 4 \cdot 10^6 \text{ auto's} & P_d|f = 1,0 \\ N_p = 4 \cdot 10^6 \text{ pers.} & k = 3,0 \end{array}$$

een acceptabele ongevalskans van $2,26 \cdot 10^{-4}$ per auto per jaar.

Een acceptabele ongevalskans voor het werken in een fabriek volgt uit de waarde $\beta^* = 0,1$ en de volgende parameterkeuze.

$$\begin{array}{ll} N_A = 4 \cdot 10^6 \text{ plaatsen} & P_d|f = 1,0 \\ N_p = 4 \cdot 10^6 \text{ pers.} & k = 3,0 \end{array}$$

$$P_{f_{acc}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ per fabrieksplaats per jaar}$$

De afgeleide norm lijkt enigszins strakker te zijn, dan hetgeen in de realiteit wordt toegestaan.

Gezien de overeenkomst tussen de in deze studie afgeleide norm voor het maatschappelijk aanvaardbare risico bij de voorgestelde waarden van β^* en een betrouwbaarheidseis van 99 %, lijkt een bijstelling van de voorlopig gekozen waarden niet nodig.

In het vervolg zal dus steeds worden uitgegaan van de volgende waarden:

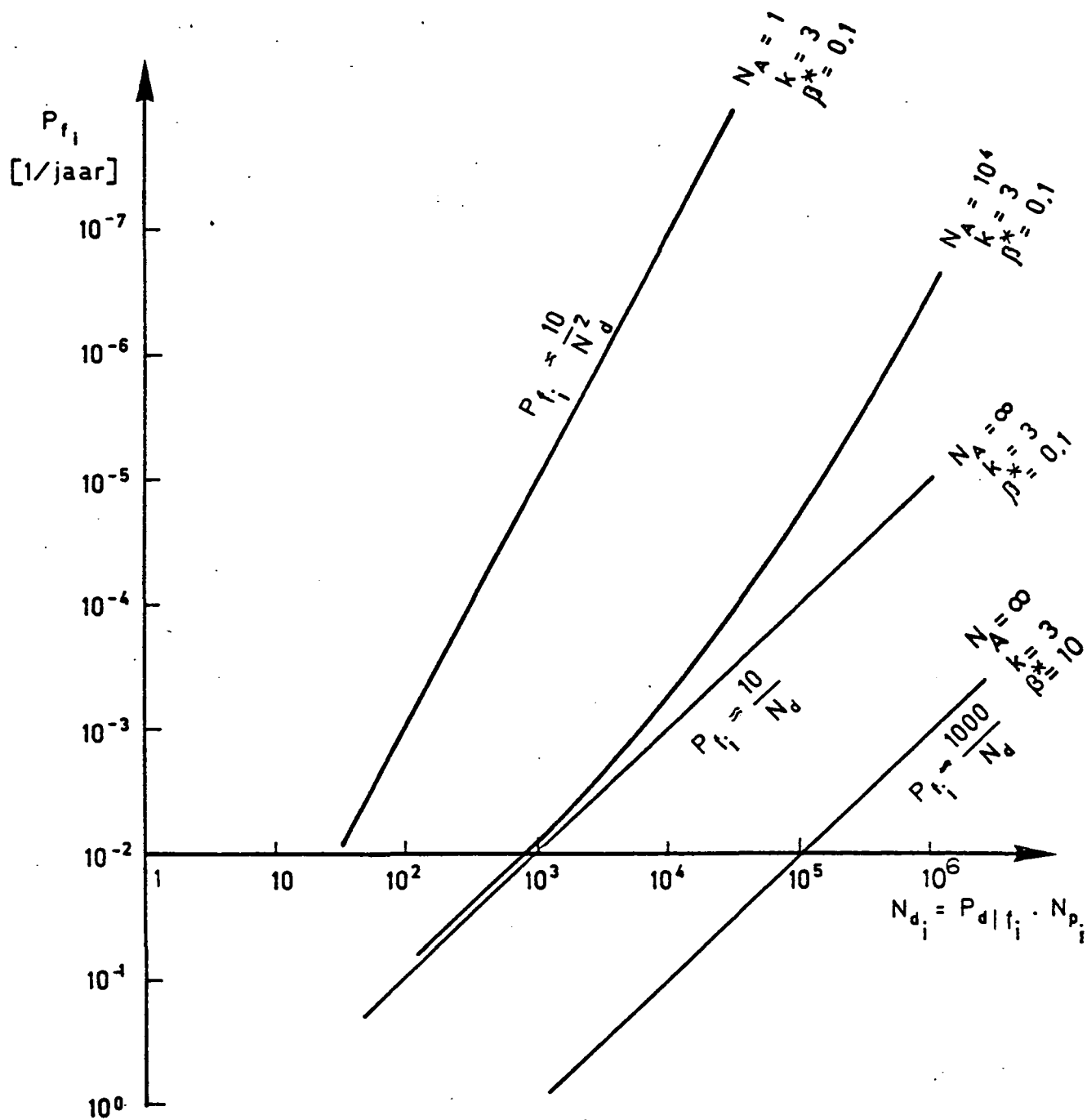


Fig. 2.9 Het verloop van de maatschappelijke veiligheidsnorm voor enkele waarden van β^* en N_A ; op de verticale as staat de kans op een ongeval en op de horizontale as het aantal doden dat valt indien de kans op een ongeval 1,0 is.

