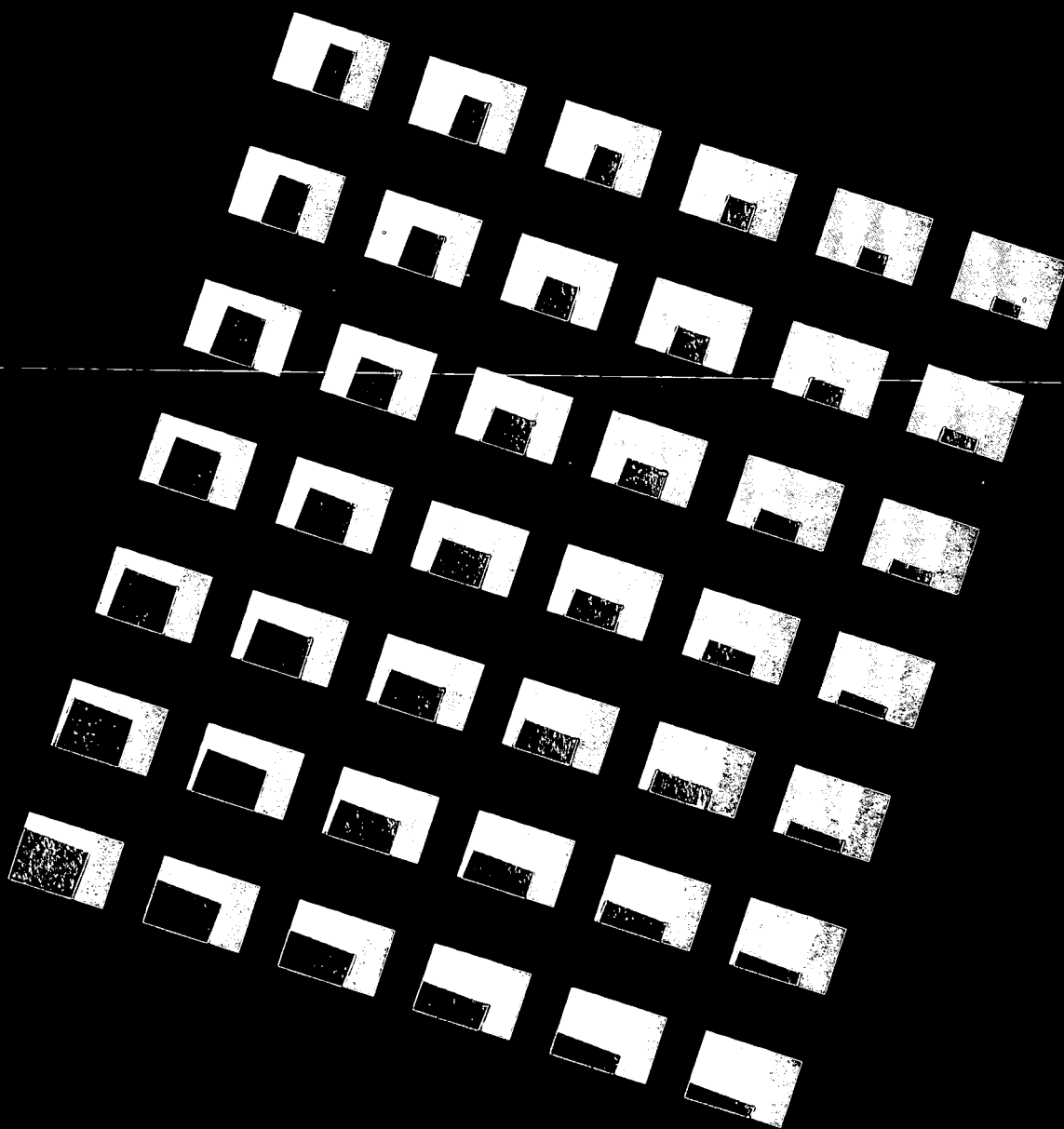




TNO-rapport

B-91-1099 Methoden voor de bepaling van het aantal doden
als gevolg van inundatie

Sept. 1992
WSPB/MNL

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Projectnaam : TAW-E
Projectnummer : 21.3.8596
Auteur : Ir. P.H. Waarts

Bladzijden : 57
Tabellen : -
Figuren : 17
Bijlagen : 6

Trefwoord(en) : inundatie, doden

INHOUDSOPGAVE

Pagina

0.	SYMBOLENLIJST	i
1.	INLEIDING	1
2.	PROBLEEM- EN DOELSTELLING	2
3.	RELATIES TUSSEN AANTAL DODEN EN BEPALENDE FACTOR	3
4.	STORMVLOED '53	8
5.	OVERIGE INUNDATIES	20
6.	MODEL VOOR DE BEPALING VAN HET AANTAL SLACHTOFFERS	29
7.	MODELONZEKERHEID	35
8.	CONCLUSIE	38
9.	REFERENTIES	39

BIJLAGEN

I	LITERATUUR UIT LITERATUURSEARCH	41
II	VERANTWOORDING GEGEVENS STORMVLOED '53	44
III	OVERZICHT GEGEVENS STORMVLOED '53	49
IV	DIJKRING OPPERVLAKE	52
V	SAMENVATTING GEGEVENS [12]	53
VI	KWETSBAARHEID VAN GEBOUWEN BIJ INUNDATIE TEN GEVOLGE VAN GOLFBELASTING EN STROOMSNELHEID	55

0. SYMBOLENLIJST

A	= oppervlak van de dijkkring
ef	= evacuatiefactor
h	= inundatie-diepte
n_a	= aantal aanwezigen
n_{ab}	= aantal aanwezigen direct achter bres
n_b	= aantal bewoners
n_e	= aantal geredden tijdens inundatie boven 1,5 m
n_s	= aantal slachtoffers
n_u	= aantal slachtoffers door stroomsnelheid
n_v	= aantal slachtoffers door stijgsnelheid
n_o	= aantal slachtoffers door overige oorzaken
P_b	= kans op bres
P_s	= kans op storm
Q	= inundatie-debiet
t	= tijd
t_d	= inundatieduur
u	= stroomsnelheid
v	= stijgsnelheid
w	= waarschuwingstijd
z	= hoogste verdiepingshoogte
δ	= verdrinkingsfactor
δ_o	= verdrinkingsfactor door overige oorzaken
δ_u	= verdrinkingsfactor door stroomsnelheid
δ_v	= verdrinkingsfactor door stijgsnelheid

1. INLEIDING

De TAW (Technische Advies Commissie voor Waterkeringen) wenst te komen tot een op een risico-benadering gebaseerde richtlijn voor het ontwerpen en toetsen van waterkeringen. De sterkte van waterkeringen (hoogte, breedte, etc.) is daarbij afhankelijk van de geaccepteerde kans van falen van de waterkering. Deze geaccepteerde faalkans is afhankelijk van de kosten die nodig zijn om een bepaalde faalkans te bereiken (bijvoorbeeld kosten van dijkverhoging) en de schade die aangericht wordt als de constructie daadwerkelijk faalt. Dit rapport handelt over methoden om de schade als gevolg van inundatie te kunnen quantificeren.

Onderscheid kan worden gemaakt in:

- materiele schade;
- doden, gewonden, ongerief.

Dit rapport handelt alleen over de bepaling van het aantal doden. Er worden empirische relaties afgeleid op basis van waarnemingscijfers. Deze waarnemingscijfers zijn vooral afkomstig van de stormramp van 1 februari 1953 in Zuid-West Nederland. Daarnaast zijn ook gegevens gebruikt van inundaties elders (Nederland, Duitsland, Frankrijk, Spanje, Amerika). De materiele schade als gevolg van inundatie is reeds behandeld in [9] en [10].

Het rapport kan worden opgevat als een voortzetting van de 8 jaren geleden door TNO-MT uitgevoerde studie [9]. Destijds werd alleen de waterstand als relevante parameter meegenomen. In het onderhavige rapport wordt ook het effect van andere parameters onderzocht, met name de stijgsnelheid van het water en het oppervlak van de polder. Een probleem is dat deze grootheden niet onafhankelijk zijn: in een kleine polder is de stijgsnelheid hoog evenals de maximale waterstand. In vergelijking met [9] zijn verder nog enkele waarnemingen meegenomen die toen verwaarloosd waren omdat niet alle details bekend waren. Dit waren vooral gebieden met veel inwoners, variërende inundatiediepten, maar weinig slachtoffers.

2. PROBLEEM- EN DOELSTELLING

2.1 Probleemstelling

Het aantal slachtoffers als gevolg van inundatie wordt waarschijnlijk door een groot aantal factoren bepaald. In grote lijnen kunnen deze worden onderscheiden in:

- a. factoren die het inundatieproces beschrijven: waterhoogte, waterstijgsnelheid, stroomsnelheid, windrichting en windkracht, temperatuur, inundatieduur;
- b. factoren die betrekking hebben op de structuur van het overstroomde gebied: bevolking, bebouwing, waarschuwing- en reddingsmogelijkheden.

Over de gevolgen van inundatie zijn in Nederland slechts enkele verkennende onderzoeken gedaan [9], [10]. In deze studies was de inundatiehoogte de bepalende factor.

Er bestaat de indruk dat niet alleen de inundatiehoogte bepalend is voor het aantal slachtoffers. Ten einde een zo goed mogelijke voorspelling te krijgen van het aantal doden als gevolg van overstroming dienen zo veel mogelijk bepalende factoren te worden meegenomen.

2.2 Doelstelling

Onderzocht dient te worden of met een redelijke mate van nauwkeurigheid een model kan worden afgeleid voor het bepalen van het aantal slachtoffers (doden) als gevolg van inundatie. Hierbij dienen zo veel mogelijk van de in paragraaf 2.1 genoemde factoren te worden betrokken. De parameters van het model worden bepaald uit zo veel mogelijk waarnemingscijfers.

3. RELATIES TUSSEN AANTAL DODEN EN BEPALENDE FACTOREN

3.1 Bepalende factoren en correlaties

In hoofdstuk 2 zijn een aantal factoren gegeven die bepalend lijken te zijn voor het aantal verdronkenen. In het navolgende worden een vijftal van deze factoren in het kort besproken en de correlaties tussen deze factoren toegelicht.

- Stroomsnelheid

Uit de verslagen blijkt dat een groot aantal slachtoffers direct achter een doorgebroken dijk valt. Door de hoge stroomsnelheid kunnen zowel direct slachtoffers vallen door het verlies aan evenwicht, als indirect doordat de woningen waarin de mensen verblijven bezwijken. Voor de kans op bezwijken van de bebouwing zie bijlage VI.

- Stijgsnelheid

De stijgsnelheid is vooral van belang voor de vluchtmogelijkheid van mensen naar hoger gelegen gronden. Een sterke stijgsnelheid kan ertoe leiden dat verhinderd wordt dat mensen vluchten. Tevens kan het er toe leiden dat vluchtende mensen worden overvallen door het water.

- Inundatiediepte

Indien mensen niet zijn gevlucht naar hoger gelegen plaatsen (wellicht als gevolg van de hoge stijgsnelheid), dan is de inundatiediepte h direct bepalend voor het aantal slachtoffers. Naast de inundatiediepte is dan de hoogte van de bovenste verdieping van belang. Daarnaast blijkt dat met de inundatiediepte de kans toeneemt dat woningen instorten (waarschijnlijk in combinatie met stroomsnelheid en windkracht, golven, zie bijlage VI). Door het instorten van veilig geachte woningen komen er weer slachtoffers.

- Inundatieduur

Naar mate een inundatie langer duurt kunnen door afkoeling en verhongering slachtoffers ontstaan. Ook heeft de duur van de inundatie invloed op de stabiliteit van de woningen. Een lange inundatieduur leidt tot een grotere

kans op instorten van woningen. Dit laatste is ook het gevolg van de, met de inundatieduur, toenemende kans op grotere windsnelheden en golven.

- Correlaties tussen factoren

Bovengenoemde vier factoren zijn niet geheel onafhankelijk. Daarbij zullen bovengenoemde factoren weer afhankelijk zijn van de geometrie van het gebied. Bijvoorbeeld stijgsnelheid v en oppervlak A zijn afhankelijk, volgens:

$$dh/dt = Q/A \quad (3.1)$$

$$h(t) = \frac{dh}{dt} t = v t \quad (3.2)$$

met:

Q = debiet [m^3/s]

h = inundatiediepte [m]

A = oppervlak van dijkring [m^2]

t = tijd [s]

v = stijgsnelheid [m/s]

Indien uitgegaan wordt van een constant inundatiedebiet Q , dan zal een kleine dijkring een grotere stijgsnelheid hebben dan een grote dijkring.

De stroomsnelheid u is gekoppeld aan de stijgsnelheid v , volgens:

$$u = \frac{Q}{A_{br}} = \frac{Av}{A_{br}} \quad (3.3)$$

Hierin is A_{br} het bresoppervlak

- Dijkring oppervlak

Naast het feit dat de stijgsnelheid, en daarmee de inundatiediepte gecorreleerd is aan het dijkringoppervlak, geldt ook dat de vluchtmogelijkheid gecorreleerd is met het oppervlak A . Bij een kleine dijkring is een hoog gelegen plaats (dijk) dichterbij dan in een grote dijkring. Verwacht wordt

dat de vluchtmogelijkheden gecorreleerd zijn met de straal van de dijk-ring, dus met $\sqrt{A}$.

Overigens geldt bij inundaties vanuit zee dat de totale bresgrootte gecorreleerd is met de dijk lengte. De totale bresgrootte is daarmee ook gecorreleerd met $\sqrt{A}$. Het dijkringoppervlak zal ook gecorreleerd zijn met de inundatieduur. Een grote dijkring zal langere tijd nodig hebben om leeg te lopen/pompen.

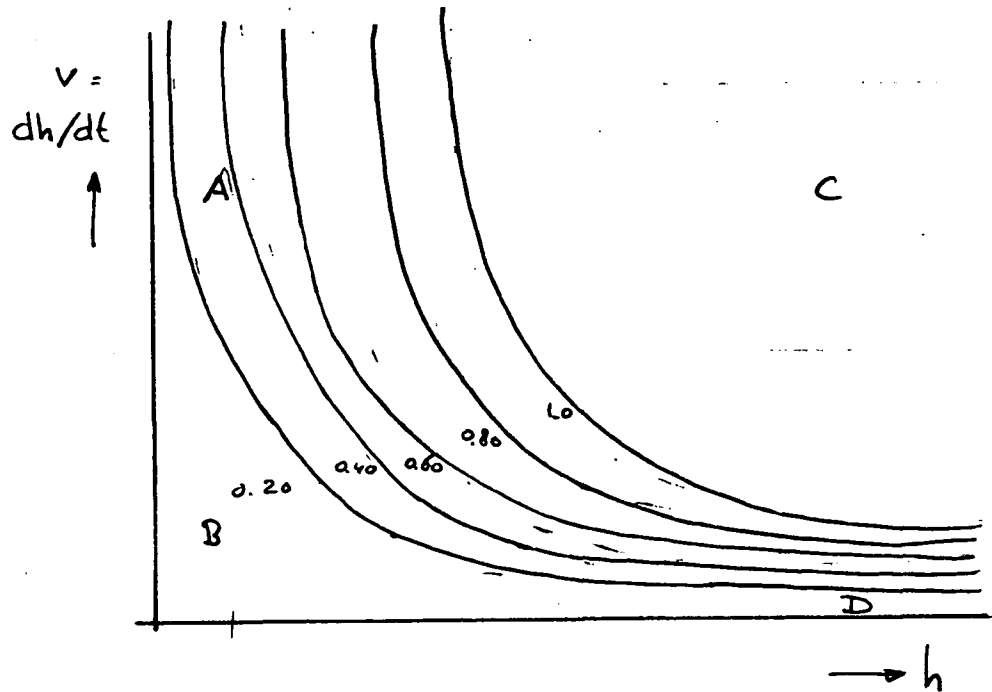
3.2 Procedure

Relaties worden gezocht tussen het aantal verdronkenen en de bepalende factoren. Deze relaties zullen worden afgeleid op basis van gegevens afkomstig van de febr. '53 stormvloed. Daarna zullen andere inundaties in het model worden betrokken.

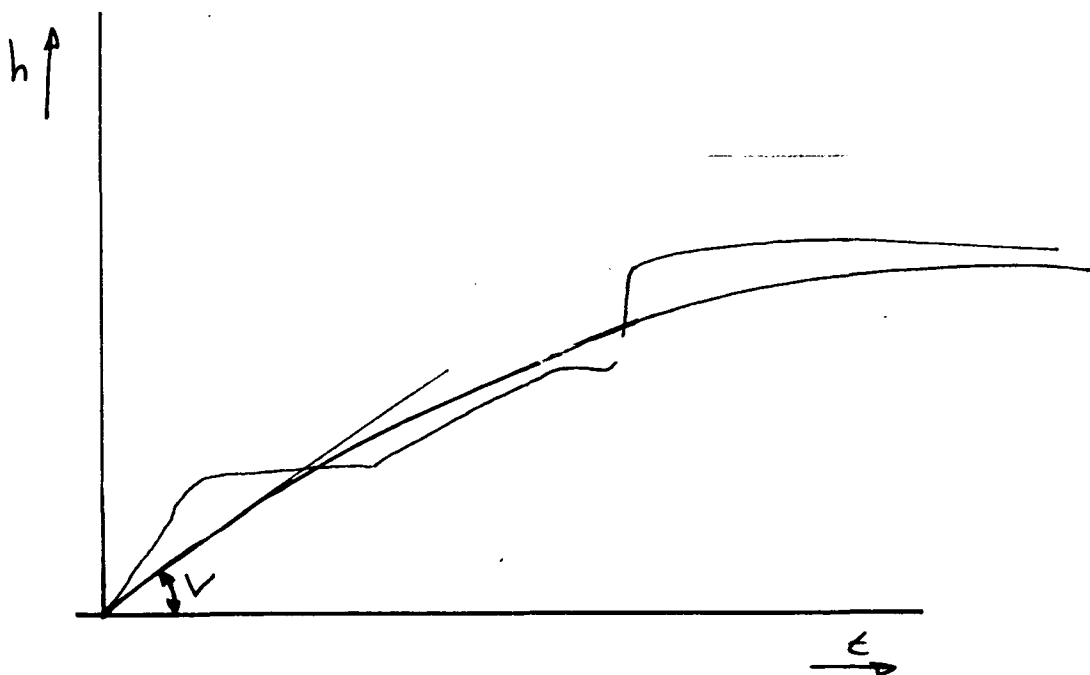
Als eerste opzet wordt een grove aanpak uitgevoerd. Gelijk aan de procedure in [9] zal een relatie worden afgeleid tussen de kans op slachtoffers (verdrinkingsfactor) en de waterhoogte boven maaiveld (inundatiediepte).

