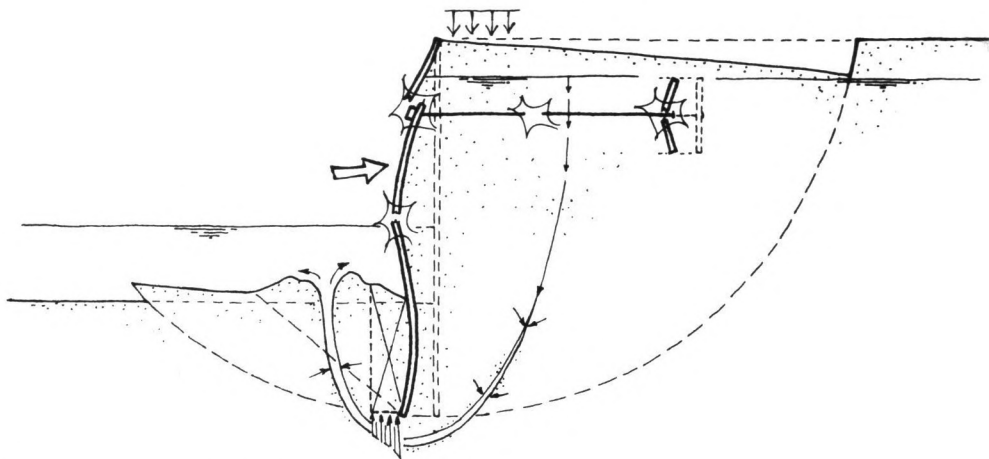


Probabilistisch ontwerpen van damwandconstructies

Een aanzet, gebaseerd op de methode Blum

Maart 1988

Ing. M.Th. van der Meer



Enkele faalmechanismen

PROBABILISTISCH ONTWERPEN VAN DAMWANDCONSTRUCTIES

Een aanzet, gebaseerd op de methode Blum.

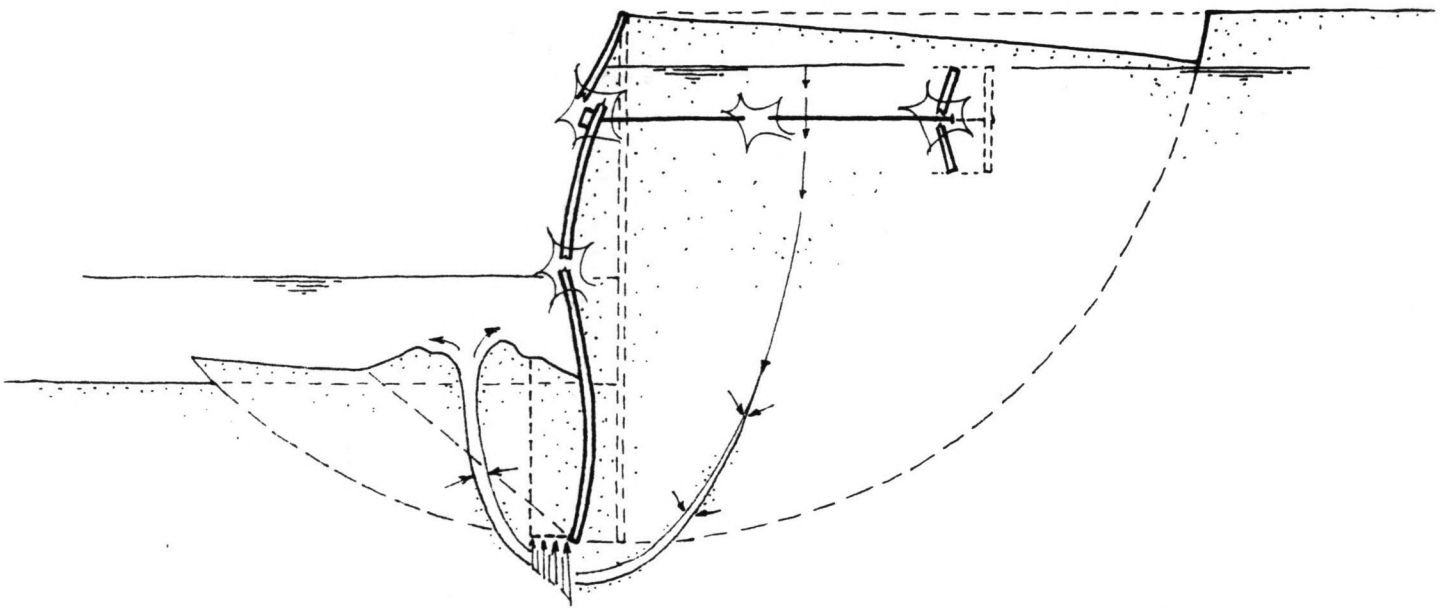
ing. M.Th. van der Meer

maart 1988

Deelstudie in het kader van het afstuderen aan de
faculteit der Civiele Techniek van de Technische
Universiteit Delft bij de sectie Waterbouwkunde
van de vakgroep Waterbouwkunde.

Hoogleraar : prof. ir. A. Glerum
Begeleider : ir. W. Meermans

Het moet buigen of barsten ...



VOORWOORD

Voor u ligt een deelontwerp, gedaan bij prof. ir. A. Glerum, sectie Waterbouwkunde, vakgroep Waterbouwkunde (CT, TU Delft). Naast prof. ir. A. Glerum en ir. W. Meermans is ook dank verschuldigd aan ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder voor zijn nuttige adviezen.

Gepoogd is om een eerste aanzet te geven voor een probabilistische berekening van damwandconstructies, waarbij als uitgangspunt de klassieke deterministische berekeningsmethode volgens Blum is gekozen.

Door de beperkte omvang van het deelontwerp zijn bepaalde aspecten, hoewel meestal wel gesignaleerd, onderbelicht gebleven. Wellicht dat andere studenten in deze eerste opzet voldoende aanleiding zien, om in het kader van hun afstuderen deze aspecten nader te onderzoeken.

Wanneer de probabilistische analyse is vervolmaakt, zou men hiermee moeten trachten te komen tot belastingfactoren, materiaalfactoren en belastingcombinatieregels voor het ontwerpen van damwandconstructies. Hiermee zou men de damwandberekening meer in overeenstemming brengen met de nieuwe voorschriften voor de berekening van bouwconstructies.

Delft, maart 1988
ing. M.Th. van der Meer

SAMENVATTING

Een aanzet wordt gegeven voor het gebruik van probabilistische reken-technieken bij de dimensionering van damwandconstructies. Hiertoe wordt een probabilistische advanced level II-berekening toegepast op een damwandconstructie die met de gangbare veiligheidsfactoren met de methode Blum is ontworpen.

Er wordt alleen gekeken naar de gebruiksfase van een enkelvoudig verankerde volledig ingeklemde stalen damwand. Hierbij wordt geen eis gesteld aan de verplaatsing van de damwand.

De probabilistische berekening gebaseerd op de methode Blum geeft alleen voor het design point betrouwbare resultaten.

De grootste faalkans wordt gevonden bij het faalmechanisme "bezwijken van de damwand op buiging" (faalkans ca. 0,026).

Bezwijken is hier echter eenvoudigheidshalve gedefiniëerd als het bereiken van een vloeimoment, hetgeen bij de beschouwde statisch onbepaalde constructie in principe nog geen bezwijken betekent. De faalkans wordt hierdoor overschat. Gezien het grote aandeel in de totale faalkans, dient met name dit faalmechanisme nog nader te worden geanalyseerd.

De faalkansen van de andere berekende faalmechanismen blijken van een lagere orde te zijn. Voorts blijken deze faalmechanismen te zijn gecorreleerd.

Onder de veronderstelling dat de niet doorgerekende faalmechanismen eveneens faalkansen van lagere orde hebben, en bij verwaarlozing van correlaties, wordt voor het beschouwde testprobleem een totale faalkans gevonden van de orde 0,03.

De gevonden faalkansen zijn overigens alle aan de hoge kant, omdat bij het ontwerp van de damwandconstructie is uitgegaan van gemiddelde in plaats van karakteristieke waarden voor de grond- en geometrieparameters en de bovenbelasting. In de praktijk zal men bijvoorbeeld niet uitgaan van de gemiddelde bodemligging, maar van een (dieper gelegen) karakteristieke waarde.

Voor het beschouwde testprobleem wordt het grootste aandeel in de variantie (dus in de mate van veiligheid) opgeëist door de wrijvings-eigenschappen van de grond en de bodemligging voor de damwand.

Vragen die verder nog onbeantwoord blijven, hebben betrekking op de statistische verdelingen van de stochasten, op de invloed van de correlaties, en op de invloed van de beschouwde levensduur. Voorts zijn nog niet alle faalmechanismen doorgerekend.

INHOUD

VOORWOORD

SAMENVATTING

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Ontwerphilosofie	1
1.2. Probleemstelling	1
1.3. Doel van het rapport	2
2. DAMWANDBEREKENING	3
2.1. Gekozen berekeningsmethode	3
2.2. Aanpassingen op het rekenmodel van Blum	4
3. DETERMINISTISCHE EN PROBABILISTISCHE ANALYSE	8
3.1. Faalmechanismen	8
3.2. Traditionele veiligheidsfactoren	9
3.3. Betrouwbaarheidsfuncties	15
4. FAALKANSEN VOOR EEN EENVOUDIGE DAMWANDCONSTRUCTIE	18
4.1. Het testprobleem	18
4.2. Resultaten per faalmechanisme	20
4.3. Systeemfaalkans	21
5. CORRELATIES	24
5.1. Gecorreleerde variabelen	24
5.2. Ruimtelijke correlatie	24
5.3. Gecorreleerde faalmechanismen	24
6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	27
6.1. Conclusies	27
6.2. Aanbevelingen	28
LITERATUUR	31
VOORNAAMSTE SYMBOLEN	33
BIJLAGE I: Methode Blum	37
II: Uitvoer probabilistische berekeningen	45
III: Listing programma DAMPRO	59

1. INLEIDING

1.1. Ontwerpfilosofie

Bij het dimensioneren van constructies zal men ten gevolge van de onwetendheid ten aanzien van een aantal aspecten een zekere marge tussen de belasting en de sterkte willen aanhouden. Deze marge was traditioneel de zogenaamde veiligheidscoëfficiënt, betrokken op een referentiewaarde voor de belasting en een karakteristieke voor de sterkte.

Ondertussen is men overgestapt naar het idee van de partiële veiligheidsfactor, waarbij zowel aan de sterkte- als aan de belastingkant een marge voor de veiligheid wordt geïntroduceerd. Zo zullen de nieuwe Technische grondslagen voor de berekening van bouwconstructies (TGB) bestaan uit een TGB Algemeen en Belastingen, waarin de belastingfactoren worden ingevoerd, en uit materiaalgebonden TGB's, waarin de materiaalfactoren en breuksterkten zijn opgenomen [10].

In Nederland zijn voor het ontwerp van damwandconstructies nog geen eensluidende voorschriften ontwikkeld. In CUR-verband is men van plan om in deze behoefte te voorzien, door richtlijnen op te stellen voor de uitvoering en het ontwerp van damwandconstructies. Men hoopt hier dit jaar nog mee te kunnen aanvangen.

1.2. Probleemstelling

Bij damwandconstructies wordt tegenwoordig nog steeds uitgegaan van deterministische berekeningen, waarbij de veiligheidsmarge (althans qua verschijningsvorm) geheel aan de belastingkant komt te liggen via een stelsel van aanbevolen veiligheidsfactoren.

In aansluiting met de nationale en internationale ontwikkelingen bij de berekening van bouwconstructies, is het zinvol om ook bij de berekening van damwandconstructies over te gaan naar belastingfactoren, materiaalfactoren en belastingcombinatieregels.

Allereerst zou men een geaccepteerd veiligheidsniveau moeten definiëren. Eventueel kan men hier onderscheid maken tussen de uiterste grenstoestand en een bruikbaarheidsgrenstoestand, en/of tussen de bouw- fase en de gebruiksfase. Men zou hiervoor de bestaande richtlijnen kunnen inventariseren, en hieruit de verschillende veiligheidsniveaus trachten te distilleren.

Wellicht zou men hier onderscheid moeten maken tussen de verschillende typen damwandconstructies: onverankerd, enkelvoudig verankerd vrij opgelegd, enkelvoudig verankerd volledig ingeklemd en meervoudig verankerd.

Voor de verschillende grenstoestanden dienen daarna vastgesteld te worden:

- Belastingfactoren voor de grond- en geometriegegevens die onafhankelijk zijn van het constructie materiaal.
- Materiaalfactoren voor staal, gewapend beton en hout, die onafhankelijk zijn van de grond- en geometriegegevens.

In beginsel kunnen de grootten van deze partiële veiligheidsfactoren worden bepaald aan de hand van zogenaamde probabilistische berekeningen van het type "eerste orde tweede momenten", meestal kortweg aangeduid als niveau II berekeningen.

De eerste stap in het komen tot ontwerprichtlijnen die in overeenstemming zijn met de nieuwe inzichten, is het omzetten van de traditionele berekening naar een probabilistische berekening.

1.3. Doel van het rapport

In dit rapport zal een aanzet worden gegeven voor het gebruik van probabilistische rekentechnieken bij de dimensionering van damwandconstructies. Hiertoe wordt een probabilistische controleberekening toegepast op een damwandconstructie die op deterministische wijze (methode Blum) met de gangbare veiligheidsfactoren is ontworpen.

Mogelijke faalmechanismen worden opgespoord en geanalyseerd, waarbij per mechanisme een betrouwbaarheidsfunctie wordt opgesteld. Aan alle stochastische basisvariabelen wordt een kansverdeling toegekend, zodat de faalkans per mechanisme kan worden berekend. De berekening van de faalkansen wordt uitgevoerd met het voor dit doel geschreven programma DAMPRO. Tenslotte wordt een uitspraak gedaan over de "mate van veiligheid", door de gevonden faalkansen te combineren tot een totale faalkans voor de damwandconstructie.

Bij de berekening van de faalkansen wordt gebruik gemaakt van de advanced level II-benadering. Apart aandacht wordt geschonken aan een tekortkoming van de berekeningen: het niet in beschouwing nemen van correlaties (dit is overigens in principe wel mogelijk bij niveau II-benaderingen).

Het collegedictaat Probabilistisch Ontwerpen [11] geeft meer achtergrondinformatie over probabilistische berekeningsmethoden.

In dit deelontwerp zal alleen gekeken worden naar de ultimate limit state in de gebruiksfase van een enkelvoudig verankerde volledig ingeklemde stalen damwand. Hierbij zal geen eis gesteld worden aan de maximale doorbuiging van de damwand.

De uitvoerings- en onderhoudsaspecten komen slechts zijdelings aan de orde.

Er wordt slechts één ontwerp bekeken, behorende bij slechts één set basisvariabelen. Hiernaar zal in het vervolg worden verwezen als "testprobleem".

Overigens is naast deze deelstudie ook door anderen een aanzet voor een probabilistische damwandberekening gegeven.

Door Fugro [12] is één faalmechanisme bekeken (grondbreuk), voor een enkelvoudig verankerde damwand, waarbij als rekenmodel de methode Blum is toegepast. Uitgegaan is van een van een vrij opgelegde in plaats van een volledig ingeklemde enkelvoudig verankerde damwand. De gebruikte stochasten zijn nagenoeg dezelfde als die bij het in dit rapport beschouwde testprobleem. De resultaten sluiten goed aan bij die van deze deelstudie.

Grondmechanica Delft [4] heeft partiële veiligheidsfactoren voor de grondparameters opgesteld, waarbij als rekenmodel de verend ondersteunde ligger is toegepast. Men heeft de berekeningen uitgevoerd voor een onverankerde damwand, met als doel om veiligheidsfactoren vast te stellen voor de schuifsterkteparameters van de grond. Alleen de hoek van inwendige wrijving en de cohesie zijn als stochasten ingevoerd. De resultaten zijn daarom niet direct vergelijkbaar met die van deze deelstudie.

2. DAMWANDBEREKENING

2.1. Gekozen berekeningsmethode

Met de conventionele methoden, gebaseerd op volledig ontwikkelde actieve en passieve gronddrukken, kunnen veel damwandconstructies op een veilige en doelmatige wijze worden berekend.

Als basis voor zowel de deterministische als de probabilistische beschouwing wordt de damwandberekening volgens Blum [2] gekozen. Deze conventionele methode blijkt goede resultaten te geven voor de sterkteberekening van onverankerde en enkelvoudig verankerde damwandconstructies. In de Duitse richtlijnen [14] wordt de methode Blum dan ook aanbevolen.

Vooralsnog wordt afgezien van meer geavanceerde methoden, zoals de berekening als verend ondersteunde ligger (zoals beschreven in [5]), of berekeningen met behulp van de elementenmethode. Deze methoden vergen niet alleen meer gedetailleerde informatie dan de hiervoor genoemde "conventionele" methode, maar ook langere rekentijden vanwege het iteratieve karakter van dergelijke berekeningen.

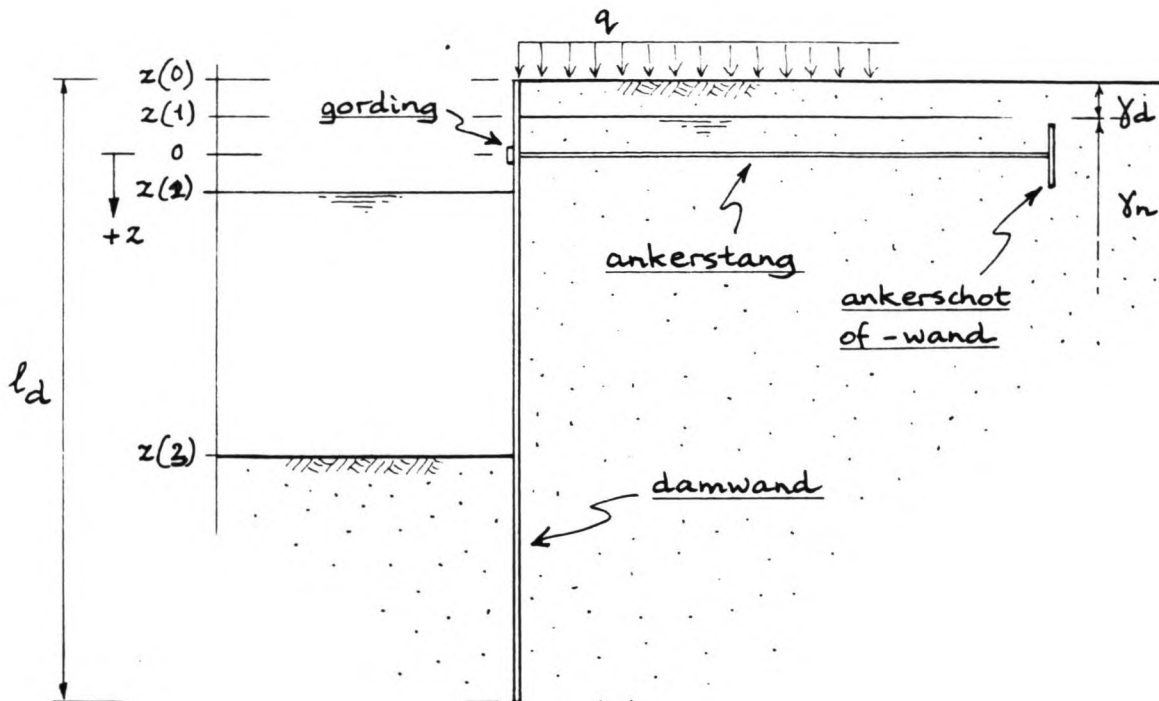
De methode Blum heeft voor het ontwerp van de damwand het rekentechnische voordeel, dat de geeïste mate van inklemming strak gedefinieerd is, zodat de benodigde damwandlengte eenduidig uit de berekening volgt.

Bij de geavanceerdere methoden moet deze lengte door de ontwerper worden opgegeven, waarmee hij impliciet de mate van inklemming vaststelt. Voor een probabilistische controleberekening van een damwand met gegeven lengte hebben deze methoden daarom een voordeel boven de methode Blum.

Bij een eventuele vervolgstudie zou men dan ook moeten overwegen om de methode Blum alleen voor het ontwerp te gebruiken, waarna de probabilistische berekening bijvoorbeeld als verend ondersteunde ligger kan worden uitgevoerd.

Bij onverankerde damwanden kunnen de vervormingen maatgevend zijn voor het ontwerp. Omdat de methode Blum minder geschikt is om met voldoende nauwkeurigheid de optredende vervormingen te bepalen, zal bij deze eerste opzet de onverankerde damwand niet worden bekeken. Hiervoor zou men voor het ontwerp bijvoorbeeld de berekening als verend ondersteunde ligger als basis moeten nemen.

