

# LEIDRAAD TOETSEN OP VEILIGHEID REGIONALE WATERKERINGEN



**BIJLAGEN**

2015  
15

## **INHOUDSOPGAVE**

BIJLAGE 1 RAAMWERK PARTIELE VEILIGHEIDSFACTOREN REGIONALE KERENGEN

BIJLAGE 2 AFLEIDING SCHEMATISERINGSFACTOR

BIJLAGE 3 RESTBREEDTE BENADERING STABILITEIT BINNENWAARTS

BIJLAGE 4 RESTBREEDTE BENADERING STABILITEIT BUITENWAARTS

BIJLAGE 5 GOLFHOOGTEN EN GOLFOVERSLAGHOOGTEN

BIJLAGE 6 BEOORDELING BOMEN

BIJLAGE 7 MATRIX WAARNEMINGEN BEHEERDERSOORDEEL DIJKEN

BIJLAGE 8 MATRIX WAARNEMINGEN BEHEERDERSOORDEEL WATERKERENDE KUNSTWERKEN

BIJLAGE 9 KEUZE MAATGEVENDE WIND

BIJLAGE 10 BEOORDELING ONGEDRAINEERDE STABILITEIT VOLGENS CSSM - MODEL

# Bijlage 1 Harmoniseren partiële veiligheidsfactoren voor het toetsen van boezemkade

## 1. Inleiding

Binnen het STOWA ontwikkelingstraject BORK wordt het instrumentarium voor de toetsing op veiligheid van regionale waterkeringen geëvalueerd. Doel ervan is het uitvoeren van benodigde aanpassingen aan nieuwe ontwikkelingen en het vaststellen van nog ontbrekende (partiële) veiligheidsfactoren voor toetsingsanalyses.

De bestaande toets-regels zijn vastgelegd in de LTVR<sup>1</sup> en het bijbehorende addendum voor boezemkaden<sup>2</sup>. De onderbouwing van veiligheidsfactoren voor stabiliteitstoetsing is vastgelegd in het Stowa-rapport Materiaalfactoren voor Boezemkaden<sup>3</sup>. Gaandeweg ontwikkelingen die plaatsvinden in het kader van het toekomstig toets-instrumentarium voor primaire waterkeringen (WTI 2017), vindt ook oriëntatie plaats m.b.t. de doorwerking van die ontwikkelingen in het toets-instrumentarium voor regionale waterkeringen, waarbij de nadruk ligt op (mogelijk verschil in) toe te passen (partiële) veiligheidsfactoren. Eerste inventarisaties zijn uitgevoerd door Fugro en Arcadis<sup>4 5 6</sup>. Doel van het onderzoeksprogramma BORK is (o.a.) om hier invulling voor te zoeken. De ontbrekende veiligheidsfactoren hebben grotendeels betrekking op grondmechanische faalmechanismen. Doel van deze notitie is om zo goed mogelijk vast te leggen welke uitgangspunten en methoden hierbij gehanteerd kunnen worden. Dit om bij de beoogde invulling een zo groot mogelijke onderlinge consistentie van de veiligheidsaanpak ten behoeve van regionale waterkeringen te krijgen, alsmede ook consistentie met de veiligheidsaanpak voor primaire waterkeringen.

Voor het vaststellen van voor de (grondmechanische) toetsing van regionale waterkeringen te gebruiken veiligheidsfilosofie en veiligheidsfactoren is het dus wenselijk zoveel mogelijk aan te sluiten op de systematiek voor het afleiden van toe te passen partiële veiligheidsfactoren, die ook voor primaire waterkeringen is gebruikt<sup>7</sup>. Deze wordt overigens momenteel herzien, in verband met de aanstaande wijziging van beveiligingsnormen (zowel maatlat als maat) voor primaire waterkeringen; deze herziening wordt uitgewerkt in het ontwikkelingsprogramma WTI-2017 (Wettelijk Toets Instrumentarium 2017). Hoe dit instrumentarium er in hoofdlijnen uit gaat zien is wel bekend, maar de uitwerking is nog in volle gang. Om die reden kunnen we in deze notitie nog niet het WTI-2017 als formele referentie gebruiken. Duidelijk is al wel dat de filosofie, althans v.w.b. het afleiden en vaststellen van veiligheidsfactoren, in het WTI-2017 op hoofdlijnen niet essentieel zal afwijken van de filosofie die ten grondslag ligt aan nu vigerende veiligheidsfactoren voor primaire waterkeringen. Een aanpak voor regionale waterkeringen die zo veel mogelijk consistent is met de vigerende aanpak voor primaire waterkeringen zal daarom vermoedelijk niet inconsistent kunnen met het WTI-2017. Voor regionale waterkeringen zullen we er ons vooralsnog wel bij neer moeten leggen dat de voor primaire waterkeringen beoogde graad van perfectie van onderbouwing van het toets-gereedschap niet haalbaar zal zijn. Dit niet alleen vanwege de beschikbare tijd en middelen, maar ook vanwege het feit dat beschikbare gegevens globaler van aard zijn.

Opgemerkt wordt dat wanneer er onevenwichtigheden in de bestaande toets-regels en criteria blijken, die zeker niet direct hoeven te leiden tot directe aanpassingen. Praktisch gezien is het niet erg wenselijk om lopende de toetsingsronde de toets-criteria te wijzigen. Wel bestaat de mogelijkheid om bij afkeuringen op basis van, volgens het filosofisch kader, te strenge criteria opnieuw te toetsen aan

*1 Leidraad Toetsen op Veiligheid van Regionale Waterkeringen (LTVR). Stowa ORK 2007-02.*

*2 Addendum op de LTVR betreffende boezemkaden (ALTVRB), Stowa 2010-22*

*3 Materiaalfactoren Boezemkaden (MB). Stowa ORK 2009-05*

*4 Arcadis spreadsheet BORK-02-06 Overzichten te toetsen faalmechanismen, belastingsituaties en (ontbrekende) veiligheidsfactoren, dec 2011.*

*5 Memo Fugro Bork-03-04 Piping, dec 2011.*

*6 Memo Arcadis Bork-05-04a Schematiseringsfactor (concept) (feb 2013)*

*7 Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (AddTRWG). ENW 2007.*

de hand van correctere criteria, bijvoorbeeld bij geavanceerde toetsingen. Dit voorkomt afkeuringen die technisch gezien onterecht zijn. Anderzijds zou uiteraard ook kunnen blijken dat een bepaald toets-criterium evident onvoldoende streng is. Dat zou kunnen leiden tot goedkeuringen die technisch gezien niet terecht of niet verstandig zijn. Op kortere of langere termijn zal dit toch leiden tot aanpassing van dat toets-criterium. In elk geval is er dan een signaal om de vinger aan de pols te houden.

## **2. Uitgangspunten veiligheidsfilosofie op hoofdlijnen**

Uitgangspunt voor het afleiden van veiligheidsfactoren voor het toetsen (en ontwerpen) van waterkeringen is een toelaatbaar geachte doorbraakkans van de waterkering, die door-vertaald moet worden naar toelaatbare kansen op het optreden van de verschillende potentiële faalmechanismen die doorbraak kunnen initiëren.

### **2.1 Primaire waterkeringen**

Voor primaire waterkeringen zijn de toelaatbaar geachte doorbraakkansen gerelateerd aan de in de wet vastgelegde beveiligingsniveaus. Momenteel zijn die geformuleerd in termen van overschrijdingskansnormen voor de hydraulische belastingen die de waterkering veilig moet kunnen keren. In de nabije toekomst worden die (naar verwachting <sup>8</sup>) geformuleerd in termen van toelaatbare overstromingskansen, gebaseerd op economisch schaderisico en slachtofferrisico als gevolg van overstroming. Bij het opstellen van nieuwe toets-regels en –criteria voor de primaire waterkeringen (WTI 2017) wordt hierop geanticipeerd.

Bij het afleiden van materiaalfactoren in het verleden, bijvoorbeeld voor controle op macrostabiliteit van dijken en controle op het mechanisme opbarsten en piping, maar ook voor belasting- en sterktefactoren bij het beoordelen van de veiligheid van waterkerende kunstwerken <sup>9</sup>, is als uitgangspunt gekozen dat de toelaatbare faalkans voor een beschouwd faalmechanisme kan worden uitgedrukt als fractie van de overschrijdingskansnorm.

Om de filosofie te schetsen gaan we uit van de toekomstige situatie waarbij toelaatbare overstromingskansen voor een door een dijkringdeel (dit kan de volledige dijkring zijn) beschermd gebied zijn vastgesteld. In de filosofie maakt het voor wat de gevolgen niet substantieel uit door welk faalmechanisme een doorbraak wordt geïnitieerd en waar binnen een dijkringdeel zo'n doorbraak plaats vindt. De toelaatbare overstromingskans wordt verdeeld over:

1. Voor zover relevant: de verschillende typen waterkeringen binnen het dijkringdeel (dijken, duinen, kunstwerken);
2. Per type: de verschillende faalmechanismen die doorbraak kunnen initiëren. Dit geeft de toelaatbare faalkansruimte per potentieel faalmechanisme;
3. Per potentieel faalmechanisme, voor zover relevant: de lengte binnen het dijkringdeel, waar het faalmechanisme een rol speelt. Dit geeft de toelaatbare faalkans per faalmechanisme per dwarsdoorsnede (in feite korte strekking) van de waterkering.

De laatste verdeling wordt doorgaans uniform over de lengte gekozen, waarbij al dan niet impliciet rekening gehouden wordt met “sterke” en “zwakke” plekken. In het laatste geval wordt in feite verondersteld dat de “zwakke” plekken uniform verdeeld zijn over de lengte. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het bepalen van de toelaatbare faalkansen als gevolg van afschuiven van het binnentalud in het AddTRWG. Merk overigens op dat de toelaatbare faalkans op afschuiven in dit document niet gerelateerd is aan een toelaatbare overstromingskans, maar direct aan toelaatbare overschrijdingskans voor hydraulische belasting.

*8 Een formeel besluit is hier nog niet over genomen.*

*9 Leidraad Kunstwerken (LK), 2003*

Een volledig rationele “toedeling” van faalkansruimte aan de verschillende typen waterkering en de verschillende faalmechanismen die daarbij een rol spelen, ook wel de faalkansbegroting genoemd, zou moeten berusten op economische optimalisatie. Dit is echter een uiterst ingewikkeld probleem. Zou die voor een nieuw te bouwen dijkkringdeel nog wel behapbaar lijken, de praktijk is dat we te maken hebben met historisch gegroeide bestaande dijkkringdelen/dijkkringen. De toedeling, zoals die nu gehanteerd wordt in het WTI-ontwikkelingsproject, is daarom veeleer gebaseerd op ingenieursgevoel, ondersteund door verdelingen, die gevonden zijn bij het onderzoek “Veiligheid Nederland in Kaart”. In het verleden gehanteerde toedelingen zijn o.a. ingegeven door (min of meer arbitraire) faalkansbegrotingen in de verschillende leidraden en technische rapporten.

De toelaatbare faalkansen per faalmechanisme en per dwarsdoorsnede vormen het uitgangspunt bij het afleiden van partiële veiligheidsfactoren.

## 2.2 Boezemkaden

Beveiligingsnormen voor boezemkaden zijn geformuleerd in termen van veiligheidsklassen volgens de zogenaamde kadeklasse-indeling die door het IPO<sup>10</sup> is vastgesteld, de zogenaamde IPO-normen. Deze kadeklassen-indeling is gebaseerd op economische binnendijkse schades bij overstroming. Tevens zijn schade aan het boezemsysteem na een doorbraak, normen voor primaire waterkeringen en voor wateroverlast, RO-aspecten en consequenties van (kade)verbeteringen meegewogen bij de totstandkoming van de kadeklassen-indeling. De indeling in kadeklassen, en de onderbouwing ervan, is bedoeld als relatieve differentiatie in toets- en ontwerpeisen, waarbij “gemiddeld” (IPO III) wordt aangesloten op in het verleden gebruikelijke werkwijze.

De veiligheidseisen zijn, net als nu nog bij primaire waterkeringen, geformuleerd in termen van toelaatbare overschrijdingskansen van hydraulische belastingen waarop boezemkaden dienen te zijn berekend. Deze norm-overschrijdingskansen zijn 1/10, 1/30, 1/100, 1/300 en 1/1000 (kansen per jaar) voor de IPO klassen I, II, III, IV en V.