Daarna zal op het totaal aantal slachtoffers het aantal slachtoffers ten gevolge van stroomsnelheid in mindering worden gebracht. Weer zal de relatie verdrinkingsfactor - inundatiediepte worden bepaald. Vervolgens zal getracht worden de relatie tussen stijgsnelheid en inundatiediepte enerzijds en de verdrinkingsfactor anderzijds te bepalen. Deze relatie zal eruit zien als in figuur 1. Onderzocht kan nu worden of er daadwerkelijk een relatie bestaat tussen stijgsnelheid en inundatiediepte, zodanig dat één van beide factoren kan worden geelimineerd. Een probleem hierbij is dat voor gebied A, B en D geen gegevens te vinden zijn. De stijgsnelheid is alleen het vermelden waard geweest bij grote inundatiediepten. Overigens wordt, als geen stijgsnelheid bekend is, aangenomen dat de stijgsnelheid laag is ($v < 0,1$ m/min).

Figuur 1: Voorbeeld van een contour diagram van de verdrinkingsfactor



Figuur 2: Voorbeeld van een mogelijk verloop van inundatiediepte in de tijd



Er moet tevens worden opgemerkt dat de stijgsnelheid vrijwel nooit constant is geweest. Alleen als een dijkkring in directe verbinding met zee stond zal een inundatieverloop als in figuur 2 waarschijnlijk zijn. In de overige gevallen zal meer een getrapte lijn zijn opgetreden (bijvoorbeeld doordat binnen de dijkkring nog ander (lagere) dijklichamen aanwezig zijn). Dit laatste geeft tevens aan dat ook het dijkkring oppervlak waarschijnlijk niet constant is.

Indien een verdrinkingsfactor (aantal slachtoffers gedeeld door aantal inwoners) berekend wordt, dient er een homogeen gebied te bestaan qua maaiveldhoogte, gebouwtype (bouwwijze) en aantal verdiepingen per woning (en verdiepingshoogte). Het probleem doet zich hierbij voor dat de gegevens over deze aspecten moeilijk te achterhalen zijn. In [9] is een poging gedaan om het aantal verdrinkingen per gemeente uit te splitsen naar kernen en buitenwijken. Het aantal inwoners van de kernen en buitenwijken in 1953 is echter moeilijk te achterhalen. Alleen daar waar dit wel mogelijk was, is dit ook in dit rapport uitgevoerd.

In de berekening van de verdrinkingsfactor telt een kleine buitenwijk met ca. 50 inwoners minder mee als een stad met 50.000 inwoners. Er vindt per klasse van inundatiediepte van 0,50 m een weging plaats lineair met het inwoneraantal.

Achteraf zal worden onderzocht of de situatie in het buitenland past in de situatie tijdens de '53 stormvloed in Zuid-West Nederland. Door middel van een computersearch zijn de publicaties betreffende de gevolgen van inundatie geïnterpreteerd en daarna bestudeerd. Veelal zijn de gegevens in deze publicaties niet toereikend. De tijd waarin deze studie is uitgevoerd liet het niet toe nadere informatie op te vragen. Vandaar dat het vergelijk met de buitenlandse situatie beperkt blijft.

4. STORMVLOED '53

4.1 Inleiding

Als basis voor de studie dienen de verslagen van de stormvloed in 1953 (Ref. [1] t/m [7]). De verslagen zijn bestudeerd op de in hoofdstuk 3 genoemde factoren. Genoteerd werden (indien te achterhalen) per gemeente:

- aantal slachtoffers als gevolg van:
 - . stroomsnelheid;
 - . inundatiediepte;
 - . inundatieduur;
 - . stijgsnelheid.
- aantal inwoners;
- polderoppervlak;
- hoogte maaiveld;
- inundatieduur;
- stijgsnelheid.
- stroomsnelheid
- stijgsnelheid

Een verantwoording van deze gegevens wordt gegeven in Bijlage II. Een overzicht wordt gegeven in Bijlage III.

In hoofdstuk 3 is de aanpak van modelvorming weergegeven. Er wordt een relatie gezocht tussen de verdrinkingsfactor en de bepalende factoren. In de navolgende paragrafen zullen deze relaties worden geanalyseerd.

4.2 Inundatiediepte

In [9] is een relatie gemaakt tussen de verdrinkingsfactor en de inundatiediepte. Gezien het feit dat bij het opstellen van het onderhavige rapport gegevens van veel meer gemeenten beschikbaar zijn, is de analyse opnieuw uitgevoerd. In [9] is soms een uitsplitsing gemaakt naar kern en buitenwijken. Juist de verdrinkingsfactor in de buitenwijken is bepalend voor de in [9] gevonden relatie tussen de verdrinkingsfactor en inundatie-

diepte. In hoofdstuk 3 is ook reeds opgemerkt dat deze buitenwijken slechts een gering aantal bewoners kenden. De buitenwijken zijn daarom voor de modelvorming minder belangrijk dan de kernen. De relatie tussen de verdrinkingsfactor en inundatiediepte wordt in het onderhavige rapport, in afwijking van [9], daarom gewogen naar het aantal bewoners.

In figuur 3 tot en met 6 is de verdrinkingsfactor δ weergegeven als functie van de inundatie-diepte h . In figuur 3 is de relatie volgens [9] weergegeven. De sterk stijgende lijn boven een inundatiediepte van 3 à 3,5 m wordt veroorzaakt door locaties met relatief weinig bewoners. Figuur 4 geeft de data weer die in de studie van Duiser [9] zijn gebruikt tesamen met de data die voor de onderhavige studie zijn gebruikt. In figuur 4 zijn tevens de inwoneraantallen voor alle, in de onderhavige studie gebruikte, locaties weergegeven.

In figuur 5 is een lijn getrokken door de data van figuur 4 (gewogen naar aantal inwoners). Per klasse van inundatiediepte (0,50 m) wordt de verdrinkingsfactor gewogen naar het inwoneraantal. De lijn is berekend met de kleinste kwadraten methode bij aanname dat de verdrinkingsfactor exponentieel toeneemt met de inundatiediepte. In formule:

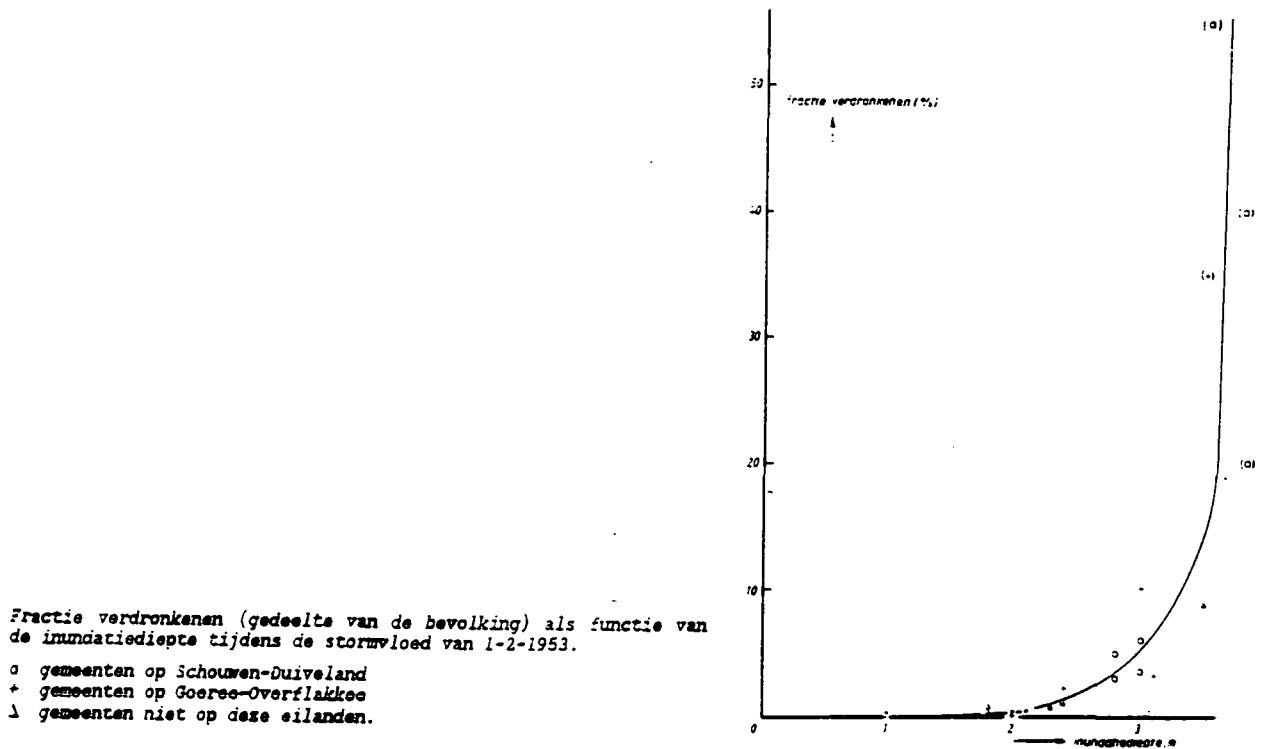
$$\delta = 0,665 \cdot 10^{-3} e^{1,16h} \quad h \text{ in [m]}$$

We zien in figuur 5 dat de verdrinkingsfactor veel minder snel toeneemt dan in figuur 3 [9]. Dit komt voornamelijk door de weging naar het aantal inwoners. Vooral Kruiningen (zie bijlage II) heeft door zijn groot aantal inwoners grote invloed.

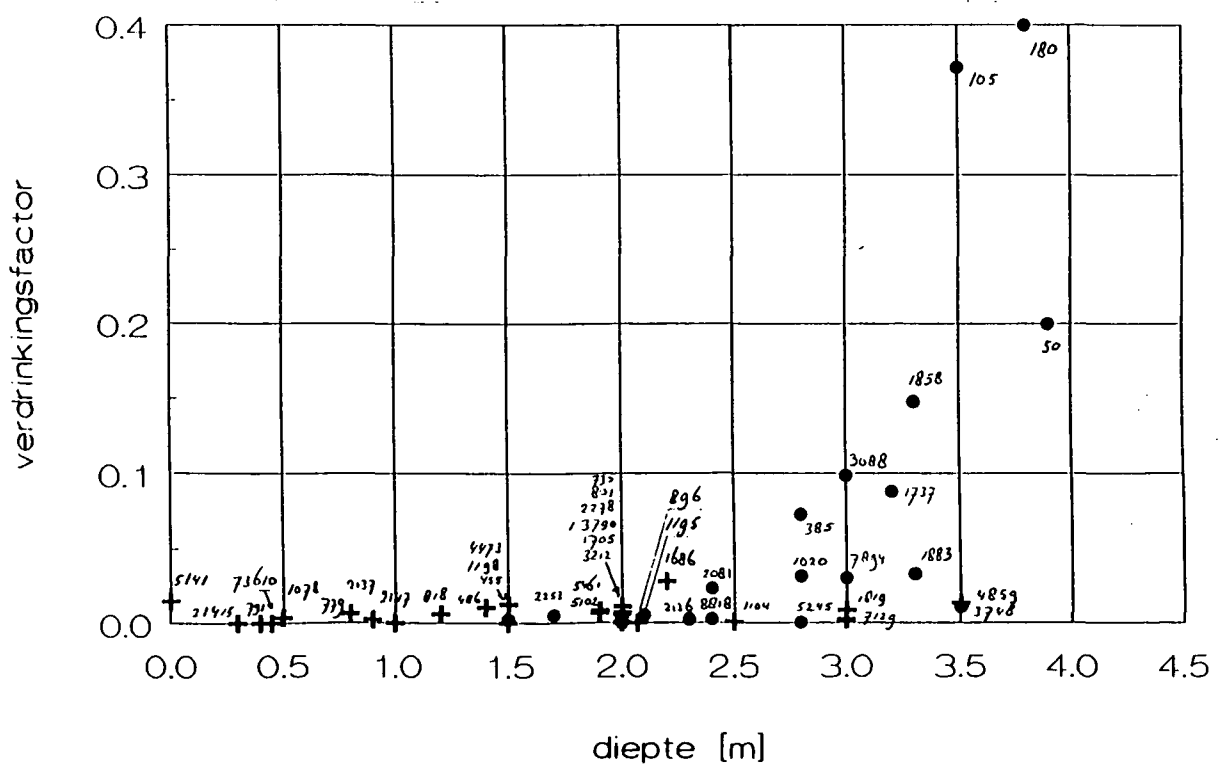
In figuur 6 is wederom de verdrinkingsfactor uitgezet tegen de inundatiediepte. Bij de bepaling van de verdrinkingsfactor zijn nu echter de slachtoffers als gevolg van grote stroomsnelheid geelimineerd. Duidelijk blijkt dat de figuur 6 vrijwel gelijk is aan figuur 5. Gezien het feit dat de stroomsnelheid waarschijnlijk een geringe correlatie heeft met de inundatiediepte zal figuur 6 toch een beter model vormen dan figuur 5.

$$\delta = 0,4 \cdot 10^{-3} e^{1,27h} \quad h \text{ in [m]}$$

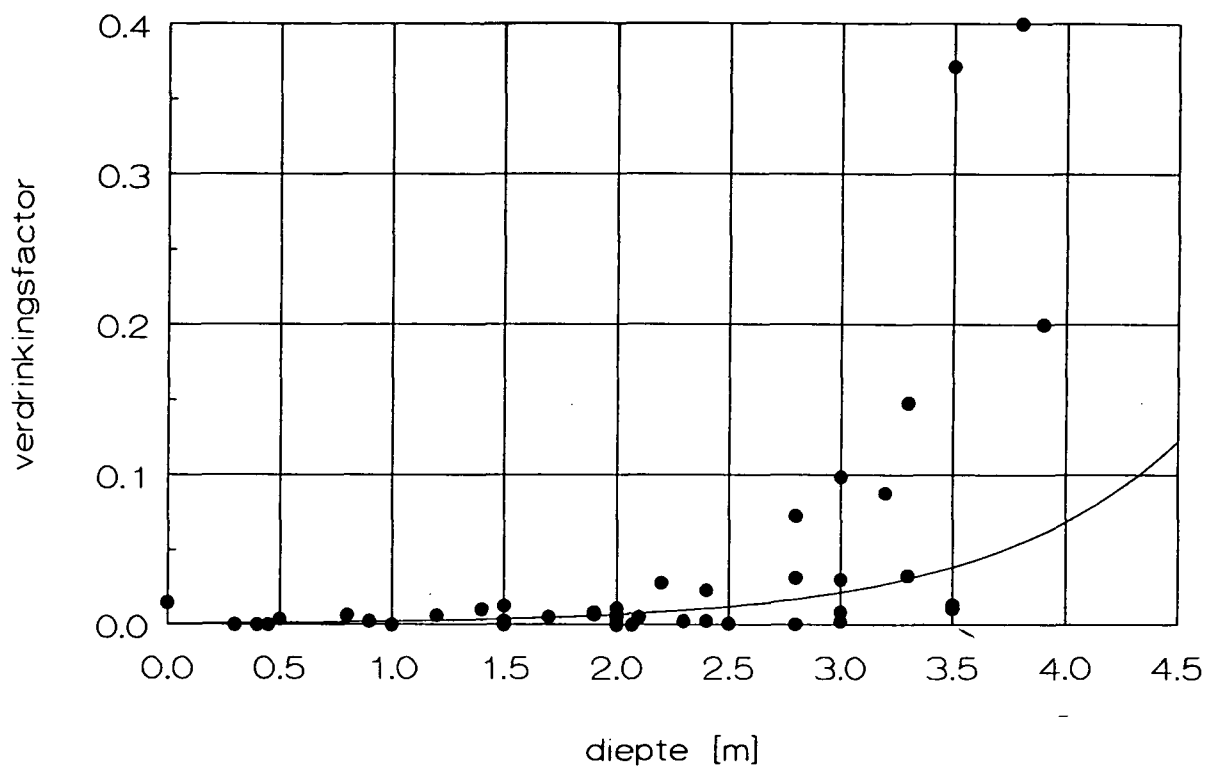
Figuur 3: Relatie tussen verdrinkingsfactor en inundatiediepte volgens Duiser [9].