Figuur 1 geeft de voornaamste onderdelen van een enkelvoudig verankerde damwandconstructie. Hierin is tevens de configuratie van het in het vervolg te beschouwen testprobleem weergegeven.



Figuur 1. Configuratie van het testprobleem

3.1. Aanpassingen op het rekenmodel van Blum

Als gesteld zal hier de enkelvoudig verankerde damwandconstructie worden beschouwd. De belangrijkste uitgangspunten van de methode Blum zijn hiervoor:

- momentenevenwicht,
- horizontaal evenwicht,
- een volledige inklemming bij de damwandvoet (d.w.z. verplaatsing en hoekverdraaiing zijn daar gelijk aan nul),
- een niet verplaatsend anker, en
- volledig ontwikkelde actieve en passieve gronddrukken (berekend volgens het Mohr-Coulomb bezwijkcriterium bij rechte glijvlakken).

Uit de grond- en geometriegegevens volgen dan direct:

- de benodigde damwandlengte l_d ,
- de optredende ankerkracht F_a ,
- de reactiekracht bij de damwandvoet F_c
- de optredende buigende momenten M_a , M_v , en M_i .

Onder bepaalde omstandigheden is, in verband met boogwerking van de grond, een reductie op de gevonden momenten toegestaan. Bij deze deelstudie is hiermee geen rekening gehouden.

In bijlage I wordt de berekeningsmethode volgens Blum kort beschreven. Hierin is tevens een listing opgenomen van het programma BLUM, dat als basis heeft gediend voor het programma DAMPRO. Meer informatie kan bijvoorbeeld worden gevonden in [16].

Essentiëel bij een probabilistische berekening is, dat in de deterministische som de basisvariabelen worden gevarieerd. Hier betekent dit een variatie in de grond- en geometrieparameters.

Bij andere grond- en geometrieparameters zullen volgens Blum andere waarden worden gevonden voor de damwandlengte, de optredende buigende momenten en de optredende ankerkracht. Variatie van de damwandlengte tijdens de berekening is echter in strijd met het gekozen uitgangspunt: met de probabilistische berekening wordt een gegeven damwandconstructie met een gegeven lengte gecontroleerd.

De damwandconstructie wordt ontworpen met de gemiddelde waarden van de grond- en geometrieparameters, waarbij de gemiddelde waarden van de cohesie en de hoek van inwendige wrijving nog gecorrigeerd worden met de veiligheidsfactoren f_c respectievelijk f_ϕ .

Hieruit volgt dan de volgens Blum berekende damwandlengte l_0 . Deze lengte is in de probabilistische berekening een vaststaand gegeven (dus géén stochast). In de berekening dient daarom een extra stap te worden ingevoerd, waarin beslist wordt wat te doen, indien de gevonden damwandlengte l_d niet overeenkomt met de aanwezige lengte l_0 .

Om het effect van een afwijkende damwandlengte in de berekening van Blum duidelijk te maken, geeft tabel 1 de resultaten bij variatie van l_d voor het testprobleem (zie figuur 1), met de volgende deterministische grond- en geometrieparameters:

bovenbelasting	q	=	10	kN/m ²
volumegewicht droge grond	γ_d	=	18	kN/m ³
volumegewicht natte grond	γ_n	=	20	kN/m ³
cohesie (rekenwaarde)	c_e	=	0	kN/m ²
hoek van inw. wrijving (rekenwaarde)	ϕ_e	=	30	°
coördinaat damwandkop	$z(0)$	=	-1,0	m
coördinaat binnenwaterstand	$z(1)$	=	-0,5	m
coördinaat buitenwaterstand	$z(2)$	=	0,5	m
coördinaat bodemligging	$z(3)$	=	4,0	m

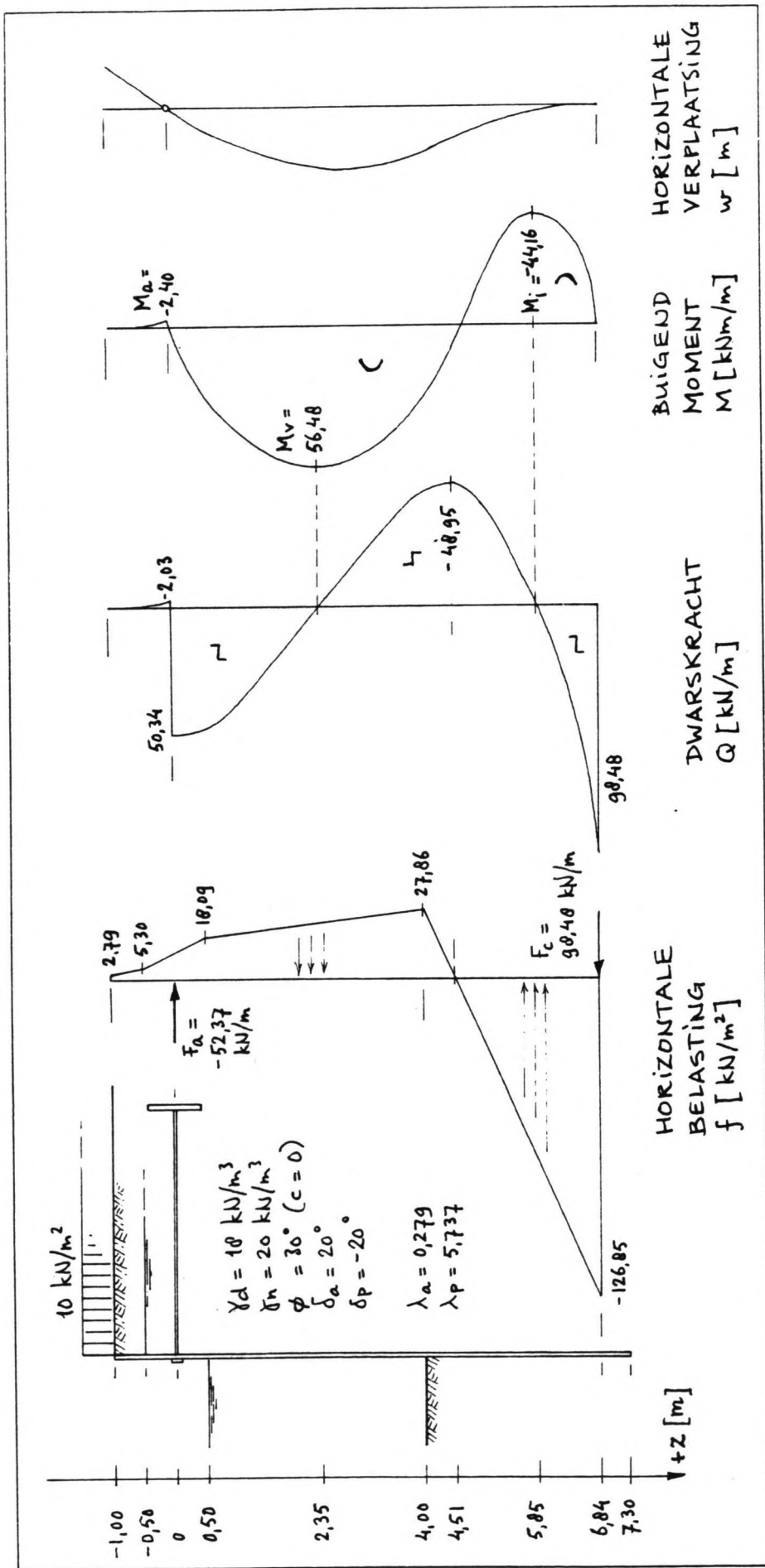
Voor deze deelstudie worden de hoeken van actieve en passieve wandwrijving als volledig gecorreleerd met de hoek van inwendige wrijving beschouwd: $\delta_a = 2\phi/3$ en $\delta_p = -2\phi/3$.

De resultaten volgend uit de methode Blum staan samengevat in figuur 2. Gevonden wordt een damwandlengte $l_d = 8,30$ m.

l_d (m)	8,30	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00
F_a (kN/m)	52,37	59,99	58,89	55,53	49,77	41,47
F_c (kN/m)	98,48	0,70	32,55	71,63	117,78	170,87
M_c^a (kNm/m)	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40	-2,40
M_v^a (kNm/m)	56,48	75,72	72,77	64,17	50,47	33,29
M_i (kNm/m)	-44,16	0,00	-6,37	-25,75	-59,42	-108,68

Tabel 1. Variatie van l_d bij gegeven grond- en geometrieparameters

In de eerste kolom staan de resultaten behorend bij een damwandlengte $l_d = 8,30$ m, volgend uit de methode Blum. In de overige kolommen zijn afwijkende damwandlengten opgegeven. Uitgaande van volledig ontwikkelde actieve en passieve gronddrukken, volgen de resultaten (net als bij de methode Blum) uit het horizontale evenwicht en het momentenevenwicht.



Figuur 2. Resultaten van de ontwerpberekening met behulp van de methode Blum voor het testprobleem

Bij een kleinere damwandlengte dan $l_d = 8,30$ m zal het inklemmingsmoment M_i afnemen, en het veldmoment M_v toenemen. De minimum damwandlengte die nog evenwicht mogelijk maakt, is de situatie "vrij opgelegd" (in dit geval ongeveer bij $l_d = 7,00$ m). Zowel de reactiekracht F_c als het inklemmingsmoment M_i worden dan gelijk aan nul.

Bij een grotere damwandlengte dan $l_d = 8,30$ m zijn de gevonden resultaten onbruikbaar. Er wordt immers verondersteld dat ook onder het volgens de methode Blum gevonden inklemmingsniveau volledig ontwikkelde actieve en passieve gronddrukken zullen optreden. Volgens de veronderstellingen bij de methode Blum zal de overlengte echter geen invloed hebben op de resultaten. In dit geval dient er bij damwandlengten langer dan $8,30$ m voor de berekening van F_a , F_c , M_a , M_v en M_i de lengte $8,30$ m te worden aangehouden.

Omgekeerd: bij variatie van de grond- en geometrieparameters en bij een gegeven damwandlengte l_0 betekent dit, dat voor de berekening van F_a , F_c , M_a en M_i :

- a. Bij een gevonden l_d die kleiner is dan l_0 , de lengte l_d moet worden aangehouden, en
- b. Bij een gevonden l_d die groter is dan l_0 , de lengte l_0 moet worden aangehouden.

Bij de berekeningen zal later blijken, dat in het algemeen situatie a optreedt bij de mean value benadering (d.w.z. bij de start van de berekening), waarna in de volgende iteratiestappen naar het design point uiteindelijk situatie b wordt bereikt.

3. DETERMINISTISCHE EN PROBABILISTISCHE ANALYSE

3.1. Faalmechanismen

Een constructie faalt wanneer zij één van haar belangrijkste functies niet meer vervult of kan vervullen. Voor damwandconstructies gaat het dan voornamelijk om de grond- en waterkerende functie.

Voor enkelvoudig verankerde damwandconstructies zijn in de gebruiksfase de volgende faalmechanismen te onderscheiden:

A. De damwand zelf faalt, wanneer:

- a. De damwand bezwijkt door materiaalbreuk, d.w.z.
 1. op buiging,
 2. op afschuiving, of
 3. op een combinatie van buiging en afschuiving.

Omdat hier sprake is van een statisch onbepaald systeem, is dit een (te) strenge formulering. Bijvoorbeeld bij het ontstaan van een vloeimoment (dus een plastisch scharnier) zal de constructie in principe nog niet bezwijken.

- b. De grond onvoldoende steundruk tegen de damwandvoet kan leveren, zodat de grond daar afschuift of wordt weggeperst (grondbreuk).

B. De verankering faalt, indien:

- a. De ankerstang bezwijkt
 1. op trek,
 2. op buiging,
 3. op afschuiving, of
 4. op een combinatie van trek, buiging en afschuiving.

Bezwijken volgens 2, 3 of 4 kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van belastingen veroorzaakt door zetting van de bovenliggende grond. Mechanismen 2 en 3 zijn onwaarschijnlijk. Buiging of afschuiving zal alleen in combinatie met trek voorkomen.

- b. De gording bezwijkt
 1. op buiging,
 2. op afschuiving,
 3. op een combinatie van buiging en afschuiving, of
 4. op doorponsen.

- c. Het ankerschot (of -wand) bezwijkt
 1. op buiging,
 2. op afschuiving,
 3. op een combinatie van buiging en afschuiving,
 4. op doorponsen, of
 5. ten gevolge van onvoldoende steundruk van de grond.

Overigens is het de vraag of falen van één ankerstang of -schot falen van de gehele constructie zal betekenen, oftewel dat er dan inderdaad een "progressive collapse" op zal treden. Dit is ondermeer afhankelijk van de sterkte van nevenliggende verankeringspunten, en de mogelijkheid van overdracht van belasting (sterkte en stijfheid van de ankergording).

Tevens is de uitvoering niet in beschouwing genomen. Bij korte stijve damwanden kan deze echter maatgevend zijn. Om de planken na heien of trillen in het gelid te krijgen worden er soms grote krachten uitgeoefend. Met name de ankerkracht kan hierdoor worden ver-groot.

C. Overige faalmechanismen zijn:

- a. Onvoldoende totale grondmechanische stabiliteit, zodat de totale constructie afschuift.
- b. Grondwaterstroming
 - 1. opwaartse stromingsdruk of
 - 2. piping.
- c. Bezwijken ten gevolge van externe belastingen, zoals golven, schepen, ijs.

Figuur 3 toont enkele van de hierboven genoemde faalmechanismen voor een damwandconstructie.

Er worden alleen faalmechanismen bekeken, die betrekking hebben op een sterkteberekening. Hiernaast kunnen constructieonderdelen falen ten gevolge van te grote doorbuiging, onvoldoende stabiliteit (plooi, knik, kip) of vermoeiing.

Een meer compleet overzicht van de mogelijke faalmechanismen wordt gegeven in paragraaf 4.3 (figuur 4, foutenboom).

3.2. Traditionele veiligheidsfactoren

Bij de deterministische rekenmethoden worden belasting en sterkte bepaald door de gemiddelden of de karakteristieke waarden van de basisparameters. Met behulp van partiële veiligheidsfactoren wordt dan een "voldoende mate van veiligheid" verkregen.

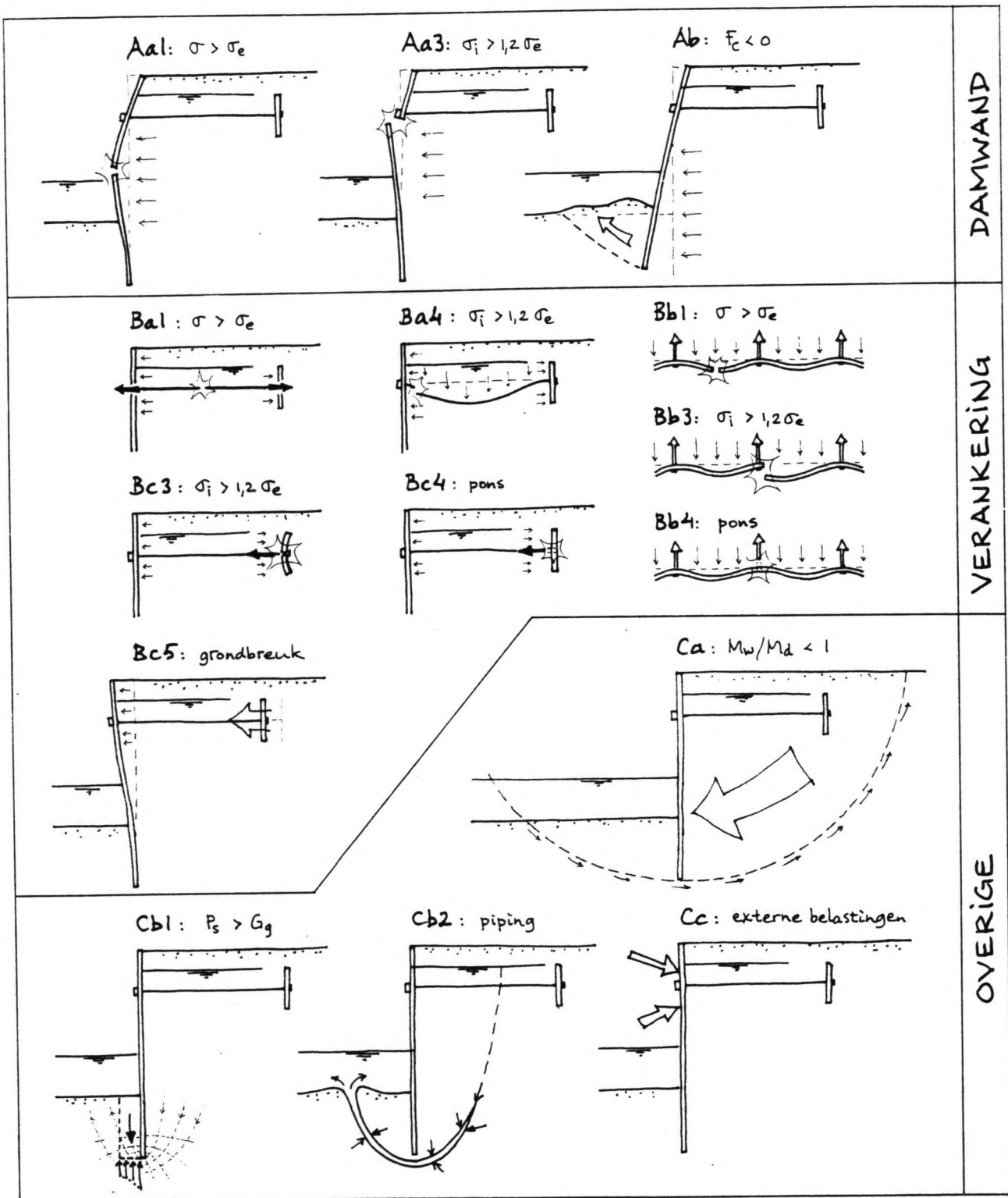
De onzekerheid in de grondparameters wordt ten dele al verwerkt in de cohesie c en de hoek van inwendige wrijving ϕ door een correctie op de uit laboratoriumproeven gevonden karakteristieke waarden toe te passen. Men rekent dan met de gecorrigeerde waarden c_e en ϕ_e , volgens:

$$c_e = \frac{c'}{f_c} \quad \text{en} \quad \phi_e = \text{atan}\left(\frac{\tan \phi'}{f_\phi}\right)$$

- met c' = karakteristieke waarde voor de cohesie
- c_e = rekenwaarde voor de cohesie
- ϕ' = karakteristieke waarde voor de hoek van inwendige wrijving
- ϕ_e = rekenwaarde voor de hoek van inwendige wrijving
- f_c = veiligheidsfactor voor de cohesie
- f_ϕ = veiligheidsfactor voor de hoek van inwendige wrijving

In de Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU) [14] wordt voor de veiligheidsfactoren aanbevolen:

$$f_c = 1,3 \quad \text{en} \quad f_\phi = 1,1$$



Figuur 3. Voornaamste faalmechanismen bij een enkelvoudig verankerde damwandconstructie

Met de karakteristieke waarde wordt hier bedoeld de karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef die uit tenminste drie bemonsteringen bestaat. Voor een groot aantal steekproeven en uitgaande van een normale verdeling nadert de 90% karakteristieke ondergrens van het gemiddelde voor de wrijvings eigenschappen naar:

$$c' = \mu(c) - 1,28 \sigma(c) \quad \text{en} \quad \phi' = \mu(\phi) - 1,28 \sigma(\phi)$$

met $\mu(c)$ = gemiddelde cohesie
 $\mu(\phi)$ = gemiddelde hoek van inwendige wrijving
 $\sigma(c)$ = standaardafwijking cohesie
 $\sigma(\phi)$ = standaardafwijking hoek van inwendige wrijving

NB: In deze deelstudie is, in afwijking van het bovenstaande, uitgegaan van $c' = \mu(c)$ en $\phi' = \mu(\phi)$.

Dit betekent dat, vergeleken met de aanbevelingen van de EAU, het ontwerp wordt gebaseerd op hogere waarden voor de wrijvingsparameters van de grond. Dit leidt ondermeer tot een kleinere damwandlengte l_0 , en daardoor tot grotere faalkansen.

Voor de materiaalsterkte van de damwand wordt eveneens een karakteristieke waarde gehanteerd.