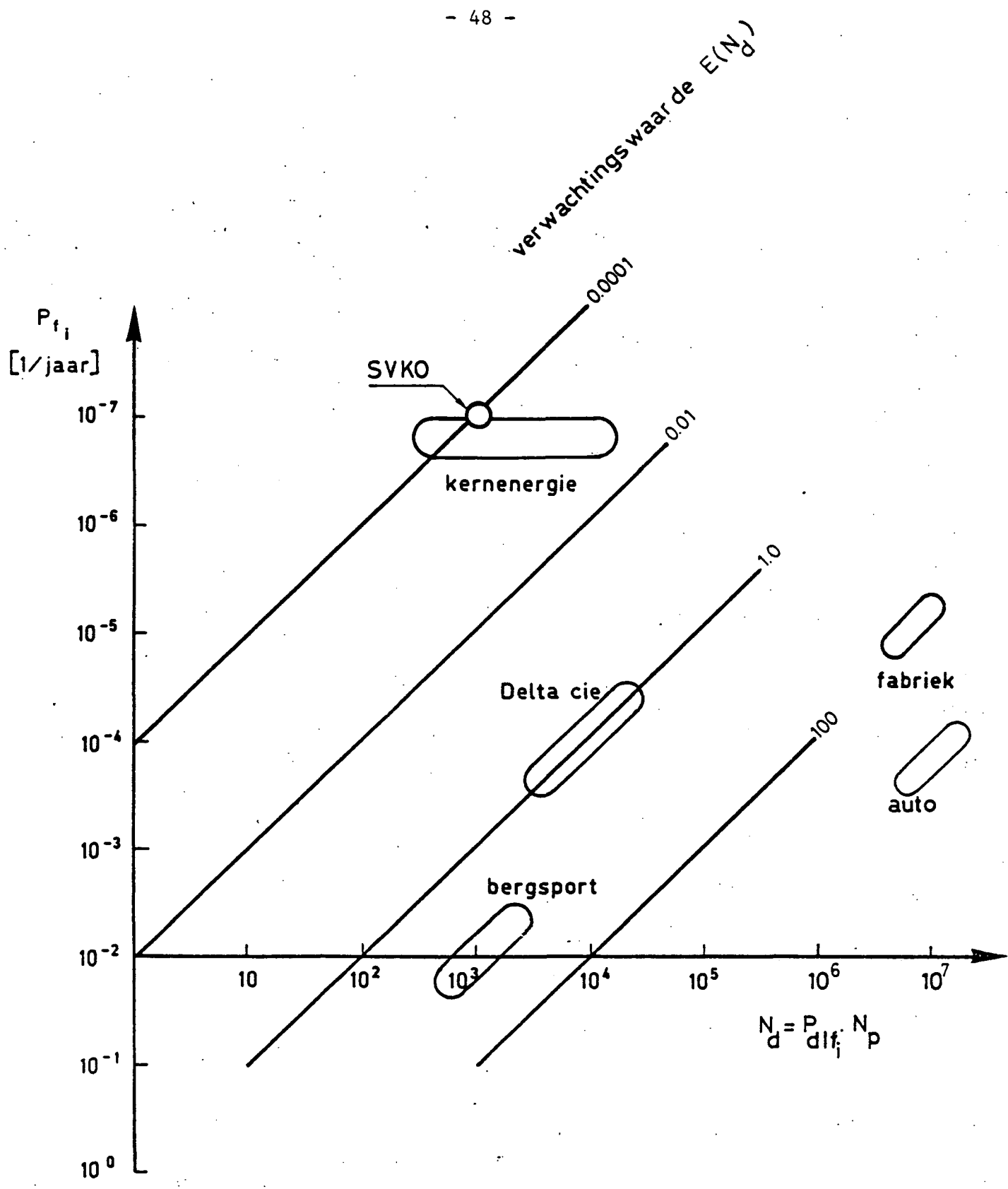


Fig. 2.10 De positie van enkele activiteiten in Nederland; op de verticale as staat de kans op een ongeval per systeem en op de horizontale as het aantal doden dat valt indien het ongeval optreedt.