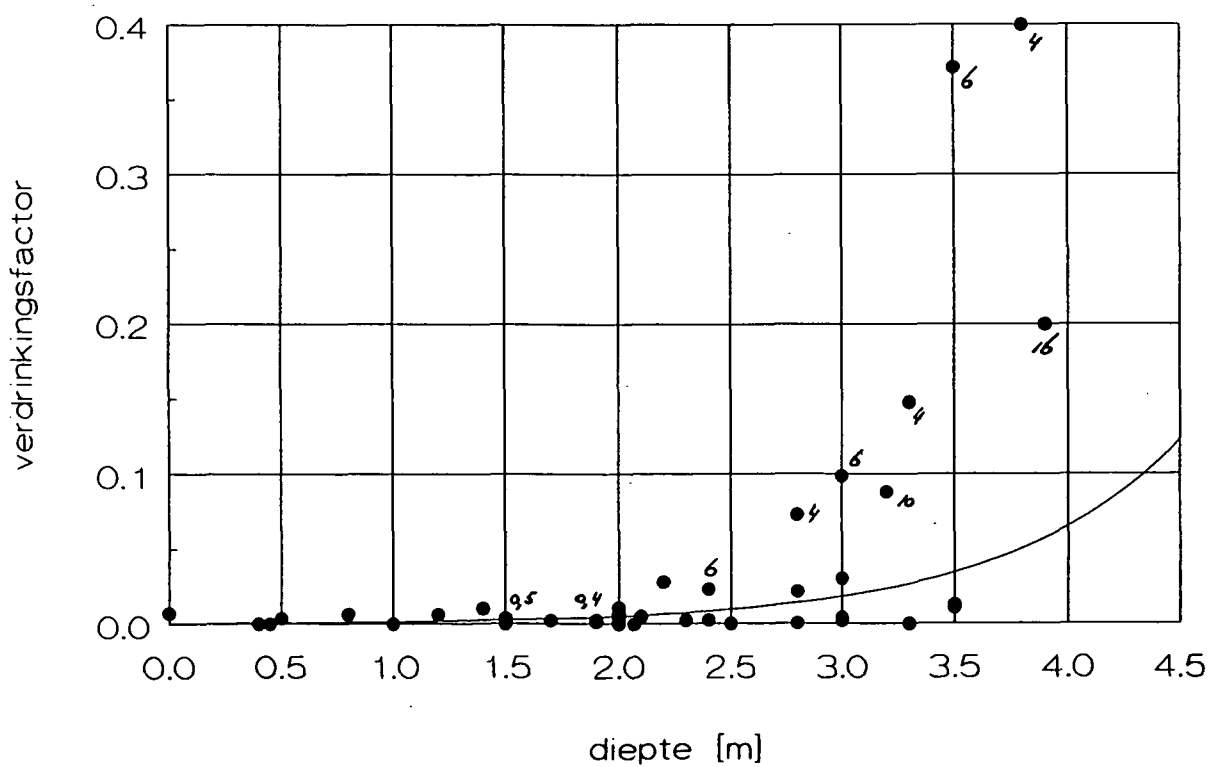
Figuur 4: Verdrinkingsfactor als functie van de inundatiediepte. Tevens is het inwoneraantal weergegeven



Figuur 5: Verdrinkingsfactor als functie van de inundatiediepte



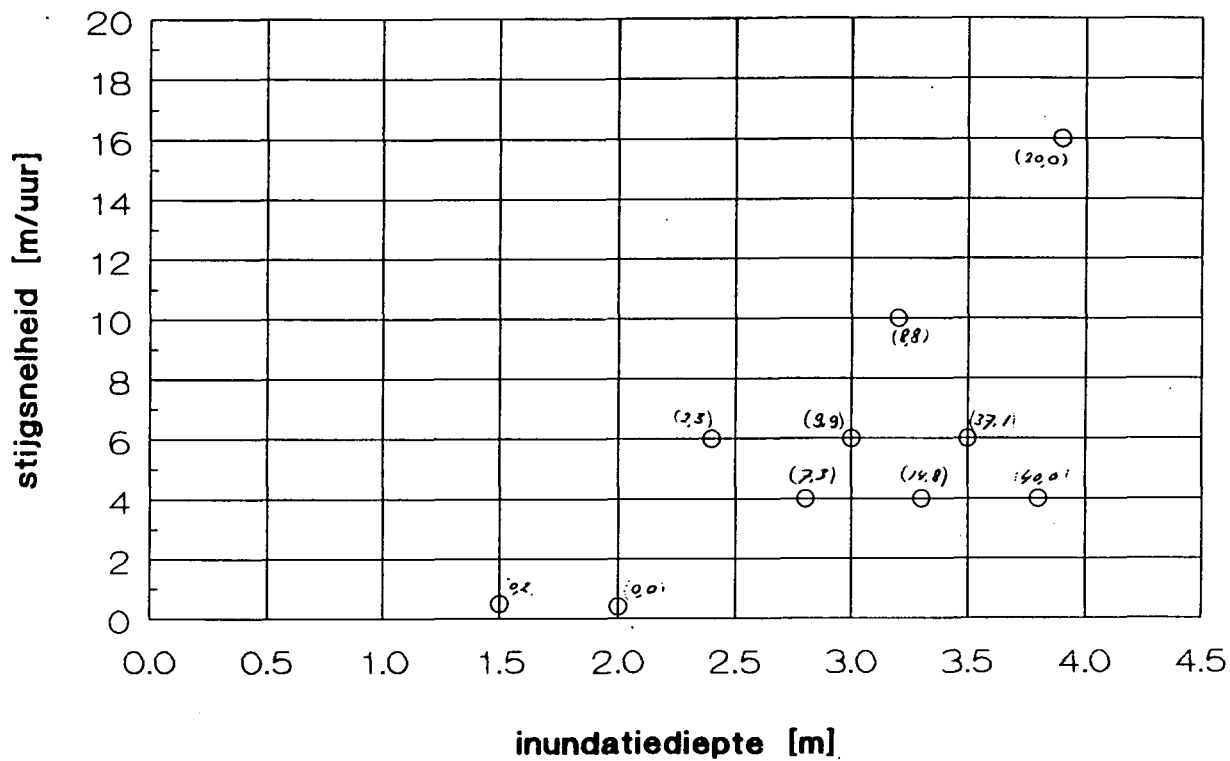
Figuur 6: Verdrinkingsfactor, uitgezonderd als gevolg van hoge stroomsnelheden, als functie van de inundatiediepte, aangegeven is de stijgsnelheid in [m/uur]



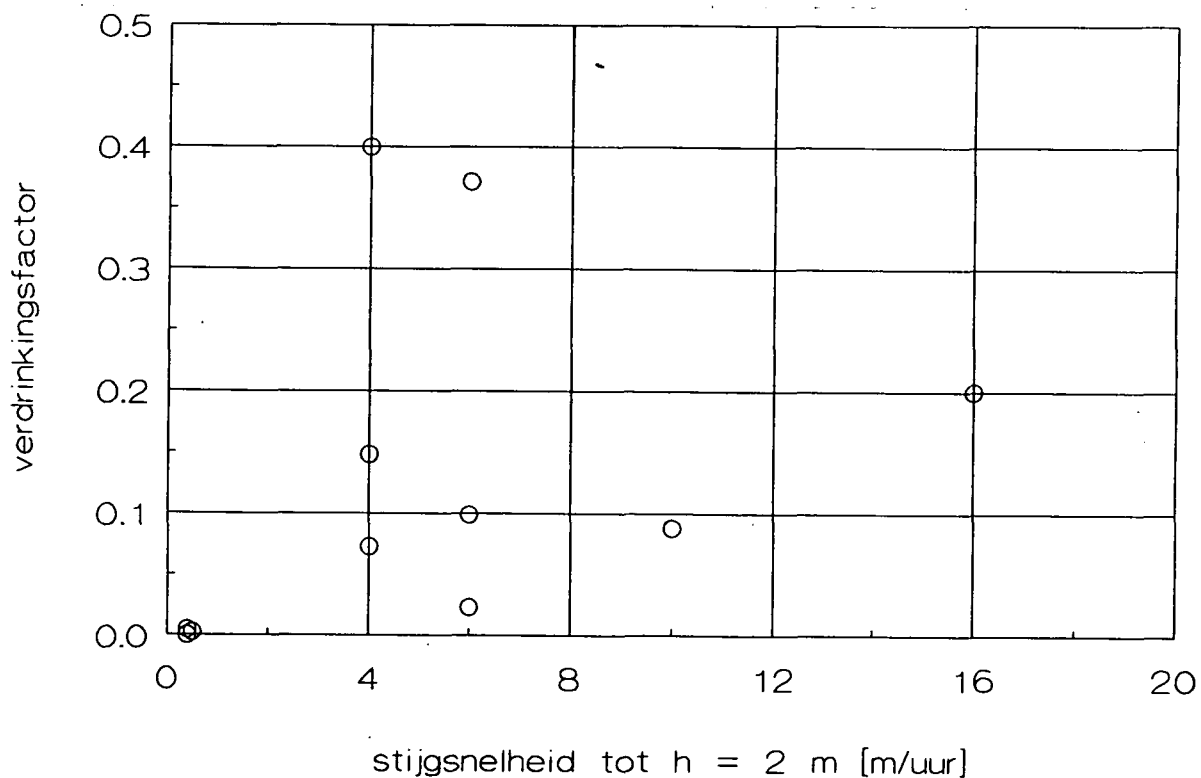
4.3 Stijgsnelheid

Daar waar grote verdrinkingsfactoren optreden, is dit vrijwel altijd het gevolg van grote stijgsnelheid, tesamen met grote inundatiediepte. In figuur 7 is, voor de locaties waar dit bekend is de verdrinkingsfactor uitgezet tegen zowel inundatiediepte als stijgsnelheid. Uit de figuur blijkt duidelijk dat er een verband bestaat tussen inundatiediepte en stijgsnelheid. Voor modelvorming zou dus elk van beide factoren kunnen worden gebruikt. In de studie van Duiser [9] is gekozen voor de inundatiediepte als bepalende factor. In de onderhavige studie wordt volgens dit model een functie volgens figuur 6 (of 5) gevonden. In hoofdstuk 3 is echter gesteld dat, bij grotere inundatiediepte, de stijgsnelheid waarschijnlijk de bepalende factor is. De inundatiediepte is alleen dan gecorreleerd met de stijgsnelheid volgens (3.2) als de factoren buitenwaterstand, dijkringoppervlak en bresgrootte gelijk zijn. De data afkomstig van de '53 stormvloed zullen voor wat betreft het dijkringoppervlak en bresgrootte redelijk 'randomized' zijn; het verloop van de buitenwaterstand is voor elke polder gelijk geweest. Het is daarom mogelijk te onderzoeken of er daadwerkelijk een relatie bestaat tussen verdrinkingsfactor en stijgsnelheid. Deze relatie is alleen onderzocht voor $h > 2,0$ m. De relatie is weergegeven in figuur 8. Blijkbaar wordt de spreiding groter, vergeleken met figuur 5 en 6. Tevens moet geconstateerd worden dat het aantal punten gering is. Daarnaast moet getwijfeld worden aan de juistheid van de stijgsnelheden. Tijdens de '53 stormvloed is de stijgsnelheid niet exact gemeten, maar meer beschreven als "in enkele minuten stond het water meters hoog". Geconcludeerd kan worden, dat op grond van deze gegevens, het model niet beter wordt als de factor inundatiediepte wordt vervangen door stijgsnelheid.

Figuur 7: Contourplot van verdrinkingsfactoren (polderoppervlak in ha tussen () weergegeven) als functie van stijgsnelheid en inundatiediepte.



Figuur 8: Verdrinkingsfactor als functie van de stijgsnelheid.



4.4 Eliminatie van stroom- en stijgsnelheid op verdrinkingsfactor

In paragraaf 4.3 lijkt het verband tussen inundatiediepte en verdrinkingsfactor beter dan het verband tussen stijgsnelheid en verdrinkingsfactor. De keuze van Duiser [9] om een relatie te geven tussen inundatiediepte en verdrinkingsfactor is op grond van waarnemingen tijdens de februari '53 stormvloed niet te verwerpen.

Als dit model voor andere inundaties dan de inundatie van '53 wordt gebruikt, is niet zeker dat eenzelfde verband bestaat tussen de overige bepalende factoren en de inundatiediepte. Bijvoorbeeld zal als het een inundatie vanuit de rivier, in plaats vanuit de zee betreft, er zeker een andere relatie bestaan tussen de stijgsnelheid en de inundatiediepte. Vandaar dat het redelijk lijkt het verband met zowel de inundatiediepte en stijgsnelheid te handhaven.

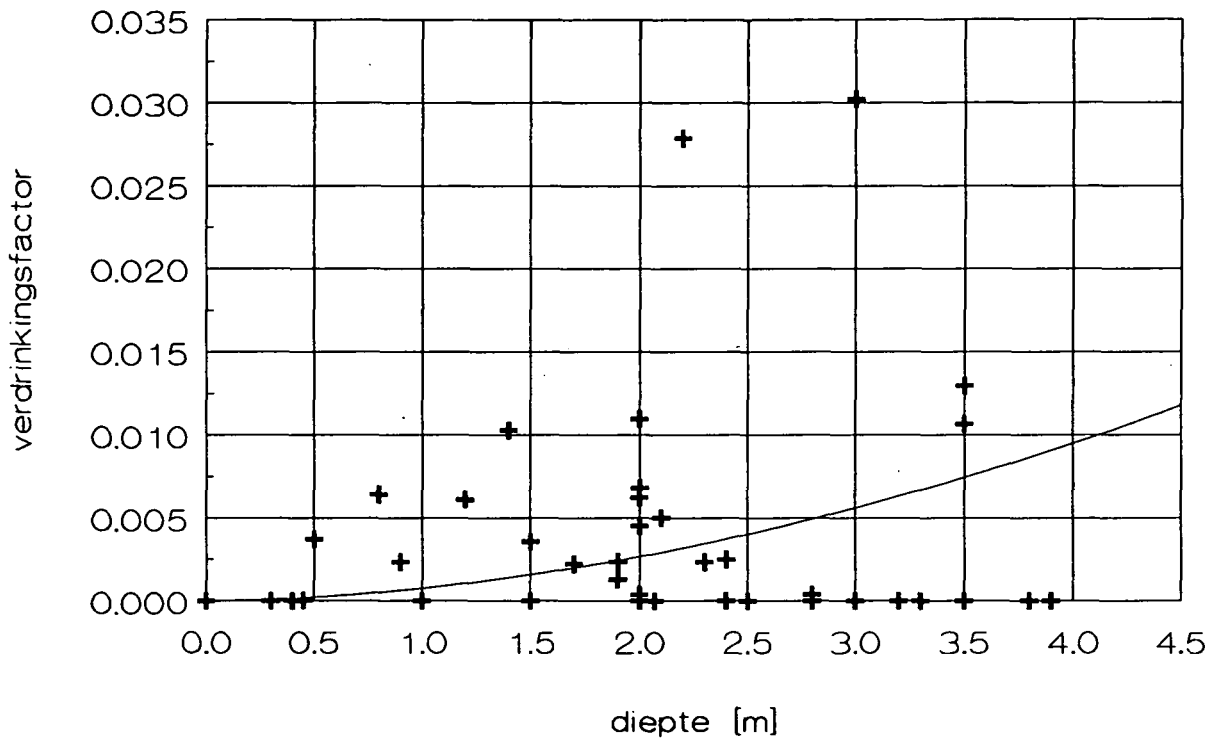
In figuur 9 is de verdrinkingsfactor uitgezet tegen de inundatiediepte. De verdrinkingsfactor is hier gebaseerd op het aantal doden waarbij stroomsnelheid of stijgsnelheid niet de oorzaak van verdrinking is geweest. Het aantal slachtoffers als gevolg van stijgsnelheid is als volgt bepaald. Als in korte tijd (2 uur) de waterhoogte tot 1,5 m boven het maaiveld is gestegen, dan mag er vanuit worden gegaan dat de mensen niet of nauwelijks kunnen vluchten. Daarna geldt het criterium of de uiteindelijke waterstand 1 à 1,5 m boven de hoogste verdieping uitkomt. Is dit niet het geval dan zijn er geen slachtoffers als gevolg van de stijgsnelheid. Is dit wel het geval dan worden de verdrinkingen veroorzaakt geacht door de stijgsnelheid en niet door de inundatiediepte.

Het probleem doet zich voor dat een uitsplitsing naar oorzaken van verdrinking meestal moeilijk te achterhalen valt. Alleen als vele slachtoffers zijn gevallen is een uitvoerige beschrijving beschikbaar.

Na eliminatie van het aantal slachtoffers als gevolg van stijgsnelheid, blijkt er vrijwel geen verband meer tussen inundatiediepte en de verdrinkingsfactor. Gezien de relatie tussen inundatiediepte en stijgsnelheid was dit resultaat voorspelbaar. Uit een kleinste kwadraten fit volgt:

$$\delta = 0,75 \cdot 10^{-3} * h^{1,83051}, \text{ h in [m].}$$

Figuur 9: Verdrinkingsfactor (uitgezonderd slachtoffers door stroom- en stijgsnelheid) als functie van inundatiediepte.

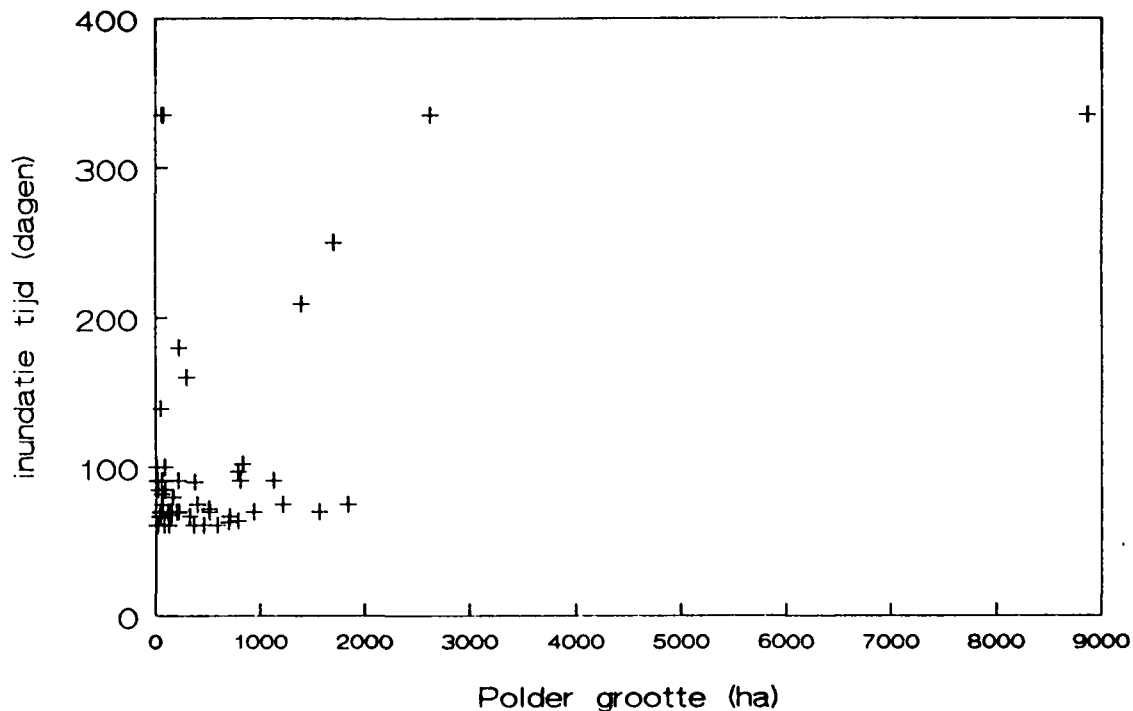


4.5 Inundatieduur

Bij de relatie tussen de verdrinkingsfactor en inundatiediepte is geen rekening gehouden met de inundatieduur. Uit de verslagen wordt duidelijk dat er geen relatie zal bestaan. De overlevenden zijn na enkele (1 tot 4) dagen reeds geëvacueerd. Alleen bij korte inundatieduur (< 1 dag) zal er wellicht een relatie bestaan. Deze kortere inundatieduur is in '53 niet voorgekomen.