Bijvoorbeeld voor het materiaal staal wordt voor de sterkte de vloeispanning genomen. Onder de veronderstelling dat de vloeispanning σ_v normaal verdeeld is, is de karakteristieke sterkte gelijk aan:

$$\sigma'_v = \mu(\sigma_v) - 2 \sigma(\sigma_v) \quad \text{en} \quad \sigma_e = \sigma'_v / f_m$$

met σ'_v = karakteristieke waarde voor de vloeispanning
 σ_e = rekenwaarde voor de vloeispanning
 $\mu(\sigma_v)$ = gemiddelde waarde van de vloeispanning
 $\sigma(\sigma_v)$ = standaardafwijking van de vloeispanning
 f_m = sterktefactor (bij staal: $f_m = 1$)

Uitgaande van de gedefiniëerde faalmechanismen en het gebruik van bovenvermelde rekenwaarden voor de materiaalsterkte, zullen de in de praktijk gangbare veiligheidsfactoren worden bekeken.

A. Falen van de damwand

Aa1, Aa2 en Aa3: Buiging en afschuiving damwand.

Voor de sterkteberekening van de damwand wordt voor de belasting uitgegaan van het bezwijkmoment zoals dit volgt uit de berekening volgens Blum. Hieruit volgt direct de benodigde lengte van de damwand.

Wanneer de damwandberekening betrokken wordt op de toestand in de gebruiksfase, en indien in de berekening ook aan het verticale evenwicht wordt voldaan, is het niet gebruikelijk om extra veiligheidsfactoren voor de grondparameters te hanteren. Alleen bij slappe grond wordt soms een reductie op de passieve gronddruk toegepast, teneinde de optredende verplaatsingen binnen aanvaardbare grenzen te houden.

Bij zandgrond is het volgens de EAU [14] onder bepaalde omstandigheden zelfs toegestaan om in verband met mogelijk optredende boogvorming in de grond een reductie op het bezwijkmoment toe te passen.

Bij het in dit deelontwerp beschouwde geval wordt afgezien van de reductie op de passieve gronddruk zowel als op het bezwijkmoment.

Het benodigde weerstandsmoment van de damplanken volgt uit de maximale dwarskracht en het maximale moment, zoals deze met de methode Blum zijn bepaald, enerzijds, en uit de karakteristieke materiaalsterkte anderzijds. Hiertussen wordt een veiligheidsmarge toegepast.

Bij een statische belasting beveelt de EAU [14] voor **stalen damwanden** de volgende veiligheidsfactoren f_s tussen de optredende spanningen en de rekenwaarde voor de vloeispanning σ_e aan:

- $f_s = 1,7$ voor vaak voorkomende ongunstige combinaties van buiten- en binnenwaterstand, bij normale bovenbelasting.
- $f_s = 1,5$ voor weinig voorkomende ongunstige combinaties van bovenbelasting, buiten- en binnenwaterstand.
- $f_s = 1,3$ voor zelden voorkomende belastingen.

Het damwandprofiel dient te worden ontworpen rekening houdend met de eisen volgend uit het moment M en de dwarskracht Q. Voor op buiging belaste constructiedelen waarin een vlakke spanningstoestand heerst, gelden volgens de TGB-staal [8] de eisen:

$$\sigma_m \leq \sigma_e \quad \dots\dots\dots \text{faalmechanisme Aa1}$$

$$\tau_m \leq \tau_e \quad \dots\dots\dots \text{faalmechanisme Aa2}$$

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} \leq 1,2 \sigma_e \quad \dots\dots \text{faalmechanisme Aa3}$$

- met σ = spanning ten gevolge van de rekenbelasting
- σ_c = vergelijkingsspanning ten gevolge van de rekenbelasting
- σ_e = rekenwaarde voor de vloeispanning
- σ_m = maximale spanning ten gevolge van de rekenbelasting
- τ = schuifspanning ten gevolge van de rekenbelasting
- τ_e = rekenwaarde voor de vloeispanning bij schuifspanning
- τ_m = maximale schuifspanning ten gevolge van de rekenbelasting

Bij afwezigheid van een normaalspanning kan voor de vloeispanning bij afschuiving worden aangehouden:

$$\tau_v = 0,58 \sigma_v \quad \text{en} \quad \tau_e = 0,58 \sigma_e$$

Onder de rekenbelasting wordt verstaan de belasting volgend uit de damwandberekening, vermenigvuldigd met de veiligheidsfactor f_s .

De spanningen ten gevolge van de rekenbelasting kunnen dan worden berekend uit:

$$\sigma = f_s M / W_d \quad \text{en} \quad \tau = f_s Q S / (t I)$$

- met M = moment volgend uit damwandberekening
- W_d = weerstandsmoment damwandprofiel
- Q = dwarskracht volgend uit damwandberekening
- S = statisch moment profieldoorsnede t.o.v. neutrale lijn
- t = dikte lijfplaat van het profiel
- I = traagheidsmoment van het profiel

De maximale spanningen zijn dan bekend (zie figuur 2):

- σ_m voor de doorsnede met $M = M_m$; hier bij $M = M_v$ (dan geldt $Q = 0$).
- τ_m voor de doorsnede met $Q = Q_m$; hier bij $Q = F_c$ (dan geldt $M = 0$).
- σ_i voor de doorsnede met de ongunstigste combinatie van M en Q, vermoedelijk de doorsnede ter hoogte van het anker.

Merk op dat bij de methode Blum de maximale dwarskracht bij de damwandvoet wordt overschat. In werkelijkheid zal de reactiekracht F_C verspreid over een zekere hoogte aangrijpen.

Naast deze eisen dient het damwandprofiel ook nog te worden gecontroleerd op doorbuiging, stabiliteit (plooi, knik, kip) en vermoeiing. In deze deelstudie is hier van afgezien.

Ab: Steundruk grond.

In principe moet de veiligheid op de sterkte van de damwand van gelijke orde zijn als de veiligheid op het grondmechanisch bezwijken van de damwandvoet. Een ketting is immers zo sterk als zijn zwakste schakel.

Bij de ingeklemde damwand volgens Blum neemt men aan dat dit min of meer automatisch het geval is, omdat bij toenemende belasting deze bezwijkmechanismen dichter bij elkaar komen te liggen. Het inklemmingsmoment M_i zal immers verminderen en het veldmoment M_v zal groeien tot ofwel het bezwijkmoment van de damwand wordt bereikt, ofwel de damwand zelfs niet meer als vrij opgelegd kan worden beschouwd, en dus grondmechanisch bezwijkt.

Of de veiligheden op materiaalbreek en op grondbreek werkelijk van gelijke orde zijn, kan alleen blijken uit een probabilistische berekening. Een aanzet hiervoor is gegeven in hoofdstuk 4.

B. Falen van de verankering

Stelling: Het bezwijken van één verankeringspunt is ontoelaatbaar, omdat hierdoor de naastliggende verankeringspunten dan eveneens zullen bezwijken (domino-effect of progressive collapse). Dit heeft bezwijken van de gehele damwandconstructie tot gevolg.

Naar de juistheid van deze stelling moet in een vervolgstudie nog nader onderzoek worden verricht.

Bezwijken van de damwand zal door een herverdeling van de belasting worden voorafgegaan, waarbij het veldmoment toeneemt, en de inklemming minder wordt. Dit gaat gepaard met vervormingen van de damwand, zodat de constructie als het ware eerst "waarschuwt", alvorens te bezwijken.

Bij de verankering is er geen reservesterkte (in de vorm van een mogelijke herverdeling van de belasting) aanwezig, en zal het bezwijken onaangekondigd plaatsvinden. Bovendien is de methode Blum gebaseerd op een relatief stijve verankering.

Voorgesteld wordt daarom om een extra veiligheidsfactor f_v op de ankerkracht F_a in te voeren. Deze heeft voor de verschillende onderdelen van de verankering de waarde [9]:

Ba: Ankerstang	$f_v = 2,0$
Bb: Ankergording	$f_v = 1,5$
Bc: Ankerschot	$f_v = 1,5$

Onder de rekenbelasting wordt hier dan verstaan de belasting volgend uit de damwandberekening, vermenigvuldigd met de veiligheidsfactoren f_s en f_v :

Het profiel van de ankergording dient te voldoen aan dezelfde eisen als hiervoor genoemd voor het damwandprofiel.

Bij de berekening van de afmetingen van het ankerschot (of -wand) is het gebruikelijk om veiligheidshalve de wandwrijving niet mee te rekenen.

C. Overige faalmechanismen

Ca: Totale grondmechanische stabiliteit.

Alleen het lagensysteem over de hoogte van de damwand wordt bij de damwandberekening in beschouwing genomen. De negatieve effecten op de stabiliteit van de aanwezigheid van slappe lagen onder de teen van de wand komen zo niet aan de orde.

Men dient daarom de stabiliteit te controleren van de gehele constructie, dat wil zeggen van de damwand en het grondmassief tussen de damwand en het ankerschot. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van een glijvlakberekening gebeuren. Voor de stabiliteit van de gehele constructie wordt dan een stabiliteitsfactor $f_g = 1,5$ aanbevolen [14]. Deze stabiliteitsfactor is gedefiniëerd als het quotiënt van het weerstrevend moment M_w en het aandrijvend moment M_d ($f_g = M_w/M_d$).

Cb1: Opwaartse stromingsdruk.

Bij een opwaartse stromingsdruk ter plaatse van de damwandvoet dient volgens [14] een veiligheidsfactor $f_w = 1,5$ op opbarsten te worden gehanteerd. Verondersteld wordt dat een horizontaal breukvlak optreedt aan de voorkant van de damwandvoet. De veiligheidsfactor op opbarsten is dan gedefiniëerd als het quotiënt van het gewicht van de grond boven het breukvlak G_g en de component loodrecht op het breukvlak van de stromingsdruk P_s ($f_w = G_g/P_s$).

Cb2: Piping.

Voor het verschijnsel piping zijn tot op heden geen betrouwbare berekeningsmethoden ontwikkeld. Bij gevallen waar zich geen vrije waterpiegel (of een sterk watervoerende laag) aan de binnenzijde van de damwand bevindt, wordt eventueel aan de buitenzijde beginnende piping geacht door onvoldoende toevoer van water na verloop van tijd tot staan te komen. In dat geval is geen bezwijken te verwachten.

In de praktijk blijkt piping vaak een gevolg te zijn van het uit het slot geheid zijn van de damwand (uitvoeringsfout). Bij een inventarisatie van damwandconstructies in Nederland [13] bleek ongeveer 1 op de 700 planken uit het slot te zijn gelopen.

Een andere oorzaak is het toepassen van te korte vulplanken, wanneer de planken om en om tot verschillende diepte worden geheid (ontwerpfout).

Cc: Externe belastingen.

De aard, grootte en aangrijpingspunt van externe belastingen kunnen per damwandconstructie grote verschillen vertonen. In dit deelontwerp wordt hier niet verder op ingegaan.

3.3. Betrouwbaarheidsfuncties

Een betrouwbaarheidsfunctie (hierna te schrijven als BTF) kan gedefinieerd worden als het verschil van de sterkte (S) en de belasting (B): $Z = S - B$. Bij probabilistische berekeningen wordt, bij gegeven kansverdelingen van de diverse parameters, de kans bepaald dat een BTF een waarde kleiner dan nul aanneemt.

Om een probabilistische analyse van een damwandconstructie te kunnen maken, is het daarom allereerst noodzakelijk om voor alle faalmechanismen een BTF op te stellen. In dit rapport zal dit slechts voor de in belangrijkste faalmechanismen (zie figuur 3) worden gedaan.

Bij de hier toegepaste advanced level II-benadering wordt de BTF gelineariseerd in een punt waarin de BTF gelijk is aan nul en waarvoor de maximale kansdichtheid wordt bereikt: het zogenaamde "design point". Het design point wordt in een iteratieproces bepaald. Een voordeel ten opzichte van de mean value benadering is ondermeer, dat de berekende faalkans hier onafhankelijk is van de schrijfwijze van de BTF. (Bij de mean value benadering wordt de BTF gelineariseerd in het punt, bepaald door de gemiddelde waarden van de parameters. Dit is in feite de eerste stap van de advanced benadering.)

Faalmechanismen die in dit rapport verder worden uitgewerkt zijn onderstreept.

Merk op dat voor de faalmechanismen Aa1, Aa3, Ab, Ba1, Bb1 en Bb3 de belasting direct volgt uit de damwandberekening (M_m , Q_m , F_c , of F_a). Dit betekent dat de basisvariabelen van de damwandberekening ook basisvariabelen van de betreffende BTF's zijn.

Met de belasting volgend uit de damwandberekening (bv. de maximale spanning σ_m of de maximale schuifspanning τ_m) wordt niet de rekenbelasting bedoeld, maar de belasting zoals deze direct uit de damwandberekening volgt (dus zonder de veiligheidsfactoren f_c , f_s , f_v , en f_ϕ). Dit is in tegenstelling tot het gestelde in paragraaf 3.2.

A.a.1. De damwand bezwijkt op buiging.

$$\text{BTF: } Z = \sigma_v W_d - M_m$$

met σ_v = vloeispanning staal

W_d = weerstandsmoment damwandprofiel

M_m = maximum buigend moment uit damwandberekening

A.a.3. De damwand bezwijkt op combinatie van buiging en afschuiving.

$$\text{BTF: } Z = 1,2 \sigma_v - \sigma_i$$

met σ_v = vloeispanning staal

σ_i = vergelijkingsspanning staal

A.b. De grond kan onvoldoende steundruk tegen de damwandvoet leveren.

Bezwijken wordt hier gedefinieerd als het overschrijden van de situatie "vrij opgelegd". Hiervoor kan de BTF gelijk worden gesteld aan de reactiekracht volgend uit de damwandberekening. In dit geval heeft de BTF dus niet de normale gedaante $Z = S - B$.

$$\text{BTF: } Z = F_c$$

met F_c = reactiekracht uit damwandberekening

B.a.1. De ankerstang bezwijkt op trek.

$$\text{BTF: } Z = \sigma_v A_s - r F_a$$

met σ_v = vloeispanning staal
 A_s = oppervlak ankerstangdoorsnede = $1/4 \pi d^2$
 d = (maatgevende) diameter ankerstang
 F_a = ankerkracht volgend uit damwandberekening
 r = hart op hart afstand van de ankerstangen

B.a.4. De ankerstang bezwijkt op combinatie van trek, buiging en afschuiving.

$$\text{BTF: } Z = 1,2 \sigma_v - \sigma_i$$

met σ_v = vloeispanning staal
 σ_i = vergelijkingsspanning staal

B.b.1. De gording bezwijkt op buiging.

$$\text{BTF: } Z = \sigma_v W_g - 0,1 F_a r^2$$

met σ_v = vloeispanning staal
 W_g = weerstandsmoment gordingprofiel
 F_a = ankerkracht volgend uit damwandberekening
 r = hart op hart afstand van de ankerstangen

B.b.3. De gording bezwijkt op combinatie van buiging en afschuiving.

$$\text{BTF: } Z = 1,2 \sigma_v - \sigma_i$$

met σ_v = vloeispanning staal
 σ_i = vergelijkingsspanning staal

B.b.4. De gording bezwijkt op doorpensen.

Dit kan bijvoorbeeld worden veroorzaakt door het vergeten van de volgplaat (uitvoeringsfout) of door een te kleine volgplaat (ontwerpfout).

- B.c.3. Het ankerschot bezwijkt op combinatie van buiging en afschuiving.
4. Het ankerschot bezwijkt op doorponsen.
5. Het ankerschot bezwijkt door onvoldoende steundruk.

Deze mechanismen worden in dit rapport niet besproken. Merk op dat in plaats van een ankerschot ook sprake kan zijn van een doorgaande ankerwand, een paaljuk, of een groutlichaam. In dat geval zal er sprake zijn van andere faalmechanismen.

C.a. Onvoldoende totale grondmechanische stabiliteit.

$$\text{BTF: } Z = M_w / M_d - 1$$

met M_w = weerstrevend moment
 M_d = aandrijvend moment

De basisvariabelen zijn nagenoeg dezelfde als bij de damwandberekening.

Voor de berekening van de faalkans wordt gebruik gemaakt van het programma Globpar.pas [7]. Dit programma is uitgebreide versie van het programma Felpro [6], en hiermee kan een probabilistische glijcirkelberekening worden gemaakt, gebaseerd op de methode Simplified Bishop. Omdat dit programma niet geschikt is om zonder meer de configuratie van het testprobleem op te geven, is hiervoor een grove benadering voor de grond- en geometriegegevens ingevoerd (zie bijlage II). De gevonden faalkans moet dus met de nodige reserve worden bekeken.

C.b.1. Opwaartse stromingsdruk.

$$\text{BTF: } Z = G_g - P_s$$

met G_g = gewicht grond boven breukvlak
 P_s = stromingsdruk (component loodrecht op breukvlak)

Het breukvlak wordt ter hoogte van de damwandvoet aangenomen. De stromingsdruk volgt bijvoorbeeld uit een vierkantennet; voor specifieke gevallen zijn er benaderende formules opgesteld [14].

C.b.2. Piping.

Het mechanisme piping is onvoldoende bekend om in een rekenmodel onder te kunnen brengen.

C.c. Bezwijken ten gevolge van externe belastingen, zoals golven, schepen, ijs.

Ook hier geldt, dat de belastingen moeilijk zijn vast te stellen, en van geval tot geval zullen verschillen.

4. FAALKANSEN VOOR EEN EENVOUDIGE DAMWANDCONSTRUCTIE

4.1. Het testprobleem

De hiervoor beschreven analyse wordt in dit hoofdstuk toegepast op een eenvoudige damwandconstructie, geschetst in figuur 1. Dit testprobleem heeft de volgende kenmerken:

- i. Enkelvoudig verankerde verticale damwand
- ii. Gelijkmatig verdeelde bovenbelasting.
- iii. Verschillende waterstanden voor en achter de damwand.
- iv. Homogene cohesieloze grond ($c = 0$).
- v. De ankerstang is voldoende lang (d.w.z. de damwand en het ankerschot liggen buiten elkaars invloedssfeer).
- vi. De basisvariabelen zijn normaal verdeeld met gemiddelden en standaardafwijkingen volgens tabel 2:
 - voor de gegeven gemiddelde waarde van ϕ en bij $\phi' = \mu(\phi)$ betekent dit een rekenwaarde van $\phi_e = 30^\circ$.
 - zowel voor de damwand, de ankerstang en de gording wordt gekozen voor het materiaal staal, staalsoort Fe 360. Bij het gegeven gemiddelde en standaardafwijking betekent dit een rekenwaarde voor de vloeispanning $\sigma_e = 240 \text{ N/mm}^2$.
- vii. De hoeken van actieve en passieve wandwrijving zijn volledig gecorreleerd met de hoek van inwendige wrijving:

$$\delta_a = 2\phi/3 \text{ en } \delta_p = -2\phi/3.$$

basisvariabele i			gem. $\mu(i)$	st.afw. $\sigma(i)$
bovenbelasting	q	kN/m ²	10,00	3,00
volumegewicht droge grond	γ_d	kN/m ³	18,00	2,00
volumegewicht natte grond	γ_n	kN/m ³	20,00	2,00
hoek van inwendige wrijving	ϕ	°	32,42	2,00
coördinaat damwandkop	z(0)	m	-1,00	0
coördinaat binnenwaterstand	z(1)	m	-0,50	0,20
coördinaat buitenwaterstand	z(2)	m	0,50	0,20
coördinaat bodemligging	z(3)	m	4,00	0,30
vloeispanning staal	σ_v	N/mm ²	288,00	24,00

Tabel 2. Gemiddelden en standaardafwijkingen van de basisvariabelen

Met uitzondering van de waarden voor de vloeispanning, zijn de in tabel 2 opgenomen gemiddelden en standaardafwijkingen arbitrair gekozen. Naar de statistische verdelingen van deze basisvariabelen moet nog onderzoek worden verricht.

De damwandconstructie wordt ontworpen met de gemiddelde waarden van de grond- en geometrieparameters $\mu(i)$, waarbij voor de hoek van inwendige wrijving niet het gemiddelde $\mu(\phi)$ maar de rekenwaarde ϕ_e wordt genomen. De gording wordt gedimensioneerd op sterkte bij een volledig intact zijnde verankering.

Voor de genoemde waarden van de parameters wordt met behulp van de berekeningsmethode Blum een waarde gevonden voor:

- a. De werkelijk aanwezige damwandlengte l_0
- b. Het weerstandsmoment van het damwandprofiel W_d
- c. De diameter van de ankerstang d
- d. Het weerstandsmoment van het gordingprofiel W_g

De gevonden damwandlengte l_0 wordt verder beschouwd als deterministische grootte. De overige afgeleide grootheden worden beschouwd als stochastische variabelen, waarvan nu de gemiddelden zijn bepaald.