$\beta^* = 10$: vrijwillige activiteit
 $\beta^* = 1,0$: neutrale activiteit
 $\beta^* = 0,1$: onvrijwillige activiteit
 $k = 3$
 $\Phi(k) = 99 \%$: betrouwbaarheid

Ook andere maatschappelijke instanties hebben uitspraken gedaan over het maatschappelijke aanvaardbare risico.

De milieunota van de Provincie Groningen en de LPG-Integraalstudie van VROM, bevatten standpunten op dit terrein.

Ten behoeve van een vergelijking zijn de essenties van beide standpunten grafisch weergegeven in de in deze studie gebruikelijke assenstelsels.

Opmerkelijk is dat beide benaderingen een evenredigheid tussen de aanvaardbare faalkans en het kwadraat van het aantal doden aannemen.

In fig. 2.11 is de maatschappelijke aanvaardbaarheid van risico's ontleend aan de milieunota van de Provincie Groningen [6] weergegeven.

Fig. 2.12 geeft de recente norm uit de Integrale Nota LGP in grafiekvorm.

Deze normen voor het groepsrisico zijn veel strakker dan de in deze studie ontwikkelde ideeën. Een ramp met een dodental van 10 000 is in het geheel niet toelaatbaar, zodat de waterstaatkundige situatie in Centraal-Holland volgens deze visie verbetering zou behoeven.

Ten slotte geeft fig. 2.13 de grafiek van het Rasmussen-rapport, met de frequentie van ongevallen met dodelijke afloop als gevolg van natuurrampen in de Verenigde Staten. Deze veel geciteerde grafiek laat zien dat in de VS het risico, dat voortvloeit uit natuurverschijnselen, een orde groter is dan men aanvaardbaar acht voor menselijke activiteiten. Met andere woorden de riskante menselijke activiteiten leveren een geringe bijdrage aan het totale risiconiveau.