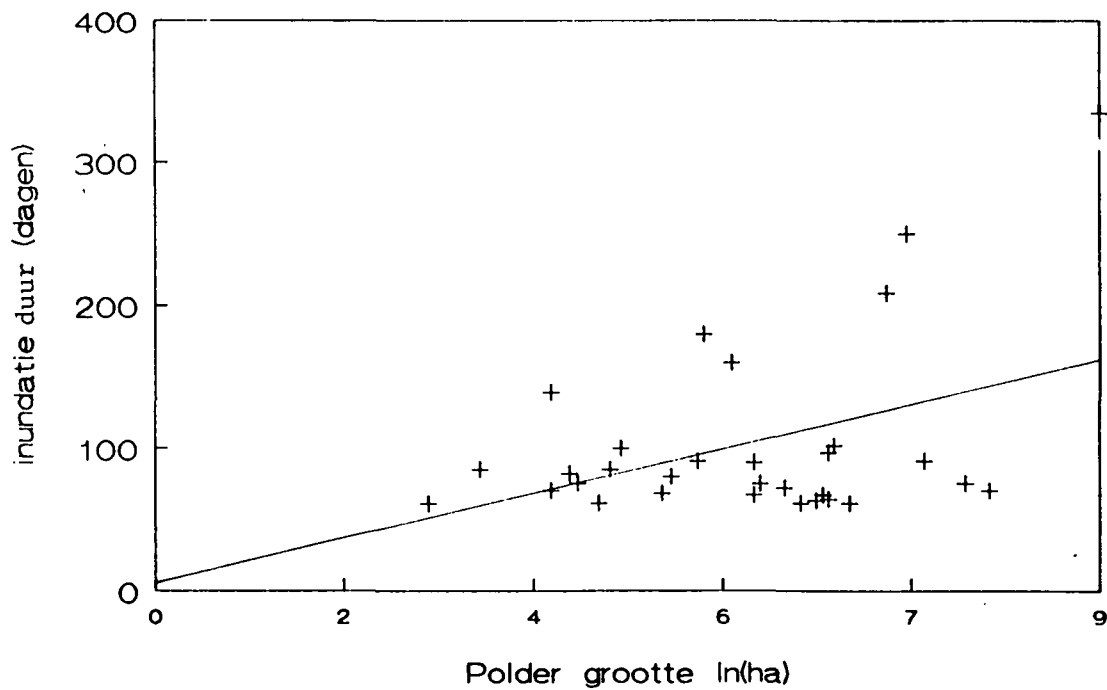
Figuur 10 geeft nog de relatie tussen inundatieduur en poldergrootte. Er lijkt weinig correlatie te bestaan. Indien de poldergrootte op ln-schaal wordt uitgezet (figuur 11), verbeterd de correlatie. De correlatie blijft echter slecht ($\rho = 0.4$).

Figuur 10: Inundatieduur als functie van poldergrootte.



Figuur 11: Inundatieduur als functie van poldergrootte.

$$y = 5.3 + 16.7 \ln$$



5. OVERIGE INUNDATIES

Geanalyseerd worden de overige inundaties in Nederland, inundaties in Duitsland en een groot aantal inundaties in Amerika. De overige inundaties in Nederland betreffen de (kanaal) overstroming bij Tuindorp Oostzaan en de inundatie van de Wieringenmeer. De inundaties in Duitsland betreffen inundaties in Hamburg. In Amerika betreft het vooral rivier overstromingen. Een samenvatting van de gegevens is gegeven in bijlage V.

5.1 Hamburg

In Hamburg zijn de laatste decennia een groot aantal overstromingen voorgekomen [11]. De laatsten dateren van februari 1962, December 1973 en Januari 1976.

In februari 1962 kwam de waterstand tot NN + 5.70 m bij Hamburg-St.Pauli (Centrum van Hamburg). In de nacht van 16 op 17 februari vielen hierdoor 315 slachtoffers. Hierbij werd 12500 ha land overstroomt. Er werden 74 woningen (42 woonblokken) verwoest. Verder werden 6231 noodwoningen verwoest, beschadigd of onbewoonbaar. Gemeld wordt dat de grootste materiele schade in het gebied van de Alter Suderelbe tussen Moorburg en Neuenfelde/Cranz opgetreden is. Dit betreft een vrij dun bevolkt, relatief laag gelegen gebied met veel landbouw en enige industrie.

De meeste mensen zijn om het leven gekomen op het eiland Wilhemsburg. Gemeld wordt dat de straten door meters hoge golven overspoelt werden. Het betreft hier een deel van het eiland dat direct achter een havengebied ligt. De inundatie-diepte was meer dan 2 m. We kunnen concluderen dat hier sprake was van verdrinking door grote stroomsnelheden.

In het havengebied zelf zijn geen slachtoffers gevallen. Het havengebied zelf is relatief hooggelegen:

Tot 1900 aangelegd:	- kadehoogte	NN + 4.50
	- vloer niveau	NN + 5.60
Na 1900:	- kadehoogte	NN + 5.70
	- vloer niveau	NN + 6.80

De hoogste waterstand was NN + 5.70 m. Het havengebied is dus nauwelijks geïnundeerd.

In '76 werd een hoogste buitenwaterstand van NN + 6.45 m gemeten. Buitendijkse gebieden overstroomden tot 2.0 + mv. Er traden geen hoge stroom- en stijgsnelheden op en er zijn geen slachtoffers gevallen.

Vergelijken we de Hamburgse situatie met de Nederlandse situatie, dan blijkt de Hamburgse situatie gelijk aan de Nederlandse. De meeste slachtoffers in '73 zijn gevallen door de hoge stroomsnelheid. In '76 kwam de waterstand tot maximaal 2.0 m + mv. Tijdens deze inundatie was er geen sprake van grote stroom- of stijgsnelheid.

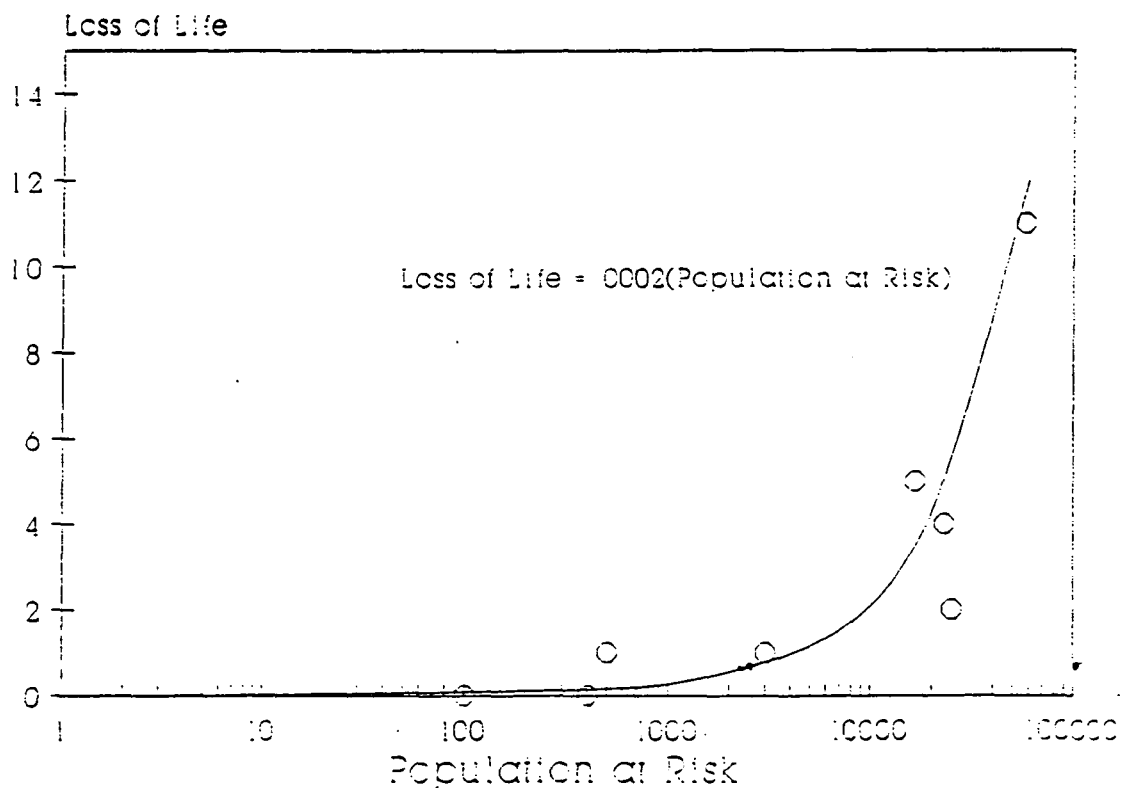
5.2 Noord-Amerika

In Bijlage I staan een groot aantal referenties met betrekking tot overstromingen in Noord-Amerika. In [12] wordt een overzicht van deze overstromingen gegeven. Het overzicht is eveneens weergegeven in bijlage V. In de bijlage is alleen het aantal aanwezigen, het aantal doden en de waarschuwingstijd gegeven. De overige data zijn vooralsnog onbekend. De situatie in Noord-Amerika is wezenlijk anders dan in Zuid-West-Nederland. Het is bij inundatie eenvoudiger naar hoger gelegen gronden te komen. Voor kleine dijkringen is de situatie echter redelijk vergelijkbaar.

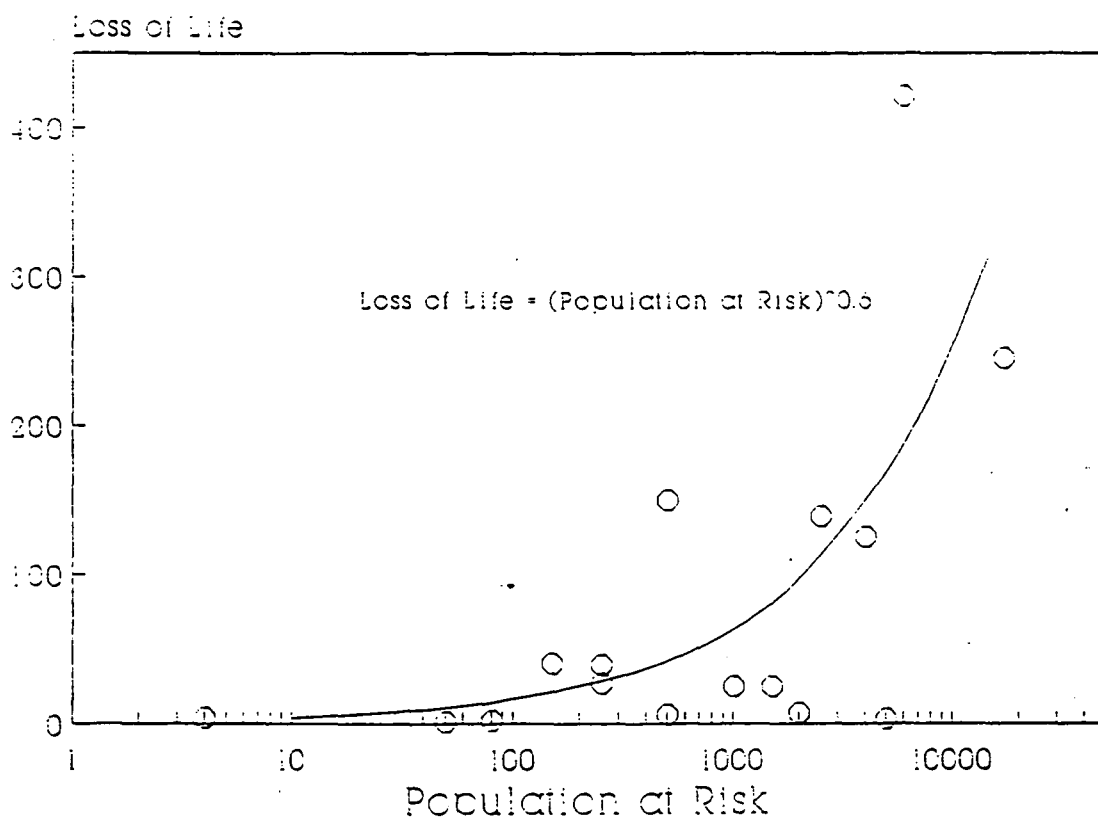
In [12] wordt getracht een model te geven voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een falen van een dam. De bepalende factor in dit model is de waarschuwingstijd en het aantal inwoners. De kritieke waarschuwingstijd blijkt 1.5 uur te zijn. Bij een waarschuwingstijd kleiner dan 1.5 uur blijkt volgens [12] een verdrinkingsfactor $\delta = 0.0002$ (zie figuur 12). Bij een waarschuwingstijd groter dan 1.5 uur is volgens [12] de verdrinkingsfactor $\delta = n_b^{-0.4}$ (zie figuur 13).

In figuur 14 is nog de relatie tussen de verdrinkingsfactor en de waarschuwingstijd gegeven. Uit de figuur valt te concluderen dat de verdrinkingsfactor zeer snel daalt als de waarschuwingstijd w groter wordt dan 1 à 2 uur. Een kritieke waarschuwingstijd van 1,5 uur valt niet waar te nemen. Een relatie volgens $\delta = a \cdot 1/w$ lijkt meer zinvol. Uit lineaire fit volgt dan: $\delta = 0,35 \cdot 1/w - 1,16$.

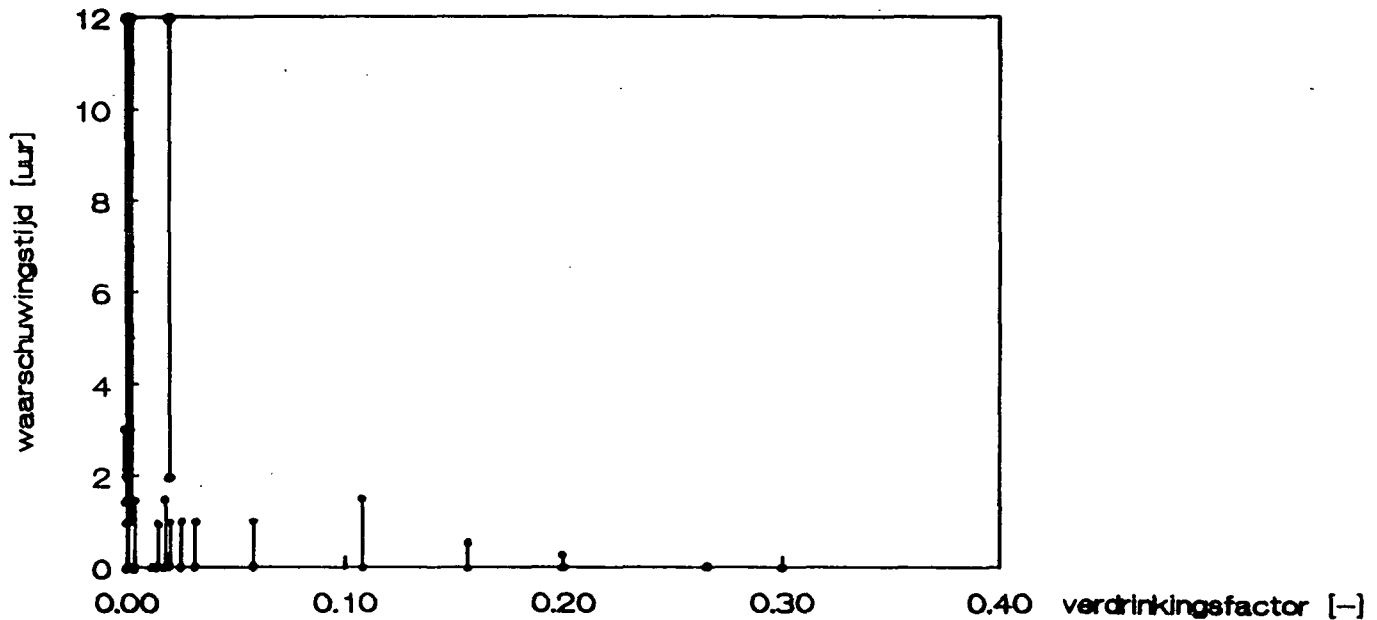
Figuur 12: Verdrinkingsfactor als functie van aantal inwoners bij een waarschuwingstijd kleiner dan 1,5 uur



Figuur 13: Verdrinkingsfactor als functie van aantal inwoners bij een waarschuwingstijd groter dan 1,5 uur



Figuur 14: Verdrinkingsfactor als functie van de waarschuwingstijd (data uit [12])



Bij korte waarschuwingstijd blijkt dat de verdrinkingsfactor bij een klein aantal inwoners groter is dan bij een groot aantal inwoners. Dit wordt verklaart door het feit dat grotere gemeenten meestal een beter waarschuwingssysteem en evacuatieplannen ter beschikking hebben dan kleinere gemeenten.

Helaas kan er geen relatie gemaakt met de inundatie-diepte en stroomsnelheid. Wel wordt gemeld dat veel slachtoffers vallen omdat men weigert geëvacueerd te worden, danwel te laat evacueerde. Ook vielen veel slachtoffers omdat mensen het geïnundeerde gebied in gingen.

Daarnaast zijn mensen verdronken doordat zij in de auto vluchtten over geïnundeerde wegen en bruggen. Er wordt zelfs melding gemaakt dat de helft van de slachtoffers door deze oorzaak zijn gevallen.

waarschuwingstijd versus aantal geëvacueerden

De gegevens betreffende de verschillen in verdrinkingsfactor bij een waarschuwingstijd groter en kleiner dan 1.5 uur kunnen worden gebruikt voor de bepaling van het aantal geëvacueerden bij een waarschuwingstijd groter dan 1.5 uur.

Indien de waarschuwingstijd kleiner is dan 1.5 uur dan geldt

$$\delta_{<} = n_b^{-0.4}$$

Indien de functie constant wordt gemaakt, dan geldt:

$$\delta_{<} = 0.1274$$

Bij een waarschuwingstijd groter dan 1.5 uur geldt:

$$\delta_{>} = 0.0002$$

Indien er vanuit wordt gegaan dat de verdrinkingsfactor betrokken op het aantal aanwezigen met of zonder evacuatie gelijk blijft, dan kan het percentage geëvacueerden ef worden berekend volgens:

$$ef = 1.0 - ((1.0 - \delta) / \delta_{<} * \delta_{>}) + \delta_{>}$$

$$ef = 0.998$$

Dit zou betekenen dat slechts 2 promille van de bevolking na evacuatie achterblijft. Gezien de waarschuwingstijd van hoogstens 1.5 uur lijkt dit in Nederlandse situatie alleen mogelijk als er goede evacuatieplannen zijn.

5.3 Tuindorp-Oostzaan en Wieringenmeer

De Wieringenmeer is opzettelijk geïnundeerd in 1945. Tuindorp-Oostzaan overstroomde in 1960. Bij beide inundaties zijn er geen slachtoffers gevallen. Beide inundaties hadden een inundatie-diepte van 2 a 3 m.