De standaardafwijkingen worden arbitrair vastgesteld op 10% van de gemiddelde waarde. In werkelijkheid zal voor W_d , d en W_g de grootte van de standaardafwijking afhankelijk zijn van diverse factoren, zoals:

- de corrosiesnelheid van het staal (afhankelijk van het milieu, d.w.z. grondsoort en waterkwaliteit) en
- de kwaliteit van de profielen (nieuw of hergebruik, nauwkeurigheid van het fabricageproces).

De afgeleide variabelen krijgen dan de volgende gemiddelden en standaardafwijkingen:

- a. De aanwezig geachte damwandlengte l_0 bedraagt $l_0 = 8,30$ m.
- b. Het weerstandsmoment van het damwandprofiel W_d (met $f_s = 1,5$):
 $\mu(W_d) = f_s M_m / \sigma_e = 353\ 000\ \text{mm}^3/\text{m}$
 $\sigma(W_d) = \mu(W_d) / 10 = 35\ 300\ \text{mm}^3/\text{m}$
NB: In de praktijk wordt $\mu(W_d)$ naar boven afgerond naar een handelsmaat.
- c. De diameter van de ankerstang d (met $f_s = 1,5$ en $f_v = 2$ en $r = 3$ m):
 $\mu(d) = \sqrt{(4 f_s f_v r F_a / \pi \sigma_e)} = 50,00\ \text{mm}$
 $\sigma(d) = \mu(d) / 10 = 5,00\ \text{mm}$
- d. Het weerstandsmoment van het gordingprofiel W_g (met $f_s = f_v = 1,5$ en $r = 3$ m):
 $\mu(W_g) = 0,1 f_s f_v F_a r^2 / \sigma_e = 441\ 895\ \text{mm}^3$
 $\sigma(W_g) = \mu(W_g) / 10 = 44\ 190\ \text{mm}^3$

De profielen van de damwand en de gording dienen, naast de controle op buiging, ook gecontroleerd te worden op de overige in paragraaf 3.2 (punt A) genoemde eisen. Van deze controle is in deze deelstudie afgezien.

Merk op dat in de praktijk meestal niet wordt uitgegaan van de gemiddelde waarde voor de bodemdiepte voor de damwand $z(3)$, maar van een weinig voorkomende diepere bodemdiepte (karakteristieke waarde). Dit zal leiden tot een grotere damwandlengte l_0 , diameter ankerstang d en weerstandsmomenten W_d en W_g , dus tot kleinere faalkansen.

In de in dit verslag gepresenteerde berekening is geen rekening gehouden met correlatie tussen de verschillende basisvariabelen, met ruimtelijke correlatie, en met de correlatie tussen de verschillende faalmechanismen.

4.2. Resultaten per faalmechanisme

In bijlage II is de complete invoer en uitvoer voor elk berekend faalmechanisme opgenomen. Bijlage III geeft de listing van het programma DAMPRO, dat speciaal voor deze deelstudie is ontwikkeld. Het programma is geschreven voor de micro-computer Apple IIe, met als programmeertaal Applesoft II Basic.

Geen gelegenheid is gevonden om de probabilistische berekening uitvoerig te testen op convergentie en stabiliteit. Merk op dat bij faalmechanisme Ab voor de iteratiestappen na de mean value benadering de damwandlengte wordt vastgesteld op $l_d = l_0$. Dit bleek nodig om convergentieproblemen te voorkomen.

mechanisme		Aa1		Ab		Ba1		Bb1	
stochast		MV	DP	MV	DP	MV	DP	MV	DP
q	kN/m ²	2,08	1,66	0,00	0,73	0,51	1,80	2,03	3,45
γ_d	kN/m ³	0,25	0,12	0,00	0,06	0,05	0,07	0,19	0,07
γ_n	kN/m ³	15,17	0,03	4,20	23,13	0,94	0,26	3,77	1,66
ϕ	°	12,44	27,26	57,31	34,11	0,17	8,70	0,69	15,22
z(1)	m	2,55	6,30	29,35	1,79	0,11	5,30	0,42	10,36
z(2)	m	17,42	10,68	0,03	3,88	1,29	3,94	5,19	6,87
z(3)	m	2,03	40,31	9,11	36,30	2,71	8,01	10,89	12,57
<hr/>									
σ	N/mm ²	19,70	5,46	-	-	13,94	6,01	31,48	17,54
W_d	mm ³ /m	28,36	8,16	-	-	-	-	-	-
d	mm	-	-	-	-	80,29	65,91	-	-
W_g	mm ³	-	-	-	-	-	-	45,33	32,16
<hr/>									
faalkans (.10 ⁻⁴)		26,01	259,89	517,64	14,33	3,93	0,16	0,04	0,05

Tabel 3. Aandeel van elke stochast in de variantie (in %) en de faalkansen voor mean value (MV) en design point (DP)

Tabel 3 geeft het aandeel in de variantie van elke stochast in de variantie van de BTF (dus het aandeel in de totale onzekerheid), alsmede de faalkans, voor de mean value benadering (MV) en voor het design point (DP).

De resultaten van faalmechanisme Ca (totale grondmechanische stabiliteit) zijn niet in tabel 3 opgenomen, omdat het testprobleem voor deze berekening te grof moest worden aangepast aan de mogelijkheden van de gebruikte programmatuur. In bijlage II worden hieraan enkele opmerkingen gewijd.

Uit tabel 3 blijken twee opmerkelijke zaken:

- a. Voor mechanisme Aa1 (buiging damwand) ligt de faalkans voor de mean value benadering duidelijk lager dan voor het design point. Voor mechanisme Ab (steundruk grond) ligt de faalkans voor de mean value benadering daarentegen duidelijk hoger dan voor het design point.

Dit is een gevolg van de gekozen methode: bij de mean value benadering wordt gerekend met een kortere damwandlengte dan de aanwezig geachte lengte l_0 . Dit betekent dat de mean value benadering geen goede benadering is.

In het design point wordt wel met de aanwezig geachte lengte l_0 gerekend. De hier gevonden faalkansen moeten daarom betrouwbaarder worden geacht dan de faalkansen gevonden bij de mean value benadering.

- b. Voor wat betreft de stochasten in de damwandberekening (boven de streeplijn) wordt het grootste aandeel in de variantie opgeëist door de hoek van inwendige wrijving ϕ en de bodemligging $z(3)$.

Ook hier is een duidelijk verschil te zien tussen de mean value benadering en het design point. Gezien het bovenstaande wordt verder uitgaan van de design point waarden.

4.3. Systeemfaalkans

Figuur 4 toont een eenvoudige foutenboom voor een damwandconstructie. Uitgaande van een ongewenste gebeurtenis (hier: falen van het systeem) wordt geanalyseerd hoe deze mogelijk veroorzaakt kan zijn. De meeste basisgebeurtenissen (faalmechanismen) zijn hierin nog niet uitgewerkt.

In plaats van de faalkans werkt men ook wel met de betrouwbaarheidsindex β : $\beta = \mu(Z)/\sigma(Z)$. Voor de verschillende faalmechanismen worden in tabel 4 voor het design point de faalkansen nogmaals samengevat, met daarbij vermeld de betrouwbaarheidsindexen.

Betrouwbaarheidsfunctie	opmerking	β	faalkans
$Z(Aa1) = \sigma_v W_d - M_m$	$f_s = 1,5$	1,94	$2,59 \cdot 10^{-2}$
$Z(Ab) = F_c$		2,98	$1,43 \cdot 10^{-3}$
$Z(Ba1) = \sigma_v A_s - r F_a$	$f_s = 1,5; f_v = 2,0; r = 3 \text{ m}$	4,16	$1,61 \cdot 10^{-5}$
$Z(Bb1) = \sigma_v W_g - 0,1 F_a r^2$	$f_s = 1,5; f_v = 1,5; r = 3 \text{ m}$	4,42	$4,95 \cdot 10^{-6}$
$Z(Ca) = M_w/M_d - 1$	Simplified Bishop	3,69	$1,12 \cdot 10^{-4}$

Tabel 4. Faalkansen voor design point waarden

Gezien het grote aantal faalmechanismen waarover nog geen uitspraak is gedaan, en gezien het verwaarlozen van correlaties, kan op grond van tabel 4 voor de totale faalkans van de damwandconstructie (de systeemfaalkans) slechts een grove benadering worden gegeven.

De systeemfaalkans kan worden uitgedrukt als de kans op een samenstelling van basisgebeurtenissen (falen van componenten). De samengestelde gebeurtenis kan worden beschouwd als een seriesysteem, opgebouwd uit basisgebeurtenissen en doorsneden daarvan.

Bijvoorbeeld voor een seriesysteem van twee elementen geldt dat dit faalt zodra een van de twee elementen onvoldoende weerstand kan bieden aan de belasting. Formeel genoteerd:

$$P\{\text{systeem faalt}\} = P\{Z_1 < 0\} + P\{Z_2 < 0\} - P\{Z_1 < 0 \text{ EN } Z_2 < 0\}$$

Indien de faalmechanismen als ongecorrleerd worden beschouwd, is de kans op doorsneden van basisgebeurtenissen gelijk aan nul, zodat de totale faalkans kan worden gevonden door de kansen op de basisgebeurtenissen op te tellen.

Wanneer verder wordt aangenomen dat de nog niet berekende faalkansen van een lagere orde zouden zijn dan $P\{Z(Aa1) < 0\}$ (hetgeen eveneens lang niet zeker is), dan geldt voor de totale faalkans:

$P\{\text{damwandconstructie faalt}\} \approx 0,03$

Dit is een vrij grote faalkans (gemiddeld 3 op de 100 constructies falen), voornamelijk veroorzaakt door faalmechanisme Aa1 (materiaalbreuk damwand ten gevolge van buiging). Enkele relativerende opmerkingen zijn hier op zijn plaats:

1. Het verwaarlozen van de niet berekende faalmechanismen betekent een onderschatting van de systeemfaalkans.
2. Een overschatting van de systeemfaalkans wordt veroorzaakt door het verwaarlozen van correlaties. In hoofdstuk 5 zal nader op de correlaties worden ingegaan.
3. De faalmechanismen moeten eigenlijk als parallel systemen worden opgevat, waarvan nu per mechanisme in feite slechts een element is berekend. De faalkans per faalmechanisme komt daardoor lager te liggen.

Enerzijds is de constructie in 2 dimensies statisch onbepaald: bijvoorbeeld het ontstaan van een vloeimoment (Aa1) hoeft nog geen bezwijken te betekenen.

Anderzijds is de constructie ook in de 3e dimensie statisch onbepaald: bijvoorbeeld het bezwijken van de ankerstang (Ba1) heeft nog niet automatisch het bezwijken van de gehele constructie tot gevolg.

4. Het belangrijkste fenomeen, waardoor de faalkans waarschijnlijk lager zal liggen dan hier berekend, is het feit dat het ontwerp eigenlijk gebaseerd moet zijn op de karakteristieke waarden voor de bovenbelasting en grond- en geometrieparameters, in plaats van op de gemiddelde waarden.

In het ontwerp worden de fluctuaties in de waterstanden en in de bovenbelasting ten dele al verwerkt, doordat de grootte van de veiligheidsfactor f_s afhankelijk wordt gesteld van de frequentie van voorkomen van het beschouwde belastinggeval. Deze factor geldt echter alleen voor de sterkteberekening van de damwand.

De invloed van de fluctuaties in de bodemdiepte voor de damwand $z(3)$ moet echter door de ontwerper zelf worden bepaald, door een maatgevende bodemdiepte in te voeren.

5. CORRELATIES

5.1. Gecorreleerde variabelen

Per beschouwd faalmechanisme wordt een set basisvariabelen ingevoerd, die in de berekening geacht worden ongecorreleerd te zijn. In feite is dit onjuist. Zo is het aannemelijk dat de binnen- en buitenwaterstand elkaar beïnvloeden. Verder zullen in het algemeen de hoek van inwendige wrijving en de cohesie beide stochasten zijn, die in zekere mate zijn gecorreleerd.

Anderzijds zijn de hoek van inwendige wrijving ϕ en de hoek van de wandwrijving δ volledig gecorreleerd aangenomen. Meer voor de hand ligt het om δ als aparte stochast in te voeren, die gecorreleerd is met ϕ . De op te geven gemiddelde waarde van δ is daarbij nog een punt van discussie.

Om een indruk te hebben van de invloed van de verwaarlozing van de correlatie op de gevonden faalkansen, dient ten eerste de correlatie tussen de variabelen gegeven te zijn, en ten tweede een rekentechniek te worden toegepast waarbij deze correlaties kunnen worden meegenomen. Zo'n rekentechniek is bijvoorbeeld een niveau II-berekening, waarin gecorreleerde variabelen getransformeerd worden naar ongecorreleerde variabelen [3].

Van beide punten is bij dit deelontwerp wegens de beperkte opdracht afgezien.

5.2. Ruimtelijke correlatie

De gegeven parameters kunnen niet alleen een bepaalde kansverdeling hebben, maar kunnen ook in de ruimte een zekere correlatie vertonen.

In de berekening is bijvoorbeeld uitgegaan van homogene grond. Omdat een hogere hoek van inwendige wrijving een betere inklemming betekent, wordt hier de parameter ϕ als een sterkteparameter gezien. Dit geldt dan voor het gehele grondmassief.

Wanneer er boven de inklemming echter een fictieve horizontale laag-scheiding wordt aangebracht, en de grondparameters aan weerszijden van deze scheiding onafhankelijk van elkaar worden gesteld, kan men verwachten dat voor de bovenliggende laag ϕ een belastingparameter wordt.

In het eerste geval zijn de eigenschappen van de grond boven en onder volledig gecorreleerd, en in het tweede geval volledig ongecorreleerd. De waarheid zal ergens tussen deze twee extremen in liggen.

Een soortgelijke redenering kan worden opgesteld voor een fictieve verticale laagscheiding ter plaatse van de damwand. Dan zal links van de damwand ϕ een sterkteparameter zijn, en rechts een belastingparameter.

Uit de damwandberekening volgt een gemiddelde "belasting" per strekkende meter breedte. Hierover zal in de breedte een variatie optreden. Dit betekent dat de ankerkrachten per ankerstang ook zullen verschillen.

5.3. Gecorreleerde faalmechanismen

In hoofdstuk 4 is per faalmechanisme de faalkans berekend, op voorwaarde dat een ander faalmechanisme niet optreedt. In feite zijn dit dus voorwaardelijke kansen.

Falen van het systeem kan hier worden gezien als een seriegebeurtenis, die bestaat uit een aantal basisgebeurtenissen. Voor de kans op de seriegebeurtenis zijn elementaire onder- en bovengrenzen aan te geven. Zoals in paragraaf 4.3 is gesteld, dienen bij gecorreleerde faalmechanismen de kans op doorsneden van basisgebeurtenissen te worden berekend.

Een voorbeeld van een doorsnede van basisgebeurtenissen is het ontstaan van een vloeimoment (faalmechanisme Aa1, buiging damwand). Dit kan ook bij andere faalmechanismen optreden. Het veldmoment M_v heeft bij faalmechanismen Ab en Bb1 zelfs een aanzienlijk grotere waarde in het design point dan bij faalmechanisme Aa1.

In [3] wordt behandeld hoe de kans op doorsneden van basisgebeurtenissen bij bekende correlatiecoëfficiënten tussen deze basisgebeurtenissen kunnen worden bepaald. Hier wordt voorlopig volstaan met de berekening van de correlatiecoëfficiënt ρ .

Voor de correlatiecoëfficiënt geldt: $-1 \leq \rho \leq +1$

waarbij $\rho = 0$ correspondeert met volledige onafhankelijkheid.

Twee basisgebeurtenissen Z1 en Z2 zijn afhankelijk als in Z1 en Z2 dezelfde basisvariabelen X(i) voorkomen. Onder de veronderstelling dat Z1 en Z2 normaal verdeeld zijn, en dat alle X(i) onafhankelijk zijn, kan bij een niveau II benadering ρ worden bepaald uit [15]:

$$\rho(Z1, Z2) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{\alpha1(i) \cdot \alpha2(i)\}$$

met $\alpha1(i)$ = alfa-waarde van Z1 behorende bij de variabele X(i)
 $\alpha2(i)$ = alfa-waarde van Z2 behorende bij de variabele X(i)

Afhankelijkheid kan alleen optreden als in Z1 en Z2 dezelfde basisvariabelen voorkomen; anders volgt $\rho = 0$.

Hier zijn deze gemeenschappelijke basisvariabelen: q, γ_d , γ_n , ϕ , z(1), z(2) en z(3). De alfa-waarden van deze variabelen in het design point zijn in tabel 5 opgenomen. Merk op dat σ geen gemeenschappelijke basisvariabele is: de vloeispanning van de damwand is een andere dan de vloeispanning van de gording of van de ankerstang.

stochast X(i)	faalmechanisme			
	Aa1	Ab	Ba1	Bb1
q	-0,13	-0,085	-0,13	-0,19
γ_d	-0,035	-0,024	-0,026	-0,026
γ_n	0,019	0,48	-0,051	-0,13
ϕ	0,52	0,58	0,30	0,39
z(1)	0,25	0,13	0,23	0,32
z(2)	-0,33	-0,20	-0,20	-0,26
z(3)	-0,63	-0,60	-0,28	-0,35

Tabel 5. Alfa-waarden in het design point

In tabel 6 worden de correlatiecoëfficiënten tussen telkens twee basisgebeurtenissen gegeven. Deze coëfficiënten blijken tussen de 0,4 en de 0,8 te liggen, en zijn dus niet verwaarloosbaar klein.

Z2 \ Z1	Aa1	Ab	Ba1	Bb1
Aa1	-	0,80	0,47	0,61
Ab	0,80	-	0,40	0,48
Ba1	0,47	0,40	-	0,37
Bb1	0,61	0,48	0,37	-

Tabel 6. Correlatiecoëfficiënten $\rho(Z1, Z2)$

6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1. Conclusies

Het is goed mogelijk om voor een verankerde damwandconstructie voor enkele belangrijke bezwijkmechanismen een probabilistisch rekenmodel op te stellen, gebaseerd op het sterk vereenvoudigde grondgedrag volgens de methode Blum.

Met nadruk wordt er op gewezen dat hier slechts sprake is van een eerste aanzet; op grond van de berekeningsresultaten zijn slechts enkele voorzichtige conclusies te trekken:

- a. Indien bij het ontwerp uitgegaan wordt van karakteristieke waarden voor de bovenbelasting en de grond- en geometrieparameters (met name voor de bodemdpte voor de damwand), worden voor alle faalmechanismen kleinere faalkansen gevonden.
- b. De mean value benadering is, uitgaande van de methode Blum, ongeschikt om de faalkansen en de aandelen in de variantie te berekenen, omdat de damwandlengte niet ten volle wordt meegerekend. Men dient derhalve de design point benadering te gebruiken.
- c. Voor het beschouwde testprobleem zijn de belangrijkste stochasten de hoek van inwendige wrijving ϕ , de bodemligging $z(3)$, en (voor zover van toepassing) de diameter van de ankerstang d en het weerstandsmoment van de gording W_g . De bovenbelasting q en het volumegewicht van droge grond γ_d hadden voor elk faalmechanisme slechts een zeer gering aandeel in de variantie.
Het grote aandeel van ϕ en $z(3)$ kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan de grote invloed die beide parameters hebben op de passieve weerstand. De invloed van ϕ wordt bovendien versterkt doordat ook de variatie van de wandwrijving δ hieraan gekoppeld is.
- d. Er is sprake van ruimtelijke correlatie, zowel in het platte vlak als ook in de derde dimensie. Deze is niet in de berekening betrokken. Het is nog onduidelijk welk effect de ruimtelijke correlatie op de faalkansen heeft.
- e. Het in de berekening betrekken van correlaties tussen stochasten en tussen basisgebeurtenissen is niet gebeurd, maar in principe bij niveau II berekeningen goed mogelijk. Hiertoe dienen eerst de correlatiecoëfficiënten tussen de stochasten bekend te zijn.
- f. De correlaties tussen de faalmechanismen (basisgebeurtenissen) zijn niet verwaarloosbaar klein.
- g. Van de doorgerekende faalmechanismen lijkt hier mechanisme Aa1 (buiging damwand) maatgevend te zijn.
De berekende faalkans is echter waarschijnlijk te groot. Evenals bij mechanisme Bb1 (buiging gording) is de grenstoestand te streng geformuleerd. Bij het ontstaan van een vloeimoment zal er bij een statisch onbepaalde constructie namelijk nog geen bezwijken optreden. In feite is hier de faalkans van een element uit een parallelsysteem berekend. De faalkans van dit subsysteem zal lager liggen dan de faalkans van het element.