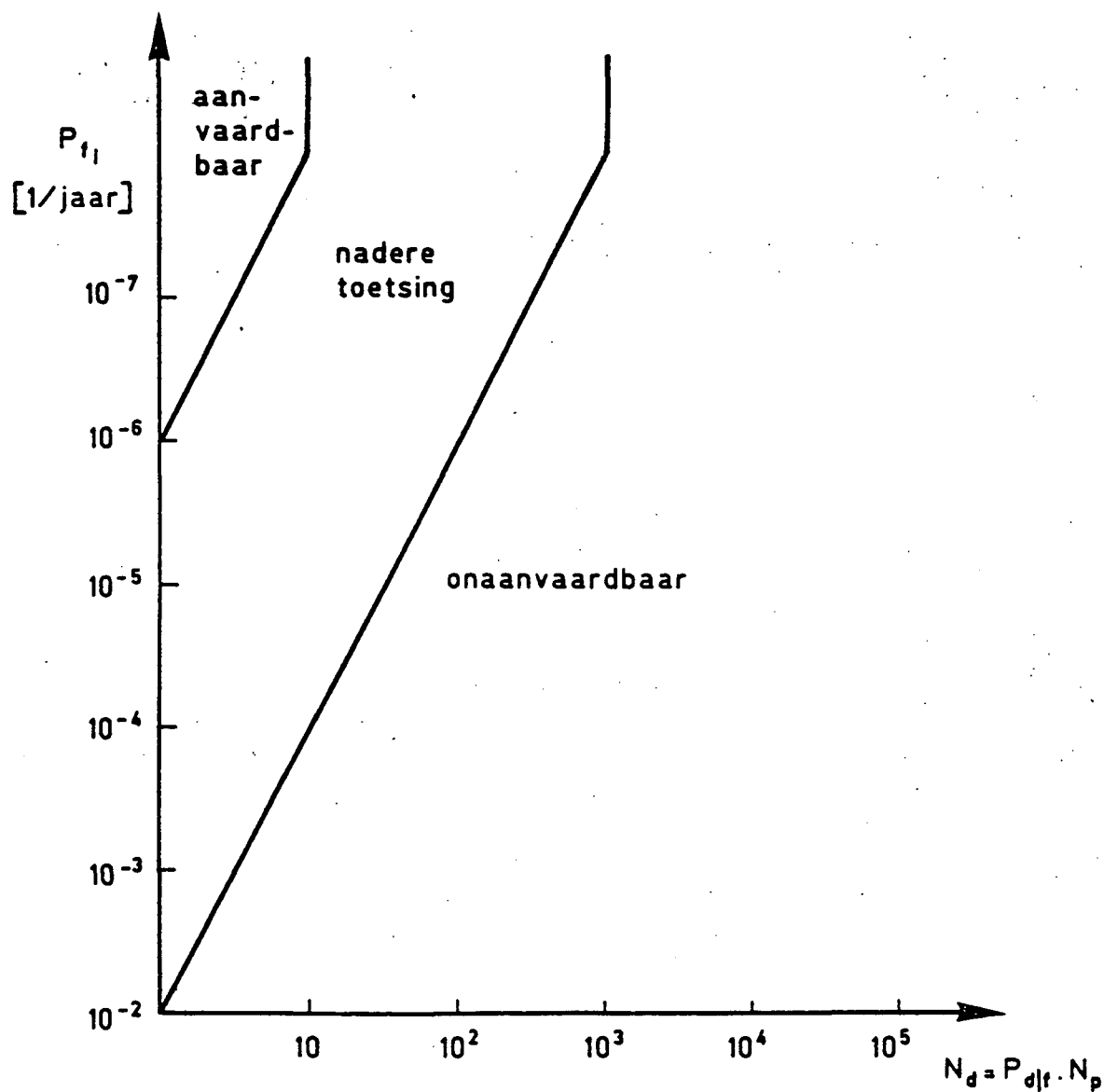


Fig. 2.11 De aanvaardbaarheid van groepsrisico's volgens de Nota Milieunormen van de Provincie Groningen; de grafiek is bedoeld voor de beoordeling van mogelijke ongevallen waarbij een groot aantal doden te betreuren is.

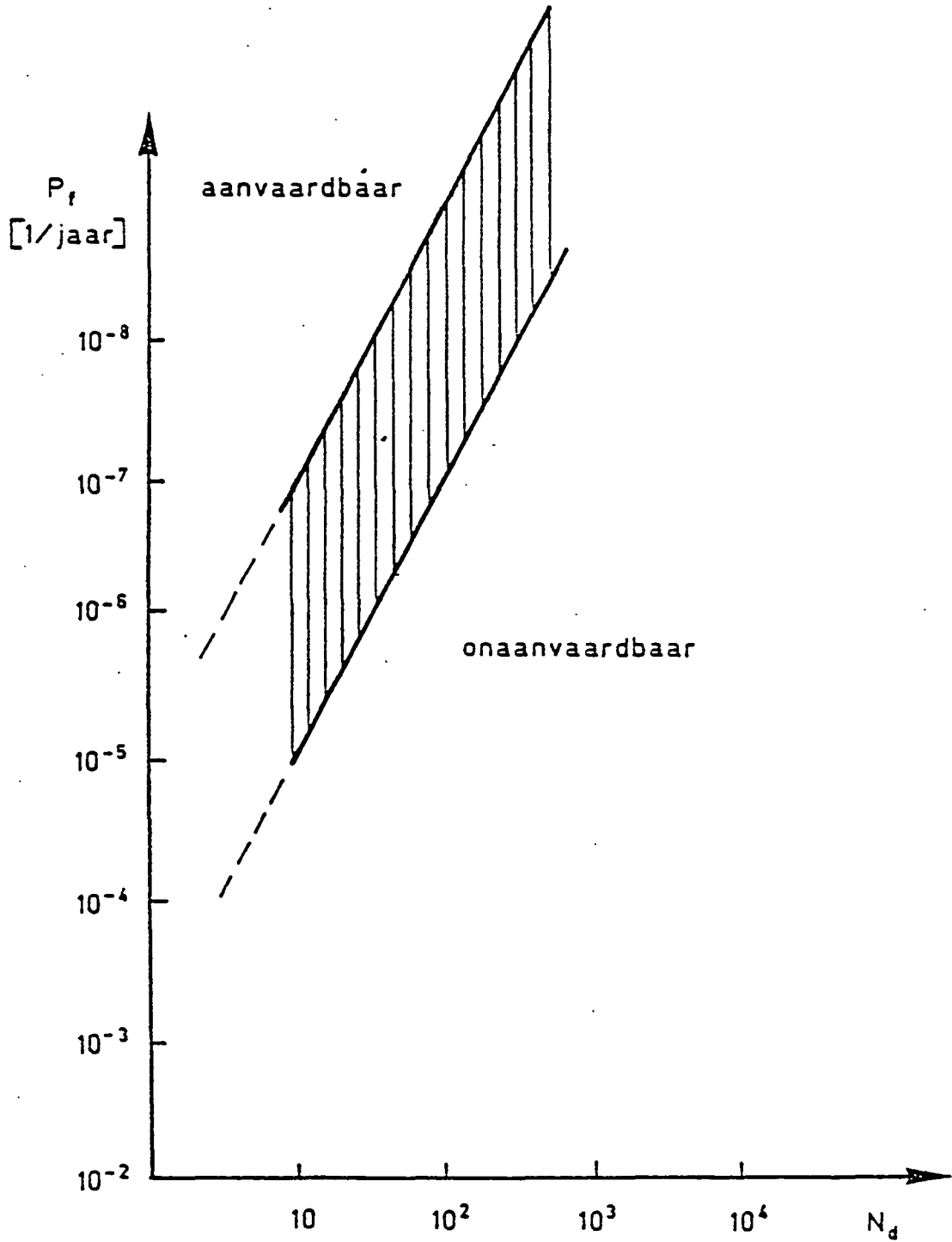


Fig. 2.12 Aanvaardbaarheid van groepsrisico's afgeleid uit de Integrale Nota LGP (18 233 no. 1 en 2). Deze norm moet nog worden aangevuld met een maximaal persoonlijk risico van 10^{-6} à 10^{-7} .