In het rapport “Materiaalfactoren Boezemkaden” (MB, zie voetnoot 3) zijn de toelaatbare doorbraakkansen van boezemkaden gerelateerd aan deze overschrijdingskansen (normfrequenties), namelijk 0,20 keer de overschrijdingskans. Tevens is een “faalkansbegroting” gegeven, om die doorbraakkans toe te delen aan faalmechanismen voor kadebreuk, t.w. 80% aan macro-instabiliteit van het binnentalud, 10% aan overloop/golfoverslag en 10% aan “overige” faalmechanismen. Bij de berekening van materiaal- en schadefactoren voor macrostabiliteitscontrole van de boezemkaden is er van uitgegaan dat lengte-effecten geen rol spelen.

De resulterende toelaatbare kansen op kadebreuk (0,2 x normfrequentie) zijn in Tabel 2.1 weergegeven, inclusief de met deze faalkansen corresponderende vereiste betrouwbaarheidsindices.

**Tabel 2.1: Kadeklassen, norm-frequenties hydraulische belasting, toelaatbare doorbraakkansen (c.f. MB), en hiermee corresponderende vereiste (“target”) betrouwbaarheidsindices, βT.**

Kadeklasse	I	II	III	IV	V
Normfreq. [1/jr]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1000
Pdoorbr, toel [1/jr]	2,0 10 <sup>-2</sup>	6,7 10 <sup>-3</sup>	2,0 10 <sup>-3</sup>	6,7 10 <sup>-4</sup>	2,0 10 <sup>-4</sup>
β T	2,05	2,47	2,88	3,21	3,54

De factor 0,2 tussen toelaatbare doorbraakkansen en normfrequentie is een keuze die niet haaks staat op de werkwijze die bij primaire waterkeringen wordt toegepast. Bij de verdeling van de beschikbare toelaatbare faalkans over potentiële faalmechanismen is een grote post gereserveerd voor macro-instabiliteit van het binnentalud. De rechtvaardiging is dat dit potentiële faalmechanisme in belangrijke mate bepalend is voor de benodigde afmetingen van de boezemkade (gegeven de benodigde hoogte, die door het peilbeheer wordt bepaald).

<sup>10</sup> Inter Provinciaal Overlegorgaan, zie o.a. voetnoot 3.

Daarnaast geldt dat te keren waterstanden door boezemkaden in het algemeen dicht bij de normfrequentie waterstanden liggen; hierdoor kan het gedrag bij optreden van die waterstand redelijk goed ingeschat worden (“bewezen sterkte”). In Tabel 2.2. zijn de toelaatbare faalkansen en overeenkomstige betrouwbaarheidsindices weergegeven voor het faalmechanisme macro-instabiliteit (afschuiven) van het binnentalud.

**Tabel 2.2: Kadeklassen, norm-frequenties hydraulische belasting, toelaatbare doorbraakkansen (c.f. MB) a.g.v. macro-instabiliteit, en hiermee corresponderende vereiste (“target”) betrouwbaarheidsindices,  $\beta T$ .**

Kadeklasse	I	II	III	IV	V
Normfreq. [1/jr]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1000
Pdoorbr, toel [1/jr]	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
$\beta T$	2,14	2,55	2,95	3,27	3,60

Het vertalen van toelaatbare faalkansen per mechanisme naar toelaatbare kansen op macroinstabiliteit per dwarsdoorsnede van de kade gebeurt in het rapport “Materiaalfactoren boezemkaden” op impliciete wijze. Uitgangspunt daarbij is dat de combinatie van partiële veiligheidsfactoren voor de kadeklasse III qua verkregen veiligheid ruwweg overeenkomt met de traditionele aanpak voor boezemkaden. De kadeklasse-indeling is destijds (eind jaren negentig) oorspronkelijk bedoeld om differentiatie van veiligheidseisen voor stabiliteit van boezemkaden op te zetten, waarbij gemiddeld (klasse III) aangesloten wordt op de traditionele TRTB-aanpak<sup>11</sup>, waarin geen differentiatie was opgenomen. Bij de bespreking van partiële veiligheidsfactoren in hoofdstuk 4 komen we nader op Tabel 2.2 terug.

### 2.3 Regionale rivieren

Het beveiligingsniveau voor waterkeringen langs regionale rivieren wordt doorgaans ook uitgedrukt in termen van hydraulische belasting met een bepaalde overschrijdingskans per jaar, waarop de waterkeringen berekend moeten zijn. De grootte van deze overschrijdingskans is formeel niet wettelijk, maar lijkt ook anderszins niet bestuurlijk vastgelegd.

Een in het verleden toegepaste benadering was om de minst strenge beveiligingsnorm voor primaire rivierdijken aan te houden, dus berekend op hydraulische belastingen met overschrijdingskans van 1/1250 per jaar.

In de Stowa richtlijn<sup>12</sup> Normering Keringen langs Regionale Rivieren is een methode voor het vaststellen van de beveiligingsmaat (in termen van de overschrijdingskans van te keren waterstand). Uitgangspunt voor die methode is het schatten van het schaderisico, bij een aangenomen doorbraak binnen een strekking van de regionale waterkering, bij verschillende waterstanden. De schatting van de materiële schade is gebaseerd op 1) een eenvoudige analyse van overstromingsomvang (gebiedsgrootte en overstromingsdiepten) bij doorbraak en 2) schatting van de materiële schade met behulp van de SS-module<sup>13</sup>, die ontwikkeld is in het kader van de studie Veiligheid Nederland in Kaart (VNK). Het hieruit volgende schaderisico wordt vergeleken met de schaderisico’s die de grondslag vormen voor de IPO-normen. Op deze wijze wordt de (beschouwde strekking van de) regionale rivierdijk ingedeeld, conform de IPO-kadeklassen.

Deze aanpak is elegant vanwege de toegankelijkheid en de beschikbaarheid van informatie in landelijke databases (i.e. details op rijks-coördinaten en op postcode-niveau).

De benadering maakt het in beginsel ook mogelijk om te komen tot rationeel onderbouwde strengere beveiligingsnormen, op locaties waar doorbraak een groter schade- en slachtofferrisico met zich

<sup>11</sup> TAW Technisch rapport voor het toetsen van boezemkaden (TRTB), 1993

<sup>12</sup> Stowa ORK 2008-04. Richtlijn Normering Keringen langs Regionale Rivieren (NKRR)

<sup>13</sup> Schade en Slachtoffer module

meebrengt dan elders, die boven de IPO-normen uit gaan. Dit geldt overigens zowel voor waterkeringen langs regionale rivieren als voor boezemkaden.

### 3. Raamwerk voor afleiden van semi-probabilistische (partiële) veiligheidsfactoren

#### 3.1 LFRD aanpak

Het werken met partiële veiligheidsfactoren wordt ook wel de LFRD- aanpak (Load and Resistance Factor Design) genoemd. In de Nederlandse ontwerpvoorschriften voor bouw en waterbouw is voor deze aanpak gekozen. Deze methode lag al ten grondslag aan de vroegere ontwerpvoorschriften (de NEN- serie) en was ook al, in een wat aangepaste vorm, uitgangspunt bij de TAW- ontwerpkeuzes (o.a. LOR1<sup>14</sup> en LOR2<sup>15</sup>). Uitgangspunt is een faalmechanisme beschrijving in termen van sterkte, R (resistance), van een constructie (of constructieonderdeel) en belasting (of belastingeffect), S (solicitation), op de constructie (of het constructieonderdeel). Beide kunnen in beginsel onzekere grootheden zijn. Falen wordt geïdentificeerd als de gebeurtenis dat (op enig tijdstip) de belasting groter is dan de sterkte. De veiligheid van een ontwerp wordt gerealiseerd door de eis dat een veilige ondergrensschatting van de sterkte gelijk moet zijn aan of groter dan een veilige bovengrensschatting van de belasting. Die veilige schattingen van de onder- en bovengrens worden ontwerpwaarden genoemd (ook wel rekenwaarden). Deze worden aangegeven met S<sub>d</sub> en R<sub>d</sub>.

De ontwerpwaarden S<sub>d</sub> en R<sub>d</sub> worden gevonden door karakteristieke waarden (vroeger ook wel aangeduid als representatieve waarden) voor belasting en sterkte, S<sub>kar</sub> en R<sub>kar</sub>, te vermenigvuldigen respectievelijk te delen door een partiële veiligheidsfactor voor de belasting, de belastingfactor γ<sub>S</sub>, en een partiële veiligheidsfactor voor de sterkte, de sterktefactor γ<sub>R</sub>. Het criterium voor toetsen van de veiligheid van een bestaande constructie of het ontwerp van een nieuw te bouwen constructie is daarmee:

$$S_d = \gamma_S S_{kar} \leq R_d = \frac{R_{kar}}{\gamma_R} \quad (3.1)$$

Over de wijze waarop representatieve waarden en belasting- en sterktefactor dienen te worden bepaald spreekt de Eurocode zich niet bindend uit; dit wordt geregeld in de zogenaamde Nationale Annexen. Veelal wordt voor de karakteristieke sterkte de sterkte gekozen die in werkelijkheid met slechts kleine kans (5%) wordt overschreden. Voor de karakteristieke belasting kan de belasting gekozen worden die met slechts een kleine kans wordt overschreden. Dit kan een kans zijn van 5%, maar bij tijdsafhankelijke belastingen worden ook vaak andere overschrijdingskansen gebruikt. Bijvoorbeeld hydraulische belastingen bij waterkeringen: daarbij wordt uitgegaan van belastingniveaus die met kans 1/1250 ... 1/10.000 per jaar worden overschreden. Hoe dan ook, de grootte van de benodigde partiële veiligheidsfactoren belasting en sterkte hangen sterk samen met de keuzen voor de karakteristieke waarde.

Ingeval de belasting en sterkte een functie zijn van meerdere parameters, dan zijn er in principe verschillende mogelijkheden. Stel even dat de belasting geschreven kan worden als een functie van belastingparameters S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>m</sub> en de sterkte als functie van sterkteparameters R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>n</sub>. De voor het LFRD- format meest consequente benadering is dan: Dit is in de praktijk vaak niet de meest handige vorm. Ten eerste omdat dan met veel verschillende

$$S_d = S(\gamma_{S_1} S_{1, kar}, \gamma_{S_2} S_{2, kar}, \dots, \gamma_{S_n} S_{n, kar}) \leq R_d = R\left(\frac{R_{1, kar}}{\gamma_{R_1}}, \frac{R_{2, kar}}{\gamma_{R_2}}, \dots, \frac{R_{n, kar}}{\gamma_{R_n}}\right) \quad (3.2)$$

<sup>14</sup> TAW Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 1 (LOR1), 1985

<sup>15</sup> TAW Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 2 (LOR2), 1989

partiële veiligheidsfactoren moet worden gewerkt. En ten tweede, omdat het werken met karakteristieke waarden voor de belasting en sterkteparameters (met zeg 5% over en onderschrijdingskans) ertoe kan leiden dat benodigde partiële veiligheidsfactoren kleiner (en soms veel kleiner) dan 1 moeten zijn. Theoretisch is dat geen groot bezwaar, maar veiligheidsfactoren kleiner dan 1 worden doorgaans niet geassocieerd met “veiligheid”. Er zijn verschillende mogelijkheden om de kans op benodigde partiële veiligheidsfactoren kleiner dan 1 te vermijden:

- 1) In de formule (3.2) wordt voor slechts een deel van de belasting- respectievelijk sterkteparameters gewerkt met karakteristieke waarden met kleine overschrijdings- respectievelijk onderschrijdingskans. Bijvoorbeeld de parameters met de meeste invloed. Voor de overige parameters wordt gewerkt gemiddelden (verwachtingswaarden).
- 2) Voor de Skar respectievelijk Rkar in vgl. (3.1), waarbij S en R van meerdere variabelen afhankelijk zijn worden karakteristieke waarden met de gewenste over- of onderschrijdingskansen afgeleid uit de formules van deze factoren en de gemiddelden en spreidingen van de parameters die een rol spelen in die formules.

De LRFD-aanpak laat veel keuzevrijheid toe voor de concrete invulling van het format van een faalmechismecontrole. Afhankelijk van het type faalmechisme, en het hiervoor gebruikte rekenmodel, kan een geëigende invulling worden gekozen.

### 3.2 Probabilistisch onderbouwde partiële veiligheidsfactoren

#### 3.2.1 Betrouwbaarheidseis

Uitgangspunt bij het afleiden van partiële veiligheidsfactoren is een veiligheidseis in termen van toelaatbare faalkans (kans op het optreden van een specifiek faalmechisme) of, equivalent, een vereiste betrouwbaarheidsindex. Deze eisen hebben betrekking op een dwarsdoorsnede van de waterkering en op het beschouwde faalmechisme en zijn op een of andere wijze gerelateerd aan een beveiligingsnorm, zoals besproken in hoofdstuk 2.