- h. Bekend is van de methode Blum, dat de damwandlengte meestal voldoende groot is om de grondmechanische stabiliteit te waarborgen. De gevonden faalkansen bevestigen dit: $P\{Z(Ab) < 0\} \ll P\{Z(Aa1) < 0\}$. Wellicht kan nog op de damwandlengte volgend uit de methode Blum worden bespaard.

6.2. Aanbevelingen

1. Damwandberekening.

Uiteindelijk wenst men te komen tot een stelsel partiële veiligheidsfactoren, eventueel per type damwandconstructie. Voordat men over kan gaan tot de vaststelling van deze factoren, dient men een beslissing te nemen over het te hanteren rekenmodel.

De methode Blum beschrijft de werkelijkheid minder goed dan methoden, waarbij de grond over de hoogte van de damwand als een stelsel veren wordt voorgesteld. Enerzijds wordt door Blum gesteld dat bij de damwandvoet de verplaatsing en de hoekverdraaiing gelijk zijn aan nul, en anderzijds wordt op die plaats een reactiekracht aangenomen. Dit is fysisch niet mogelijk.

Omdat bij de methode Blum de grootte van de vervorming van de grond geen rol speelt, is deze methode ongeschikt om falen ten gevolge van grote vervormingen van de damwand te beschrijven.

De verankering is alleen op sterkte berekend. In de praktijk is ook de stijfheid van de verankering (d.w.z. de plaatsvastheid van het verankeringspunt) van groot belang. Deze beïnvloedt namelijk de belasting op de verankering zelf en op de damwand. Om hier onderzoek naar te doen, zou van de methode Blum moeten worden afgestapt.

Voorstel: stap over op de berekening als verend ondersteunde ligger. Eventueel kan men voor het ontwerp de enkelvoudig verankerde ingeklemde damwand nog uitgaan van de methode Blum, en de probabilistische controleberekening daarna uitvoeren met een berekening als verend ondersteunde ligger.

2. Betrouwbaarheidsfuncties.

Sommige faalmechanismen dienen nog beter te worden geformuleerd. Bedacht moet worden dat de damwandconstructie in feite een parallel systeem is, zodat falen van een element daaruit in principe niet het falen van het systeem tot gevolg zal hebben. Zo betekent het bereiken van het vloeimoment nog niet het bezwijken van de damwand.

Ook zou onderzocht moeten worden, wat de reststerkte is van de damwandconstructie bij bezwijken van een verankeringspunt. Het staat niet vast dat dit automatisch bezwijken van de gehele constructie betekent; ook hier is een herverdeling van belasting mogelijk.

Tenslotte dienen ook betrouwbaarheidsfuncties met betrekking tot de bouwfase en de onderhoudsfase worden geformuleerd. Zo worden bij het richten van de damwand bij de verankering grote krachten uitgeoefend, die soms groter zijn dan de berekende ankerkracht.

3. Kansverdelingen en correlaties.

Met name het ontbreken van de invloed van de correlaties is een zwak punt van de berekening.

Om dit goed in de berekening te kunnen brengen, is het allereerst nodig om de correlaties tussen de stochasten vast te stellen. Uitgaande van de normale verdeling kunnen deze dan in een niveau II benadering worden verwerkt, zowel voor de correlatie tussen de stochasten als voor de correlatie tussen de verschillende faalmechanismen.

Naar de manier waarop de ruimtelijke correlatie kan worden meegenomen, dient nog onderzoek te worden verricht.

Hiernaast zijn sommige parameters als deterministische waarden in de berekening gebracht, terwijl deze in de werkelijkheid een stochastisch karakter hebben. Denk bijvoorbeeld aan het verankeringsniveau $z(0)$, of aan de hart op hart afstand van de ankerstangen r . Ook deze zullen in het parameteronderzoek als stochasten moeten worden meegenomen.

De stochasten zijn in dit deelontwerp verder als normaal verdeeld aangenomen. Er zou onderzocht moeten worden door welke statistische verdelingen de verschillende parameters het beste kunnen worden beschreven.

Om een willekeurige verdeling in de probabilistische berekening te kunnen invoeren, is de gebruikte advanced level II-benadering ongeschikt. Men zou dan kunnen overgaan naar de Approximate Full Distribution Approach. Dit is een niveau II benadering, waarbij gebruik wordt gemaakt van door normale verdelingen benaderde kansdichtheidsfuncties.

Het gebruiken van een willekeurige verdeling geeft overigens problemen bij het verwerken van de correlatie. Deze kan nu nog alleen worden betrokken op stochasten die beide (log)normaal zijn verdeeld.

4. Levensduur.

In het algemeen zijn zowel de belasting S als de sterkte R functies van de tijd. Een voorbeeld is de invloed van de corrosie op de sterkte van de damwand. Bij het vaststellen van een kans op bezwijken dient daarom ook de periode te worden vermeld, waarop deze kans betrekking heeft.

Voor de verwerking van het tijdsaspect in de betrouwbaarheidsanalyse bestaan verschillende methoden [11]. Bij een vervolgstudie zou aandacht moeten worden besteed aan de tijdsafhankelijke veranderingen van de stochasten.

Dit is met name van belang indien men het geëiste betrouwbaarheidsniveau voor de verschillende faalmechanismen wil vaststellen.

5. Systematische variatie van parameters.

Om tot betere kwalitatieve en kwantitatieve uitspraken te komen, zouden de diverse grond- en geometrieparameters systematisch dienen te worden gevarieerd. Dit zou dan moeten gebeuren voor meer configuraties dan alleen het hier beschouwde testprobleem.

Men zou zich verder niet moeten beperken tot het materiaal staal, maar ook damwandconstructies met andere materialen (hout, beton, kunststof) moeten bekijken.

Voorts is het aantal verschillende typen van damwandconstructies groot. Naast het beschouwde type (enkelvoudig verankerd ingeklemd), zouden ook de typen enkelvoudig verankerd vrij opgelegd, onverankerd en meervoudig verankerd moeten worden geanalyseerd. Het is zeer de vraag of voor al deze typen met eenzelfde stelsel partiële veiligheidsfactoren zou moeten worden gerekend.

6. Normstelling.

Uiteindelijk zou men voor ieder element, materiaal en mechanisme moeten komen tot een betrouwbaarheidsindex β , en door calibratie aan bestaande ontwerpnormen tot een set partiële veiligheidsfactoren.

Hiertoe zou men eerst een streefwaarde voor de betrouwbaarheidsindex β moeten definiëren. Eventueel kan men hier onderscheid maken tussen de uiterste grenstoestand en een bruikbaarheidsgrenstoestand, en/of tussen de bouwfase en de gebruiksfase.

Per type damwandconstructie zou gezocht dienen te worden:

- Belastingfactoren voor bovenbelasting, waterstanden, kerende hoogte en grondparameters voor de verschillende grenstoestanden, die onafhankelijk zijn van het materiaal.
- Materiaalfactoren voor staal, gewapend beton en hout, eveneens voor de verschillende grenstoestanden, die onafhankelijk zijn van de belasting (d.w.z. de grond- en geometriegegevens).

7. Rekenapparatuur.

Zowel het gebruik van een geavanceerde methode als het aanbevolen parameteronderzoek pleiten voor het gebruik van een snellere (micro-) computer. Voor een vervolgstudie zou men het hier gebruikte programma bijvoorbeeld kunnen omzetten in turbo-pascal, of in fortran 77, beide geschikt voor IBM-compatibles onder MS-dos. Hiermee kan al een aanzienlijke winst in rekentijd worden geboekt (faktor 30 op de Olivetti M28 ten opzichte van de hier gebruikte Apple IIe).

LITERATUUR

- [1] Akker, J.J.H. van den
Ankerkrachtmetingen aan boordvoorzieningen.
Rapport G-CO-246733/1, Laboratorium voor Geotechniek,
faculteit der Civiele Techniek, TU Delft, 1983.
- [2] Blum, H.
Einspannungsverhältnisse bei Bohlwerken.
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1931.
- [3] Calle, E.O.F.
Systemen.
PATO-cursus Probabilistisch ontwerpen PO 6, sectie Civiele
Techniek en Geodesie, TU Delft, 1986.
- [4] Calle, E.O.F. en P. Poelsma
Veiligheid van damwandconstructies (een probabilistische methodiek
voor het bepalen van partiele veiligheidsfactoren): onverankerde
damwanden.
Rapport C0247347/8, Grondmechanica Delft, mei 1987.
- [5] Meer, M.T. van der
Damwand+: een computerprogramma voor de berekening van een damwand
als elastisch ondersteunde ligger.
Deelstudie bij de vakgroep Geotechniek, faculteit der Civiele
Techniek, TU Delft, maart 1984.
- [6] Meer, M.T. van der en W. Meermans
Stabiliteitsfactor en kans op afschuiven van grondlichamen.
Rapport nr. 13780510, vakgroep Waterbouwkunde, faculteit der
Civiele Techniek, TU Delft, november 1984.
- [7] Meermans, W.
Globpar.pas, een programma voor probabilistische
glijvlakberekeningen.
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
nog niet verschenen.
- [8] Nederlands Normalisatie Instituut
Technische grondslagen voor de berekening van bouwconstructies
- TGB 1972 - Staal.
NEN 3851, Rijswijk, 1973.
- [9] Verruijt, A.
Grondmechanica.
Collegedictaat b22, faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft, 1982.
- [10] Vrouwenvelder, A.C.W.M.
Onderbouwing veiligheidscoëfficiënten TGB 1986.
Bijdrage aan het symposium Construeren met hout, faculteit
der Civiele Techniek, TU Delft, 1986. Delftse Universitaire Pers.

- [11] Vrouwenvelder, A.C.W.M. en J.K. Vrijling
Probabilistisch ontwerpen.
Collegedictaat b3, faculteit der Civiele Techniek,
TU Delft, 1986.
- [12] Quelerij, L. de en J.L. Bijnagte
Invloed boombeplanting op verankerde damwand; een
probabilistische benadering.
Rapport D-0343, Fugro, Leidschendam, juli 1987.
- [13] ———
Ervaringen opgedaan bij werken waarbij enkelvoudige stalen damwand
is toegepast.
Damwandcommissie, Sluizen en stuwen, Rijkswaterstaat, 1981.
- [14] ———
Empfehlungen des Arbeitsausschusses Ufereinfassungen (EAU).
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 1985.
- [15] ———
Probabilistisch ontwerpen van waterkeringen.
Interimrapport, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
1985.
- [16] ———
Berekening damwandconstructies.
Houtdocumentatie 12.011(1)/593 D, Centrum Hout, Bussum, 1987.

VOORNAAMSTE SYMBOLEN

A_S	mm^2	oppervlak ankerstangdoorsnede
B	m	breedte ankerschot
C_0	-	krachtcoëfficiënt
C_1	-	momentcoëfficiënt
C_3	-	verplaatsingscoëfficiënt
c	kN/m^2	cohesie
c'	kN/m^2	karakteristieke waarde voor de cohesie
c_e	kN/m^2	rekenwaarde voor de cohesie
D	m	hoogte ankerschot of ankerwand
d	mm	diameter ankerstang (voor maatgevende doorsnede)
F_a	kN/m	ankerkracht per m breedte
F_c	kN/m	reactiekracht bij damwandvoet per m breedte
f	kN/m^2	resulterende gelijkmatig verdeelde horizontale belasting
f_c	-	veiligheidsfactor voor cohesie
f_g	-	stabiliteitsfactor voor glijcirkelberekening
f_m	-	sterktefactor
f_s	-	veiligheidsfactor voor sterkte stalen damwand
f_v	-	veiligheidsfactor voor verankering
f_w	-	veiligheidsfactor voor opwaartse stromingsdruk
f_ϕ	-	veiligheidsfactor voor hoek van inwendige wrijving
G_g	kN/m^3	gewicht grond boven breukvlak
I	mm^4/m	traagheidsmoment profiel
l	m	resultierend actief belaste damwandlengte onder het anker
l_d	m	damwandlengte volgend uit damwandberekening
l_o	m	ontwerplengte
M	kNm/m	moment
M_a	kNm/m	moment in damwand ter hoogte van het anker
M_d	kNm/m	aandrijvend moment glijcirkel

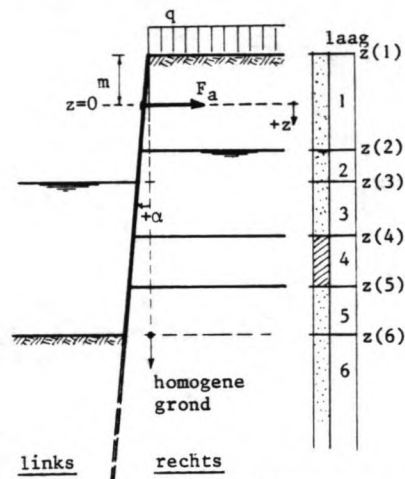
M_i	kNm/m	maximum inklemmingsmoment in damwand
M_v	kNm/m	maximum veldmoment in damwand
M_w	kNm/m	weerstrevend moment glijcirkel
$P\{A\}$	-	kans op gebeurtenis A
P_s	kN/m ²	component stromingsdruk loodrecht op breukvlak
Q	kN/m	dwarskracht
Q_m	kN/m	maximum dwarskracht in damwand
Q_s	kN	maximum dwarskracht in ankerstang
q	kN/m ²	bovenbelasting
r	m	hart op hart afstand ankerstangen
S	mm ³ /m	statisch moment profiel t.o.v. neutrale lijn
t	mm	lijfplaatdikte profiel
W_d	mm ³ /m	weerstandsmoment damwandprofiel
W_g	mm ³	weerstandsmoment gordingprofiel
w	m	horizontale verplaatsing damwand
$X()$		stochast
x	m	resultierend passief belaste damwandlengte
Z		waarde van betrouwbaarheidsfuctie
z	m	verticale afstand vanaf het ankerpunt (of bij onverankerde damwand vanaf de damwandkop)
$z(0)$	m	coördinaat damwandkop
$z(1)$	m	coördinaat grondwaterstand achter de damwand
$z(2)$	m	coördinaat waterstand voor de damwand
$z(3)$	m	coördinaat bodemligging voor de damwand
α	°	hellingshoek van de damwand met de verticaal
β	-	betrouwbaarheidsindex
γ_d	kN/m ³	volumegewicht van droge grond
γ_n	kN/m ³	volumegewicht van met water verzadigde grond
γ_w	kN/m ³	volumegewicht van water

Δx	m	extra benodigde inheidiepte
δ_a	°	hoek van de actieve wandwrijving
δ_c	°	hoek van de passieve wandwrijving t.p.v. F_c
δ_p	°	hoek van de passieve wandwrijving
ζ	-	coefficient ter bepaling van de passief belaste damwandlengte
λ_a	-	coefficient voor de actieve horizontale korrelspanning
λ_c	-	coefficient voor de passieve horizontale korrelspanning t.p.v. F_c
λ_p	-	coefficient voor de passieve horizontale korrelspanning
λ_R	kN/m ²	inklemmingsparameter voor de grond onder het belasting-nulpunt
$\mu(i)$		gemiddelde waarde stochast
ρ	-	correlatiecoefficient
σ	N/mm ²	spanning
σ_e	N/mm ²	rekenwaarde voor de vloeispanning staal
σ_i	N/mm ²	vergelijkingsspanning
σ_m	N/mm ²	maximale spanning
σ_v	N/mm ²	vloeispanning staal
σ'_v	N/mm ²	karacteristieke waarde voor de vloeispanning staal
$\sigma(i)$		standaardafwijking stochast
τ	N/mm ²	schuifspanning
τ_e	N/mm ²	rekenwaarde voor de vloeispanning staal bij afschuiving
τ_m	N/mm ²	maximale schuifspanning
τ_v	N/mm ²	vloeispanning staal bij afschuiving
ϕ	°	hoek van inwendige wrijving
ϕ'	°	karacteristieke waarde voor de hoek van inwendige wrijving
ϕ_e	°	rekenwaarde voor de hoek van inwendige wrijving

BIJLAGE I. METHODE BLUM

Blum ging bij zijn damwandberekening uit van:

- Momentenevenwicht.
- Horizontaal evenwicht.
- Een volledig ingeklemde damwand met een fictief inklemmingspunt bij de damwandvoet ter plaatse van de vasthoudkracht F_C .
- Een niet verplaatsend anker.
- Onder het niveau van de kerende hoogte homogene grond.



Opmerking: Bij het programma DAMPRO wordt de bovenkant van laag i niet opgegeven als $z(i)$, maar als $z(i-1)$.

Figuur 1. Definitieschets damwandberekening

Achterin deze bijlage wordt een voor een micro-computer geschreven eenvoudig gebruikersvriendelijk programma gegeven. Hiermee kunnen ook enigszins van de ontwerptabellen afwijkende gevallen worden berekend (bv. damwand onder een helling, geen homogene grond, afwijkende hoeken van wandwrijving). De ontwerper kan in de berekening zelf invoeren:

- | | |
|---|--------------------------------|
| A. De hoek van de damwand met de verticaal | α ($^{\circ}$) |
| B. De grootte van de bovenbelasting | q (kN/m^2) |
| C. Of er een anker wordt toegepast,
zo ja: hoogte damwandkop boven het anker
(zo nee, dan geldt $m = 0$) | m (m) |
| D. Voor elke grondlaag | |
| a. de plaats van de bovenkant van de laag
en zowel links als rechts van de damwand | z (m) |
| b. het volumegewicht van water | γ_w (kN/m^3) |
| c. het volumegewicht van de natte grond | γ_n (kN/m^3) |
| d. de hoek van inwendige wrijving | ϕ ($^{\circ}$) |
| e. de hoek van de wandwrijving | δ ($^{\circ}$) |

Droge grond kan worden gesimuleerd door voor γ_n het droge volumegewicht in te vullen, tezamen met $\gamma_w = 0$. Indien er slechts water tegen de damwand staat dient te worden ingevoerd $\gamma_n = 10 \text{ kN/m}^3$. In het geval dat er niets tegen de damwand staat (dus geen grond en geen water) moet voor beide volumegewichten 0 worden ingevuld ($\gamma_w = 0$ en $\gamma_n = 0$).

Allereerst worden de coëfficiënten voor de horizontale korrelspanning bepaald uitgaande van niet-cohesieve grond (dus $c = 0$). Bij horizontale maaiveld- en bodemligging geldt volgens Krey (1963) voor de horizontale componenten van de gronddrukcoëfficiënten:

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\phi+\alpha)}{\cos^2\alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta_a) \sin \phi}{\cos(\delta_a-\alpha) \cos \alpha}} \right]^2} \quad (1)$$

$$\lambda_p = \frac{\cos^2(\phi+\alpha)}{\cos^2\alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta_p) \sin \phi}{\cos(\delta_p+\alpha) \cos \alpha}} \right]^2} \quad (2)$$

$$\lambda_c = \frac{\cos^2(\phi-\alpha)}{\cos^2\alpha \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi-\delta_c) \sin \phi}{\cos(\delta_c-\alpha) \cos \alpha}} \right]^2} \quad (3)$$

Voor de aan te nemen wandwrijving langs damwanden kunnen volgens de EAU, uitgaande van rechte glijvlakken, de volgende wrijvingshoeken worden aangehouden:

$$\delta_a = \frac{2}{3} \phi \quad (1a)$$

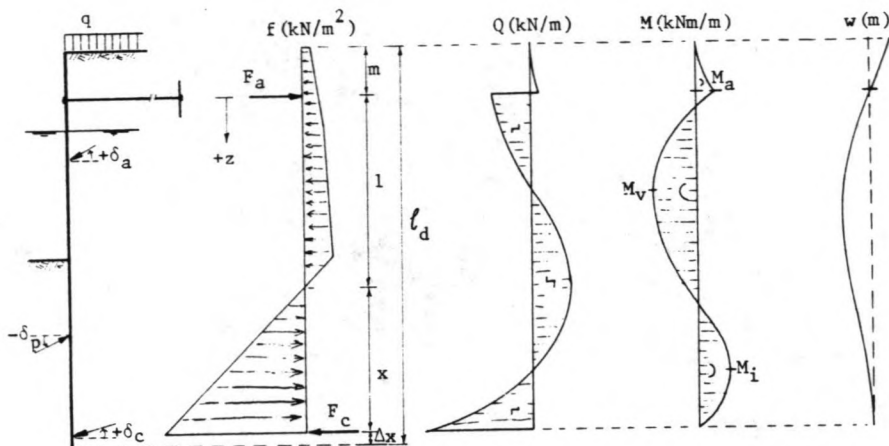
$$\delta_p = -\frac{2}{3} \phi \quad \text{mits } \phi \leq 35^\circ \quad (2a)$$

$$\delta_c = \frac{1}{3} \phi \quad (3a)$$

Indien de wand hoofdzakelijk door waterdruk wordt belast, moet het verticale evenwicht worden gecontroleerd. De negatieve waarde van de wandwrijving aan de passieve zijde mag alleen tot een waarde worden ingevoerd die een voldoende veiligheid tegen omhoogbewegen van de wand garandeert.