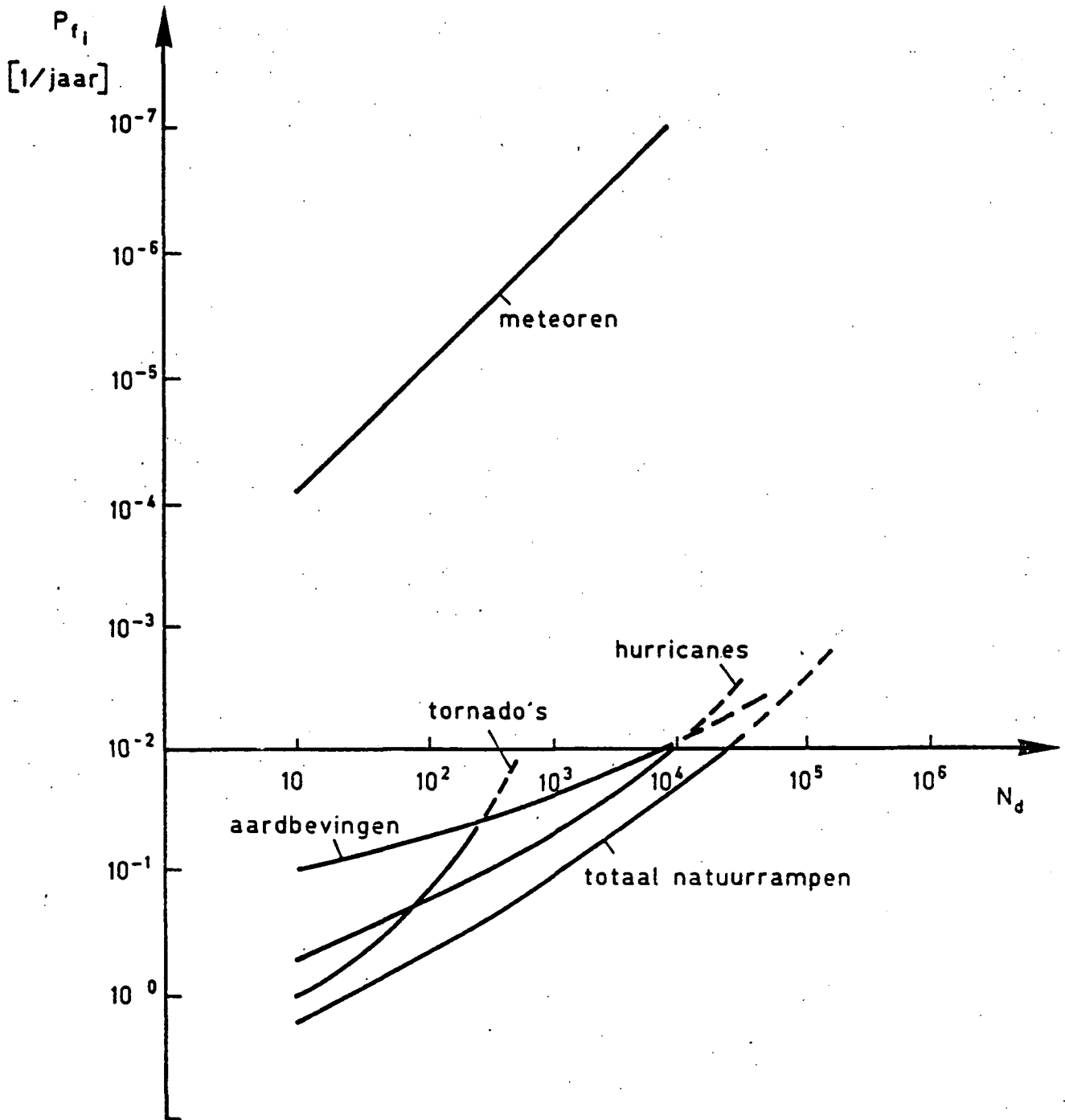


Fig. 2.13 Frequentie van ongevallen met dodelijke afloop als gevolg van natuurrampen in de V.S.

3. DE SYNTHESE TOT EEN TOTALE VISIE OP HET AANVAARBARE RISICO

In het voorafgaande is een visie op het aanvaardbare risiconiveau gepresenteerd. Deze visie behelst dat in een concreet geval steeds twee oogpunten naast elkaar worden gesteld, het persoonlijke en het maatschappelijke.