De toelaatbare faalkans en vereiste betrouwbaarheidsindex noteren we als  $P_{f,m_i,d_{sn},toel}$  en  $\beta_{m_i,d_{sn},eis}$ . In de subscripts staat f voor falen,  $m_i$  voor het beschouwde faalmechisme ( $m_1 \dots m_n$ ),  $d_{sn}$  voor dwarsdoorsnede van de waterkering,  $toel$  voor toelaatbaar en  $eis$  voor vereist. De relatie tussen de twee is:

$$P_{f,m_i,d_{sn},toel} = \Phi(-\beta_{m_i,d_{sn},eis}) \Leftrightarrow \beta_{m_i,d_{sn},eis} = -\Phi^{-1}(P_{f,m_i,d_{sn},toel}) \quad (3.3)$$

#### 3.2.2 Achtergrond en definitie

Het idee achter semi-probabilistische partiële veiligheidsfactoren is gebaseerd op de wijze van berekenen van faalkansen met behulp van probabilistische faalkansanalyses. Deze analyses leveren namelijk naast de betrouwbaarheidsindex  $\beta$  en dus de faalkans  $\Phi(-\beta)$ , ook, als “bijproduct”, de zogenaamde ontwerpwaarden voor de stochastische variabelen die een rol spelen en de invloedscoëfficiënten van die variabelen. Een invloedscoëfficiënt die hoort bij een stochastische variabele in de faalkansanalyse is een maat voor de invloed op de faalkans. Het is een relatieve maat, de som van de kwadraten van de invloedscoëfficiënten is gelijk aan 1. Deze coëfficiënten geven we hier aan met symbool  $\alpha$ , dus  $\alpha_{Ri}$  voor sterkteparameters en  $\alpha_{Si}$  voor belastingparameters. De eerste hebben een positieve en de laatste een negatieve waarde.

De ontwerpwaarden geven we aan met  $R_i^*$  en  $S_j^*$ . De relatie tussen betrouwbaarheidsindex ontwerpwaarde en invloedscoëfficiënt is als volgt: De ontwerpwaarde  $R_i^*$  is die waarde van de stochastische variabele  $R_i$ , die met een kans  $\Phi(-\alpha_{Ri} \beta)$  wordt overschreden. Omdat de



invloedscoëfficiënt positief is, is de kans  $\Phi(-\alpha R_i \beta)$  klein. De ontwerppuntwaarde  $S_j^*$  is die waarde van de stochastische variabele  $S_j$ , die met kans  $\Phi(-\alpha S_j \beta)$  wordt onderschreden (en dus met kans  $\Phi(\alpha S_j \beta)$  wordt overschreden). Omdat de invloedscoëfficiënt negatief is, is de onderschrijdingskans  $\Phi(-\alpha S_j \beta)$  groot en dus de overschrijdingskans  $\Phi(\alpha S_j \beta)$  klein.

De interpretatie is als volgt. Met een semi-probabilistische rekenregel wordt een betrouwbaarheidsniveau van  $\beta$  gerealiseerd, wanneer de rekenwaarden voor de sterkteparameters onderschrijdingskansen hebben van (ten hoogste)  $\Phi(-\alpha R_i \beta)$  en de rekenwaarden voor de belastingparameters overschrijdingskansen van (ten hoogste)  $\Phi(\alpha S_j \beta)$ .

De benodigde partiële veiligheidsfactoren op sterkteparameters  $R_i$ , en belastingen  $S_j$ , kunnen daarom bepaald met behulp van de volgende formules:

$$\gamma_{R_i} = \frac{R_{i, kar}}{R_i^*} = \frac{F_{R_i}^{-1}(p_{R_i, kar})}{F_{R_i}^{-1}(\Phi(-\beta_T \alpha_{R_i}))} \quad (3.4)$$

en

$$\gamma_{S_j} = \frac{S_j^*}{S_{j, kar}} = \frac{F_{S_j}^{-1}(\Phi(-\beta_T \alpha_{S_j}))}{F_{S_j}^{-1}(1 - p_{S_j, kar})} \quad (3.5)$$

Hierin is  $\beta_T$  de beoogde betrouwbaarheidseis ( $\beta_T = \beta_{mi, dsn, eis}$ , T staat voor target) die gerealiseerd wordt met de partiële factoren op de sterkte en de belasting,  $\gamma_{R_i}$  en  $\gamma_{S_j}$ . In de vergelijkingen zijn verder  $R_i^*$  en  $S_j^*$  de zogenaamde ontwerppuntwaarden (of ontwerpwaarden) en  $R_{i, kar}$  en  $S_{j, kar}$  de karakteristieke waarden voor  $R_i$  respectievelijk  $S_j$ . De karakteristieke waarde  $R_{i, kar}$  is de waarde van  $R_i$  die met kans  $p_{R_i, kar}$  wordt onderschreden en de karakteristieke waarde  $S_{j, kar}$  is de waarde van  $S_j$  die met kans  $p_{S_j, kar}$  wordt overschreden. Vaak worden  $p_{R_i, kar}$  en  $p_{S_j, kar}$  gelijk aan 0,05 gekozen, maar andere keuzen zijn mogelijk. De  $F_{R_i}^{-1}(\cdot)$  en  $F_{S_j}^{-1}(\cdot)$  zijn de geïnverteerde cumulatieve kansverdelingsfuncties van  $R_i$  en  $S_j$ .

Wanneer de sterkte of belastingparameters normaal verdeeld zijn en voor de karakteristieke waarden de 5% ondergrens (sterkte) en 95% bovengrens (belastingen) worden de formules (3.4) en (3.5):

$$\gamma_{R_i} = \frac{1 - 1,645 V_{R_i}}{1 - \beta_T \alpha_{R_i} V_{R_i}} \quad (3.6)$$

en

$$\gamma_{S_j} = \frac{1 - \beta_T \alpha_{S_j} V_{S_j}}{1 + 1,645 V_{S_j}} \quad (3.7)$$

Een ander veel gebruikt verdelingstype is de lognormale verdeling. In dat geval luiden de uitdrukkingen (3.6) en (3.7) respectievelijk:

$$\gamma_{R_i} = e^{\{(\alpha_{R_i} \beta_T - 1,645) \sqrt{\ln(1+V_{R_i}^2)}\}} \quad (3.8)$$

en

$$\gamma_{S_j} = e^{\{(-\alpha_{S_j} \beta_T - 1,645) \sqrt{\ln(1+V_{S_j}^2)}\}} \quad (3.9)$$

Hierin zijn  $V_{R_i}$  en  $V_{S_j}$  relatieve spreidingen (variatiëcoëfficiënten) van  $R_i$  en  $S_j$ .

Gemakkelijk kan worden nagegaan dat de uitdrukkingen in (3.8) respectievelijk (3.9) voor  $V_{R_i} \ll 1$  en voor  $V_{S_j} \ll 1$  over te voeren zijn in de uitdrukkingen in (3.6) respectievelijk (3.7). Dit is een gevolg van het feit dat een lognormale kansverdeling met een kleine variatiëcoëfficiënt zich gedraagt als normale kansverdeling.

Belangrijk is om op te merken dat partiële veiligheidsfactoren altijd in combinatie gezien moeten worden met de keuze van karakteristieke waarden van sterkte- of belastingparameters, waarop die veiligheidsfactoren moeten worden toegepast. Wordt, bijvoorbeeld, als karakteristieke waarden gekozen voor de verwachtingswaarde (gemiddelde) van de sterkteparameter, dan luiden de uitdrukkingen (3.6) en (3.8):

$$\gamma_{R_i} = \frac{1}{1 - \beta_T \alpha_{R_i} V_{R_i}} \quad \text{en} \quad \gamma_{R_i} = e^{\{\alpha_{R_i} \beta_T \sqrt{\ln(1+V_{R_i}^2)}\}} \quad (3.10)$$

Voor sterkteparameters is, echter, de 5% ondergrens gebruikelijk in toets- en ontwerpcodes (waaronder de Eurocode en ENW-leidraden). Voor tijdsafhankelijke belastingen wordt in veel gevallen de karakteristieke waarde vastgelegd met een overschrijdingskans  $p_{s_j}$ ,  $k_{ar}$  die kleiner is dan 0,05. Bijvoorbeeld, in de Eurocode is dat de waarde die in verwachting één keer gedurende de geplande levensduur optreedt; dat wil dus zeggen de waarde die met kans 1/50 of 1/100 per jaar wordt overschreden. En bij waterkeringen wordt voor de hydraulische belastingen uitgegaan van karakteristieke waarden die overschrijdingskansen (per jaar) hebben, die gelijk zijn aan de normfrequenties. Vaak wordt hierbij de toepassing van een belastingfactor achterwege gelaten (behalve in de LK), zie par. 3.2.3.

Het probleem bij het afleiden van geschikte partiële veiligheidsfactoren is dat niet altijd goede schattingen van de te gebruiken invloedscoëfficiënten beschikbaar zijn. In een probabilistische berekening variëren die van geval tot geval, en er zullen dus uiteindelijk veilige keuzes moeten worden gemaakt, die ook weer niet te conservatief mogen zijn. De hiermee afgeleide semiprobabilistische rekenregels moeten in beginsel voor alle toepassingssituaties het beoogd betrouwbaarheidsniveau  $\beta_T$  realiseren. Enig conservatisme is daardoor onvermijdbaar.

### 3.2.3 Belastingfactoren hydraulische belastingen

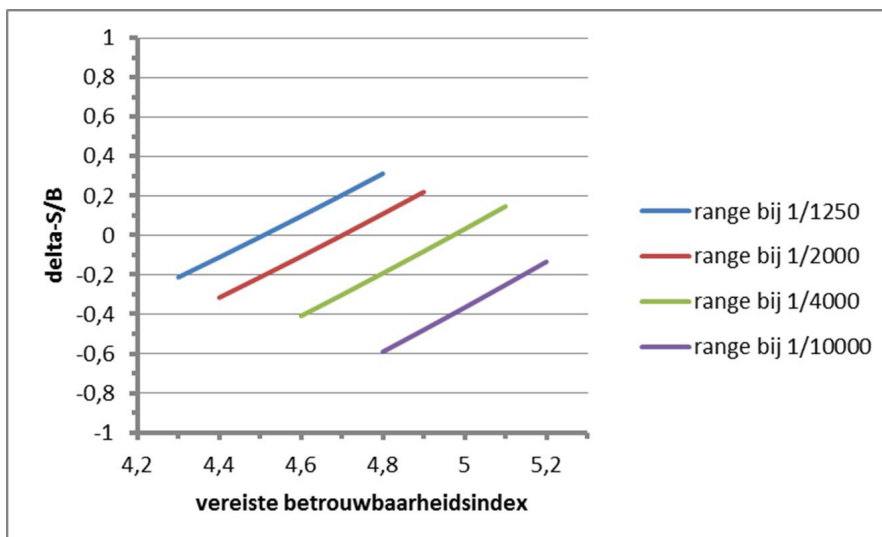
In Nederlandse richtlijnen voor primaire waterkeringen wordt, voor hydraulische belastingen, gewerkt met overschrijdingskansen van de karakteristieke belastingen van 1/1250 tot 1/10.000 per jaar (gelijk aan de beveiligingsnormen). Om hierbij de belastingfactoren te bepalen moeten we teruggrijpen op vgl. (3.5). Passen we die toe op een kansverdeling van vervalbelastingen, die wordt beschreven met behulp van de veel gebruikte Gumbelverdeling voor rivierwaterstanden, dan wordt de uitdrukking voor de belastingfactor:

$$\gamma_{S_j} = \frac{u - B \log(\Phi(\alpha_{S_j} \beta_T) - h_b)}{u - B \log(norm) - h_b} = \frac{1 - \frac{B}{u} \log(\Phi(\alpha_{S_j} \beta_T))}{1 - \frac{B}{u'} \log(norm)} \quad (3.11)$$

Hierin zijn  $u$  en  $B$  de liggingsparameter en de decimeringshoogte van de Gumbel kansverdeling voor de rivierwaterstanden,  $h_b$  de binnenwaterstand (die hier als deterministische grootte is aangenomen) en  $norm$  de overschrijdingskans volgens de beveiligingsnorm. De “ $\log()$ ” is de gewone logaritme (gebaseerd op het grondtal 10). In het tweede deel van het rechterlid is  $u' = u - h_b$ , dit is dus de liggingsparameter van de Gumbel verdeelde vervalbelasting. Het quotiënt  $B/u'$  reflecteert een soort relatieve spreiding, min of meer vergelijkbaar met de variatiecoëfficiënt  $V_{S_j}$  in de uitdrukkingen (3.7) en (3.9). Merk de analogie tussen het uiterste rechterlid van vgl. (3.11) en vgl. (3.7) op (en realiseer je daarbij dat de logaritmes in teller en noemer negatief zijn).