De aan te houden wrijvingshoek aan de passieve kant, indien de bodem onder een helling is gelegen, is in studie en zal in een toekomstige uitgave van de EAU worden opgenomen. Om de passieve en actieve gronddruk toch te kunnen bepalen, maakt men in dit geval meestal gebruik van een grafische methode.

De resulterende gelijkmatig verdeelde horizontale belasting (f) kan nu worden berekend. Figuur 2 geeft een voorbeeld van een resulterende belastingfiguur, met daarachter de dwarskrachtenlijn (Q), momentenlijn (M) en uitbuigingslijn (w).



Figuur 2. Resulterende belastingfiguur

De inklemming in de onderste laag wordt gekarakteriseerd met een parameter λ_R , gedefinieerd volgens:

$$\lambda_R = (\gamma_n - \gamma_w)(\lambda_p - \lambda_a) \quad (4)$$

Hierin dienen uiteraard de eigenschappen van de onderste laag te worden ingevuld.

Bij de methode Blum wordt de horizontale belasting (f) boven het belastingnulpunt (op $z = 1$) gekarakteriseerd door een krachtcoëfficiënt (C_0), een momentcoëfficiënt (C_1) en een verplaatsingscoëfficiënt (C_3):

$$C_0 = \frac{6}{\lambda_R l^2} \cdot \int_{-m}^1 f dz \quad (5)$$

$$C_1 = \frac{6}{\lambda_R l^3} \cdot \int_{-m}^1 f z dz \quad (6)$$

$$C_3 = \frac{6}{\lambda_R l^5} \cdot \int_0^1 f z^3 dz \quad (7)$$

Deze factoren kunnen numeriek worden bepaald, door de belastingfiguur onder te verdelen in intervallen met een constante belasting. Hierna kan de dimensieloze coëfficiënt ζ worden gevonden door de volgende vergelijking op te lossen:

. zonder anker: $\zeta^3 = C_0 (1 + \zeta) - C_1 \quad (8a)$

. met anker : $\zeta^3 [0,8\zeta^2 + 2,5\zeta + 2] = C_1 [1 + \zeta]^2 - C_3 \quad (8b)$

De resulterend passief belaste damwandlengte (x) volgt dan uit:

$$x = \zeta l \tag{9}$$

De ankerkracht F_a (horizontale component) is gelijk aan:

$$\text{. zonder anker: } F_a = 0 \tag{10a}$$

$$\text{. met anker : } F_a = \int_{-m}^l f dz - \frac{l}{1+x} \cdot \int_{-m}^l fz dz - \frac{\lambda_R \cdot x^3}{6(1+x)} \tag{10b}$$

De vasthoudkracht F_c (horizontale component) wordt berekend uit het horizontale evenwicht:

$$F_c = \lambda_R x^2/2 + F_a - \int_{-m}^l f dz \tag{11}$$

waarna de extra benodigde inheidiepte (Δx) volgens Lackner (1950) volgt uit:

$$\Delta x = \frac{F_c}{2\lambda_c \sigma_v'} \tag{12}$$

Hierin is σ_v' de verticale korrelspanning ter hoogte van de vasthoudkracht aan de rechterzijde van de damwand.

NB: Het programma DAMPRO rekt niet met vergelijking (12), maar met de door Blum voorgestelde extra benodigde inheidiepte $\Delta x = 0,2 x$. Dit is gedaan om extra iteraties in de probabilistische berekening te vermijden.

De totaal benodigde damwandlengte (l_d) is dan:

$$l_d = \frac{m + l + x + \Delta x}{\cos \alpha} \tag{13}$$

Tenslotte dient het maximaal optredende moment nog te worden bepaald. In het geval zonder anker is slechts sprake van een (negatief) inklemmingsmoment (M_i). In het geval met anker moet daarnaast nog worden onderscheiden een (negatief) inklemmingsmoment ter hoogte van het anker (M_a) en een (positief) veldmoment (M_v) over een gedeelte van de damwand tussen de beide inklemmingsmomenten.

De maximum momenten worden gevonden op een afstand z, waarvoor geldt dat de dwarskracht ter plaatse nul is. Het programma geeft een mogelijke berekeningsmethode.

Extra literatuur

Krey (1963) Erddruck, Erdwiderstand und Tragfähigkeit des Baugrundes

Lackner, E. (1950) Berechnung mehrfach gestützter Spundwände,
3. Aufl. Berlin, Ernst & Sohn

Listing van het damwandprogramma BLUM

```
100 PRINT : PRINT "***** DAMWANDBEREKENING VOLGENS BLUM *****"
105 PRINT "** Geen momentenreductie **"
110 PRINT "** MT van der Meer -- TU Delft -- juli 1987 **": PRINT
115 REM -- INVOER VAN DE GEGEVENS --
120 DIM ZZ(500),P(500)
125 INPUT "Hoek damwand met verticaal AL (gr) = ";AL
130 INPUT "Bovenbelasting Q (kN/m2) = ";Q
135 INPUT "Verankerd V (ja/nee 1/0) = ";V
140 IF V = 0 THEN M = 0: GOTO 150
145 INPUT "Hoogte damw.kop boven anker M (m) = ";M
150 INPUT "Aantal grondlagen NK (-) = ";NK
155 FOR I = 0 TO NK - 1:J = 0
160 PRINT : PRINT "..... laag "I +
1
165 IF I = 0 THEN Z(0) = - M: PRINT "Bovenkant laag z(1)
(m) = "Z(0): GOTO 175
170 INPUT "Bovenkant laag z(i) (m) = ";Z(I)
175 PRINT "LINKS ";
180 INPUT "volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = ";GW(J,I)
185 INPUT " volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = ";GN(J,I)
190 INPUT " hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = ";FI(J,I)
195 INPUT " hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = ";D(J,I)
200 IF J = 0 THEN J = 1: PRINT "RECHTS "; GOTO 180
205 REM -- BEREKENING VAN DE GRONDDRUKCOEFFICIENTEN --
210 AL = AA * ATN (1) / 45
215 PH = FI(0,I) * ATN (1) / 45:DP = D(0,I) * ATN (1) / 45
220 L(0,I) = COS (PH + AL) ^ 2 / COS (AL) ^ 2 / (1 - SQR ( SIN (PH - DP
) * SIN (PH) / COS (DP + AL) / COS (AL))) ^ 2
225 PH = FI(1,I) * ATN (1) / 45:DA = D(1,I) * ATN (1) / 45
230 L(1,I) = COS (PH + AL) ^ 2 / COS (AL) ^ 2 / (1 + SQR ( SIN (PH + DA
) * SIN (PH) / COS (DA - AL) / COS (AL))) ^ 2
235 NEXT I
240 REM -- BEREKENING VAN DE HORIZONTALE BELASTING --
245 LR = (L(0,NK - 1) - L(1,NK - 1)) * (GN(0,NK - 1) - GW(0,NK - 1))
250 GO = 0:WO = 0:G1 = Q:W1 = 0: FOR I = 1 TO NK - 1
255 GO = GO + GN(0,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1)):G1 = G1 + GN(1,I - 1) * (Z(I
) - Z(I - 1))
260 WO = WO + GW(0,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1)):W1 = W1 + GW(1,I - 1) * (Z(I
) - Z(I - 1))
265 NEXT I:HC = W1 + L(1,NK - 1) * (G1 - W1):U = (HC - WO - L(0,NK - 1) *
(GO - WO)) / LR
270 Z(NK) = Z(NK - 1) + U:LL = Z(NK):GO = 0:WO = 0:G1 = Q:W1 = 0
275 L = 0: FOR I = 0 TO NK - 1
280 DZ = Z(I + 1) - Z(I):NS = INT (DZ / .05) + 1:DZ = DZ / NS
285 ZZ(L) = Z(I) + DZ / 2
290 GO = GO + GN(0,I) * DZ / 2:WO = WO + GW(0,I) * DZ / 2
295 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ / 2:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ / 2
300 P(L) = (W1 + L(1,I) * (G1 - W1) - WO - L(0,I) * (GO - WO)) * DZ
305 L = L + 1: FOR J = 1 TO NS - 1
310 ZZ(L) = ZZ(L - 1) + DZ
315 GO = GO + GN(0,I) * DZ:WO = WO + GW(0,I) * DZ
320 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ
325 P(L) = (W1 + L(1,I) * (G1 - W1) - WO - L(0,I) * (GO - WO)) * DZ
330 L = L + 1: NEXT J
335 GO = GO + GN(0,I) * DZ / 2:WO = WO + GW(0,I) * DZ / 2
340 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ / 2:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ / 2
345 NEXT I:NP = L - 1
350 REM -- BEREKENING VAN DE DAMWANDLENGTE --
355 PO = 0:P1 = 0:P3 = 0
360 FOR L = 0 TO NP:PO = PO + P(L):P1 = P1 + P(L) * ZZ(L)
365 IF ZZ(L) > 0 THEN P3 = P3 + P(L) * ZZ(L) ^ 3
370 NEXT L:C0 = PO * 6 / LR / LL ^ 2
```



```
375 C1 = P1 * 6 / LR / LL ^ 3: C3 = P3 * 6 / LR / LL ^ 5
380 PRINT : PRINT "C0 = "C0: PRINT "C1 = "C1: PRINT "C3 = "C3
385 K = 0: K0 = K: GOSUB 575: K = 2: K1 = K: GOSUB 575
390 K = (K0 + K1) / 2: GOSUB 575
395 IF ABS (FK) < .0001 THEN GOTO 410
400 IF FK > 0 THEN K1 = K: GOTO 390
405 K0 = K: GOTO 390
410 X = K * LL: PRINT "x = "X" m": PRINT
415 REM -- BEREKENING ANKER- EN VASTHOUDKRACHT --
420 IF V = 0 THEN FA = 0: GOTO 430
425 FA = P0 - P1 / (LL + X) - LR * X ^ 3 / 6 / (LL + X)
430 FC = .5 * LR * X ^ 2 + FA - P0
435 PRINT "Fa = "FA" kN/m": PRINT "Fc = "FC" kN/m": PRINT
440 PH = FI(1, NK - 1) * ATN (1) / 45: DC = PH / 3
445 LC = COS (PH - AL) ^ 2 / COS (AL) ^ 2 / (1 - SQR ( SIN (PH - DC) *
      SIN (PH) / COS (DC - AL) / COS (AL))) ^ 2
450 DX = FC / (2 * (HC + (GN(1, NK - 1) - GW(1, NK - 1)) * (U + X)) * LC)
455 PRINT "Dx = "DX" m": LD = (Z(NK) + M + X + DX) / COS (AL)
460 PRINT : PRINT "Lengte van de damwand ld (m) = "; LD: PRINT
465 REM -- BEREKENING VAN DE MOMENTEN (GEEN REDUCTIE) --
470 IF V = 0 THEN GOTO 530
475 L = 0: MA = 0
480 IF ZZ(L) >= 0 THEN GOTO 490
485 MA = MA + P(L) * ZZ(L): L = L + 1: GOTO 480
490 PRINT "Ma = "MA" kNm/m op Z = 0 m"
495 L = 0: DD = FA
500 DD = DD - P(L)
505 IF DD < 0 THEN ZV = (ZZ(L - 1) + ZZ(L)) / 2: LV = L - 1: GOTO 515
510 L = L + 1: GOTO 500
515 MV = FA * ZV
520 FOR L = 0 TO LV: MV = MV - P(L) * (ZV - ZZ(L)): NEXT
525 PRINT "Mv = "MV" kNm/m op Z = "ZV" m"
530 ZI = LL + SQR ((P0 - FA) * 2 / LR): MI = FA * ZI
535 FOR L = 0 TO NP: MI = MI - P(L) * (ZI - ZZ(L)): NEXT
540 MI = MI + LR / 6 * (ZI - LL) ^ 3
545 PRINT "Mi = "MI" kNm/m op Z = "ZI" m"
550
555
560
565 END
570 REM -- SUBROUTINE BEPALING INHEIDIEPTE --
575 IF V = 0 THEN FK = K ^ 3 - C0 * (1 + K) + C1: GOTO 585
580 FK = .8 * K ^ 5 + 2.5 * K ^ 4 + 2 * K ^ 3 - C1 * (1 + K) ^ 2 + C3
585 RETURN
```

NB: Bovenstaand programma is geschreven in Applesoft II Basic, voor de micro-computer Apple IIe.

Programma-uitvoer

```

***** DAMWANDBEREKENING VOLGENS BLUM *****
** Geen momentenreductie **
** MT van der Meer -- TU Delft -- juli 1987 **

Hoek damwand met verticaal AL (gr) = 0
Bovenbelasting Q (kN/m2) = 8
Verankerd V (ja/nee 1/0) = 1
Hoogte damw.kop boven anker M (m) = .5
Aantal grondlagen NK (-) = 3

..... laag 1
Bovenkant laag z(i) (m) = -.5
LINKS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 0
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 0
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 0
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = 0
RECHTS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 0
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 18
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 30
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = 20

..... laag 2
Bovenkant laag z(i) (m) = 0
LINKS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 10
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 10
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 0
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = 0
RECHTS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 10
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 20
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 30
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = 20

..... laag 3
Bovenkant laag z(i) (m) = 3
LINKS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 10
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 20
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 30
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = -20
RECHTS volumegewicht water gw(i) (kN/m3) = 10
      volumegewicht grond gn(i) (kN/m3) = 20
      hoek v.inw.wrijving fi(i) (gr) = 30
      hoek v.wandwrijving d(i) (gr) = 20

C0 = .31559114
C1 = .164749416
C3 = .085577779
x = 1.38334399 m

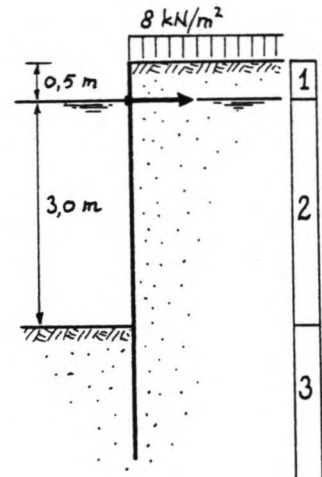
Fa = 13.9095785 kN/m
Fc = 35.9840929 kN/m

Dx = .137472766 m

Lengte van de damwand ld (m) = 5.26140983

Ma = -.384676346 kNm/m op Z = 0 m
Mv = 11.141421 kNm/m op Z = 1.7 m
Mi = -9.96832397 kNm/m op Z = 4.01195865 m

```



BIJLAGE II. UITVOER PROBABILISTISCHE BEREKENINGEN

Betrouwbaarheidsfuncties:

$$Z(Aa1) = \sigma_v W_d - M_m$$

$$Z(Ab) = F_c$$

$$Z(Ba1) = \sigma_v 1/4 \pi d^2 - r F_a$$

$$Z(Bb1) = \sigma_v W_g - 0,1 F_a r^2$$

$$Z(Ca) = M_w/M_d - 1$$

DAMPRO

PROBABILISTISCHE
DAMWANDBEREKENING
GEBASEERD OP BLUM

BFT Z(Aa1) = si Wd - Mm MvdM / 8-1-1988

BASISVARIABLEN			GEM.	ST.AFW.
bovenbelasting	Q	(kN/m ²)	10	3
volumegewicht droge grond	GD	(kN/m ³)	18	2
volumegewicht natte grond	GN	(kN/m ³)	20	2
hoek v. inwendige wrijving	FI	(gr)	32.42	2
coördinaat 0	Z(0)	(m)	-1	0
coördinaat 1	Z(1)	(m)	-.5	.2
coördinaat 2	Z(2)	(m)	.5	.2
coördinaat 3	Z(3)	(m)	4	.3
vloeispanning staal	SI	(N/mm ²)	288	24
weerstandsmoment damwand	WD	(mm ³ /m)	353000	35300

Resultaten Blum voor rekenwaarden voor de basisvariabelen fi en si en met gemiddelde waarden voor de overige basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 52.3727537
REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.4812476
ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.39860746
VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 56.4798843
INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -44.1557551

BFT Z(Aa1) = si Wd - Mm MvdM / 8-1-1988

MEAN VALUE

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +5.3340143E+01
 Gemiddelde van Z: = +5.3340143E+01
 Standaardafwijking van Z: = +1.9089056E+01
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +2.7942787E+00
 Faalkans: P(Z<=0) = +2.6008410E-03

	dZ/dX	dZ/dX*Sx	(dZ/dX*Sx)^2	%inVAR	ALFA	ALFA*BETA*Sx	X*nieuw
Q	-9.177E-01	-2.753E+00	+7.580E+00	2.08	-1.4E-01	-1.209E+00	+1.121E+01
GD	-4.759E-01	-9.518E-01	+9.059E-01	.25	-5.0E-02	-2.787E-01	+1.828E+01
GN	-3.718E+00	-7.435E+00	+5.528E+01	15.17	-3.9E-01	-2.177E+00	+2.218E+01
FI	-3.366E+00	-6.732E+00	+4.531E+01	12.44	-3.5E-01	-1.971E+00	+3.439E+01
Z(1)	-1.523E+01	-3.046E+00	+9.280E+00	2.55	-1.6E-01	-8.919E-02	-4.108E-01
Z(2)	-3.984E+01	-7.968E+00	+6.349E+01	17.42	-4.2E-01	-2.333E-01	+7.333E-01
Z(3)	-9.075E+00	-2.722E+00	+7.411E+00	2.03	-1.4E-01	-1.196E-01	+4.120E+00
SI	+3.530E-01	+8.472E+00	+7.178E+01	19.7	+4.4E-01	+2.976E+01	+2.582E+02
WD	+2.880E-04	+1.017E+01	+1.034E+02	28.36	+5.3E-01	+5.253E+04	+3.005E+05
							+3.644E+02 100

Resultaten 'Blum' voor mean value waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 7.85192281
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 47.2304272
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.6106424
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.18033951
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 48.323857
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -39.9706195

DESIGN POINT

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +7.0008636E-04 EPS = 1E-05
 Gemiddelde van gelin. Z: = +6.6539361E+01
 Standaardafwijking van Z: = +3.4240616E+01
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +1.9433080E+00 abs(Bn - Bo) = 1.54562294E-05
 Faalkans: P(Z<=0) = +2.5989406E-02

	X(I)	mu(I)	sigma(I)	%inVAR	ALFA
Q	+1.0751937E+01	+1.0000E+01	+3.0000E+00	1.66	-1.3E-01
GD	+1.8137181E+01	+1.8000E+01	+2.0000E+00	.12	-3.5E-02
GN	+1.9927516E+01	+2.0000E+01	+2.0000E+00	.03	+1.9E-02
FI	+3.0390617E+01	+3.2420E+01	+2.0000E+00	27.26	+5.2E-01
Z(1)	-5.9755879E-01	-5.0000E-01	+2.0000E-01	6.3	+2.5E-01
Z(2)	+6.2701173E-01	+5.0000E-01	+2.0000E-01	10.68	-3.3E-01
Z(3)	+4.3701347E+00	+4.0000E+00	+3.0000E-01	40.31	-6.3E-01
SI	+2.7709943E+02	+2.8800E+02	+2.4000E+01	5.46	+2.3E-01
WD	+3.3340119E+05	+3.5300E+05	+3.5300E+04	8.16	+2.9E-01

Resultaten 'Blum' voor design point waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 68.8665597
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 57.6949806
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.58355149
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 92.4064889
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -16.6072011

DAMPRO

```
*****
*****          PROBABILISTISCHE          *****
*****          DAMWANDBEREKENING        *****
*****          GEBASEERD OP BLUM        *****
*****
```

BTF Z(Ab) = Fc MvdM / 7-1-1988

BASISVARIABLEN		GEM.	ST.AFW.
bovenbelasting	Q (kN/m ²)	10	3
volumegewicht droge grond	GD (kN/m ³)	18	2
volumegewicht natte grond	GN (kN/m ³)	20	2
hoek v. inwendige wrijving	FI (gr)	32.42	2
coördinaat 0	Z(0) (m)	-1	0
coördinaat 1	Z(1) (m)	-.5	.2
coördinaat 2	Z(2) (m)	.5	.2
coördinaat 3	Z(3) (m)	4	.3