In de Wieringenmeer was er een waarschuwingstijd van ongeveer 8 uur. De stijgsnelheid was betrekkelijk gering (de dijkring is groot). Er was dus voldoende tijd voor evacuatie. De schade die na verloop van tijd aangericht werd aan de woningen was aanzienlijk.

De grote schade aan de woningen is veroorzaakt door de lange inundatieduur (ongeveer 8 maanden). De kans dat in deze tijd in storm opsteekt is vrij groot. De golven die dan ontstaan doen de meeste schade ontstaan. In de Wieringenmeer is dit ook het geval geweest.

In Tuindorp-Oostzaan was er geen waarschuwingstijd. De stijgsnelheid was 0.3 m per uur. De duur van de inundatie was 10 a 14 dagen. Tijdens de inundatie was er weinig wind. Wellicht als gevolg van de lage windsnelheid was de schade aan de bebouwing zeer gering. De waterstand kwam tot ongeveer zolderniveau van de huizen. De mensen konden dus naar zolder vluchten. Na de overstroming zijn de bewoners geëvacueerd

5.4 Relatie verdrinkingsfractie versus windsnelheid

Uit bovengenoemde verslagen blijkt dat er een relatie bestaat tussen de schade aan de bebouwing en de windsnelheid. De schade aan woningen heeft weer directe gevolgen voor de bewoners van de woningen. Bij rivier (en kanaal) overstromingen is de kans op overstroming niet gecorreleerd met de windsnelheid. Bij overstromingen vanuit zee gaat inundatie meestal gepaard met hoge windsnelheden. Waarschijnlijk moet dus de fractie verdronkenen die niet het gevolg is van stroom- en stijgsnelheid afhankelijk worden gemaakt van de soort inundatie (wel of niet vanuit zee). De fractie bij inundatie vanuit zee is beschreven in hoofdstuk 6. Bij overstromingen vanuit rivieren is deze fractie gelijk aan de kans dat overstroming samen gaat met storm vermenigvuldigd met de verdrinkingsfactor bij inundatie vanuit zee.

Deze kans op samenvallen van inundatie en storm zal toenemen met de inundatieduur. Overigens neemt met de inundatieduur ook het aantal geëvacueerden toe.

5.5 Vergelijk van waarneming en model

In deze paragraaf zullen de waarnemingen passen in het tot nu toe gevormde model. In bijlage V zijn de gegevens van [12] en van de inundaties te Hamburg, Wieringenmeer en Tuindorp-Oostzaan gepresenteerd. Bij de Nederlandse en Hamburgse overstromingen zijn geen slachtoffers gevallen dan door hoge stroomsnelheid. De inundatiediepte was bij deze inundaties 2 à 3 m. Volgens figuur 6 zou de kans op verdrinking $\delta = 0,01$ à $0,04$ moeten zijn. Indien de factoren waarschuwingstijd, stijgsnelheid en inundatiebron er bij worden betrokken dan zijn de data in overeenstemming met de februari '53 data:

- Wieringenmeer

$$w = 8 \text{ uur}, h \leq 0,3$$

$$\text{hieruit volgt: } \delta = 1 * (1 - 0,998) * (0,000531 + 0,000833 \cdot 2 \text{ à } 3) \\ \delta \approx 5 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Waargenomen: } \delta = 0$$

- Tuindorp-Oostzaan

$$\delta = (0,000531 + 0,000863 \cdot 2 \text{ à } 3) * \text{kans op storm}$$

$$\delta = 2.6 \cdot 10^{-3} * 0,01 \approx 2.10^{-5}$$

$$\text{Waargenomen } \delta = 0.$$

- Hamburg '62

Alle verdrinkingen zijn opgetreden door hoge stroomsnelheden.

$$h < 0,3 \text{ m/uur}$$

$$w = 0 \text{ uur}$$

$$h = 2,25 \text{ m}$$

Volgens figuur 6 geldt:

$$\delta = 0,01$$

Deze verdrinkingsfactor is moeilijk te verifiëren met waarnemingen, daar het aantal inwoners onbekend is.

De data afkomstig van [12] laten zich niet vergelijken met de februari '53 data. De inundatiedieptes zijn in [12] niet gegeven. Daarnaast zijn de

terreinomstandigheden op de in [12] gegeven locaties meestal anders dan de Nederlandse.

Geconcludeerd kan worden dat zolang de factoren inundatiediepte, stijgsnelheid, stroomsnelheid, waarschuwingstijd, inundatiebron (rivier, enz), (evacuatiesnelheid) en inundatieduur in het model voor de verdrinkingsfactor worden betrokken, dat dan de gevonden data redelijk goed in het model passen.

6. MODEL VOOR DE BEPALING VAN HET AANTAL SLACHTOFFERS

Met de relaties bepaald in hoofdstuk 4 en 5 tussen verdrinkingsfactor en bepalende factoren, kan het volgende model worden afgeleid voor de bepaling van het aantal slachtoffers als gevolg van inundatie.

Bepalende factoren zijn:

- waarschuwingstijd
- stroomsnelheid
- stijgsnelheid
- evacuatie mogelijkheden
- inundatiediepte
- inundatiebron
- soort bebouwing

Opgemerkt wordt dat hoofdstuk 4 vele relaties heeft aangegeven. Geen enkel verband tussen verdrinkingsfactor en de bepalende factoren is als beste naar voren gekomen. Het in dit hoofdstuk aangegeven model moet als één van de mogelijkheden worden gezien. Een overzicht van dit model is weergegeven in figuur 15.

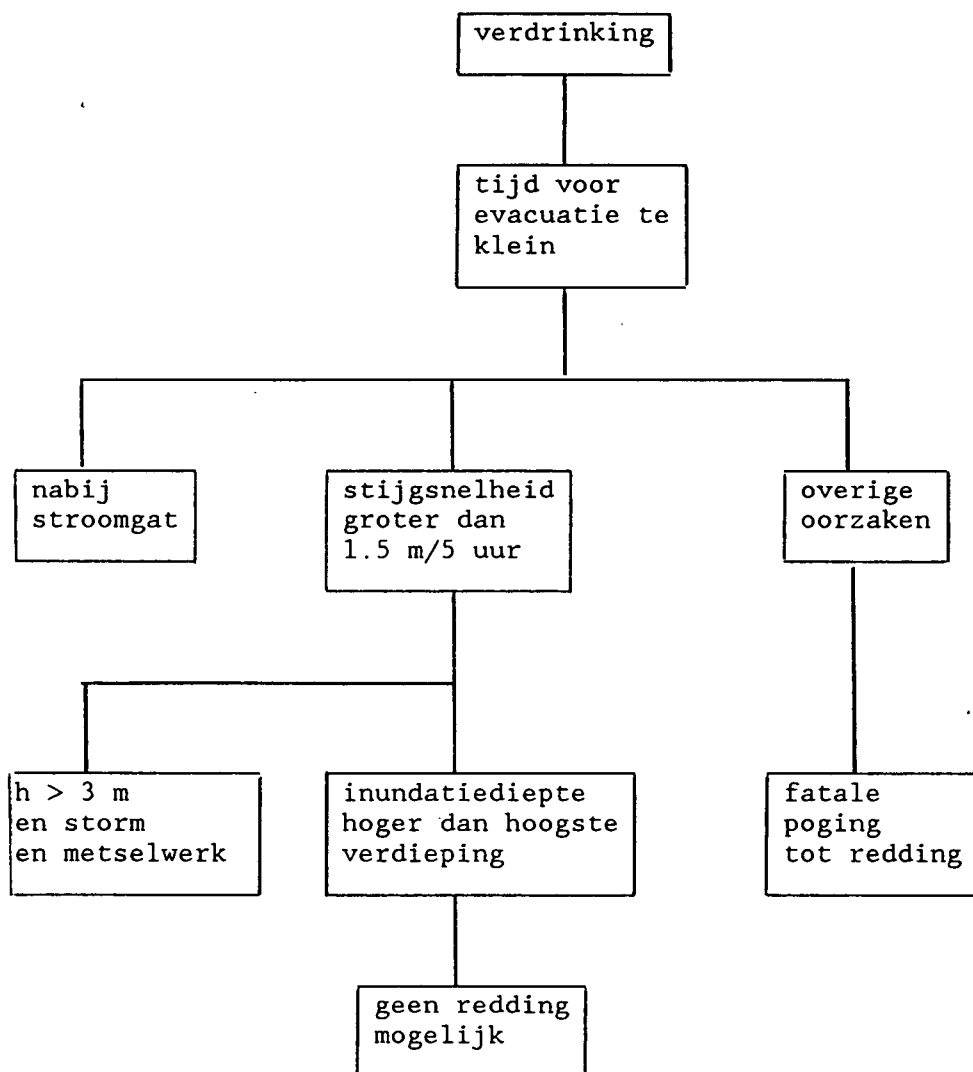
6.1 Waarschuwingstijd

Uit de Nederlandse verslagen is gebleken dat een waarschuwingstijd van 5 uur voldoende is om een gebied te evacueren. Uit Amerikaanse studie bleek 1.5 uur voldoende te zijn om de mensen te evacueren. Het percentage geevacueerden e_f blijkt:

$$e_f = 0.998$$

Het is de vraag of deze waarschuwingstijd en dit evacuatie percentage ook voor de Nederlandse situatie geldt. De beschikbaarheid van evacuatieplannen zal daarbij bepalend zijn.

Figuur 15: Overzicht model voor de bepaling van de verdrinkingsfactor als gevolg van inundatie



6.2 Stroomsnelheid

In de omgeving van het stroomgat zullen grote stroomsnelheden ontstaan na dijkdoorbraak. Direct vallen er slachtoffers omdat mensen hun evenwicht verliezen. Ook huizen blijken niet bestand tegen deze stroomsnelheden (zie bijlage VI).

Indien in een dijk een bres aanwezig is, kan worden verondersteld dat in een straal van 2 maal de bresbreedte achter de dijk er geen overlevenden zijn. Ook alle bebouwing moet als verloren worden beschouwd.

6.3 Stijgsnelheid

Bepalend is de tijd waarin het water stijgt tot een hoogte waarbij de mensen niet meer door het water kunnen waden. Boven een inundatiediepte van 1.5 m zijn de vluchtmogelijkheden zeer beperkt en zullen de mensen in de huizen blijven. Mensen die buiten hun huizen verblijven zullen verdrinken indien in de nabijheid geen hoger gelegen punt aanwezig is.

Het blijkt dat een stijgsnelheid van 1.5 m per 5 uur laag genoeg is om een gemeente van beperkte omvang (ca. 1000 inwoners) te evacueren naar een naast gelegen gemeente. Een en ander zal verder afhangen van de infrastructuur van het gebied en de waarschuwingsmogelijkheden.

Boven een inundatiediepte van 1.5 m spelen de factoren hoogste verdiepingshoogte, stijgsnelheid en windsnelheid een rol.

Indien de inundatiediepte onder de hoogste verdiepingshoogte blijft, vallen er geen slachtoffers als direct gevolg van stijgsnelheid. Komt de inundatiediepte boven de hoogste verdiepingshoogte dan bestaat er weinig hoop voor de nog aanwezige mensen. De verdrinkingsfactor wordt dan alleen bepaald door de mogelijkheden van redding van buitenaf. Bepalend hiervoor zijn de tijd die beschikbaar is tot het moment dat de hoogste verdiepingshoogte wordt overschreden (heeft relatie met stijgsnelheid en verdiepingshoogte) en de windsnelheid. In '53 is bijvoorbeeld gebleken dat bij storm en hoge golven, de reddingsmogelijkheden door mensen van binnen het geïnundeerde gebied beperkt zijn. Door mogelijkheden van redding door

mensen van buitenaf kwam hier pas langzaam op gang. Toch kon binnen twee dagen na inundatie een gebied met een aantal mensen als in Zuid-West-Nederland in 1953 geëvacueerd worden.

Indien de inundatiediepte onder de hoogste verdiepingshoogte blijft, blijken er toch slachtoffers te vallen. Gebleken is dat dit nauwelijks afhangt van de inundatie-diepte. Sommigen verdrinken tijdens reddingspogingen, de meerderheid doordat de woningen waarin zij verblijven bezwijken. De kans op bezwijken van de woningen is sterk gerelateerd aan de golfslag (zie bijlage VI). Deze is weer gerelateerd aan de windsnelheid. Bij inundaties vanuit zee bestaat er een zeer grote kans op grote windsnelheid. Bij inundaties vanuit rivieren is de kans op grote windsnelheden niet gecorreleerd met de kans op voorkomen van inundaties. De kans op grote windsnelheden moet worden bepaald over de tijdsduur van inundatie waarin de mensen nog niet geëvacueerd zijn.

Uit bijlage VI blijkt dat huizen opgetrokken uit metselwerk bij een inundatiediepte $h > 3$ m een grote kans op bezwijken door golfslag hebben. Huizen opgetrokken uit gietbouw zijn veel meer bestand tegen golfslag. De verdrinkingsfactor door overige oorzaak zal hierdoor lager zijn. Neem voor δ_0 de helft van de oorspronkelijke waarde.

Tenslotte is nog de temperatuur van belang. Indien de mensen in het water verblijven raken zij na enige uren onderkoeld. Dit treedt op indien het water stijgt boven de hoogste verdiepingshoogte. Alleen redding binnen enkele uren zou hier een oplossing bieden.

6.4 Model

Er kan worden gesteld dat het aantal slachtoffers als gevolg van inundatie wordt bepaald door:

- a. waarschuwingstijd
- b. inundatiebron (zee, rivier) en windsnelheid
- c. stroomsnelheid;
- d. evacuatiemogelijkheden en evacuatiesnelheid;

Deze zijn op hun beurt weer afhankelijk van:

- infrastructuur
 - omvang geïnundeerd gebied
 - weersomstandigheden
 - beschikbaarheid van evacuatieplannen
 - stijgsnelheid (bresgrootte, dijkring oppervlak)
 - hoogste verdiepingshoogte
- e. Bouwkundige staat van de woningen.

Per dijkkring kan het aantal slachtoffers als gevolg van inundatie als volgt worden bepaald.

1. Evacuatie

- a. Bepaal de waarschuwingstijd.
- b. Bepaal het aantal aanwezigen n_a als aantal bewoners n_b minus het product van aantal bewoners en evacuatiefactor ef .

$$n_a = n_b - n_b \cdot ef$$

2. Verdrinking ten gevolge van stroomsnelheid

- a. Bepaal de bresbreedte en de kans op voorkomen P_b daarop.
- b. Bepaal de verwachtingswaarde van het aantal aanwezigen n_{ab} (kan reeds verminderd zijn door evacuatie) in een straal van twee maal de bresbreedte achter de dijk
- c. De verwachtingswaarde van het aantal slachtoffers ten gevolge van stroomsnelheid wordt nu berekend door het vermenigvuldigen van de kans op voorkomen van een bres(sen) p_b en de verwachtingswaarde van het aantal aanwezigen n_{ab} .

$$n_u = P_b * n_{ab}$$

3. Verdrinking door stijgsnelheid

- a. Bepaal de stijgsnelheid v
- b. Indien de stijgsnelheid v kleiner is dan 1.5 m per 5 uur dan vallen er geen slachtoffers door stijgsnelheid. Door naar 4.
- c. Bepaal per gebied de hoogste verdiepingshoogte z en de maximale inundatiediepte h . Onder gebied wordt verstaan een gebied met gelijke maaiveld hoogte en gelijke bebouwing.
- d. indien $h < z$:
 1. Bepaal de tijd $t_{h=z}$ waarbij h van 0 tot z komt
 2. Bepaal de verwachtingswaarde van het aantal geredden n_e
 3. Het aantal slachtoffers komt overeen met het aantal aanwezigen minus het aantal geredden

$$n_v = n_a - n_e$$

- e. Indien $h > z$: $n_v = 0$.

4. Overige slachtoffers

- a. Bepaal de kans op storm ($P_s(t)$) en het aantal niet geevacueerden ($n_n(f)$) als functie van de inundatietijd.
- b. Het aantal slachtoffers wordt bepaald door:

$$n_0 = P_s * n_b * \delta_0$$

Hierbij is de verdrinkingsfactor door overige oorzaak

$\delta_0 = 0.75 \cdot 10^{-3} h^{1,83}$ betrokken op het oorspronkelijke aantal bewoners n_b . Bij inundatie vanuit zee geldt $P_s = 1.0$. Voor huizen opgetrokken uit beton-gietbouw in plaats van metselwerk is δ_0 waarschijnlijk lager, neem bijvoorbeeld $\delta_0/2$. Voor gewapend beton en gebouwen met kolommen zijn nog verdere reducties waarschijnlijk.

Het totaal aantal slachtoffers wordt nu:

$$n_s = n_u + n_v + n_0$$

Indien voor bovenstaande berekening de gegevens ontbreken, dan kan ook een grovere aanpak worden gebruikt. Alleen de maximale inundatie-diepte dient dan te worden bepaald. Het aantal slachtoffers kan nu worden bepaald uit de relatie verdrinkingsfactor met inundatiediepte en het aantal inwoners:

$$n_s = \delta * n_b$$

Waarbij:

δ is de verdrinkingsfactor volgens $\delta = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot e^{1,16 h}$

n_b is het aantal inwoners

7. NAUWKEURINGHEID VAN DE MODELLEN

7.1 Voorbeelden

In deze sectie worden voor 's-Gravendeel en Kruiningen de voorspellingen vergeleken met de waarnemingen. Voor 's-Gravendeel (Hoekse Waard) zijn de volgende gegevens beschikbaar:

- $w = 0$
- $h = 1,9$
- inundatie vanuit zee
- 30 aanwezigen binnen 2 * bresbreedte zone
- stijgsnelheid niet van belang
- $n_b = 5461$

Daarmee volgt:

$$n_a = n_b = 5461$$

$$n_u = 30$$

$$n_v = 0$$

$$P_s = 1$$

$$n_0 = 5461 (0.000751 \cdot 1.9^{1,83})$$

$$= 13,2$$

$$n_s = n_u + n_v + n_0$$

$$30 + 0 + 13 = 43$$

Volgens de grove aanpak volgt:

$$n_s = \delta \cdot n_b$$

$$= 0.665 \cdot 10^{-3} \exp(1,16 \cdot 1.9) \cdot 5461$$

$$= 33$$

In werkelijkheid zijn in 's-Gravendeel 37 mensen verdronken. De eerste aanpak overschat het aantal doden, de grove aanpak onderschat het aantal doden.

Als tweede voorbeeld wordt Kruiningen genomen.