De belastingfactor volgens vgl. (3.11) wordt toegepast op vervalbelastingen in de ENW-Leidraad Kunstwerken<sup>16</sup>. In de ENW leidraden voor groene dijken wordt deze belastingfactor genegeerd. Dat heeft een historische achtergrond. In de leidraden voor dijken werd er vanouds van uit gegaan dat de ontwerpwaarde van de waterstand gelijk is aan de waterstand met de overschrijdingskans gelijk aan  $norm$ . Bij latere initiatieven om toets-voorschriften en ontwerprichtlijnen probabilistisch te onderbouwen is vooral gekeken naar partiële veiligheidsfactoren aan de sterktekant. Daarbij werd impliciet aangenomen dat de probabilistische onderbouwing weinig invloed zou hebben op de ontwerpwaarde van de hydraulische belasting. Dat was ook wel zo praktisch, omdat het niet als wenselijk werd gezien om bij de verschillende toets-sporen (faalmechismecontroles) met verschillende ontwerpwaarden van de hydraulische belasting te werken.

Om te kijken of die impliciete aanname klopt, kunnen we kijken naar het verschil tussen teller en noemer van het (eerste) rechterlid van vgl. (3.11). Dit is namelijk het verschil tussen de werkelijke ontwerpwaarde (in een probabilistische analyse) van de waterstand en de waterstand met overschrijdingskans gelijk aan  $norm$ . Dit verschil noemen we  $\Delta S_j$  en dat delen we door de decimeringshoogte  $B$ . In figuur 3.1 zijn berekende waarden van  $\Delta S_j/B$  uitgezet als functie van de vereiste betrouwbaarheidsindex, voor de verschillende huidige wettelijke beveiligingsniveaus. Bij de berekening is voor  $\alpha_{S_j}$  de ISO gestandaardiseerde waarde van -0,7 gekozen (zie par. 3.2.4).



**Figuur 3.1:** Verschillen  $\Delta S_j / B$  als functie van vereiste betrouwbaarheidsindex  $\beta_T$ , bij de vigerende beveiligingsnormen voor rivier-, zee- en meerdijken

<sup>16</sup> Leidraad Kunstwerken (2003)

In figuur 3.1 zien we dat het verschil tussen probabilistische ontwerpwaarde van de waterstand en de ontwerpwaarde volgens de beveiligingsnorm inderdaad niet zo erg groot is (minder dan een halve decimeringshoogte). Voor een faalmechanisme als macro-instabiliteit, dat relatief weinig gevoelig is voor de buitenwaterstand, is de norm-waterstand een goede maat voor de probabilistische ontwerpwaarde. Echter voor faalmechanismen die erg gevoelig zijn voor de buitenwaterstand, en wanneer de decimeringshoogte niet klein is, verdient het toch aanbeveling de effecten op een of andere wijze in de toets- of ontwerpregel te verdisconteren. In de Leidraad Kunstwerken wordt om die reden de belastingfactor op vervalbelastingen op constructie-elementen wel meegenomen (verdisconteerd in de veiligheidsfactor op de sterkte).

### 3.2.4 Partiële factoren o.b.v. ISO-gestandaardiseerde invloedscoëfficiënten

De ISO-gestandaardiseerde invloedscoëfficiënten zijn door het ISO geadviseerde veilige waarden voor aan te houden invloedscoëfficiënten in de formules (3.4) t/m (3.11). In tabel 3.1 zijn deze waarden gegeven. Binnen de ENW (v/h TAW) leidraden en technische rapporten wordt deze tabel o.a. in de Leidraad Kunstwerken gebruikt.

**Tabel 3.1: ISO-gestandaardiseerde invloedscoëfficiënten**

$X_j$	$\alpha_j$
Dominating resistance parameter	0,8
Other resistance parameters	$0,4 \times 0,8 = 0,32$
Dominating load parameter	-0,7
Other load parameters	$-0,4 \times 0,7 = -0,28$
NOTE — The principle of standardized $\alpha$ -values was already present in ISO 2394: 1986, annex B, where the same $\alpha$ -values as in table E.3 were proposed.	

De tabel maakt onderscheid in dominante en subdominante sterkte- en belastingparameters. Wanneer op voorhand niet duidelijk welke van de sterkte- en belastingparameters dominant zijn, moeten voor de verschillende parameters partiële factoren worden afgeleid voor het geval ze dominant zijn en voor het geval ze subdominant zijn. Het toets- en ontwerpvoorschrift moet dan zodanig zijn opgezet dat per geval onderzocht welke aanname t.a.v. dominante sterkte- en belastingparameters (en dus ook het subdominant zijn van de overige sterkte- en belastingparameters) maatgevend is.

### 3.2.5 Partiële factoren o.b.v. kalibratiecriterium

Bij het ontwikkelen van het WTI-2017 wordt van deze aanpak gebruik gemaakt. Ook hierbij gelden de formules (3.4) t/m (3.11). De invloedscoëfficiënten worden echter niet ontleend aan de ISO-tabel, maar aan probabilistische betrouwbaarheidsanalyses van een test-set van realistische en representatieve cases. Met representatief bedoelen we dat de cases in de test-set goed vergelijkbaar moeten zijn met de constructies, waarvoor de af te leiden set partiële veiligheidsfactoren bedoeld is. De gang van zaken hierbij is als volgt.

**Stap 1:** Voor elke case in de test-set wordt een probabilistische betrouwbaarheidsanalyse uitgevoerd. Hieruit volgen voor elke case de berekende invloedscoëfficiënten van de verschillende sterkte- en belastingparameters.

Een eerste controle die moet worden uitgevoerd is of de berekende faalkansen (en daarmee geassocieerde betrouwbaarheidsindices) binnen de range vallen die praktisch interessant is. Voor de betrouwbaarheidsindices is die range, enigszins arbitrair,  $\beta=2,5$  à 6. Kleinere of groter  $\beta$ 's zijn praktisch niet interessant. Voor cases die buiten deze range vallen kan men ervoor kiezen ze weg te laten uit de test-set (als die voldoende groot is). Of deze cases zodanig qua beïnvloedbare constructiedimensies aan te passen, dat ze wel binnen de  $\beta$ -range vallen, maar tevens ook nog wel representatief blijven. Als dat laatste niet het geval is moet de case alsnog uit de test-set verwijderd worden. Voor deze aangepaste cases wordt de probabilistische betrouwbaarheidsanalyse opnieuw uitgevoerd. representatief blijven. Als dat laatste niet het geval is moet de case alsnog uit de test-set verwijderd worden. Voor deze aangepaste cases wordt de probabilistische betrouwbaarheidsanalyse opnieuw uitgevoerd.

<sup>17</sup> ISO 2394, International Standards Organization, 1986

**Stap 2:** Uit de probabilistische betrouwbaarheidsanalyses volgen voor elk van de cases en voor elk van de sterkte- en belastingparameters invloedscoëfficiënten. Per sterkte- en belastingparameter is dus een rij invloedscoëfficiënten beschikbaar. Aan de hand van die rijen kunnen we “representatieve” invloedscoëfficiënten kiezen. Dat wil zeggen, waarden van de invloedscoëfficiënt voor de betreffende sterkte of belastingparameter die veilig genoeg lijken. Bijvoorbeeld de 75% kwantielen.

Met deze representatieve invloedscoëfficiënten kunnen we partiële factoren berekenen met de formules (3.6) t/m (3.11), voor zover van toepassing. Als dit handiger of praktischer is, kunnen we werken met toelaatbare onder- of overschrijdingskansen van sterkte of belasting, zoals gebruikt in de noemer van het uiterste rechterlid van vgl. (3.4) en de teller van vgl. (3.5). Die keuze hangt af van het format voor het veiligheidsvoorschrift dat voor ogen staat. We hoeven immers niet alles te gieten in de vorm veiligheidsfactoren.

**Stap 4:** Aan de hand van dit veiligheidsvoorschrift kunnen we de cases in de test-set zodanig hervormen, via aanpassen van constructiedimensies, dat voldaan wordt aan dit veiligheidsvoorschrift. Daarmee genereren we dus eigenlijk een nieuwe set testcases.

**Stap 5:** Met behulp van probabilistische betrouwbaarheidsanalyse van deze nieuwe set kunnen we faalkansen en ermee corresponderende betrouwbaarheidsindices van de cases in de test-set berekenen. Die zullen niet noodzakelijk één op één overeenkomen met de toelaatbare faalkans  $\Phi(-\beta T)$ , respectievelijk de vereiste betrouwbaarheidsindex  $\beta T$ .

Als kalibratiecriterium kunnen we bijvoorbeeld eisen dat de berekende faalkansen voor de aangepaste cases in de test-set in gemiddelde voldoen aan de beoogde faalkans  $\Phi(-\beta T)$ .

Dit kalibratiecriterium is in constructiewereld niet ongebruikelijk. De gedachte hierachter is dat de faalkans van een constructie een samenstel is van faalkansen van onderdelen en dat in constructies vaak zoveel redundantie zit. Wanneer onderdelen niet strikt voldoen aan de faalkanseis, kan toch de constructie als geheel hier wel aan voldoen.

Bij waterkeringen geldt iets soortgelijks. De betrouwbaarheidseis geldt feitelijk voor een lange dijkstrekking. De dwarsdoorsneden (die feitelijk korte onderdelen van de lange dijkstrekking zijn) dragen alle bij aan de faalkans van de dijkstrekking. Als de bijdragen van de dwarsdoorsneden gemiddelde voldoen aan de faalkanseis voor een dwarsdoorsnede, dan is de faalkans voor de gehele strekking niet groter dan de toelaatbare faalkans voor de strekking.

Echter, in beginsel is men vrij om een strenger kalibratiecriterium te kiezen (bijv. 80% van de test-set moet voldoen aan de toelaatbare faalkans voor een dwarsdoorsnede). Dit leidt in principe wel tot onnodig strenge toets- of ontwerpregels.

**Stap 6:** Indien niet voldaan wordt aan het kalibratiecriterium moeten, bij onacceptabel grote afwijkingen, de partiële veiligheidsfactoren naar boven of beneden bijgesteld worden, waarna de stappen 4 en 5 opnieuw uitgevoerd worden.

Er zijn overigens geen vaste richtlijnen voor wat als een onacceptabel grote afwijking beschouwd moet worden. Denkbaar is grote afwijkingen in conservatieve zin, dus wanneer de gemiddelde faalkans van de test-set kleiner is dan de “target-faalkans”, wel acceptabel is, maar een even grote afwijking in de andere richting niet. Immers, wanneer de gemiddelde faalkans van de test-set, zeg, een factor 3 groter is dan de target-faalkans, dan is de toets- of ontwerpregel, gebaseerd op de set partiële veiligheidsfactoren, ook gevoelsmatig, onvoldoende veilig. Wanneer daarentegen de target-faalkans, zeg, een factor 3 groter is dan gemiddelde faalkans van de test-set, dan is er vanuit de veiligheid gezien geen probleem. Maar het zou dan op grond van economische overwegingen gewenst kunnen zijn de set partiële veiligheidsfactoren bij te stellen. Daarbij speelt echter de vraag, of de economische winst van zo’n bijstelling voldoende substantieel is, en/of de vraag of het wel verstandig is om alle “vet” weg te snijden. M.a.w. de overwegingen zijn hierbij niet alleen technisch.

### 3.3 Omgaan met schematiseringsonzekerheden

Onder schematiseringen voor een grondmechanische faalmechanismecontrole worden verstaan, de gekozen opbouw van de ondergrond, de veronderstelde geohydrologische respons systematiek in de waterkering en in de ondergrond ervan, of andere gekozen schematiseringen, zoals de aangenomen effectiviteit van

voorzieningen voor beheersing van waterspanningsontwikkeling, bijvoorbeeld het blijvend werken van drainages. Onzekerheden over die aannamen zijn niet, of slechts moeizaam, te modelleren als enkelvoudige stochastische variabelen. De onzekerheidsafdekking via partiële veiligheidsfactoren, zoals in par. 3.2.1 t/m 3.2.5, ligt hiervoor dus niet direct voor de hand.

In afgelopen jaren, sinds het uitkomen van de Leidraad Rivieren en het hiermee samenhangende Addendum TRWG<sup>18</sup> is een theorie ontwikkeld om met deze onzekerheden om te gaan. Deze is beschreven in het TRGS.