Resultaten Blum voor rekenwaarde voor de basisvariabele fi en met gemiddelde waarden voor de overige basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 52.3727537
REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.4812476
ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.39860746
VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 56.4798843
INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -44.1557551

```
*****
```

BTF Z(Ab) = Fc MvdM / 7-1-1988

MEAN VALUE

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +9.8610642E+01
 Gemiddelde van Z: = +9.8610642E+01
 Standaardafwijking van Z: = +6.0572239E+01
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +1.6279841E+00
 Faalkans: P(Z<=0) = +5.1764107E-02

	dZ/dX	dZ/dX*Sx	(dZ/dX*Sx)^2	%inVAR	ALFA	ALFA*BETA*Sx	X*nieuw
Q	-1.118E-01	-3.355E-01	+1.126E-01	0	-5.5E-03	-2.705E-02	+1.003E+01
GD	-5.995E-02	-1.199E-01	+1.437E-02	0	-2.0E-03	-6.445E-03	+1.801E+01
GN	-6.209E+00	-1.242E+01	+1.542E+02	4.2	-2.1E-01	-6.675E-01	+2.067E+01
FI	-2.293E+01	-4.585E+01	+2.103E+03	57.31	-7.6E-01	-2.465E+00	+3.488E+01
Z(1)	-1.641E+02	-3.281E+01	+1.077E+03	29.35	-5.4E-01	-1.764E-01	-3.236E-01
Z(2)	-5.216E+00	-1.043E+00	+1.088E+00	.03	-1.7E-02	-5.607E-03	+5.056E-01
Z(3)	-6.094E+01	-1.828E+01	+3.342E+02	9.11	-3.0E-01	-1.474E-01	+4.147E+00
			+3.669E+03	100			

Resultaten 'Blum' voor mean value waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 7.85192281
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 47.2304272
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.6106424
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.18033951
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 48.323857
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -39.9706195

DESIGN POINT

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = -1.4163554E-03 EPS = 1E-05
 Gemiddelde van gelin. Z: = +9.6389558E+01
 Standaardafwijking van Z: = +3.2326302E+01
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +2.9817250E+00 abs(Bn - Bo) = 6.43571839E-05
 Faalkans: P(Z<=0) = +1.4332156E-03

	X(I)	mu(I)	sigma(I)	%inVAR	ALFA
Q	+1.0762173E+01	+1.0000E+01	+3.0000E+00	.73	-8.5E-02
GD	+1.8143609E+01	+1.8000E+01	+2.0000E+00	.06	-2.4E-02
GN	+1.7131802E+01	+2.0000E+01	+2.0000E+00	23.13	+4.8E-01
FI	+2.8937017E 01	+3.2420E+01	+2.0000E+00	74.11	+5.8E-01
Z(1)	-5.7968286E-01	-5.0000E-01	+2.0000E-01	1.79	+1.3E-01
Z(2)	+6.1750192E-01	+5.0000E-01	+2.0000E-01	3.88	-2.0E-01
Z(3)	+4.5389698E+00	+4.0000E+00	+3.0000E-01	36.3	-6.0E-01

Resultaten 'Blum' voor design point waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 74.0931469
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = -1.41635537E-03
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.67695555
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 111.589211
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -2.87604053E-07

DAMPRO

```

*****
*****          PROBABILISTISCHE          *****
*****          DAMWANDBEREKENING        *****
*****          GEBASEERD OP BLUM        *****
*****

```

BTF Z(Ba1) = 1/4 pi d2 si - r Fa MvdM / 13-1-1988

BASISVARIABLEN		GEM.	ST.AFW.
bovenbelasting	Q (kN/m2)	10	3
volumegewicht droge grond	GD (kN/m3)	18	2
volumegewicht natte grond	GN (kN/m3)	20	2
hoek v. inwendige wrijving	FI (gr)	32.42	2
coördinaat 0	Z(0) (m)	-1	0
coördinaat 1	Z(1) (m)	-.5	.2
coördinaat 2	Z(2) (m)	.5	.2
coördinaat 3	Z(3) (m)	4	.3
vloeispanning staal	SI (N/mm2)	288	24
diameter ankerstang	D (mm)	50	5

Resultaten Blum voor rekenwaarden voor de basisvariabelen fi en si en met gemiddelde waarden voor de overige basisvariabelen

```

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 52.3727537
REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.4812476
ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.39860746
VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 56.4798843
INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -44.1557551

```

BTF Z(Ba1) = 1/4 pi d2 si - r Fa MvdM / 13-1-1988

MEAN VALUE

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +4.2379540E+05
 Gemiddelde van Z: = +4.2379540E+05
 Standaardafwijking van Z: = +1.2622790E+05
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +3.3573829E+00
 Faalkans: P(Z<=0) = +3.9347478E-04

	dZ/dX	dZ/dX*Sx	(dZ/dX*Sx)^2	%inVAR	ALFA	ALFA*BETA*Sx	X*nieuw
Q	-2.995E+03	-8.984E+03	+8.071E+07	.51	-7.1E-02	-7.169E-01	+1.072E+01
GD	-1.391E+03	-2.782E+03	+7.737E+06	.05	-2.2E-02	-1.480E-01	+1.815E+01
GN	-6.119E+03	-1.224E+04	+1.498E+08	.94	-9.7E-02	-6.510E-01	+2.065E+01
FI	-2.608E+03	-5.216E+03	+2.721E+07	.17	-4.1E-02	-2.775E-01	+3.270E+01
Z(1)	+2.051E+04	+4.103E+03	+1.683E+07	.11	+3.3E-02	+2.183E-02	-5.218E-01
Z(2)	-7.176E+04	-1.435E+04	+2.060E+08	1.29	-1.1E-01	-7.634E-02	+5.763E-01
Z(3)	-6.931E+04	-2.079E+04	+4.323E+08	2.71	-1.6E-01	-1.659E-01	+4.166E+00
SI	+1.964E+03	+4.712E+04	+2.221E+09	13.94	+3.7E-01	+3.008E+01	+2.579E+02
D	+2.262E+04	+1.131E+05	+1.279E+10	80.29	+9.0E-01	+1.504E+01	+3.496E+01
			+1.593E+10	100			

Resultaten 'Blum' voor mean value waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 7.85192281
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 47.2304272
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.6106424
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.18033951
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 48.323857
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -39.9706195

DESIGN POINT

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +1.3957635E+01 EPS = .1
 Gemiddelde van gelin. Z: = +3.5172791E+05
 Standaardafwijking van Z: = +8.4610281E+04
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +4.1572001E+00 abs(Bn - Bo) = 8.26362521E-05
 Faalkans: P(Z<=0) = +1.6118077E-05

	X(I)	mu(I)	sigma(I)	%inVAR	ALFA
Q	+1.1673212E+01	+1.0000E+01	+3.0000E+00	1.8	-1.3E-01
GD	+1.8220250E+01	+1.8000E+01	+2.0000E+00	.07	-2.6E-02
GN	+2.0426399E+01	+2.0000E+01	+2.0000E+00	.26	-5.1E-02
FI	+2.9967166E+01	+3.2420E+01	+2.0000E+00	8.7	+3.0E-01
Z(1)	-6.9146183E-01	-5.0000E-01	+2.0000E-01	5.3	+2.3E-01
Z(2)	+6.6496663E-01	+5.0000E-01	+2.0000E-01	3.94	-2.0E-01
Z(3)	+4.3528764E+00	+4.0000E+00	+3.0000E-01	8.01	-2.8E-01
SI	+2.6354454E+02	+2.8800E+02	+2.4000E+01	6.01	+2.5E-01
D	+3.3124810E+01	+5.0000E+01	+5.0000E+00	65.91	+8.1E-01

Resultaten 'Blum' voor design point waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 75.9386905
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 52.8781489
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.91674124
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 103.206951
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -13.8810945

DAMPRO

```

*****
*****          PROBABILISTISCHE          *****
*****          DAMWANDBEREKENING        *****
*****          GEBASEERD OP BLUM        *****
*****
    
```

BTF Z(Bb1) = si Wg - 0.1 Fa r2 MvdM / 7-1-1988

BASISVARIABLEN			GEM.	ST.AFW.
bovenbelasting	Q	(kN/m2)	10	3
volumegewicht droge grond	GD	(kN/m3)	18	2
volumegewicht natte grond	GN	(kN/m3)	20	2
hoek v. inwendige wrijving	FI	(gr)	32.42	2
coördinaat 0	Z(0)	(m)	-1	0
coördinaat 1	Z(1)	(m)	-.5	.2
coördinaat 2	Z(2)	(m)	.5	.2
coördinaat 3	Z(3)	(m)	4	.3
vloeispanning staal	SI	(N/mm2)	288	24
weerstandsmoment gording	WG	(mm3)	441895	44190

Resultaten Blum voor rekenwaarden voor de basisvariabelen fi en si en met gemiddelde waarden voor de overige basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE	Ld (m)	= 8.29985094
ANKERKRACHT	Fa (kN/m)	= 52.3727537
REACTIEKRACHT	Fc (kN/m)	= 98.4812476
ANKERMOMENT	Ma (kNm/m)	= -2.39860746
VELDMOMENT	Mv (kNm/m)	= 56.4798843
INKLEMMINGSMOMENT	Mi (kNm/m)	= -44.1557551

BTF Z(Bb1) = si Wq - 0.1 Fa r2 MvdM / 7-1-1988

MEAN VALUE

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +8.4758376E+07
 Gemiddelde van Z: = +8.4758376E+07
 Standaardafwijking van Z: = +1.8902320E+07
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +4.4840196E+00
 Faalkans: P(Z<=0) = +3.6658049E-06

	dZ/dX	dZ/dX*Sx	(dZ/dX*Sx)^2	%inVAR	ALFA	ALFA*BETA*Sx	X*nieuw
Q	-8.984E+05	-2.695E+06	+7.264E+12	2.03	-1.4E-01	-1.918E+00	+1.192E+01
GD	-4.173E+05	-8.345E+05	+6.964E+11	.19	-4.4E-02	-3.959E-01	+1.840E+01
GN	-1.836E+06	-3.672E+06	+1.348E+13	3.77	-1.9E-01	-1.742E+00	+2.174E+01
FI	-7.824E+05	-1.565E+06	+2.449E+12	.69	-8.3E-02	-7.424E-01	+3.316E+01
Z(1)	+6.154E+06	+1.231E+06	+1.515E+12	.42	+6.5E-02	+5.840E-02	-5.584E-01
Z(2)	-2.153E+07	-4.305E+06	+1.854E+13	5.19	-2.3E-01	-2.043E-01	+7.043E-01
Z(3)	-2.079E+07	-6.238E+06	+3.891E+13	10.89	-3.3E-01	-4.439E-01	+4.444E+00
SI	+4.419E+05	+1.061E+07	+1.125E+14	31.48	+5.6E-01	+6.038E+01	+2.276E+02
WG	+2.880E+02	+1.273E+07	+1.620E+14	45.33	+6.7E-01	+1.334E+05	+3.085E+05
			+3.573E+14	100			

Resultaten 'Blum' voor mean value waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 7.85192281
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 47.2304272
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 98.6106424
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -2.18033951
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 48.323857
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -39.9706195

DESIGN POINT

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = +2.5041563E+03 EPS = 10
 Gemiddelde van gelin. Z: = +8.3929304E+07
 Standaardafwijking van Z: = +1.8991841E+07
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = +4.4193614E+00 abs(Bn - Bo) = 6.23371452E-05
 Faalkans: P(Z<=0) = +4.9537790E-06

	X(I)	mu(I)	sigma(I)	%inVAR	ALFA
Q	+1.2495467E+01	+1.0000E+01	+3.0000E+00	3.54	-1.9E-01
GD	+1.8232498E+01	+1.8000E+01	+2.0000E+00	.07	-2.6E-02
GN	+2.1140483E+01	+2.0000E+01	+2.0000E+00	1.66	-1.3E-01
FI	+2.8971504E+01	+3.2420E+01	+2.0000E+00	15.22	+3.9E-01
Z(1)	-7.8445900E-01	-5.0000E-01	+2.0000E-01	10.36	+3.2E-01
Z(2)	+7.3170602E-01	+5.0000E-01	+2.0000E-01	6.87	-2.6E-01
Z(3)	+4.4700107E+00	+4.0000E+00	+3.0000E-01	12.57	-3.5E-01
SI	+2.4357402E+02	+2.8800E+02	+2.4000E+01	17.54	+4.2E-01
WG	+3.3114699E+05	+4.4190E+05	+4.4190E+04	32.16	+5.7E-01

Resultaten 'Blum' voor design point waarden basisvariabelen

TOTALE DAMWANDLENGTE Ld (m) = 8.29985094
 ANKERKRACHT Fa (kN/m) = 89.75583
 REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = 27.1481798
 ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = -3.35204943
 VELDMOMENT Mv (kNm/m) = 131.184336
 INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = -3.92785948

In tabel 1 zijn de uitvoergegevens vertaald naar de in de overige berekeningen gehanteerde stochasten.

stochast X(i)	$\mu(X(i))$	$\sigma(X(i))$	% in variantie		design point waarde	
			MV	DP		
q kN/m ² verwerkt in γ_d^{-3} en γ_n^{-3}					
γ_d kN/m ³	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	
	1					
	3	48,00	2,00	0,26	0,00	48,01
γ_n kN/m ³	1	20,00	2,00	58,20	75,30	13,60
	3	50,00	2,00	0,91	0,28	50,39
ϕ °	1	32,42	2,00	40,36	24,19	28,79
	3	32,42	2,00	0,00	0,00	32,40
z(1) m		-0,50	0,10	0,27	0,23	-0,52
z(2) m		0,50	0	nvt	nvt	nvt
z(3) m		4,00	0	nvt	nvt	nvt
Faalkans ($\cdot 10^{-4}$)				4,43	1,12	

Tabel 1. Uitvoer faalmechanisme Ca, terugvertaald naar stochasten en assenstelsel van het testprobleem

De belangrijkste stochasten zijn hier het gewicht van natte grond en de hoek van inwendige wrijving voor de onderste laag. Dit is verklaarbaar, doordat bij cohesieloze grond deze twee stochasten samen de wrijvings eigenschappen van de grond (dus de sterkte) bepalen.

GLOBPAR.PAS

```

*****
*****          GLIJVLAKBEREKENING          *****
*****          SIMPLIFIED BISHOP          *****
*****
  
```

Naam van de datafile: damprogl.dto

Laag nr.	H.v.inw.wr. (gr)		Cohesie (kN/m ²)		Gdg (kN/m ³)		Gng (kN/m ³)		Onderbegr. (m) in Y-coord
	gem.	St.	Gem.	St.	Gem.	St.	Gem.	St.	
1	32.42	2.00	0.00	0.00	18.00	2.00	20.00	2.00	-100.00
2	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	10.01	0.00	-3.50
3	32.42	2.00	0.00	0.00	48.00	2.00	50.00	2.00	0.00

```

+++++++
                X(m)                Y(m)                ++++++
                Gem. St.            Gem. St.
                Det.                Det.
Coördinaten geometrie dijklichaam .....
                -100.00 0.000        0.00 0.000
                   0.00 0.000        0.00 0.000
                   0.25 0.000        1.50 0.000
                100.00 0.000        1.50 0.000
Intreepunt freatische lijn .....
                10.00 0.00            1.00 0.10
Middelpuntenstramien .....
                punt linksonder      0.000        1.700
                punt rechtsboven     0.000        1.700
                stapgrootte          0.100        0.250
Straal glijcirkel .....
                rakend aan Y = 0 en verder met -60 stap(pen) verkleind en met
                60 stap(pen) vergroot; stapgrootte = 0.10 m.
                .....
  
```

```

*****
testprobleem dampro BTF Z = Mw/Ma - 1      ....      18-12-1987
*****
  
```

***** GLIJVLAKBEREKENING *****
 ***** SIMPLIFIED BISHOP *****

MEAN VALUE

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = 6.70399E-001
 Gemiddelde van Z: = 6.70399E-001
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = 3.32435E+000
 Faalkans: P(Z=0) = 4.43124E-004

	dZ/dX	dZdX*Sx	(dZdX*Sx) ²	%inVAR	ALFA	ALFA*BETA*Sx	X*nieuw
Fie(1)	3.670E+000	1.281E-001	1.642E-002	40.36	6.35E-001	7.373E-002	4.921E-001
Fie(3)	1.938E-002	6.763E-004	4.574E-007	0.00	3.35E-003	3.892E-004	5.654E-001
Gdg(1)	0.000E+000	0.000E+000	0.000E+000	0.00	0.00E+000	0.000E+000	1.800E+001
Gdg(3)	-5.17E-003	-1.03E-002	1.068E-004	0.26	-5.1E-002	-3.41E-001	4.834E+001
Gng(1)	7.692E-002	1.538E-001	2.367E-002	58.00	7.63E-001	5.072E+000	1.493E+001
Gng(3)	-9.59E-003	-1.92E-002	3.682E-004	0.91	-9.5E-002	-6.33E-001	5.063E+001
YcI(1)	-1.04E-001	-1.04E-002	1.079E-004	0.27	-5.1E-002	-1.71E-002	1.017E+000

4.067E-002 100.00

oo

DESIGN POINT

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = 0.00000E+000 Eps = 1.0E-006
 Gemiddelde van gelin. Z: = 6.18117E-001
 Betrouwbaarheidsindex: BETA = 3.68940E+000 Abs(Bn - Bo) = 4.5E-005
 Faalkans: P(Z=0) = 1.12390E-004

	Design Point	mu[i]	sigma[i]	Aandeel in var. (%)
Fie(1)	5.025002E-001	5.6584E-001	3.4907E-002	2.41862E+001
Fie(3)	5.655270E-001	5.6584E-001	3.4907E-002	5.74774E-004
Gdg(1)	1.800000E+001	1.8000E+001	2.0000E+000	0.00000E+000
Gdg(3)	4.800525E+001	4.8000E+001	2.0000E+000	5.06653E-005
Gng(1)	1.359696E+001	2.0000E+001	2.0000E+000	7.53009E+001
Gng(3)	5.038885E+001	5.0000E+001	2.0000E+000	2.77710E-001
YcI(1)	1.017870E+000	1.0000E+000	1.0000E-001	2.34603E-001

Naam van de invoerfile: damprogl.dto

 testprobleem dampro BTF Z = Mw/Md - 1 18-12-1987
 Rekenduur = 133.60

BIJLAGE III. LISTING PROGRAMMA DAMPRO

Het programma DAMPRO is een samenvoeging van het probabilistische (niveau II) programma PROB** en het programma BLUM.