Gegevens:

- $w = 0$
- $h = 3.5$
- inundatie vanuit zee.
- 3 aanwezig binnen 2 * bresbreedte.
- stijgsnelheid 0,4 m/uur (berekend m.b.v. RAMP, zie figuur 16)
- verdronken 65 personen
- $n_b = 4859$

Er volgt:

$$n_a = n_b = 4859$$

$$n_u = 3$$

$$P_s = 1$$

$$n_v = 0$$

$$n_o = 4859 (0,751 \cdot 10^{-3} \cdot 3,5^{1,83}) = 36$$

$$n_s = 36 + 0 + 3 = 39$$

Volgens grove aanpak:

$$\begin{aligned} n_s &= \delta n_b \\ &= 0,665 \cdot 10^{-3} e^{1,16} \cdot 3,5 \cdot 4859 \\ &= 187 \end{aligned}$$

In werkelijkheid zijn 65 personen verdronken.

7.2 Modelonzekerheid

Een algemene indruk van de nauwkeurigheid van het model kan worden verkregen door het aantal slachtoffers berekend met het model te vergelijken met het werkelijke aantal slachtoffers. Deze analyse is uitgevoerd voor 44 locaties. Er is geen rekening gehouden met mogelijkheden voor evacuatie. De resultaten zijn weergegeven in figuur 17. Duidelijk is dat redelijk goede resultaten worden gehaald. Het grove model leidt duidelijk tot minder goede resultaten. De modelonzekerheid kan worden uitgedrukt in de standaard-afwijking σ van het verschil tussen model en werkelijkheid. Volgens:

$$\sigma^2 = E (n_s - N_s)^2$$

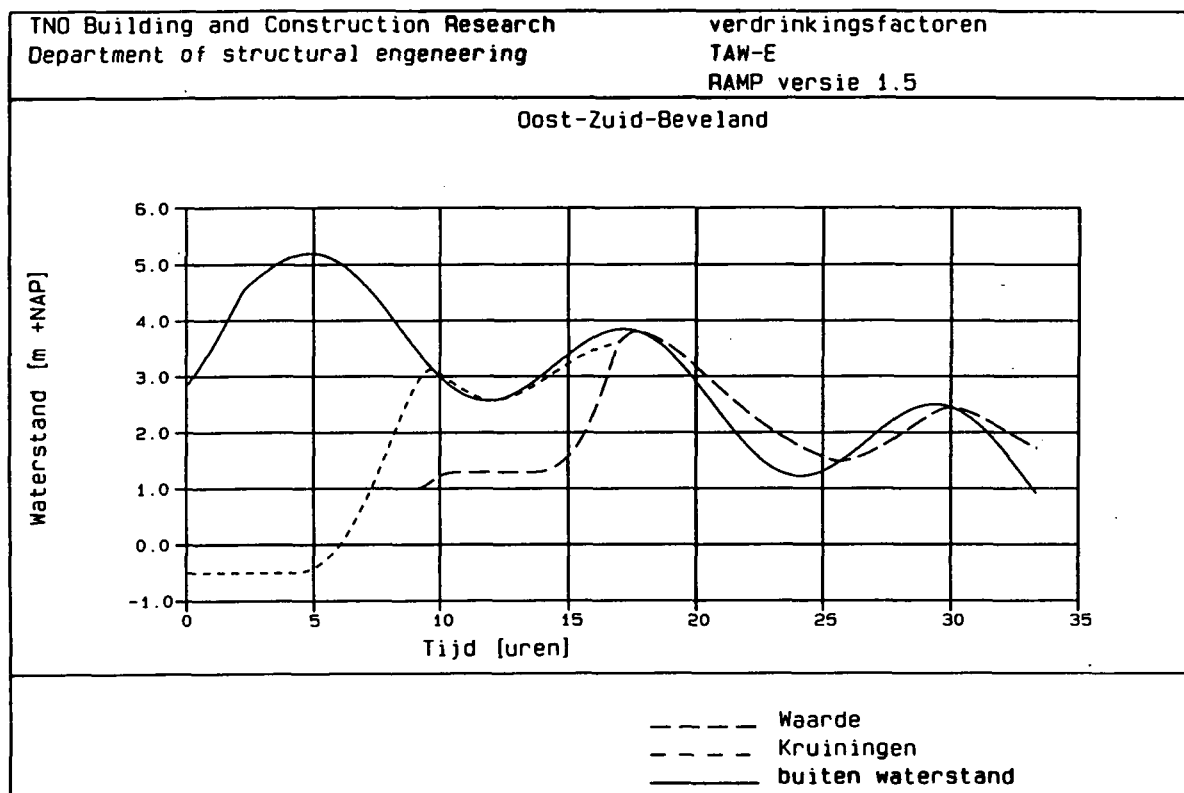
waarbij:

n_s = aantal doden volgens model

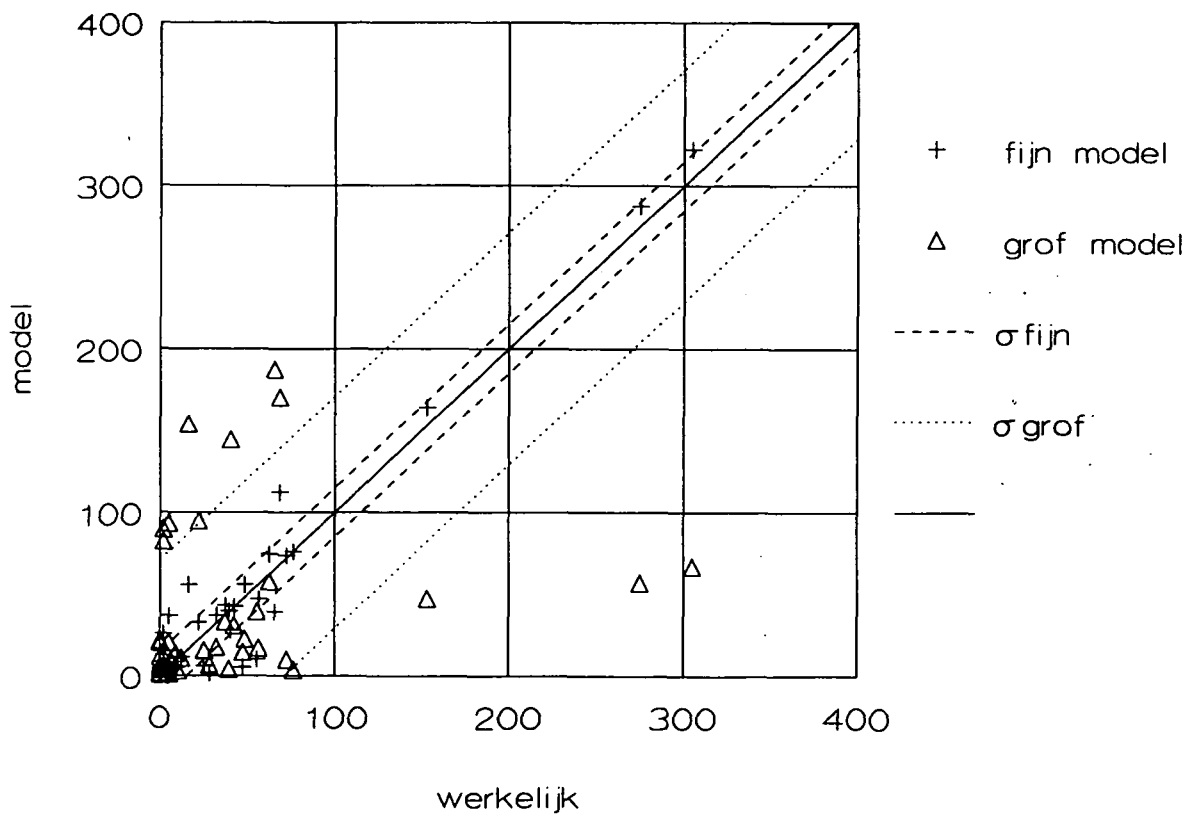
N_s = werkelijk aantal doden

De analyse leidt tot een constante $\sigma = 15$. Het grove model leidt tot $\sigma = 71$. Ook hier blijkt dat het fijne model veel beter is dan het grove.

Figuur 16: Verloop waterstand in Kruiningen en Waarde berekend m.b.v. RAMP



Figuur 17: Aantal slachtoffers volgens model versus werkelijk aantal slachtoffers



8. CONCLUSIE

Relaties zijn bepaald tussen de bepalende factoren en het aantal doden als gevolg van inundaties. Op grond van deze relaties is een voorbeeld gegeven van een model voor de bepaling van de verdrinkingsfactor. Een groot deel van de bepalende factoren is in het model betrokken, zoals:

- waarschuwingstijd;
- evacuatie- en reddingsmogelijkheden;
- stijgsnelheid;
- stroomsnelheid;
- inundatiediepte;
- inundatiebron;
- inundatieduur.

Bovengenoemde factoren zijn niet geheel ongecorreleerd. Factoren als temperatuur, windrichting en windkracht zijn niet in het model betrokken; het bebouwingstype is slechts zeer summier. De factoren evacuatie- en reddingsmogelijkheden, stroomsnelheid en waarschuwingstijd zijn slechts op een grove wijze in het model verwerkt. Psychologische factoren spelen hierbij ook nog een rol. Hoe reageert men op een waarschuwing: gaat men inderdaad weg of komen juist velen uit nieuwsgierigheid en sensatiezucht op het gevaar af? Hieraan is in het kader van deze studie geen aandacht besteed.

Op grond van waarnemingen van inundaties zijn empirische relaties afgeleid. Het afgeleide model lijkt het aantal slachtoffers als gevolg van deze inundatie redelijk te beschrijven. Het lijkt geen twijfel dat het model tekorten heeft. Aan de andere kant kan worden gesteld dat het model in dit rapport het beste gereedschap is wat op dit moment beschikbaar is. Mits met zorgvuldigheid toegepast kan het model bruikbare resultaten geven. Verder onderzoek blijft wenselijk.

9. REFERENTIES

- [1] Gebroken Dijken, Wetenschappelijk genootschap voor Goeree en Overflakkee in samenwerking met de Flakkeesche drukkerij J. en M. Boomsma te Middelharnis.
- [2] Verslag over de stormvloed van 1953, Rijkswaterstaat, 1961.
- [3] Stavenisse, De kroniek van een verdronken dorp, J. Broersen en T. Koopman, Uitgeversmaatschappij "West-Friesland", Hoorn.
- [4] Een zee van water, Februarivloed 1953 over de Hoeksche Waard en het Eiland van Dordrecht, R. Allewijn, Waterschap "De Groote Waard", Klaaswaal, 1983.
- [5] Gekwelde grond, Schouwen-Duiveland in ramp en herstel, Stichting Nieuw Schouwen-Duiveland (1956).
- [6] De ramp, Vereniging ter bevordering van de belangen des boekhandels, Amsterdam.
- [7] Gemeente-gewijs opgesteld verslag betreffende de situatie in elke door de Watersnood 1953 getroffen gemeenten, Rijkswaterstaat, Directie Algemene dienst
- [8] Beschrijving van de provincie Zuid-Holland behorende bij de waterstaatskaart, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1967.
- [9] Een verkennend onderzoek naar methoden ter bepaling van de inundatie schade bij doordoorbraak, J.A. Duiser, TNO rapport 82-0644, 1982.
- [10] Inundatieschade, een vergelijking op basis van literatuur, P.H. Waarts, TNO rapport, BI-89-224, 1989.

- [11] Hochwasserschutz in Hamburg, Darstellung der Entwicklung seit der Februarsturmflut, 1962, J. Lueken.

- [12] Assessing the threat to life from dam failure, C.A. Brown, W.J. Graham, Water resources bulleting, Vol. 24, no. 6, december 1988.

- [13] Atlas van Zuid-Nederland.

- [14] Summary of floods in the United States during 1969, J.K. Reid, Water Supply paper 2030, 1975.

- [15] Het rampgebied Zuid-West Nederland, Enkele Cijfers over bevolking, woningen, landbouw, enz., voor de overstroming, C.B.S. 's-Gravenhage, Februari 1953.

- [16] Floods and famalies in Pakistan - a survey, A. Sattan Sikandar, Disasters/7/2/1983..

- [17] Gedenkboek van de Watersnood in Oost-Zuid-Beveland, 1953, firma C. van Velzen, Krabbendijke.

- [18] Noodklok over Stavenisse, C. van Winkelen, Zeeuwse Boekhandel & Uitgeverij, Zierikzee, 1980.

BIJLAGE I: LITERATUUR UIT LITERATUURSEARCH

- Ayyaswamy, P., Hauss, B., Hseih, T., Moscati, A., Hicks, T.E., Estimates of the Risks Associated with Dam Failure, California University, Los Angeles School of Engineering and Applied Science, 1974
- Belore, H.S., Burrell, B.C., Beltaos, S., Ice Jam Mitigation, Canadian Journal of Civil Engineering CJCEB8, Vol. 17, No. 5, 1990
- Berling, R.L., Disaster Response to Flash Flood, Journal of Water Resources Planning and Management Division, Vol. 104, No. WR1, 1978
- Camp, J.D., Miller, E.M., Flood of August 1969 in Virginia, US Geological survey open-file report, 1970
- Carpenter, D.H., Floods in West Virginia, Virginia, Pennsylvania and Maryland, November 1985, Geological Survey, Towson, MD. Water Resources Div., 1990
- Carstens, H., Auswirkungen der Sturmflut vom 3.1.1976 auf die Landesschutzdeiche im Bereich der schleswig-holsteinischen Elbmarschen, Wasser und Boden, 1976
- Coch, N.K., Wolff, M.P., Probable Effects of a Storm like Hurricane Hugo on Long Island, New York, Northeastern Environmental Science NOESDE, Vol. 9, No. 1/2, 1990
- Dacy, D.C., Kunreuther, H., The cost of natural disaster in the United States, The economics of natural disaster: implications for federal policy, The free press, New York, 1969
- Darmer, K.I., Wagner, L.A., Flood of June 1972 at Corning, New York, Geological Survey, Washington D.C.
- Green, C.H., Penning-Rowsell, E.C., Evaluating the Intangible Benefits and Costs of a Flood Alleviation Proposal, Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists, Vol. 40, 1986
- Johnson, M.V., Omang, R.J., Floods of January 15-17, 1974, in Northwestern Montana, Geological Survey, Helena, Mont. Water Resources div. 1974
- Hauth, L.D., Carswell, W.J. Jr., Floods in Kansas City, Missouri and Kansas, September 12-13, 1977, Water Resources Div. 1978

- Hauth, L.D., Carswell, W.J. Jr., Floods in Kansas City, Missouri and Kansas, September 12-13, 1977, Geological Survey Rolla Mo Water Resources Div, 1978
- Heinitz, A.J., Flood of August 2, 1972, in the little Maquoketa river basin, Bubuque County, Iowa, Geological Survey Iowa, 1973
- Kiefer, W., Ermittlung von Hochwasserschaden, Wasser und Boden, 1976
- Lara, O.G., Heinitz, A.J., Flood of June 27, 1975, in City of Ames, Iowa, Geological Survey, Iowa Water Resources Div., 1976
- Mac Mahon, A.G., Swart, J.P., The Laingsburg Flood disaster, South African Medical Journal, 1983
- Miller, E.M., Kapinos, F.P., Flood of July 22, 1969 in the Northern Virginia Area, US Geological Survey open-file report, 1970
- Moore, W.L., Cook, E., Gooch, R.S., Nordin, Jr. C.F., The Austin, Texas, Flood of May 24-25, 1981
- Muhar, A., Hochwasserschaden 1987 und Siedlungsentwicklung im Tiroler Oetztal, Oesterreichische Wasserwirtschaft, 1988
- Pike-buchanan Flash Floods of July 15, 1979, National Weather Services, 1979
- Quinones, F., Johnson, K.G., Floods of May 17-18, 1985 and October 6-7, 1985 in Puerto Rico, Geological Survey, San Juan, PR. Water Resources Div., 1987
- Roberts, C.P., Alexander, W.J.R., Lessons Learned from the 1981 Laingsburg Flood, Civil Engineer in South Africa, Vol. 24. No.1, 1982
- Roeske, R.H., Cooley, M.E., Aldridge, B.N., Floods of September 1970 in Arizona, Utah, Colorado, and New Mexico, Geological Survey, Water Resources Div., 1978
- Schwob, H.J., Flood of June 7, 1967, in the Wapsinonoc Creek Basin, Iowa, Geological Survey Iowa, 1968
- Simonovic, S.P., Marino, M.A., Reliability Programming in Reservoir Management 2. Risk-loss Functions, Water Resources Research, Vol. 17. No.4, 1981
- Smith, D.I., Greenaway, M.A., The Computer Assessment of Urban Flood Damages - ANUFLOOD, Hargreen Publishing, 1989

- Thorud, D.B., Ffolliott, P.F., The Labor day storm of 1970 in Arizona, Proceedings of the 40th annual meeting of the Western Snow conference, 1972
- Thorud, D.B., Ffolliott, P.F., A comprehensive analysis of a major storm and associated flooding in Arizona, Arizona Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 202, 1973
- Flood Plain Information: San Timoteo Creek, Vicinity of Loma Linda, San Bernardino County, California, Army Engineer District, Los Angeles, California, 1973
- The Disastrous Texas Flash Flood of August 1-4 1978, National Weather Services, 1979
- Mortality from flash floods: A review of National Weather Service reports, 1969-81, Public Health Reports, 1983
- National Oceanographic and Atmosphere Administration, 1985
- Storm Data, Vol. 27, 1985; Vol. 28, 1986

BIJLAGE II: VERANTWOORDING GEGEVENS STORMVLOED '53

Gegevens betreffende waterstanden, polderafmetingen en inundatieduur zijn vooral verkregen uit [2]. Polderafmetingen zijn ook verkregen uit [8]. Als bron voor het maaiveld niveau heeft [13] gediend. Als niveau is de gemiddelde waarde rond de gemeente gehanteerd. De basis voor het aantal slachtoffers per gemeente vormt [6]. Deze geeft het aantal slachtoffers in vijftallen. Het blijkt dat de aantallen slachtoffers die in [6] worden vermeld soms afwijken van hetgeen in de gedenkboeken [1,3,4,5,7] wordt vermeld. Het aantal slachtoffers vermeld in de gedenkboeken is dan als juist aangenomen. De bron van de inwoneraantallen is [CBS].