Kern van de theorie is dat in beginsel, op basis van de beschikbare informatie, veelal verschillende schematiseringen mogelijk zijn. In de grondmechanische adviespraktijk is dat vanouds een gegeven. Het kiezen van de schematisering waarmee de faalmechanismecontroles werden uitgevoerd, hield altijd een (impliciete) afweging tussen veiligheid en economie in. De meest conservatieve schematisering is wel een veilige keuze, maar als die slechts met een zeer kleine kans de werkelijkheid representeert, zal dat tot dure over-dimensionering leiden. Bij minder conservatieve schematiseringen is het risico dat die niet tot de gewenste veiligheid leiden. Met de schematiseringstheorie in het TRGS kan worden nagegaan of een gekozen schematisering een voldoende veilig uitgangspunt voor de berekeningen is, en of nog verdiscontering nodig is (via een schematiseringsfactor) van het feit dat in beginsel de werkelijkheid ongunstiger kan zijn, zij het met kleine kans, dan de gekozen schematisering. Daarmee wordt voorkomen dat niet aan de vereiste veiligheid wordt voldaan, maar tegelijkertijd dat een onnodig conservatieve schematiseringskeuze wordt gemaakt.

De schematiseringstheorie en de Excel spreadsheets, om schematiseringsfactoren te bepalen, zijn ook toepasbaar bij controles op macro-instabiliteit van taluds, en op opbarsten en piping bij regionale waterkeringen en boezemkaden.

De tabellen met schematiseringsfactoren in hoofdstuk 3 van het TRGS zijn afgestemd op vereiste veiligheidsniveaus voor primaire waterkeringen. Mogelijk zijn deze tabellen ook direct bruikbaar voor regionale waterkeringen en boezemkaden, maar dit moet nader worden geverifieerd. Zo niet dan zijn aanpassingen nodig.

De aanpak is, zoals gezegd, uitgewerkt voor de faalmechanismen macro-instabiliteit, en opbarsten en piping bij dijken. In beginsel kunnen schematiseringsonzekerheden ook een rol spelen bij andere potentiële faalmechanismen. Voor een uniforme aanpak zou het wenselijk zijn verdiscontering van schematiseringsonzekerheid op soortgelijke wijze uit te werken, Het lijkt echter verstandig om hiervoor de ontwikkelingen t.b.v. primaire waterkeringen af te wachten.

### **3.4 Reductie invloedscoëfficiënten i.v.m. model- en schematiseringsonzekerheid**

Bij het bepalen van de invloedscoëfficiënten van sterkte- en belastingparameters, zoals besproken in par. 3.2, wordt geen rekening gehouden met de effecten van schematiseringsonzekerheid.

<sup>18</sup> Addendum TRWG (2007) referentie

Een onderbouwde theoretische benadering voor het kwantificeren van het effect van schematiseringsonzekerheid op de invloedscoëfficiënten van sterkte- en belastingparameters is niet beschikbaar. In de achtergrondrapportage t.b.v. het Addendum bij het TRWG is hiervoor een pragmatische keuze gemaakt.

De schematiseringsonzekerheden vormen een bijdrage aan het totaal van de onzekerheden en zouden, als ze wel als stochastische variabele gemodelleerd zouden zijn, een deel van de theoretisch beschikbare ruimte voor  $\Sigma\alpha^2$  (totaal 1) opsouperen. In dat geval zouden de overige  $\alpha^2$ -en voor de andere stochastische variabelen wat kleiner zijn. Bij de afleiding van materiaal/ en schadefactoren t.b.v. het Addendum TRWG is er van uitgegaan dat de som van de kwadraten van de invloedscoëfficiënten van de schuifsterkteparameters sluit op 0,8. Dat houdt in dat impliciet aangenomen is dat de som van de kwadraten van de invloedscoëfficiënten van andere stochastisch gemodelleerde grootheden (rekenmodelonzekerheid en schematiseringsonzekerheid) op 0,20 sluit. Dit is, voor de afleiding van de materiaalfactoren (inclusief schadefactoren) vermoedelijk een conservatieve aanname.

Dit betekent overigens niet dat voor de afleiding van modelfactoren en procedure voor de bepaling van de schematiseringsfactor impliciet uitgegaan is van een optimistisch uitgangspunt. Immers, daarbij spelen invloedscoëfficiënten geen enkele rol.

## 4. Uitwerking voor specifieke faalmechanismen

### 4.1 Macro-Instabiliteit binnentalud

#### 4.1.1 Primaire dijken

In de Leidraad Rivieren (LR) en het bijbehorende AddTRWG is, evenals dat in voorgaande Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken het geval was, een iets anders opgezet format gebruikt voor het controleren van de macro- stabiliteit van dijktaaluds.

Aan de belasting kant (hydraulische belasting en verkeersbelasting) wordt uitgegaan van voorgeschreven ontwerpwaarden (de maatgevende hoogwaterstand, de in rekening te brengen verkeersbelasting). Belastingfactoren zijn hierbij niet aan de orde, omdat onzekerheden over belastingparameters al voldoende verdisconteerd (geacht) zijn in de voorgeschreven ontwerpwaarden in het voorschrift.

Toepassing van de LRFD- aanpak bij geotechnische analyses is in de oude TAW- leidraden beperkt gebleven tot de faalmechanismen analyse “macro-instabiliteit” (= afschuiven van het binnen of buitentalud van een dijk) en (in mindere mate) “piping”. Ook in het TRWG (inclusief het Addendum) is dit nog steeds het geval. Voor controle op andere faalmechanismen, zoals micro- instabiliteit, zettingsvloeiing, enz., werd en wordt nog steeds uitgegaan van het “overall veiligheidsfactor” format.

De partiële veiligheidsfactoren voor schuifsterkte van grond (de effectieve cohesies  $c'$  en de tangenten van de hoek van inwendige wrijving,  $\tan(\phi')$  in de onderscheiden grondlagen), zijn zowel in de oude leidraden als in het Add TRWG, vanwege praktisch gebruiksgemak, opgesplitst in zogenaamde (basis)materiaalfactoren ( $\gamma_m$ ,  $c'$  en  $\gamma_m$ ,  $\tan(\phi')$ ) en schadefactoren ( $\gamma_n$ ). Benadrukt zij dat deze twee factoren onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn.

De mate van stabiliteit van een dijktaalud wordt uitgedrukt in een stabiliteitsfactor,  $F$ . Deze is afhankelijk van de gekozen schematisering van de dijk en de ondergrond, externe (hydraulische) belastingen op de dijk, althans de hieraan gerelateerde (grond)waterspanningen, volume-gewichten en schuifsterkteparameters van de grond in de verschillende grondlagen, en het gekozen rekenmodel. Het toets-criterium voor macrostabiliteit is:

$$F_d = F(c'_d, \tan(\phi')_d; S) \geq \gamma_d \gamma_n \gamma_b \quad (4.1)$$

<sup>19</sup> Achtergrondrapportage t.b.v. het Addendum TRWG, referentie

<sup>20</sup> TAW Leidraad Rivieren (LR), [www.enwinfol.nl](http://www.enwinfol.nl)

Hierin zijn  $\gamma_d$  de modelonzekerheidsfactor en  $\gamma_b$  de schematiseringsfactor (zie later in deze paragraaf). De tweede term van vgl. (4.1) is een symbolische notatie voor F als functie van de rekenwaarden van de effectieve cohesie en tangens van de hoek van inwendige wrijving in de onderscheiden grondlagen, uitgaande van de schematisering, S, die de gekozen schematisering van de (onder)grondopbouw en de vertaling van de ontwerpwaarde van de waterstand H\* naar water(over)spanningen in de grond reflecteert. De rekenwaarden voor cohesie en tangens van de hoek van inwendige wrijving worden berekend als:

$$c'_d = \frac{c'_{kar}}{\gamma_{m,c'}} \quad \text{en} \quad \tan(\phi')_d = \frac{\tan(\phi'_{kar})}{\gamma_{m \tan(\phi')}} \quad (4.2)$$

Hierin zijn  $c'_{kar}$  en  $\tan(\phi')_{kar}$  de karakteristieke (veilige ondergrens) waarden voor de cohesie en de tangens van de hoek van inwendige wrijving. Bij waterkering worden deze schuifsterkteparameters doorgaans ontleend aan (lokale of regionale) proevenverzamelingen en worden hieruit 5% karakteristieke ondergrenzen voor de laaggemiddelden op een locatie afgeleid.

#### **Basismateriaalfactoren en schadefactor:**

De voor het ontwerpen van rivierdijken voorgeschreven materiaalfactoren  $\gamma_m$ ,  $c'$  en  $\gamma_m$ ,  $\tan(\phi')$  zijn, voor verschillende grondsoorten (zand, veen en klei) weergegeven tabel 5.3.1. van het Addendum bij het TRWG. Deze materiaalfactoren zijn afgeleid met behulp van probabilistische analyses van de stabiliteit van dijktraluds, waarbij uitgegaan is van toelaatbaar geachte kansen op macro-instabiliteit die gerelateerd zijn aan de beveiligingsnorm voor het dijkringgebied waar de dijk onderdeel van is. De bijbehorende schadefactor wordt berekend met de in het Addendum gegeven formule:

$$\gamma_n = 1 + 0.13(\beta_{eis} - 4) \quad (4.3)$$

waarin  $\beta_{eis}$  de vereiste betrouwbaarheidsindex is die behoort bij de toelaatbare kans op macro-instabiliteit. Aan vgl. (4.3) zien we dat de (basis)materiaalfactoren horen bij een basisbetrouwbaarheidsniveau  $\beta = 4$  en dat de schadefactor het verschil tussen dit betrouwbaarheidsniveau en een hogere of lagere feitelijke betrouwbaarheidseis verdisconteert.

De probabilistische onderbouwing van de (basis)materiaalfactoren en schadefactoren is beschreven het achtergrondrapport bij het AddTRWG<sup>21</sup>. In beginsel is daarbij uitgegaan van de ISO-gestandaardiseerde invloedscoëfficiënten, echter met reductie conform par. 3.4.

#### **Let op:**

De keuze van de knip bij  $\beta = 4$ , om de  $\beta$ -afhankelijke materiaalfactoren op te splitsen basismateriaalfactoren en schadefactoren is ingegeven door het idee de basismateriaalfactoren zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de (toenmalig vigerende) NEN6700. In principe had die knip bij andere  $\beta$ -niveaus gekozen kunnen worden; dat had dan uiteraard geresulteerd in andere basismateriaalfactoren en een andere uitdrukking voor de schadefactor dan vgl. (4.3). Bij het ontwikkelen van partiële factoren in het kader van het nieuwe wettelijke toets-instrumentarium (WTI) wordt die knip daadwerkelijk op een ander  $\beta$ -niveau gekozen en dat impliceert ook een andere uitdrukking voor de schadefactor dan vgl. (4.3).

<sup>21</sup> Achtergrondrapport bij het Addendum TRWG, Fugro 2007



#### Modelfactoren:

De modelonzekerheidsfactor ( $\gamma_d$ ) is in de vroegere leidraden voor het ontwerpen van rivierdijken geïntroduceerd en verdisconteert mogelijke onnauwkeurigheden van het toegepaste rekenmodel. De in Nederland meest gebruikte rekenmodellen voor controle van de stabiliteit van dijktaluds zijn glijcirkel-analyse volgens Bishop en de methode “Lift Van” wanneer sprake is van opdrijven van de binnendijkse deklaag nabij de binnenteen van de dijk en een afschuifanalyse met behulp van een Eindige Elementen Methode (PLAXIS). De meest recente inzichten voor toe te passen modelfactoren worden weergegeven in het in voorbereiding zijnde Technisch Rapport Macrostabieliteit.

Opgemerkt wordt dat deze modelfactoren niet probabilistisch zijn onderbouwd, maar op grond van “engineering judgement”. Dit is een uit het verleden geërfd schoonheidsfoutje in de opzet. Echter, de inschatting is dat een probabilistische onderbouwing niet tot heel grote verschillen zal leiden; bovendien moeten hierbij aannamen worden gedaan ten aanzien van de spreiding van de modelonzekerheid, die moeilijk te verifiëren zijn.

#### Schematiseringfactor:

De schematiseringsfactor ( $\gamma_b$ ) is geïntroduceerd in het AddTRWG, tegelijk met de herziening van de materiaal- en schadefactoren. De reden voor die herziening en de gelijktijdige introductie van de schematiseringsfactor is uiteengezet in het achtergrondrapport bij het Addendum. De methode voor het bepalen van schematiseringsfactoren en de onderliggende schematiseringstheorie zijn, later, uiteengezet in het TRGS .