Voor het persoonlijk aanvaardbare risico is één benadering gebaseerd op de ongevallenstatistiek gegeven.

Het maatschappelijk aanvaardbare risiconiveau is langs twee wegen benaderd. Ten eerste een mathematisch economische afweging van de materiële risico's tegen de kosten van beveiliging.

Ten tweede een benadering gebaseerd op een model van maatschappelijke risicobeleving.

Bij de beoordeling van een activiteit dienen dus drie benaderingen te worden uitgewerkt.

- Het individueel aanvaardbare risico, dat voor een lid van de samenleving gemiddeld acceptabel is. In eenvoudige vorm wordt het aanvaardbare risico weergegeven door:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^* \cdot 10^{-4}}{P_d | f_i}$$

waarin β^* = beleidsfactor variërend van 0,1 tot 10 afhankelijk van de mate van vrijwilligheid

$P_d | f_i$ = de kans op een dode, gegeven een ongeval bij activiteit i .

- Het economisch optimale risiconiveau, waarbij de waarde van een mensenleven in aanmerking genomen moet worden. Voor de waarde van een mensenleven is de contante waarde van het netto nationaal product per hoofd een objectieve maat.

Het optimale niveau is bereikt als de marginale kosten van veiligheidsmaatregelen juist gelijk zijn aan de marginale opbrengst.

- Het maatschappelijk aanvaardbare risiconiveau, op basis van het veronderstelde risico-aversie-model. Dit model leidt tot de volgende waarde van de aanvaardbare faalkans.

$$P_{f_i} < \left\{ -\frac{k}{2\sqrt{N_A}} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k^2}{N_A} + \frac{4\beta^*.100}{N_p \cdot P_d|_{f_i}}} \right\}^2$$

waarin k = aantal malen (de standaardafwijking)

N_A = het aantal plaatsen waar de activiteit plaatsvindt

β^* = beleidsfactor variërend van 0,1 tot 10

N_p = aantal deelnemers

Of eenvoudiger de hieruit af te leiden limietgevallen:

$$P_{f_i} < \frac{\beta^*.100}{P_d|_{f_i} \cdot N_p} \quad \text{voor } N_A \gg \frac{1}{P_{f_i}}$$

$$P_{f_i} < \frac{\beta^{*2} \cdot 100^2 \cdot N_A}{k^2 (P_d|_{f_i} \cdot N_p)^2} \quad \text{voor } N_A \ll \frac{1}{P_{f_i}}$$

Het strengste criterium van de drie dient als maatgevend te worden beschouwd.

Hierbij wordt opgemerkt, dat het uit macro-economische overwegingen geen aanbeveling verdient om in veel gevallen en in grote mate af te wijken van het economisch optimale veiligheidsniveau. De mate van beveiliging zou anders onbetaalbaar kunnen worden.

Ter illustratie is de voorgestelde procedure in het volgende toegepast op Whitstable en Centraal-Holland. Beiden zijn gevallen, waarbij het gaat om de bescherming van polders met stedelijke bebouwing tegen de zee.

Zowel in Engeland als in Nederland ligt de lijn van het persoonlijk acceptatieniveau op 10^{-2} per jaar als de verdrinkingskans bij een overstroming gelijk $P_d|_{f_i} = 10^{-2}$ wordt gesteld.

De economische optima zijn in beide gevallen reeds berekend (zie 2.5).

Centraal-Holland	$P_f = 3 \cdot 10^{-6}$ 1/jaar
Whitstable	$P_f = 2 \cdot 10^{-4}$ 1/jaar

Het maatschappelijke criterium ($N_A = 1$; $k = 3$; $\beta = 0,1$)

$$P_f = \frac{\beta^2 \cdot 100^2 \cdot N_A}{k^2 \cdot N_d^2}$$

eist voor de toelaatbare overstromingskans:

- Centraal-Holland	($N_d = 50\ 000$)	$P_f = 4,5 \cdot 10^{-9}$ 1/jaar
- Whitstable	($N_d = 50$)	$P_f = 4,5 \cdot 10^{-3}$ 1/jaar

Voor Centraal-Holland is het maatschappelijk criterium veruit maatgevend (zie fig. 3.1). De economische beschouwing geeft daarentegen voor Whitstable het strengste criterium (zie fig. 3.2).

Interessant is te zien welke keuze in de maatschappelijke processen is gemaakt voor het aanvaardbare risiconiveau:

- Delta Cie: Centraal-Holland 10^{-4} - 10^{-5} ;
- City Council: Whitstable 10^{-3} .