Gegevens over de waarschuwingstijd zijn uit de verslagen niet te achterhalen. Meestal was de waarschuwingstijd waarschijnlijk gelijk aan 0. Er wordt daarom vanuitgegaan dat er geen evacuatie heeft plaatsgevonden.

In het navolgende zal voor de verschillende eilanden per gemeente de situatie worden toegelicht. Een samenvatting van alle gegevens wordt weergegeven in bijlage III.

II.1 Schouwen-Duiveland

Gegevens betreffende Schouwen-Duiveland zijn ontleend aan [5]. Een groot aantal gemeenten op dit eiland heeft geen doden door verdrinking gehad. Verdrinkingen zijn wel opgetreden in:

- Ouwkerk;
- Nieuwerkerk;
- Oosterland;
- Dreischor;
- Zierikzee;
- Kerkwerf;
- Burgsluis;
- Brouwershaven.

In Ouwerkerk zijn 100 verdrinkingen geweest. De gemeente kan worden verdeeld in een dorpskern die relatief hoog ligt en een lager gelegen buitenwijk. De meeste slachtoffers (72 [9]) vielen in de buitenwijk. De bewoners van deze wijk waren verrast door het snel opkomende water. Door het slechte weer konden moeilijk reddingspogingen worden ondernomen. Slachtoffers als het gevolg van een grote stroomsnelheid direct achter de bres zijn niet waargenomen.

Nieuwerkerk noteerde in totaal 275 verdrinkingen. Het betrof hier een zeer snelle inundatie (grote stijgsnelheid). Men kon niet of nauwelijks vluchten naar hoger gelegen plaatsen. Door de stroomsnelheid en golven bezweken de woningen waardoor de bewoners verdronken.

Oosterland heeft 65 verdrinkingen gehad. De oorzaken zijn niet bekend.

In Dreischor zijn in de buitenwijken 32 mensen verdronken. De meesten zijn op de vlucht (per auto) verdronken in het snel stijgende water.

Zierikzee (16 slachtoffers) was verrast door snel opkomend water. 15 Slachtoffers zijn hierdoor gevallen. Eén slachtoffer is gevallen als gevolg van de hoge stroomsnelheid.

Kerkwerf (5 doden) heeft 3 doden gehad als gevolg van een instortend huis (de bewoners weigerden te vluchten), de oorzaak bij de overigen is onbekend.

Burgsluis heeft 10 doden als gevolg van zeer snel stijgend water. Het betreft een polder van 4 ha. In 15 minuten tijd kwam het water tot 3.85 m. Hierdoor verrast kwamen 10 mensen om het leven.

Brouwershaven: 3 Mensen verdronken op de vlucht naar hogere gronden. De stijgsnelheid was hier zodanig dat de polder in 3 uur tijd vol liep en daarna over de binnendijken weer afvoerde. De stijgsnelheid was 1.5 m per 3 uur.

II.2 Tholen

Hier alleen een verslag over de inundatie van Stavenisse. De overige dorpen hebben geen slachtoffers te betreuren gehad. In Stavenisse zijn 135 doden gevallen. Volgens [3] betrof hier hier een zeer snelle inundatie. In enkele minuten stond het water meters hoog. Door de stroomsnelheid werden woningen vernield. Het betreft hier dus een combinatie van stroomsnelheid en stijgsnelheid die de slachtoffers heeft veroorzaakt. De stijgsnelheid heeft er voor gezorgd dat weinig mensen konden vluchten. Degene die dat toch deden verdronken. Daarna heeft de stroomsnelheid er voor zorggedragen dat huizen instortten.

II.3 Hoekse Waard

Gegevens betreffende de Hoekse Waard zijn ontleend aan [4]. De meeste doden door verdrinking hebben plaatsgevonden in:

- Numansdorp (56);
- Strijen (42);
- 's-Gravendeel (37);

verder:

- Heinenoord (2);
- Zuid-Beyerland (2);
- Dordrecht (2);
- Tien-Gemeten (2).

In 's-Gravendeel zijn 30 van de 37 slachtoffers gevallen door dat de woningen die aan de dijk stonden direct verwoest werden nadat de dijk bezweek.

In Strijen en Numansdorp bestond een soortgelijke situatie. Na de dijkdoorbraak stortten huizen in door de hoge stroomsnelheid achter de dijk. Dit was de oorzaak van het merendeel van de doden in deze gemeenten.

Op het eiland Tien-Gemeten werden 3 mannen verrast door het hoge water in het midden van het veld.

II.4 Goeree-Overflakkee

Uitvoerige beschrijvingen over de toestand tijdens de inundatie van Goeree-Overflakkee zijn in [1] niet te vinden. Gegevens zijn daarom ontleend aan [2]. Duidelijk is dat de dorpen Oude en Nieuwe Tonge in zeer korte tijd zijn geïnundeerd, waarbij hoge stroomsnelheden optraden. In Stellendam zijn de meeste slachtoffers veroorzaakt door een vloedgolf. Ook hier dus een combinatie van stroomsnelheid en stijgsnelheid. In Ooltgensplaat betrof het een inundatie die in 5 uur zijn maximale waterdiepte bereikte. Dit is een relatief lange tijd. Ook in Den Bommel betrof het een langzame inundatie.

Van de oorzaak van verdrinking bij de overige gemeenten zijn geen gegevens gevonden.

II.5 Noord-Brabant

De gegevens betreffende het aantal slachtoffers en de aanleiding zijn ontleend aan [7].

In Dussen zijn 6 slachtoffers gevallen. Er wordt geen melding gedaan van hoge stroom of stijgsnelheid. Aangenomen wordt dat de slachtoffers zijn gevallen als gevolg van de inundatiediepte

Fynaart/Heiningen: "Een watermuur van 3 a 4 m verzwolg alles wat op zijn weg kwam ... De polder is in een kwartier tijd volgelopen." Er zijn 76 slachtoffers gevallen. Aangenomen wordt dat dit aantal gelijk verdeeld kan worden over de oorzaak stijgsnelheid en stroomsnelheid.

In Halsteren zijn 68 slachtoffers gevallen. Ook hier wordt aangenomen dat de oorzaak gelijk verdeeld kan worden over stijgsnelheid en stroomsnelheid

In Klundert ging de inundatie aanvankelijk zeer snel, later langzamer. Er wordt daarom aangenomen dat er geen grote stijgsnelheid heeft bestaan. De twee slachtoffers zijn verdronken als gevolg van inundatiediepte.

Nieuw-Vossemeer kende 47 slachtoffers. Er wordt geen melding gemaakt van hoge stroom- of stijgsnelheid.

Zevenbergen kende 14 doden als gevolg van de inundatie. Wederom wordt geen melding gemaakt van hoge stroom- of stijgsnelheid.

II.6 Zuid-Oost-Beveland

Gegevens zijn ontleend aan [17].

Rilland-Bath kende 12 slachtoffers. Hiervan verdronken 2 mensen bij het pogen over de ondergelopen dijk te lopen teneinde reddingspogingen te verrichten. Door de snelle stroming verdronken zij. Bij pogingen vee los te maken verdronken 5 kinderen doordat zij met het water meegesleurd werden. Verder verdronken 2 mensen bij vluchtpogingen uit hun woning. De oorzaak van verdrinking van de overige 3 mensen is niet bekend.

Het dorp Krabbendijke zelf bleef droog. Er vielen 4 slachtoffers aan de Oostdijk doordat een vloedgolf de woningen waarin de mensen verbleven vernietigde.

Waarde werd via Kruiningen geïnundeerd. Er was hierdoor tijd voor evacuatie. Bij de tweede vloed waren nog slechts 80 van de 1100 inwoners aanwezig. Bij een poging per fiets het dorp te ontvluchten is een man verdronken.

In Kruiningen zijn 62 mensen verdronken in 28 woningen in 19 straten/wegen. Uit de straatnamen kan worden afgeleid dat ongeveer 27 mensen niet in de dorpskern woonden. 5 Mensen verdronken doordat hun huizen aan de dijk wegspoelden. Verder zijn er in Kruiningen geen bijzondere invloeden geweest, die verklaren waarom bij inundatie-diepte van 3 m, bij een zeer groot inwonertal, relatief zo weinig mensen verdronken.

BIJLAGE III OVERZICHT GEGEVENS STORMVLOED '53

Plaats	verdr aantal A	stijg	stroom	rest	polder nummer B	inund. hoogte C	maai.v. hoogte D	inund diepte E=C-D	aantal inw. F	inun. duur G	polder grootte I(ha)	verdr factor H=A/F * 100	stijg. snelh.
<u>Vlaanderen</u>													
Ossenissee	10	?	?	10	9a	1.5	0.5	1.0	?			?	?
Terneuzen	5	?	?	5	6	2.0+mv	0.5	2.0	13790			0.04	?
<u>Zuid-Beveland</u>													
Baarland	5			5	2	1.7	0.5	1.2	818		1091*	0.61	?
Ellewoutsdijk	5			5	1	1.9	0.5	1.4	486		869*	1.03	?
Oostkerke	16			16	15	1.3+mv	?	1.3	?		498*	?	?
Oudelande	5			5	1	1.8	1.0	0.8	779		1834	0.64	?
Kruiningen	63		1	61	3	3.5	-0.0	3.5	4859		1292	1.13	?
Rilland	12		7	5	9	3.0	1.3	1.7	2253		1065	0.69	?
Waarde	1		1	0	4	3.5	1.0	2.5	1104		524	0.18	
Krabbedijke/ Oostdijk	2		all	2		0.7		0.0			3.4		
<u>Noord-Beveland</u>													
Geersdijk	5			5	4	1.6+mv	-1.0	1.6	?		3959*	?	?
Kortgene	40			40	5	3.5+mv		3.5	3748			1.05	?
<u>Tholen</u>													
Maartensdijk	0			0	6c	3.0	+2.0	1.0	2147			0.00	?
Poortvliet	0			0	9	2.0	0.0	2.0	1705		2225*	0.00	?
Stavenisse	153	153		0		4.0	+0.8	3.2	1737		1123*	7.77	zeer snelle inundatie ~ 2m/0,2 uur = 10 m/uur
St.Philipsland	5	?	?	5	1	3.0	+0.7	2.3	2136		1872	0.87	?
<u>Schouwen-Duiveland</u>													
Brouwershaven	3	3	0	0	3	1.5+mv	-1.0	1.5	1198		572	0.42	0,5 m /uur
Bruinisse	5	?	?	5	26		0.9		2137		810	0.23	
Burghsluis	10	10	0	0	2a	3.85	0.0	3.9	50		4	20.0	16 m/uur
Dreischor	32	22	10	0	2a	2.8	0.0	2.8	1020		1300*	0.48	
Elkerzee	0			0	2a	2.0+mv	-1.1	2.0	517		325*	0.0	
Haamstede	0			0	2a		1.0		1715		3285	0.0	

Plaats	verdr aantal A	stijg	stroom	rest	polder nummer B	inund. hoogte C	maaiv. hoogte D	inund diepte E=C-D	aantal inw. F	inun. duur G	polder grootte I(ha)	verdr factor H=A/F * 100	stijg. snelh.
Kerkwerve	5	0	0	5	2a	2.0+mv	-1.0	2.0	801		1836	0.62	
Looperskapelle	0			0	2a		-1.2		?			0.0	
Nieuwerkerk	275	275	0	0	14	3.0	-0.3	3.3	1858		2625	14.67	
Nieuwerkerke	0			0	2a		-1.0		?			0.0	
Noordwelle	0			0	2a	1.5+mv	-0.5	1.5	455		1006	0.0	
Oosterland	55	?	?	55	25	3.0	0.	3.0	1819		1710	3.04	
Ouwkerk b	72	72	0	0	14	3.0	-0.8	3.8	180		2625	40.00	
k	28	0	0	28	14	3.0	0.2	2.8	385		2625	4.68	
Oudendijke	0			0	2a				464			0.0	
Scharendijk	0			0	2a	2.0+mv	-1.0	2.0	?			0.0	
Serooskerke	16	?	?	16	2a		0.5		219		295	7.31	
Sirjansland	0			0	2a		0.0		?		505	0.00	
Zierikzee	16	15	1	0	2a	3.0+mv	-0.5	3.0	7129		1740	0.22	
Zonnemaire	0			0	24	0.4+mv	0.0	0.4	791		1247	0.00	
<u>Goeree-Overflakkee</u>													
Den Bommel	9			9	44b	2.0	0.0	2.0	1993	58	2116	0.45	langzame inundatie < 0,4 m/uur
Goedereede	6			6	2	2.7	+0.6	2.1	1195	38	1425	0.17	
Herkingen	4			4	25	1.0	0.5	0.5	1078	19	640	0.37	
Nieuwe-tonge k	48	48		0	43a	2.5	0.1	2.4	2081	55	125	4.00	6 m/uur
b	39	39		0	43a	2.5	-1.0	3.5	105		1196	37.14	6 m/uur
Ooltgensplaat	0			0	65	2.0	0.0	2.0	3212	33	770	0.00	5 uur tot max < 0,4 m /uur
Oude-Tonge	305	305		0	42abc	3.0	0.0	3.0	3088	72	1860	9.42	6 m/uur
Sommelsdijk/	22				38	3.0	+0.6	2.4	8818	16	3050	0.72	
Middelharnis													
Stellendam	62		62	0	12e	3.8	+0.5	3.3	1883	43		3.22	vloedgolf/daarna langzame inundatie

Plaats	verdr aantal A	stijg	stroom	rest	polder nummer B	inund. hoogte C	maaiv. hoogte D	inund diepte E=C-D	aantal inw. F	inun. duur G	polder grootte I(ha)	verdr factor H=A/F * 100	stijg. snelh.
<u>Noord-Brabant</u>													
Dussen	6	?	?	6	20	?							
Fynaart/Heinen	76	38	38	0	29/3	0. +mv	0.0	0.0	5141		3817*	0.01	kom droog gebleven
Halsteren	68	34	34	0	6	3.0+mv	-0.5	3.0	7894		4218*	0.86	
Klundert	2			2	28b	2.3	-0.5	2.8	5245		2812	0.04	
Nieuw-Vosseme	47	0	0	47	1c	3.0	0.8	2.2	1686		375	2.79	
Oosterhout	0			0		0.3+mv	-	0.3	21415			0.00	
Sprang-Capelle	0			0	42b	0.84			6029		2454*	0.00	
Waspik	0			0	42b	0.84			3529		1694*	0.00	
Zevenbergen	14	0	0	14	33	?			9383		1908	0.15	
<u>Putten</u>													
Abbenbroek	5	?		5	6	1.5	-0.5	2.0	735		940*	0.68	
Oudenhorn	0	?		0	2	1.27	-0.8	2.07	896	855	862*	0.00	
Zuidland	25	?		25	5	1.5	-0.5	2.0	2278		1581	1.09	
<u>Hoekse Waard (ZH)</u>													
's-Gravendeel	37	0	30	7	37b	1.4	-0.5	1.9	5461		2007*	0.68	
Numansdorp	56	0	40	16	17a	1.8	0.3	1.5	4473		4009*	1.25	
Strijen	42	0	30	12	29	1.9	-0.0	1.9	5102		5097	0.82	
Heinenoord	2			2					2232		1584*	0.09	
Dordrecht	2	?	?	2		0.45+mv	-	0.45	73610		1346*	0.003	
Zuid-Beyerland	2			2					2603		3021	0.08	
Tien-Gemetten	3	3	0	0				?					

* gemeente oppervlak

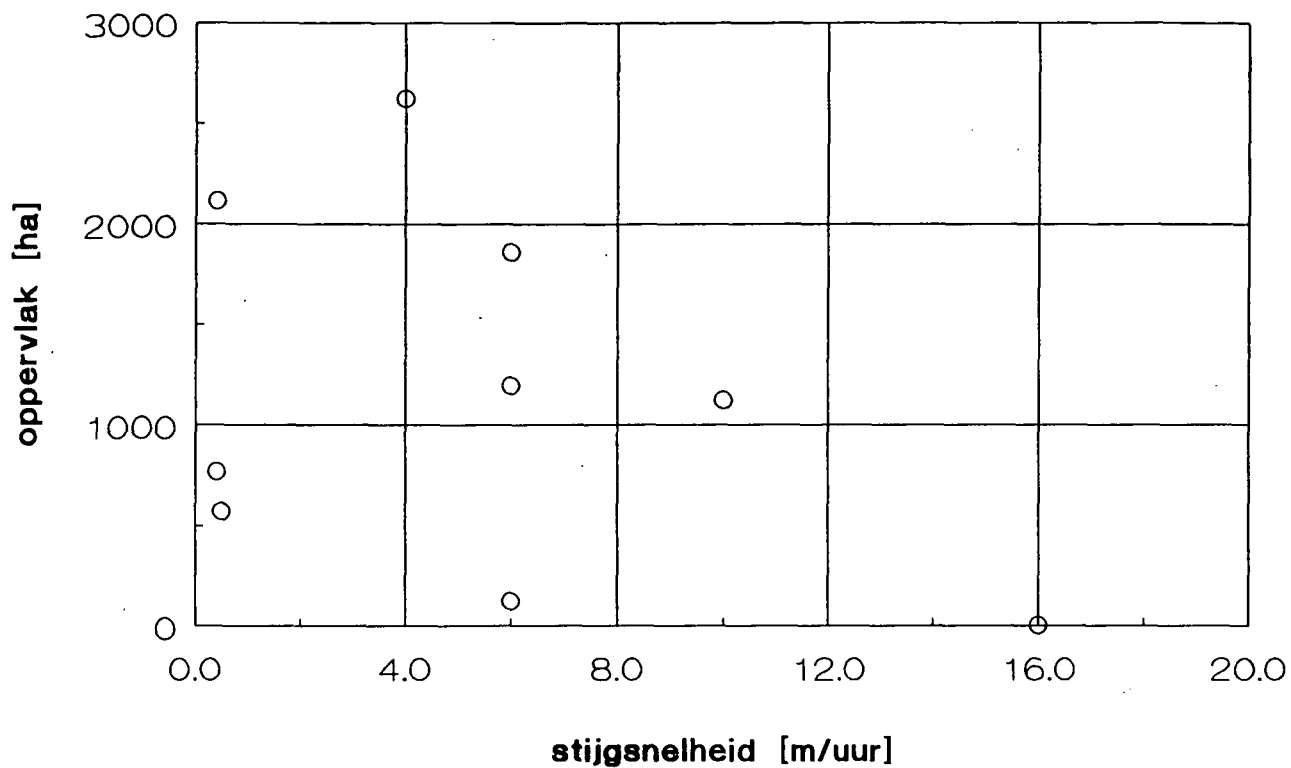
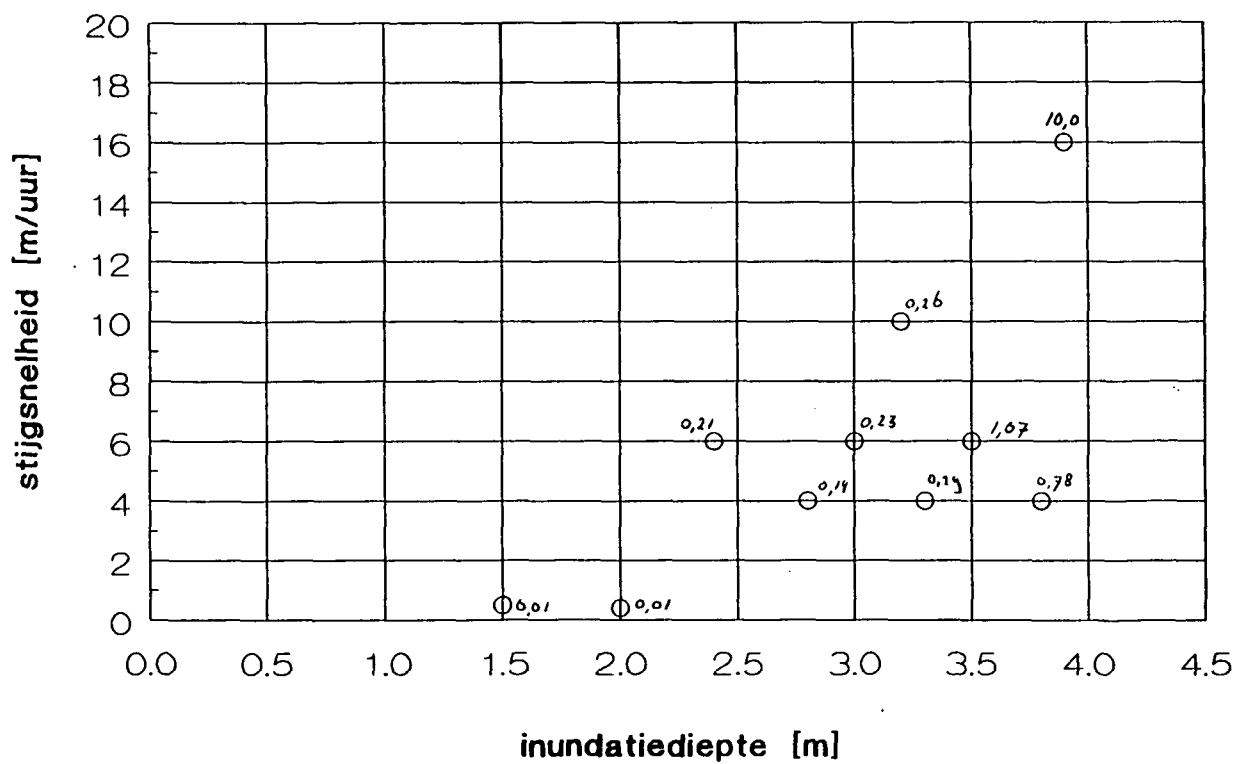
BIJLAGE IV - DIJKRINGOPPERVLAK