Een belangrijk element bij het afleiden van schematiseringsfactoren is de aangenomen verband tussen de berekende stabiliteitsfactor en de faalkans. Voor schematiseringsfactoren voor macrostabieliteit is in het TRGS uitgegaan van een relatie, die gebaseerd is op vgl. (4.3), namelijk:

$$P_f = \Phi(-\beta) = \Phi\left(-\left(4 + \frac{F_d - 1}{0,13}\right)\right) \quad (4.4)$$

Hierin is  $F_d$  de waarde van de stabiliteitsfactor die berekend wordt, bijvoorbeeld met een Bishop of LiftVan analyse, waarbij rekenwaarden voor de schuifsterkteparameters zijn gebruikt (zie vgl.4.2).

Benadrukt moet worden dat de relatie (4.4) dus niet een “algemene” relatie is tussen faalkans en stabiliteitsfactor, maar een die hoort bij het gebruik van de basismateriaalfactoren, in combinatie met de schadefactor volgens vgl. (4.3). Wanneer andere basismateriaalfactoren zouden worden gekozen, dan verandert ook de uitdrukking voor de schadefactor (4.3) en dus ook de relatie tussen faalkans en de berekende stabiliteitsfactor  $F_d$ .

#### 4.1.2 Boezemkaden

##### Basismateriaal- en schadefactoren:

In het rapport “Materiaalfactoren voor Boezemkaden” zijn materiaal- en schadefactoren afgeleid voor boezemkaden. De insteek was in de eerste plaats het zoeken naar een samenhangende set van materiaal- en schadefactoren die voor de IPO kadeklasse III zouden overeenkomen met de “gemiddeld” gebruikelijke werkwijze bij boezemkaden. Een consistente relatie tussen materiaal- en schadefactoren en aan de normfrequenties voor de IPO kadeklassen gerelateerde vereiste betrouwbaarheidsindices, zoals weergegeven in Tabel 2.2, was dus feitelijk niet de opzet. De gevolgde werkwijze is, ruwweg, als volgt:

Stap 1: Voor een, vooralsnog, hypothetische reeks van “target” betrouwbaarheidsindices, oplopend van 2,0 tot 4,5, zijn materiaalfactoren voor klei veen en zand afgeleid, conform de werkwijze die ook voor het AddTRWG is gevolgd (met enkele aanpassingen die samenhangen met het karaktereigene van boezemkaden).

<sup>22</sup> Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, [www.enwinfo.nl](http://www.enwinfo.nl)

Stap 2: Deze  $\beta T$  - afhankelijke materiaalfactoren (zie Tabel 3.2 in MB) zijn opgesplitst in een set  $\beta T$  - onafhankelijke basismateriaalfactoren en een set  $\beta T$  - afhankelijke schadefactoren, zodanig dat de producten van beide bij benadering gelijk zijn aan de  $\beta T$  - afhankelijke materiaalfactoren. De  $\beta T$  - afhankelijke schadefactoren zijn vooraf gefixeerd als range  $\gamma_n = 0,8, 0,85, 0,90, 0,95$  en  $1,0$  voor respectievelijk de IPO-kadeclassen I, II, t/m V. De daarbij horende doelbetrouwbaarheidsindices zijn vooraf geschat, en gecontroleerd via doorgerekende casussen. De hieruit volgende basismateriaalfactoren en schadefactoren zijn weergegeven in Tabel 4.1 en Tabel 4.2.

**Tabel 4.1 Basismateriaalfactoren voor Boezemkaden (Tabel 5.1 in Stowa ORK 2009-05, zie noot 3)**

SET VAN AFGERONDE MATERIAALFACTOREN		
Materiaal	(c')	(tanφ')
Klei	1,20	1,15
Veen	1,35	1,15
Klei aangescherpt <sup>1</sup>	1,10	1,10
Veen aangescherpt <sup>2</sup>	1,20	1,15
Zand	0	1,15

<sup>1</sup> De materiaalfactoren voor "klei aangescherpt" geldt voor natuurlijke niet-organische klei waarvoor is aangetoond dat de variatiecoëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk  $V_c \leq 0,275$  en  $V_\phi \leq 0,15$ .

<sup>2</sup> De materiaalfactoren voor "veen aangescherpt" geldt voor veen waarvoor is aangetoond dat de variatie-coëfficiënten voor cohesie en inwendige wrijving kleiner of gelijk zijn aan respectievelijk  $V_c \leq 0,45$  en  $V_\phi \leq 0,20$ .

**Tabel 4.2 Schadefactoren voor boezemkaden (Tabel 4.2 in Stowa ORK 2009-05, zie noot 3)**

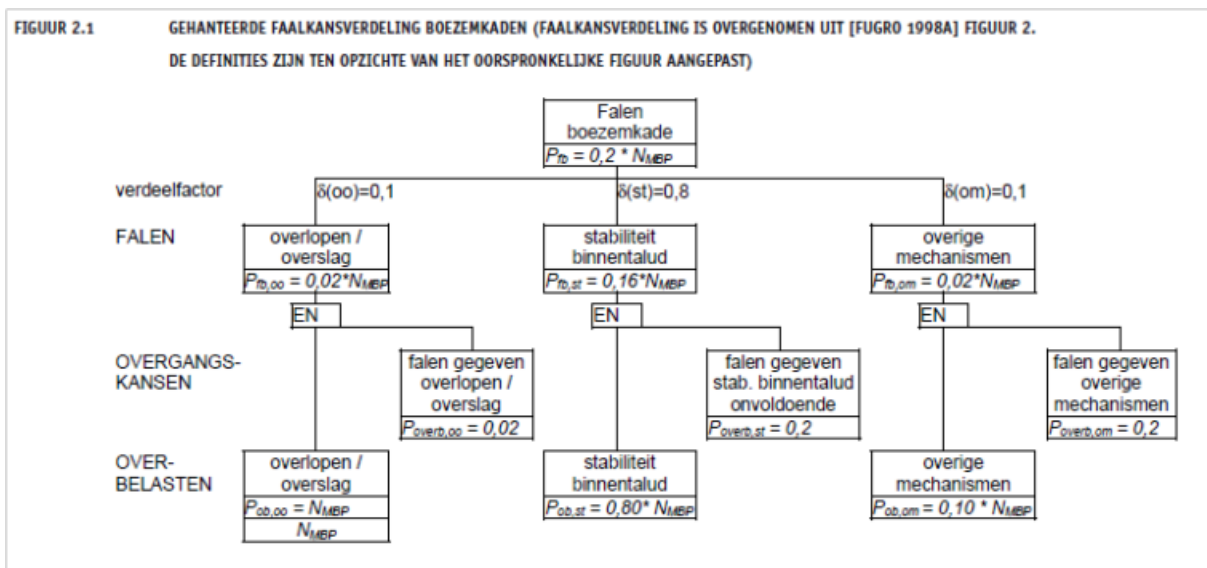
TABEL 4.2 AANGENOMEN RELATIE TUSSEN IPO-KLASSE EN BËTA (GESCHAT)					
IPO-klasse	I	II	III	IV	V
Schadefactor	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Bëta	2,20	2,53	2,85	3,15	3,45

De basismateriaalfactoren en schadefactoren in Tabel 4.1 en Tabel 4.2 zijn, afgezien van afrondingen, bij benadering consistent met de probabilistisch afgeleide materiaalfactoren in Stap 1.

De vraag is nu, of de doelbetrouwbaarheidsindices in Tabel 4.2 nog enige relatie hebben met de beoogde doelbetrouwbaarheidsindices, zoals die in de foutenboom (faalkansbegroting) in het rapport "Materiaalfactoren Boezemkaden" zijn aangegeven. Voor het gemak is deze foutenboom hieronder weergegeven in figuur 4.1. De toelaatbare doorbraakkans is hierin gekozen als 0,2 keer de normfrequentie van de boezemkade. Hiervan wordt 80% beschikbaar gesteld voor het faalmechanisme "doorbraak als gevolg van macro-instabiliteit". Vervolgens wordt geanticipeerd op een reststerktefaalkans van 0,2, dat wil zeggen, de kans op doorbraak, gegeven het optreden van macro-instabiliteit. In onderste regels van Tabel 4.3 zijn de op basis van deze aannamen berekende toelaatbare kansen en betrouwbaarheidsindices gegeven.

**Tabel 4.3: Volgens de faalkansbegroting in het rapport MB beoogde toelaatbare kansen op macro-instabiliteit, en hiermee corresponderende vereiste (“target”) betrouwbaarheidsindices,  $\beta_T$ .**

Kadeclassse	I	II	III	IV	V
Normfreq. [1/jr]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1000
Toel kans op doorbr. a.g.v. macro-instab. 0,8 x 0,2 x norm	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Toel. kans op macro-instab. bij reststerktefaalkans 0,2	$8,0 \cdot 10^{-2}$	$2,67 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	$2,67 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$
Overeenkomstige $\beta_T$ , afschuiven	1,41	1,93	2,41	2,79	3,16



**Figuur 4.1 Faalkansbegroting (Overgenomen uit Stowa rapport ORK 2009-05, zie noot 3)**

Het is duidelijk dat de beoogde toelaatbare kansen op macro-instabiliteit volgens de faalkansbegroting in het rapport niet geheel sporen met (d.w.z. groter zijn dan) de toelaatbare kansen die corresponderen met de afgeleide combinatie van materiaalfactoren en schadefactoren voor boezemkaden. Hierbij zijn de volgende kanttekeningen te maken:

- 1) Wanneer we de reststerktefaalkans in figuur 4.1 op 1 zouden zetten, dan zijn de doelbetrouwbaarheidsindices gelijk aan die welke in de onderste rij van Tabel 2.2 (in hoofdstuk 2) gegeven zijn. De verschillen tussen deze doelbetrouwbaarheidsindices en die in Tabel 4.2 zijn erg klein. M.a.w. het afgeleide stelsel materiaalfactoren en schadefactoren (wat afgeijkt is aan de bestaande praktijk) zou grosso modo overeen met de faalkansbegroting, als daarin niet een kleine reststerktefaalkans zou zijn opgenomen.
- 2) De aangenomen reststerktefaalkans van 0,2 is, hoewel niet feitelijk onderbouwd, op zich niet onrealistisch (een afschuiving impliceert immers nog geen doorbraak).
- 3) Aan de andere kant wordt in de faalkansbegroting het lengte-effect volkomen genegeerd. In combinatie zouden de twee (reststerktefaalkans en lengte-effect) elkaar binnen de foutenboom, in ieder geval deels, tegenwerken. Het lengte-effect werkt ongunstig bij het vertalen van de doorbraakkans op doorsnedeniveau naar de doorbraakkans op systeemniveau, terwijl reststerkte gunstig werkt. Een globale schatting, gebruik makend van de lengte-effect formule in het AddTRWG, laat zien dat de twee effecten in evenwicht zijn, wanneer het zou gaan om kadelenktes, die van belang zijn voor bescherming van het achterliggend gebied, van ca. 7 km.
- 4) Gevoelsmatig lijkt het niet onredelijk om te veronderstellen dat de twee effecten grosso modo tegen elkaar opwegen.
- 5) Feitelijke verificatie van die veronderstelling, of verfijning ervan, vereist enerzijds

overstromingsanalyses om de getroffen gebiedsgrootte bij een kadebreuk af te schatten en de kadelengte die daarbij in het geding is. Anderzijds ook onderbouwing van reststerktefaalkansen. Die onderzoeken worden niet op korte termijn verwacht; we moeten ons daarom vooralsnog behelpen met ingenieursgevoel.

De conclusie op basis van de kanttekeningen 4) en 5) is, dat de reststerkte-faalkans van 0,2, zoals die in faalkansbegroting in figuur 4.1 zit, beter op 1 gesteld kan worden. Met als argument dat hiermee ook het lengte-effect wordt verdisconteerd. Of, alternatief en bij voorkeur, dat lengte-effect in de figuur wordt weergegeven, waarbij vermeld wordt dat voorlopig aangenomen wordt dat dit effect en het reststerkte effect elkaar neutraliseren.

De conclusie t.a.v. de materiaal- en schadefactoren in Tabel 4.1 en 4.2 is, dat er geen praktische reden is deze te herzien.

Voor het afleiden van ontbrekende materiaal- en schadefactoren ten behoeve van “ongedraineerd” wordt geadviseerd de faalkansbegroting figuur 4.1 als uitgangspunt te kiezen, waarbij de reststerktefaalkans op 1 wordt gesteld. In eerste instantie gaat het hierbij om het afleiden van betrouwbaarheidsniveau afhankelijke materiaalfactoren. De doelbetrouwbaarheidsindices in Tabel 2.2 zijn hiervoor richtinggevend. Bij het splitsen van deze materiaalfactoren in basismateriaalfactoren en schadefactoren, zou het handig zijn de schadefactoren gelijk te kiezen met die in Tabel 4.2, maar de praktijk moet uitwijzen of dit een realistische optie is. Mogelijk is het, vanuit theoretisch oogpunt toch al kunstmatige, schadefactor-concept niet langer houdbaar.