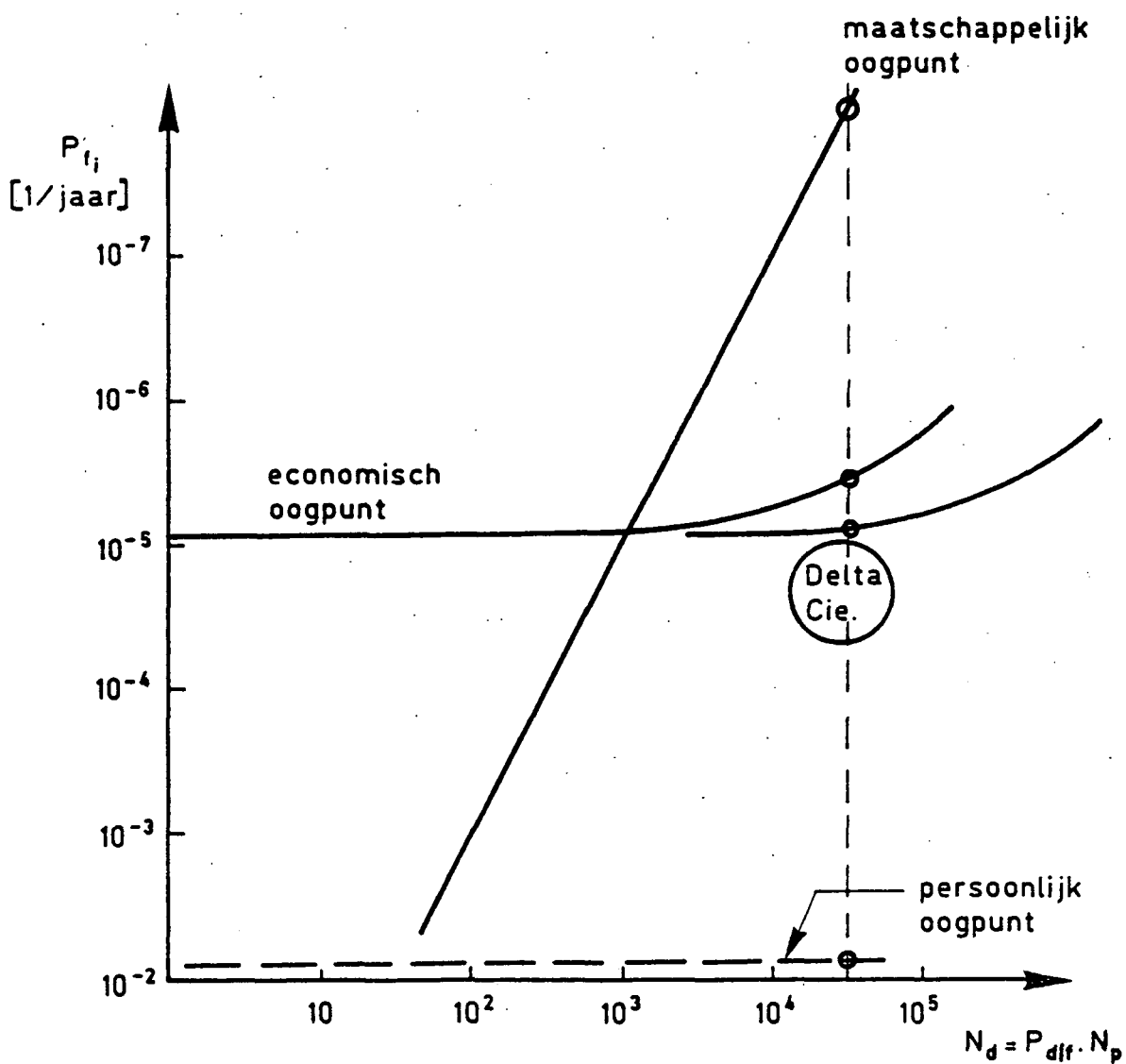


Fig. 3.1 De toepassing van de drie veiligheidseisen op Centraal-Holland.