De verdrinkingsfactor in figuur 7, uitgezet tegen zowel stijgsnelheid als inundatiediepte, laat geen duidelijk verband zien, zoals verwacht in figuur 1. Blijkbaar spelen nog andere factoren een rol. De enige factor die bekend is, is het dijkringoppervlak. Er is reeds in hoofdstuk 3 gesteld dat de verdrinkingsfactor nog gecorreleerd kan zijn met de wortel uit het oppervlak of, volgens (3.1), lineair gecorreleerd met het dijkringoppervlak. De relatie tussen dijkringoppervlak en stijgsnelheid is weergegeven in figuur IV.1. Geconstateerd kan worden dat de verwachte correlatie volgens (3.1) niet bestaat. Merk op dat A niet altijd het dijkringoppervlak weergeeft; soms geeft A het gemeente-oppervlak weer. Tevens kunnen grote dijkringen weer opgedeeld zijn in kleinere dijkringen.

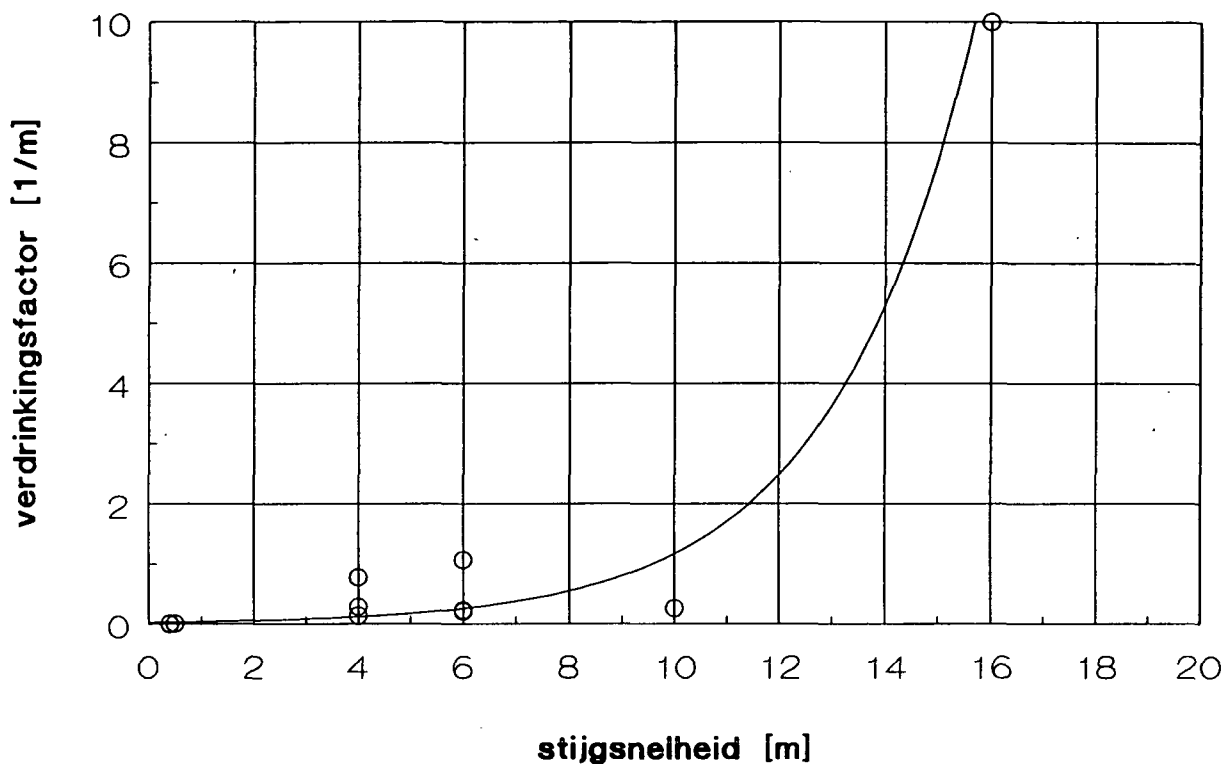
De correlatie met de wortel uit het dijkringoppervlak geeft een beter resultaat. Figuur IV.2 is grotendeels gelijk aan figuur 7. De verdrinkingsfactor is nu echter gedeeld door $\sqrt{A}$ (A in [ha]). Het verband, zoals verwacht in figuur IV.1, komt in figuur IV.2 beter naar voren dan in figuur 7. Gezien de correlatie tussen inundatiediepte en stijgsnelheid, kan $\delta/\sqrt{A}$ ook uitgezet worden tegen deze factoren afzonderlijk. Figuur IV.3 geeft het verband tussen stijgsnelheid v en $\delta/\sqrt{A}$. Tevens is in deze figuur een fit volgens exponentiele functie weergegeven. Figuur IV.4 geeft het verband weer tussen de inundatiediepte h en $\delta/\sqrt{A}$.

De resultaten van de analyse van de correlatie tussen dijkringoppervlak en andere factoren zijn, mede gezien het kleine aantal punten, zodanig dat geconcludeerd moet worden dat het meenemen van het dijkringoppervlak als bepalende factor niet zinvol is.

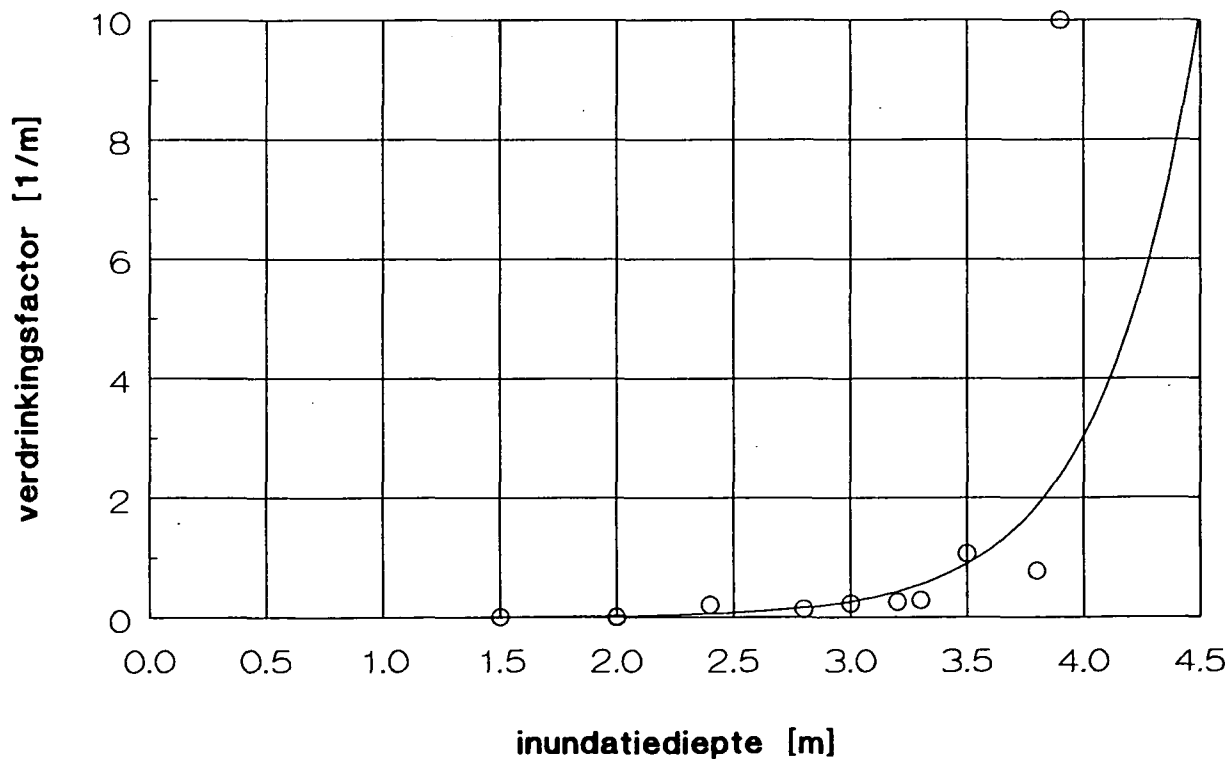
Figuur IV.1: Stijgsnelheid als functie van het dijkringoppervlak

Figuur IV.2: Contour plot van verdrinkingsfactor gedeeld door de wortel uit het dijkringoppervlak $[m^{-1}]$ 

Figuur IV.3: Verdrinkingsfactor gedeeld door de wortel uit het dijkringoppervlak als functie van de stijgsnelheid



Figuur IV.4: Verdrinkingfactor gedeeld door de wortel uit het dijkringoppervlak als functie van de inundatiediepte



BIJLAGE V SAMENVATTING GEGEVENS [12]

Locatie	doden	stroom- snelh.	Stijg- snelh.	rest	inund. hoogte	mv	inund. diepte	inw.	verdr. factor	waarsch. tijd (h)
Baldwin Hills, California, 1963	5							16500	0.0003	1.5
Bearwallow, North Carolina 1976	4							4	1.0	0
Big Thompson, Colorado, 1976	145							2500	0.058	< 1.0
Black Hills, South Dakota, 1972	245							17000	0.0144	< 1.0
Buffalo Creek, West Virginia 1972	125							4000	0.03125	< 1.0
Bushy Hill Pond, Connecticut, 1982	0							400	0.0	2-3
Denver, Colorado, 1965	1							3000	0.0003	3
DMAD, Utah, 1983	1							500	0.002	1-12
Kansas City, Missouri	25							1000	0.025	< 1.0
Kansas River, Kansas	11							58000	0.0002	> 1.5
Kelly Barnes, Georgia, 1977	39							250	0.156	< 0.5
Laurel Run, Pennsylvania, 1977	40							150	0.266	0
Lawn Lake, Colorado, 1982	3							5000	0.0006	< 1.5
Lee Lake, Massachusetts, 1968	2							80	0.025	< 1.0
Little deer Cree, Utah, 1963	1							50	0.02	< 1.0
Mohegan Park, Connecticut 1963	6							500	0.012	0
Monatana 1964	27							250	0.108	< 1.5
Northern New Jersey, 1984	2							25000	0.00008	> 2.0
Prospect Dam, Colorado 1980	2							100	0.02	> 2.0
Tedon, Idaho, 1976	7							2000	0.0035	< 1.5
	4							23000	0.00017	> 1.5
Texas Hill country, 1978	27							1500	0.018	< 1.5
Malpasset, France, 1959	6							6000	0.001	0
Vega de Tera, Spain, 1959	150							500	0.3	0
Hamburg, Wilhelmsbrug, 1962	315	315	0	0	5.70	3.45	2.25		?	0
Hamburg, haven < 1900, 1962 o	0	0	0	0	5.70	5.60	0.10		0	
b	0	0	0	0	5.70	4.50	1.20		0	
Hamburg, haven > 1900, 1962 o	0	0	0	0	5.70	5.70	0.00		0	
b	0	0	0	0	5.70	6.80	-		0	
Hamburg, 1976	0	0	0	0	?		2.0		0	
Tuindorp - Oostzaan, 1960	0	0	0	0	?		2 à 3		0	0
Wieringermeer, 1945	0	0	0	0	?		2 à 3		0	8

BIJLAGE VI - KWETSBAARHEID VAN GEBOUWEN BIJ INUNDATIE ALS GEVOLG VAN GOLFBE- LASTING EN STROOMSNELHEID

Capaciteit muren

De capaciteit van muren wordt bepaald door de sterkte van het materiaal (metselwerk of beton). Vanwege het feit dat zowel beton als metselwerk weinig trek kan opnemen, is het buigend moment waardoor een muur zou bezwijken ook afhankelijk van de voorspanning in de muren. De voorspanning wordt normaliter alleen veroorzaakt door het eigengewicht en (een deel van) de veranderlijke belasting (verticaal).

Uitgangspunten voor de berekening:

1. Geen belastingsfactor op de belastingen;
2. Belasting voor de berekening van de normaalkracht is $1.0 \cdot$ de permanente belasting $+ 0.4 \cdot$ de veranderlijke;
3. Eindwanden geschematiseerd als vrij opgelegd.
4. Voor metselwerk is uitgegaan van een treksterkte 0.18 N/mm^2 .
5. Overspanningen vloer 5.4 m

Er kan nu berekend worden wat de gelijkmatig verdeelde belasting is waarbij de muur bezwijkt. Afhankelijk van het toegepaste materiaal en hoogte van het gebouw wordt de bezwijkbelasting (in kN/m^2):

hoogte	gietsbouw			metselwerk	
	d=0.18	d=0.16	d=0.20	d=0.10	d=0.10
0.0 - 2.8	21	19	28	1.2	1.9
2.8 - 5.6	20	18	25	0.8	1.5
5.6 - 8.4			23		1.1
8.4 - 11.2			20		0.6

Belasting op muren als gevolg van golfbelasting

Er geldt voor de gelijkmatig verdeelde belasting q :

$$q = 2.5 \rho g H \sqrt{H/h}$$

met

h = inundatiediepte

H = golfhoogte

g = zwaartekrachtsversnelling (m/s^2)

ρ = volumiek gewicht (kg/m^3)

De golfhoogte worden bepaald met

$$H^{3/2} = \frac{q \sqrt{h}}{2.5 \rho g}$$

Bewijzen door golfslag

Voor de verschillende typen gebouwen en muren kan nu de golfhoogte H worden bepaald waarbij de muur bezwijkt.

type	$h < 2.8$	$h < 5.6$	$h < 8.4$
gietsbouw			
$d=0.18$	1.25	1.21	
$d=0.16$	1.17	1.13	
$d=0.20$	1.52	1.41	1.33
metselwerk			
$d=0.10$	0.19	0.14	
$d=0.10$	0.25	0.22	0.17

Golven van ruim 1 m hoogte bij een inundatiediepte van 2.8 is vrij onwaarschijnlijk. Tot 2.8 m blijven muren in gietsbouw gewoon staan. Metselwerk bezwijkt reeds bij golven van orde 0.25 m. Bij een inundatiediepte van 2.8 m is dit niet onwaarschijnlijk.

Een aantal kanttekeningen kan worden gemaakt.

1. Een opbouw van golfhoogte is alleen mogelijk indien een redelijke strijklengte aanwezig is.

2. Alleen de bebouwing buiten de kom en aan de rand van de kom gevoelig. Binnen de kom worden de golven gedempt door de bebouwing.
3. Het bezwijken van muren leidt niet direct tot het bezwijken van de gehele woning.

Belasting door stroomsnelheid

Aangenomen is dat de belasting door stroomsnelheid zich het zelfde laat modelleren als de belasting door windsnelheid.

Voor een woning zien we dan

$$q = C * 1/2 * \rho v^2$$

waarbij

C is de vormfactor (0.8)

v is de stroomsnelheid

De stroomsnelheid v (m/s) waarbij de muur bezwijkt wordt dan

type	h < 2.8	h < 5.6
gietsbouw		
d=0.18	7.2	7.1
d=0.16	6.9	6.7
d=0.20	8.4	7.9
metselwerk		
d=0.10	1.7	1.4
d=0.10	2.2	1.9

Bij stroomgaten zijn stroomsnelheden van orde 3 tot 8 m/s. Gietsbouw zal waarschijnlijk nog blijven staan. Muren uit metselwerk zullen bezwijken. In een straal van 2 maal de bresbreedte (van 100 m) is de stroomsnelheid met een factor 8 afgenomen. Buiten deze straal zal ook metselwerk blijven staan.