#### Modelfactoren:

Zie modelfactoren in par. 4.1.1. Er is geen grond hiervan voor boezemkaden af te wijken.

#### Schematiseringsfactor:

De achterliggende theorie is beschreven in het TRWG. Een hangende vraag was of voor het afleiden van schematiseringsfactoren een andere relatie tussen stabiliteitsfactor en betrouwbaarheidsindex moet worden gebruikt. De meest voor de hand liggende relatie is die, welke in tabel 4.2 numeriek is weergegeven. In de notitie van Arcadis (noot 24) is die relatie al omgezet in een analytische relatie tussen de stabiliteitsfactor o.b.v. rekenwaarden van de stabiliteitsfactor (gebruikmakend van de materiaalfactoren in Tabel 4.1) en de bijbehorende betrouwbaarheidsindices (en corresponderende kansen) m.b.t. macro-instabiliteit van boezemkaden.

Een alternatief, waarbij doelbetrouwbaarheidsindices, die in tabel 2.2 numeriek worden weergegeven, en dus iets dichterbij de “formele” faalkansbegroting zitten (d.w.z. consistentere zijn met de gekozen faalkansbegrotingssystematiek), is vooralsnog omslachtig. Dit vergt namelijk een nieuwe kalibratie analyse van rekenwaarden van stabiliteitsfactoren en hiermee beoogde target-betrouwbaarheidsindices. De ervaring is overigens dat zo’n (niet al te zeer) afwijkende relatie niet tot substantieel afwijkende benodigde schematiseringsfactoren leidt.

#### 4.1.3 Regionale Rivieren

Voor regionale rivierdijken (en hierin liggende andere typen waterkeringen) zijn kennelijk in het verleden soms al de toets-regels voor primaire rivierdijken, in combinatie met de normfrequentie van 1/1250 per jaar, van toepassing verklaard. De door Stowa uitgegeven richtlijn voor normering van regionale rivierdijken (zie par. 2.3) maakt het mogelijk minder stringente beveiligingsniveaus af te leiden, vergelijkbaar met die voor boezemkaden.

Terzijde merken we op dat die richtlijn overigens ook zou kunnen worden gebruikt om bij boezemkaden lokaal tot strengere eisen te komen, dan conform de hoogste IPO-klasse. Dat kan van belang zijn daar waar kadebreuk zou leiden tot grote schade of veel slachtoffers.

Qua karakter blijven regionale rivierdijken vergelijkbaar met primaire rivierdijken. Het lijkt dan ook voor de hand

<sup>23</sup> *Spreadsheet Arcadis, nader te specificeren*

<sup>24</sup> *Notitie Arcadis (bijlage 2 van de Leidraad)*

te liggen om bij de vertaling van beveiligingsniveau (de normfrequentie) naar partiële veiligheidsfactoren de werkwijze voor primaire rivierdijken te blijven volgen. Dit betreft met name de keuzes in de faalkansbegroting, het verdisconteren van lengt-effecten (uit analyses conform de richtlijn volgt ook een lengte van de waterkering, waarvoor de normfrequentie wordt afgeleid), en het gebruik van materiaal- en schadefactoren. De laatste zullen bij lage beveiligingsnormen beneden de 1,0 uitkomen, maar aangeraden wordt die vooralsnog niet kleiner te kiezen dan 0,8.

## **Bijlage II: Schematiseringsfactor bij regionale waterkeringen.**

### **Inleiding**

De schematiseringsfactor is een partiële veiligheidsfactor die de onzekerheden in de schematisering van een waterkering verdisconteert en terugbrengt naar een gewenst of vereist veiligheidsniveau. Een schematisering is nodig bij de meeste faalmechanismen, maar in dit document wordt nog uitsluitend ingegaan op de macrostabiliteit. Schematisering van de werkelijkheid is nodig, omdat het niet mogelijk is een waterkering zoals deze in het veld aanwezig is over de volledige lengte in een rekenmodel om te zetten. Er moeten veel keuzes worden gemaakt, om te komen tot een voldoende veilige schematisering. Als veel gegevens beschikbaar zijn en bovendien korte trajecten worden gekozen, dan zijn de keuzes minder ingrijpend, dan wanneer dit niet het geval is. Onzekerheden in de schematisatie zijn daardoor deels afhankelijk van de beschikbare gegevens, maar ook van de interpretatie van die gegevens.

Voor primaire waterkeringen is een uitwerking voor het bepalen van de schematiseringsfactor gegeven in het "Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken" [7].

Het principe is voor regionale waterkeringen hetzelfde als voor primaire waterkeringen. De faalkanseisen en het daarbij behorende stelsel van partiële factoren zijn voor regionale waterkeringen echter anders. Ook kan de aanpak bij regionale keringen enigszins afwijken van die bij primaire keringen. In het voorliggende document wordt ingegaan op het bepalen van de schematiseringsfactor specifiek voor regionale waterkeringen.

### **Schematiseringsfactor: uitgangspunt en basis principe**

De macrostabiliteit van een regionale waterkering moet voldoen aan een bepaalde faalkanseis. Deze faalkanseis volgt uit de invulling van de veiligheidsfilosofie, bijvoorbeeld door middel van een foutenboom. Hieruit volgt een toelaatbare faalkans:  $P_f$ , toel. Om een waterkering te dimensioneren die aan deze eis voldoet wordt een relatie opgesteld tussen de faalkans en de schadefactor, waarin de schadefactor de eis is waar de berekende stabiliteitsfactor aan moet voldoen. Er geldt dus:

$SF \geq \gamma_s = f(P_f, \text{toel.})$ . Hierin zijn ook de diverse partiële veiligheidsfactoren verwerkt, zoals de materiaalfactoren, modelfactoren en belastingfactoren. [1, 2, 3, 5, 6] Ook is omschreven hoe deze parameters bepaald moeten worden. Voor de sterkte-eigenschappen van de grond moeten bijvoorbeeld karakteristieke ondergrenswaarden worden gebruikt, die zijn verkregen uit triaxiaalproeven of DSS proeven. Ook de manier waarop de proeven moeten worden gedaan is in detail beschreven.

Voor het bepalen van de stabiliteitsfactor  $SF$  zijn echter veel meer zaken van belang, zoals de geometrie, de grondopbouw, de freatische lijn en stijghoogten. Ook die moeten voldoende veilig in de berekening zijn verwerkt. Impliciet geldt de eis dat voor al deze zaken zeer veilige keuzes worden gemaakt. Hieraan is echter nog geen kwantificering gekoppeld.

Wel is duidelijk dat de kans dat een minder veilige situatie kan voorkomen in het veld, dan de situatie die in de berekening is opgenomen, klein moet zijn of wellicht zeer klein. Anders zouden immers deze onzekerheden dominant gaan worden in de faalkans van de kering en wordt niet meer voldaan aan de eis die is gesteld ten aanzien van de faalkans ten gevolge van macro-instabiliteit.

Voor regionale keringen gelden andere eisen dan voor primaire keringen. Dit verschil in eisen is tot uitdrukking gebracht in de partiële veiligheidsfactoren, zoals de schadefactor en de materiaalfactoren. Het is daarom logisch om als uitgangspunt te kiezen dat er ten aanzien van de schematisering geen verschil is tussen regionale

keringen en primaire keringen.

Voor de schematisering is al gesteld dat de kans klein moet zijn dat in het veld een slechtere situatie aanwezig is dan geschematiseerd, als deze een significante negatieve invloed heeft op de stabiliteit. De drie factoren die een rol spelen zijn:

- onzekerheden in de schematisatie;
- de kans dat zo'n onzekerheid optreedt;
- de invloed van de betreffende afwijking op de stabiliteit.

In de schematiseringsfactor worden deze drie factoren samengevat in één factor die de invloed van de onzekerheden weergeeft. Er moet dan gelden:

$SF \geq \gamma_s * \gamma_b = f(P_f, \text{toel.})$ , waarin  $\gamma_b$  de schematiseringsfactor is.

### **Bepalen van de schematiseringsfactor.**

#### *Toepassingsgebied*

De schematiseringsfactor is voor zowel een toets als een ontwerp van toepassing, voor alle typen regionale keringen. Voor regionale keringen met IPO klasse I of II kan ervoor worden gekozen om minder aandacht aan de nauwkeurigheid van de schematisering worden gegeven. In dat geval moet praktijkervaring uitwijzen of de schematisering voldoende veilig is. Tot op zekere hoogte is dit mogelijk, omdat de ontwerpbelastingen veelal al zijn opgetreden. De kosten voor grondonderzoek en berekeningen kunnen dan worden beperkt, waardoor deze niet buitenproportioneel worden.

Voor keringen in IPO klasse III en hoger is dit in principe niet meer het geval. Wel kan in alle gevallen een afweging worden gemaakt of aanvullend onderzoek opweegt tegen de mogelijke voordelen. Dit is onderdeel van het stappenplan voor het bepalen van de schematiseringsfactor.

#### *Stappenplan*

De invoer in de berekening van de stabiliteit is voor het ene type kering niet wezenlijk anders dan voor het andere type kering. Ook de keuzen die gemaakt moeten worden zijn niet wezenlijk anders. Wel zijn er verschillen in de mate van onzekerheid van bepaalde parameters. Omdat boezemkeringen continu waterkeren kunnen sommige zaken meer nauwkeurig worden bepaald. Dit geldt met name voor de freatische lijn. Dit verschil tussen de verschillende typen regionale keringen komt tot uiting bij het bepalen van de scenario's en vooral bij het bepalen van de bandbreedte waarbinnen een parameter kan liggen in een bepaald scenario. In de voorbeelden wordt dit geïllustreerd.

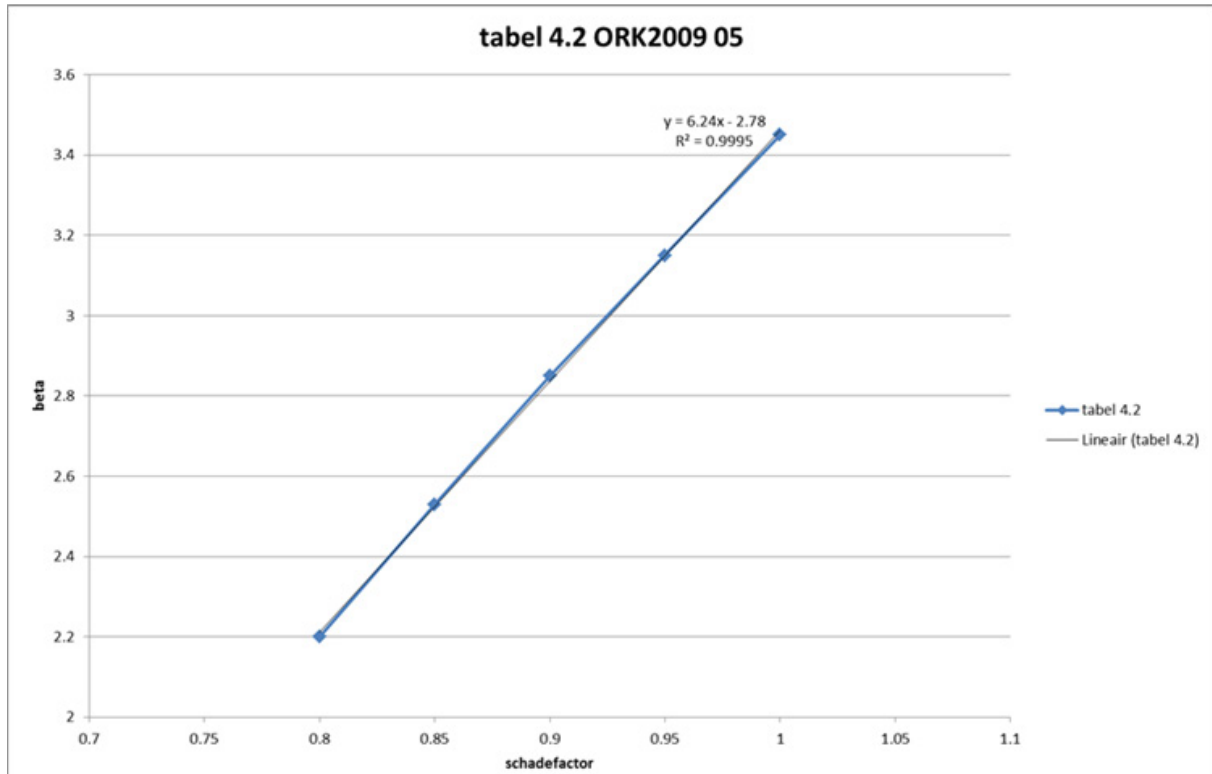
Het stappenplan kent de volgende stappen:

1. Opstellen basisschematisatie en ontwerp;
2. Nagaan of reductie van de schematiseringsfactor nuttig is;
3. Identificeren onzekerheden en aan de hand daarvan bepalen van de schematiseringsfactor;
4. Controle schematiseringsfactor;
5. Optimalisatie en nader onderzoek;
6. Rapportage.