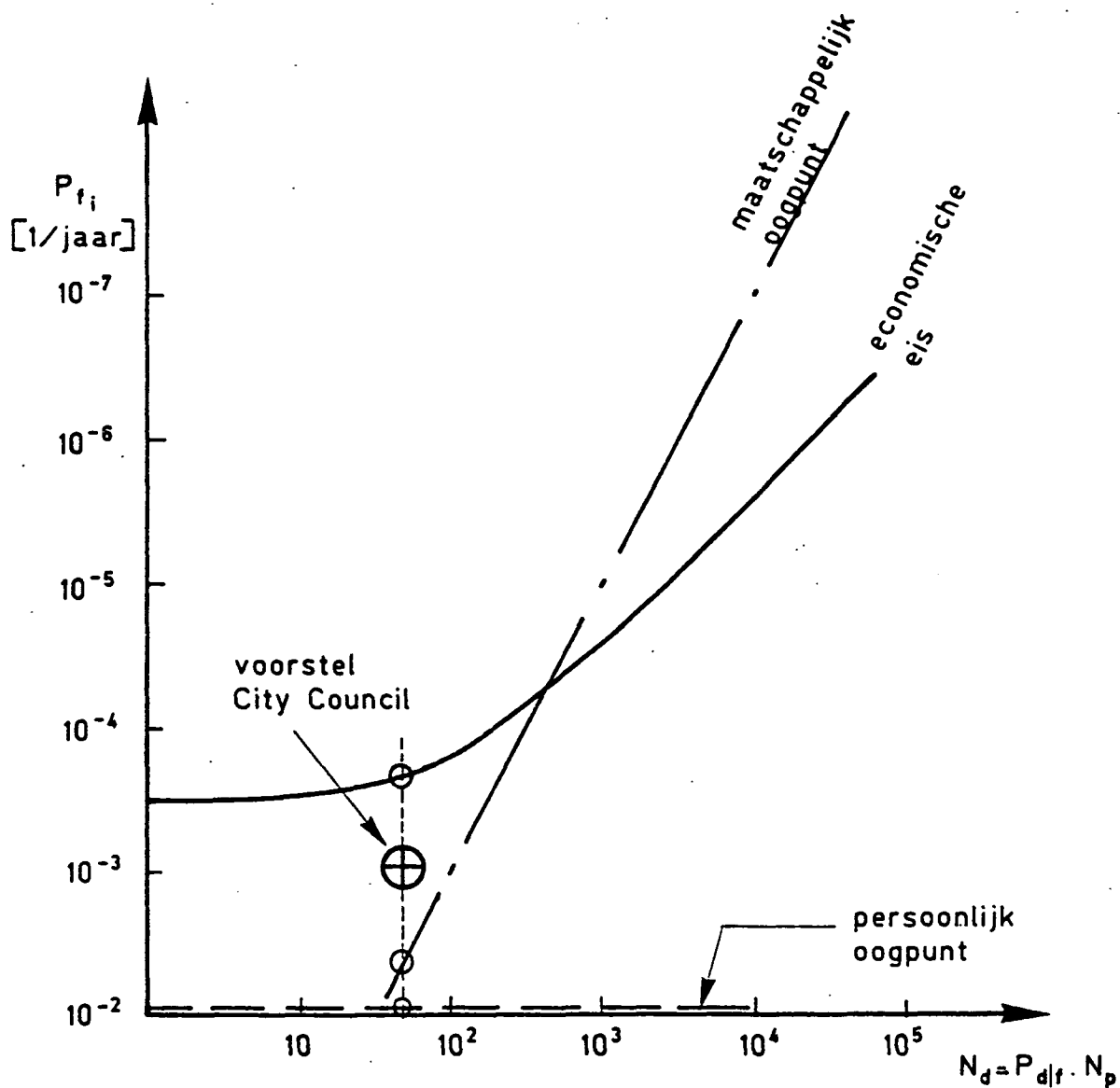


Fig. 3.2 De toepassing van de drie veiligheidseisen op de zeekering van Whitstable

Hoewel in deze studie een poging is gedaan een aantal facetten van de maatschappelijke risicobeleving in één kader onder te brengen, is de problematiek zeker niet opgelost. De oplossing kan slechts geleidelijk ontstaan in technische en politieke discussies, die gevoed worden door ervaringen in het leven.

Dat er aanleiding is voor discussie blijkt al uit de verschillen tussen de norm voor het groepsrisico uit de nota Milieunormen van de provincie Groningen, de voorstellen van deze studie en de realiteit (zie fig. 2.9, 2.10 en 2.11).

Deze bijdrage geeft een overzicht van de stand van de kennis op dit moment.

Binnen de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen zal de studie worden voortgezet.

LITERATUUROPGAVE

- [1] Visser, J.P., Kwantificering van risico's. De Ingenieur, jrg. 91, 29 november 1979.

- [2] v. Dantzig, D., Kriens, J., Het economisch beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloed. Rapport Deltacommissie, deel 3, bijdrage II.2, Den Haag, 1960.

- [3] Vlek, C.A.J., Stallen, P.J.M., Beoordeling van riskante activiteiten: een psychometrische analyse. De Ingenieur, jrg. 91, 29 november 1979.

- [4] Neumann, von J., Über ein Okonomischen Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwerschen Fixpunktsatzes. Ergebnisse eines mathematischen Kolloquiums, 8, 73-83, Leipzig und Berlin, 1937.

- [5] Ligtenberg, F.K., Hoe veilig moet een constructie eigenlijk zijn? TNO-Nieuws, maart, 1971.

- [6] Nota Milieunormen: Provincie Groningen, 1979.