De gebruikte programmeertaal is Applesoft II Basic, voor de micro-computer Apple IIe.

```
100 REM #####
110 REM #####          DAMPRO          #####
120 REM #####          probabilistische damwandberekening #####
130 REM #####          gebaseerd op de methode Blum          #####
140 REM #####          MT van der Meer / TU Delft / 8-1-1988 #####
150 REM #####
160 DIM ZZ(500),P(500)
170 D$ = CHR$(4): HOME
180 NZ$(1) = "Aal: Z = si Wd - Mm          "
190 NZ$(2) = "Ab : Z = Fc                  "
200 NZ$(3) = "Bal: Z = 1/4 pi d2 si - r Fa "
210 NZ$(4) = "Bbl: Z = si Wg - 0.1 Fa r2  "
220 PRINT "MT van der Meer ### TU Delft": PRINT
230 INVERSE : PRINT "          "
240 PRINT "          DAMPRO          ": PRINT "          "
250 PRINT " 'BLUM' MET PROBTt          ": PRINT "          ": NORMAL : PRINT
260 PRINT "KIES EEN FAALMECHANISME:": PRINT
270 FOR I = 1 TO 4: PRINT NZ$(I) " ... "I: NEXT
280 PRINT : INPUT "NUMMER: ";NZ
290 HOME : PRINT "Berekening volgens mechanisae "NZ: PRINT
300 PRINT NZ$(NZ): PRINT "-----": PRINT
310 PRINT "Eenheden: meters, kiloNewtons en graden.": PRINT
320 PRINT "Type GEMIDDELDE, STANDAARDAF."
330 PRINT :NO = 10:I4 = 0:LO = 0: IF NZ = 2 THEN NO = 8
340 I = 1: INPUT "BOVENBELASTING (kN/m2) Q ";M(1),S1(1)
350 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "Q "
360 I = 2: INPUT "DROOG VOL.GEW. (kN/m3) GD ";M(2),S1(2)
370 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "GD "
380 I = 3: INPUT "NAT VOL.GEWICHT (kN/m3) GN ";M(3),S1(3)
390 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "GN "
400 I = 4: INPUT "HOEK V.INW.WR. (gr) FI ";M(4),S1(4)
410 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "FI "
420 PRINT : PRINT "coordinaten ...": PRINT
430 I = 5: INPUT "          Z(0) (m)          ";M(5),S1(5)
440 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "Z(0) "
450 I = 6: INPUT "          Z(1) (m)          ";M(6),S1(6)
460 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "Z(1) "
470 I = 7: INPUT "          Z(2) (m)          ";M(7),S1(7)
480 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "Z(2) "
490 I = 8: INPUT "          Z(3) (m)          ";M(8),S1(8)
500 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "Z(3) "
510 PRINT : IF NZ = 2 THEN GOTO 640
520 I = 9: INPUT "VLOEISPANNING (N/mm2) SI ";M(9),S1(9)
530 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "SI "
540 IF NZ = 1 THEN GOTO 620
550 IF NZ = 3 THEN GOTO 590
560 I = 10: INPUT "WEERSTANDSMOMENT (mm3) WG ";M(10),S1(10)
570 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "WG "
580 GOTO 640
590 I = 10: INPUT "DIAMETER (mm) D ";M(10),S1(10)
600 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "D "
610 GOTO 640
620 I = 10: INPUT "WEERSTANDSMOMENT (mm3/m) WD ";M(10),S1(10)
630 IF S1(I) < > 0 THEN I4 = I4 + 1:I4(I4) = I:I4$(I4) = "WD "
640 PRINT : PRINT "EVENTUELE TEKST NU INTOETSEN": PRINT : INPUT TK$
```

```
650 FOR I = 1 TO NO:X0(I) = M(I): NEXT
660 REM .. rekenwaarden sterkteparameters ..
670 X0(4) = ATN ( TAN (X0(4) * ATN (1) / 45) / 1.1) * 45 / ATN (1)
680 X0(9) = M(9) - 2 * S1(9)
690 GOSUB 1230:L0 = LD
700 REM .. uitvoer gegevens en resultaten ontwerpberekening ..
710 PRINT D$ + "PR#1"
720 PRINT CHR$(14) " DAMPRO": PRINT
730 PRINT "*****"
740 PRINT "*****          PROBABILISTISCHE          *****"
750 PRINT "*****          DAMWANDBEREKENING          *****"
760 PRINT "*****          GEBASEERD OP BLUM          *****"
770 PRINT "*****"
780 PRINT : PRINT TK$: PRINT
790 PRINT : PRINT "BASISVARIABLEN" TAB(46) "GEM." TAB(13) "ST.AFW.": PRINT
800 PRINT "bovenbelasting          Q          (kN/m2) " TAB(6)M(1); TAB(15)S1(1)
810 PRINT "volumegegewicht droge grond GD (kN/m3) " TAB(6)M(2); TAB(15)S1(2)
820 PRINT "volumegegewicht natte grond GN (kN/m3) " TAB(6)M(3); TAB(15)S1(3)
830 PRINT "hoek v. inwendige wrijving FI (gr) " TAB(6)M(4); TAB(15)S1(4)
840 PRINT "coördinaat 0          Z(0) (m) " TAB(6)M(5); TAB(15)S1(5)
850 PRINT "coördinaat 1          Z(1) (m) " TAB(6)M(6); TAB(15)S1(6)
860 PRINT "coördinaat 2          Z(2) (m) " TAB(6)M(7); TAB(15)S1(7)
870 PRINT "coördinaat 3          Z(3) (m) " TAB(6)M(8); TAB(15)S1(8): IF NZ = 2 THEN GOTO 930
880 PRINT "vloeispanning staal SI (N/mm2) " TAB(6)M(9); TAB(15)S1(9): IF NZ = 1 THEN GOTO 910
890 IF NZ = 3 THEN GOTO 920
900 PRINT "weerstandsmoment gording WG (mm3/m) " TAB(6)M(10); TAB(15)S1(10): GOTO 930
910 PRINT "weerstandsmoment damwand WD (mm3/m) " TAB(6)M(10); TAB(15)S1(10): GOTO 930
920 PRINT "diameter ankerstang D (mm) " TAB(6)M(10); TAB(15)S1(10)
930 PRINT : IF NZ = 2 THEN PRINT "Resultaten Blum voor rekenwaarde voor de basisvariabele fi": GOTO 950
940 PRINT "Resultaten Blum voor rekenwaarden voor de basisvariabelen fi en si"
950 PRINT "en met gemiddelde waarden voor de overige basisvariabelen"
960 PRINT : GOSUB 2330: PRINT
970 PRINT "*****"
980 PRINT : PRINT D$ + "PR#0"
990 REM ++++++ PROB## ++++++
1000 FOR I = 1 TO NO:X0(I) = M(I): NEXT
1010 GOSUB 1230:M1 = Z
1020 I1 = 0:Z3 = 1E9:S0 = 1:TE = 0:B7 = 1E9
1030 Z2 = Z:S2 = 0
1040 FOR M = 1 TO NO: IF S1(M) = 0 THEN D1(M) = 0: GOTO 1080
1050 A1 = X0(M):D4 = S1(M) * .001:X0(M) = A1 + D4: GOSUB 1230
1060 X0(M) = A1
1070 D1(M) = (Z - Z2) / D4:A1(M) = D1(M) * S1(M):S2 = S2 + A1(M) * A1(M)
1080 NEXT M
1090 S2 = SQR (S2): GOSUB 1230: PRINT "Z = "Z;
1100 FOR I = 1 TO NO:A1(I) = A1(I) / S2: NEXT
1110 S3 = 0: FOR I = 1 TO NO:S3 = S3 + (M(I) - X0(I)) * D1(I): NEXT
1120 B6 = (Z + S3) / S2: PRINT TAB(21) "BETA = "B6
1130 IF I1 = 0 THEN GOSUB 2000:I1 = 1
1140 FOR I = 1 TO NO:X0(I) = M(I) - A1(I) * B6 * S1(I): NEXT
1150 SV = SGN (Z3 - Z2): IF SV = S0 THEN 1170
1160 TE = TE + 1:S0 = SV: IF TE = 5 THEN 1190
1170 B8 = ABS (B6 - B7): IF B8 < 1E - 4 THEN 1190
1180 Z3 = Z2: IF ABS (Z) > EP THEN B7 = B6: GOSUB 1230: GOTO 1030
1190 GOSUB 2000
1200 END
```

```

1210 REM ++++++ DAMWANDBEREKENING ++++++
1220 REM .. interface PROBT* - 'BLUM' ..
1230 Q = X0(1):GD = X0(2):GN = X0(3):FI = X0(4)
1240 Z(0) = X0(5):Z(1) = X0(6):Z(2) = X0(7):Z(3) = X0(8)
1250 SI = X0(9):WD = X0(10):D = X0(10):WG = X0(10)
1260 REM .. subroutine BLUM ..
1270 NK = 4:PH = FI * ATN (1) / 45:DA = 2 * PH / 3:DP = - DA
1280 LA = COS (PH) ^ 2 / (1 + SQRT ( SIN (PH + DA) * SIN (PH) / COS (DA))) ^ 2
1290 LP = COS (PH) ^ 2 / (1 - SQRT ( SIN (PH - DP) * SIN (PH) / COS (DP))) ^ 2
1300 GW(0,0) = 0:GN(0,0) = 0:L(0,0) = 0:GW(1,0) = 0:GN(1,0) = GD:L(1,0) = LA
1310 GW(0,1) = 0:GN(0,1) = 0:L(0,1) = 0:GW(1,1) = 10:GN(1,1) = GN:L(1,1) = LA
1320 GW(0,2) = 10:GN(0,2) = 10:L(0,2) = 0:GW(1,2) = 10:GN(1,2) = GN:L(1,2) = LA
1330 GW(0,3) = 10:GN(0,3) = GN:L(0,3) = LP:GW(1,3) = 10:GN(1,3) = GN:L(1,3) = LA
1340 REM -- BEREKENING VAN DE HORIZONTALE BELASTING --
1350 LR = (L(0,NK - 1) - L(1,NK - 1)) * (GN(0,NK - 1) - GN(0,NK - 1))
1360 G0 = 0:W0 = 0:G1 = 0:W1 = 0: FOR I = 1 TO NK - 1
1370 G0 = G0 + GN(0,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1)):G1 = G1 + GN(1,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1))
1380 W0 = W0 + GW(0,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1)):W1 = W1 + GW(1,I - 1) * (Z(I) - Z(I - 1))
1390 NEXT I:HC = W1 + L(1,NK - 1) * (G1 - W1):U = (HC - W0 - L(0,NK - 1) * (G0 - W0)) / LR
1400 Z(NK) = Z(NK - 1) + U:LL = Z(NK):G0 = 0:W0 = 0:G1 = 0:W1 = 0
1410 L = 0: FOR I = 0 TO NK - 1
1420 DZ = Z(I + 1) - Z(I):NS = INT (DZ / .05) + 1:DZ = DZ / NS
1430 ZZ(L) = Z(I) + DZ / 2
1440 G0 = G0 + GN(0,I) * DZ / 2:W0 = W0 + GW(0,I) * DZ / 2
1450 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ / 2:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ / 2
1460 P(L) = (W1 + L(1,I) * (G1 - W1) - W0 - L(0,I) * (G0 - W0)) * DZ
1470 L = L + 1: FOR J = 1 TO NS - 1
1480 ZZ(L) = ZZ(L - 1) + DZ
1490 G0 = G0 + GN(0,I) * DZ:W0 = W0 + GW(0,I) * DZ
1500 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ
1510 P(L) = (W1 + L(1,I) * (G1 - W1) - W0 - L(0,I) * (G0 - W0)) * DZ
1520 L = L + 1: NEXT J
1530 G0 = G0 + GN(0,I) * DZ / 2:W0 = W0 + GW(0,I) * DZ / 2
1540 G1 = G1 + GN(1,I) * DZ / 2:W1 = W1 + GW(1,I) * DZ / 2
1550 NEXT I:NP = L - 1
1560 REM -- BEREKENING VAN DE DAMWANDBLENGTE --
1570 P0 = 0:P1 = 0:P3 = 0
1580 FOR L = 0 TO NP:P0 = P0 + P(L):P1 = P1 + P(L) * ZZ(L)
1590 IF ZZ(L) > 0 THEN P3 = P3 + P(L) * ZZ(L) ^ 3
1600 NEXT L
1610 C1 = P1 * 6 / LR / LL ^ 3:C3 = P3 * 6 / LR / LL ^ 5
1620 K = 0:K0 = K: GOSUB 1960:K = 2:K1 = K: GOSUB 1960
1630 K = (K0 + K1) / 2: GOSUB 1960
1640 IF ABS (FK) < .0001 THEN GOTO 1670
1650 IF FK > 0 THEN K1 = K: GOTO 1630
1660 K0 = K: GOTO 1630
1670 X = K * LL:LD = LL - Z(0) + 1.2 * X
1680 IF L0 = 0 THEN GOTO 1730
1690 IF NZ < > 2 THEN GOTO 1710
1700 IF I1 = 1 THEN LD = L0:X = (LD + Z(0) - LL) / 1.2
1710 IF LD > L0 THEN LD = L0:X = (LD + Z(0) - LL) / 1.2
1720 REM -- BEREKENING ANKER- EN VASTHOUDKRACHT --
1730 FA = P0 - P1 / (LL + X) - LR * X ^ 3 / 6 / (LL + X)
1740 FC = .5 * LR * X ^ 2 + FA - P0

```

```
1750 REM -- BEREKENING VAN DE MOMENTEN (GEEN REDUCTIE) --
1760 L = 0:MA = 0
1770 IF ZZ(L) >= 0 THEN GOTO 1790
1780 MA = MA + P(L) * ZZ(L):L = L + 1: GOTO 1770
1790 L = 0:DD = FA
1800 DD = DD - P(L)
1810 IF DD < 0 THEN ZV = (ZZ(L - 1) + ZZ(L)) / 2:LV = L - 1: GOTO 1830
1820 L = L + 1: GOTO 1800
1830 MV = FA * ZV
1840 FOR L = 0 TO LV:MV = MV - P(L) * (ZV - ZZ(L)): NEXT
1850 ZI = LL + SQR ((PO - FA) * 2 / LR):MI = FA * ZI
1860 FOR L = 0 TO NP:MI = MI - P(L) * (ZI - ZZ(L)): NEXT
1870 MI = MI + LR / 6 * (ZI - LL) ^ 3
1880 MM = ABS (MA): IF ABS (MV) > MM THEN MM = ABS (MV)
1890 IF ABS (MI) > MM THEN MM = ABS (MI)
1900 IF NZ = 1 THEN Z = SI * WD / 1E6 - MM: GOTO 1940
1910 IF NZ = 2 THEN Z = FC: GOTO 1940
1920 IF NZ = 3 THEN Z = SI * D ^ 2 * ATN (1) - 3000 * FA: GOTO 1940
1930 Z = SI * WG - 1E5 * FA * 9
1940 RETURN
1950 REM -- SUBROUTINE BEPALING INHEIDIEPTE --
1960 FK = .8 * K ^ 5 + 2.5 * K ^ 4 + 2 * K ^ 3 - C1 * (1 + K) ^ 2 + C3
1970 RETURN
1980 REM ++++++
1990 REM ... faalkans bepalen ...
2000 KL = B6: IF KL < 0 THEN KL = - KL
2010 T = 1 / (1 + .2316419 * KL):G3 = .3989422 * EXP (- .5 * KL * KL) * (.31938153 * T - .356563782 *
  T ^ 2 + 1.781477937 * T ^ 3 - 1.821255978 * T ^ 4 + 1.330274429 * T ^ 5): IF B6 < 0 THEN G3 = 1 - G
  3
2020 REM ... uitvoer ...
2030 PRINT D$ + "PR#1": IF I1 = 1 THEN 2080
2040 PRINT "*****"
2050 PRINT : PRINT TK$: PRINT
2060 EP = INT ( LOG ( ABS (M1)) / LOG (10)) - 6:EP = 10 ^ EP
2070 PRINT CHR$ (14)"MEAN VALUE": GOTO 2090
2080 PRINT : PRINT CHR$ (14)"DESIGN POINT"
2090 PRINT : PRINT "Betrouwbaarheidsfunctie: Z = " : GE = Z:SN = 8: GOSUB 2410: PRINT GE$: IF I1 = 1 THEN
  PRINT " EPS = "EP: GOTO 2110
2100 PRINT : PRINT "Gemiddelde van Z: = " : GE = M1: GOSUB 2410: PRINT GE$: GOTO 2120
2110 PRINT "Gemiddelde van gelin. Z: = " : GE = S3: GOSUB 2410: PRINT GE$
2120 PRINT "Standaardafwijking van Z: = " : GE = S2: GOSUB 2410: PRINT GE$
2130 PRINT "Betrouwbaarheidsindex: BETA = " : GE = B6: GOSUB 2410: PRINT GE$: IF I1 = 0 THEN PRINT : GOTO
  2150
2140 PRINT " abs(Bn - Bo) = "BB
2150 PRINT "Faalkans: P(Z<=0) = " : GE = G3: GOSUB 2410: PRINT GE$: PRINT : IF I1 = 1 THEN 223
  0
2160 PRINT TAB( 11)"dZ/dX" TAB( 21)"dZ/dX*Sx" TAB( 30)"(dZ/dX*Sx)^2" TAB( 3)"ZinVAR" TAB( 11)"ALFA" TAB(
  17)"ALFA*BETA*Sx" TAB( 31)"X#nieuw": PRINT : W = 0
2170 FOR I = 1 TO I4:V9 = A1(I4(I)) ^ 2:W3 = SGN (D1(I4(I))) * SQR (V9):W4 = W3 * B6 * S1(I4(I)):W =
  W + V9:W5 = M(I4(I)) - W4
```

```
2180 PRINT I4$(I);:SN = 4:GE = D1(I4(I)): GOSUB 2410: PRINT TAB( 9)GE$;:GE = A1(I4(I)) * S2: GOSUB 241
0: PRINT TAB( 20)GE$;:GE = (A1(I4(I)) * S2) ^ 2: GOSUB 2410: PRINT TAB( 31)GE$;
2190 PRINT TAB( 3) INT (V9 * 10000 + .5) / 100;:GE = W3:SN = 2: GOSUB 2410: PRINT TAB( 9)GE$;:SN = 4:
GE = W4: GOSUB 2410: PRINT TAB( 18)GE$;:GE = W5: GOSUB 2410: PRINT TAB( 29)GE$: NEXT
2200 PRINT :GE = S2 ^ 2: GOSUB 2410: PRINT TAB( 31)GE$; TAB( 3) INT (10000 * W + .5) / 100
2210 PRINT : PRINT "Resultaten 'Blum' voor mean value waarden basisvariabelen"
2220 PRINT : GOSUB 2330: PRINT : GOTO 2300
2230 PRINT : PRINT TAB( 16)"X(I)" TAB( 31)"mu(I)" TAB( 42)"sigma(I)" TAB( 16)"ZinVAR" TAB( 32)"ALFA": PRINT

2240 FOR I = 1 TO I4:V9 = A1(I4(I)) ^ 2:W3 = SGN (D1(I4(I))) * SQR (V9)
2250 PRINT I4$(I);:SN = 8:GE = X0(I4(I)): GOSUB 2410: PRINT TAB( 10)GE$;:SN = 5:GE = M(I4(I)): GOSUB 2
410: PRINT TAB( 27)GE$;:GE = S1(I4(I)): GOSUB 2410: PRINT TAB( 41)GE$;
2260 PRINT TAB( 16) INT (V9 * 10000 + .5) / 100;:GE = W3:SN = 2: GOSUB 2410: PRINT TAB( 30)GE$: NEXT
: PRINT
2270 PRINT "Resultaten 'Blum' voor design point waarden basisvariabelen"
2280 PRINT : GOSUB 2330
2290 PRINT : PRINT "*****"
2300 PRINT D$ + "PR#0"
2310 RETURN
2320 REM ... afdrukken resultaten damwandberekening .....
2330 PRINT "TOTALE DAMWANDELENGTE Ld (m) = "LD
2340 PRINT "ANKERKRACHT Fa (kN/m) = "FA
2350 PRINT "REACTIEKRACHT Fc (kN/m) = "FC
2360 PRINT "ANKERMOMENT Ma (kNm/m) = "MA
2370 PRINT "VELDMOMENT Mv (kNm/m) = "MV
2380 PRINT "INKLEMMINGSMOMENT Mi (kNm/m) = "MI
2390 RETURN
2400 REM ... formattingssubroutine (vgl. PRINT USING) ...
2410 IF SN = 0 THEN SN = 4
2420 QQ = 0:VV$ = "": IF GE = 0 THEN GE$ = "+0.": FOR II = 1 TO SN - 1:GE$ = GE$ + "0": NEXT :GE$ = GE$ +
"E+00": IF SN = 1 THEN GE$ = "+0E+00"
2430 IF GE = 0 THEN RETURN
2440 WW$ = "+":ZZ$ = "+": IF GE < > ABS (GE) THEN GE = - GE:WW$ = "-"
2450 IF GE > = 10 THEN GE = GE / 10:QQ = QQ + 1: GOTO 2450
2460 IF GE > = 1 THEN 2490
2470 ZZ$ = "-"
2480 GE = GE * 10:QQ = QQ + 1: IF GE < 1 THEN 2480
2490 GE = INT (GE * 10 ^ (SN - 1) + .5) / 10 ^ (SN - 1):GE$ = LEFT$ ( STR$ (GE),SN + 1): IF VAL (GE$)
= 10 THEN GE$ = "1":QQ = QQ - 1: IF ZZ$ = "+" THEN QQ = QQ + 2
2500 IF SN + 1 = LEN (GE$) THEN 2540
2510 FOR II = SN TO LEN (GE$) STEP - 1: IF LEN (GE$) = 1 THEN 2530
2520 VV$ = VV$ + "0": NEXT : GOTO 2540
2530 VV$ = ".": FOR II = 1 TO SN - 1:VV$ = VV$ + "0": NEXT
2540 VV$ = VV$ + "E"
2550 IF QQ < 10 THEN ZZ$ = ZZ$ + "0"
2560 IF SN = 1 THEN VV$ = "E":GE$ = LEFT$ (GE$,1)
2570 GE$ = WW$ + GE$ + VV$ + ZZ$ + STR$ (QQ): RETURN
```