Een toelichting bij deze stappen is gegeven in het "Stappenplan voor het bepalen van de schematiseringsfactor" [6] of in het "Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken" [7]. De tabel waaruit de schematiseringsfactor kan worden afgelezen in stap 4 is echter niet van toepassing voor boezemkaden. Voor keringen langs regionale rivieren is deze tabel wel correct, maar zijn de schadefactoren niet toegespitst op de regionale rivieren.

Schematiseringsfactor Boezemkaden

Voor boezemkeringen wordt aangesloten bij de “Handreiking Ontwerpen en Verbeteren Boezemkeringen” [2], die op zijn beurt aansluit op “Materiaalfactoren voor Boezemkaden” [1]. Tabel 4.2 in “materiaalfactoren voor Boezemkeringen” geeft een relatie tussen de schadefactor en de faalkans, of  $\beta$ . Deze relatie wordt gebruikt voor het bepalen van de schematiseringsfactor. In figuur 1 is deze relatie in grafiekvorm weergegeven.



**Figuur 1: relatie tussen de schadefactor en  $\beta$ .**

Om de schematiseringsfactor hiermee te kunnen bepalen is de relatie in formulevorm nodig. De relatie blijkt bijna lineair te zijn, volgens de volgende formule:

$$\beta = 6,24 * \gamma_b - 2,78$$

Met gebruikmaking van deze formule is de volgende tabel opgesteld, waaruit de schematiseringsfactor afgelezen kan worden (stap 4 van het stappenplan).

verschil in stabiliteitsfactor t.o.v. basisschematisering ∇Fd	gesommeerde kans op voorkomen ∇P	IPO klasse en schadefactor				
		IPO: I	IPO: II	IPO: III	IPO: IV	IPO: V
		$\gamma_s = 0,80$	$\gamma_s = 0,85$	$\gamma_s = 0,90$	$\gamma_s = 0,95$	$\gamma_s = 1,00$
		$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$
-0,4 tot -0,3	< 30%	1,4	1,39	1,38	1,36	1,35
	< 10%	1,28	1,3	1,3	1,3	1,3
	< 3%	1,13	1,17	1,2	1,22	1,23
	< 0,3%	1,02	1,02	1,03	1,05	1,08
-0,3 tot -0,2	< 30%	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25
	< 10%	1,17	1,18	1,19	1,2	1,2
	< 3%	1,07	1,08	1,1	1,12	1,13
	< 0,3%	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
-0,2 tot -0,1	< 30%	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15
	< 10%	1,03	1,09	1,09	1,1	1,1
	< 3%	1,01	1,04	1,04	1,05	1,05
	< 0,3%	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
-0,1 tot 0	< 50%	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
	< 10%	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
	< 3%	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	< 0,3%	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01

**Tabel 1: Schematiseringsfactor voor Boezemkaden, basis van tabel 4.2 van [1].**

Schematiseringsfactor overige regionale keringen

Voor alle overige regionale keringen wordt de schematiseringsfactor hetzelfde berekend als voor primaire waterkeringen. In de volgende tabel zijn de bovengrenswaarden gegeven bij de 5 IPO klassen.

verschil in stabiliteitsfactor t.o.v. basisschematisering ∇Fd	gesommeerde kans op voorkomen ∇P	IPO klasse en schadefactor				
		IPO: I	IPO: II	IPO: III	IPO: IV	IPO: V
		$\gamma_s = 0,80$	$\gamma_s = 0,85$	$\gamma_s = 0,90$	$\gamma_s = 0,95$	$\gamma_s = 1,00$
		$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$	$\gamma_b$
-0,4 tot -0,3	< 30%	1,43	1,41	1,4	1,38	1,37
	< 10%	1,35	1,35	1,34	1,34	1,33
	< 3%	1,23	1,26	1,28	1,28	1,28
	< 0,3%	1,03	1,05	1,11	1,16	1,18
-0,3 tot -0,2	< 30%	1,3	1,3	1,29	1,28	1,27
	< 10%	1,22	1,23	1,23	1,23	1,23
	< 3%	1,12	1,15	1,17	1,18	1,18
	< 0,3%	1,02	1,02	1,04	1,06	1,09
-0,2 tot -0,1	< 30%	1,18	1,18	1,18	1,17	1,17
	< 10%	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13
	< 3%	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09
	< 0,3%	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02



-0,1 tot 0	< 50%	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
	< 10%	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
	< 3%	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
	< 0,3%	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01

Tabel 1: Schematiseringsfactor voor Overige regionale keringen, volgens Stappenplan Schematiseringsfactor [6].

#### Samenvatting Stappenplan

Een belangrijk voordeel van het bepalen van de schematiseringsfactor op de wijze die in het stappenplan wordt gegeven, is dat de invloed van de diverse onzekerheden expliciet in beeld gebracht wordt en dat nagedacht wordt over de kans van voorkomen van die onzekerheden. De schematisatie, en daarmee de berekeningsresultaten, worden hiermee veel objectiever en eenvoudiger te controleren.

Voor regionale keringen gelden dezelfde beperkingen als voor primaire keringen, namelijk:

- het verschil in de stabiliteitsfactor mag niet groter zijn dan 0,4
- de schematiseringsfactor mag niet groter worden dan 1,3; indien dit toch het geval blijkt te zijn, moet de basisschematisering worden aangepast;
- de gesommeerde kans op voorkomen van de scenario's met een gelijk verschil in de stabiliteitsfactor mag niet groter dan 30% zijn; in de categorie met een verschil in de stabiliteitsfactor tussen -0,1 en 0 mag de gesommeerde kans maximaal 50% zijn.

Als niet aan deze voorwaarden wordt voldaan, dan wijkt de basisschematisatie te ver af van de werkelijkheid en moet de basisschematisatie worden aangepast.

In afwijking van de huidige praktijk bij primaire keringen, mag de schematiseringsfactor bij regionale kering tot 1,0 worden gereduceerd, als dit volgens de onderbouwing conform het stappenplan is toegestaan.

Opmerking: in de huidige praktijk wordt de schematiseringsfactor vaak een factor 1,1 lager gekozen dan volgens bovenstaande aanpak. Voor deze verlaging blijkt echter geen goede onderbouwing te zijn. Het is niet de bedoeling om waterkeringen die met de eerdere inzichten zijn ontworpen en versterkt direct weer aan te passen.

### Voorontwerp

Als de schematiseringsfactor niet wordt bepaald volgens het stappenplan, dan moet een schematiseringsfactor van tenminste 1,3 worden toegepast, in combinatie met een veilige schematisering, zoals dat voorheen gebruikelijk was. In een verkennende fase of voorontwerp kan hiervoor worden gekozen. Dit lijkt een verzwaring van de eis ten opzichte van de vroeger gebruikelijke praktijk. Dat is het echter niet: gebleken is dat het vaak niet mogelijk is om op basis van expert judgement een voldoende veilige schematisering op te stellen. Veel oudere ontwerpen voldeden daarom niet geheel aan de eisen.

### Verlagen van de schematiseringsfactor

Het stappenplan gaat in op mogelijkheden om de schematiseringsfactor te verlagen. Hier is in principe meer (grond) onderzoek en meer berekeningen voor nodig. In sommige gevallen kan ook het verkleinen van de trajecten nuttig zijn. Vooral bij boezemwaterkeringen bestaat de mogelijkheid om de freatische lijn, de stijghoogten in watervoerende zandlagen en de indringing van de waterspanningen in cohesieve lagen te meten. De dagelijkse omstandigheden wijken meestal niet heel veel af van de ontwerpomstandigheden, waardoor een enkele meting al een redelijk beeld geeft. Met een meetreeks van tenminste enkele maanden kan ook een beeld verkregen worden hoe de waterspanningen zich gedragen onder invloed van regen, variaties in het boezem- en polderpeil en eventueel andere relevante invloeden. Er is dan een goede schatting mogelijk van de waterspanningen onder maatgevende omstandigheden. Dit geldt vanzelfsprekend meer voor een toetsing dan voor een ontwerp, maar ook voor een ontwerp zijn deze metingen zeer nuttig. Bij een ontwerp moet echter nog wel rekening gehouden worden met het effect van de maatregelen.

Uitsluitend uitvoeren van aanvullend onderzoek of metingen is niet voldoende: deze informatie moet worden verwerkt volgens het stappenplan.

Voor voorbeelden en aandachtspunten bij het opstellen van scenario's in het kader van het stappenplan wordt verwezen naar lit. [7] en [8].

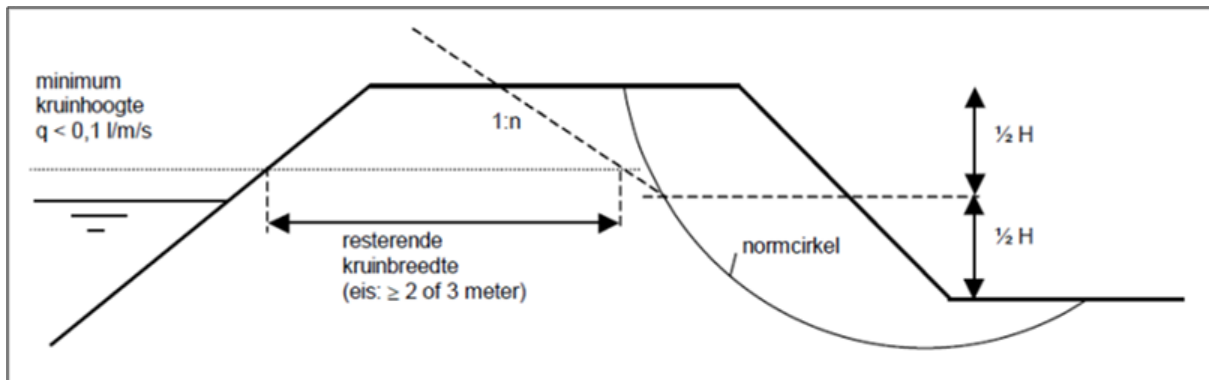
### Literatuur bijlage II :

1. ORK 2009 05 Materiaalfactoren boezemkaden
2. ORK 2009 06 HR Boezemkeringen
3. ORK 2009 07 HR Regionale Rivieren
4. Addendum TR Waterkerende grondconstructies, ENW, 2007
5. ORK 2007 02 LTVR Leidraad toetsen op Veiligheid Regionale waterkeringen
6. ORK 2010 22 Addendum Leidraad Toetsen betreffende Boezemkeringen
7. Stappenplan voor het bepalen van de Schematiseringsfactor, ARCADIS, Waterdienst, 2009
8. Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken, ENW, oktober 2012

### Bijlage 3 Restbreedte benadering stabiliteit binnenwaarts

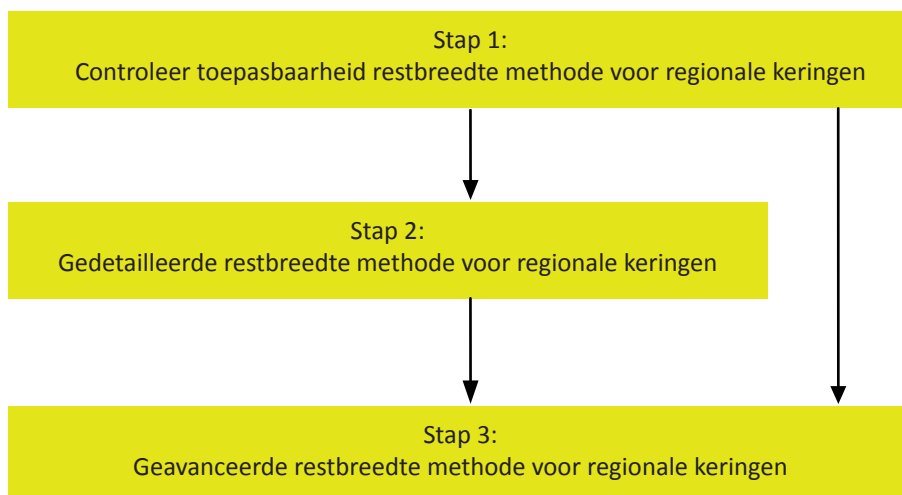
Indien sprake is van een kade met ruime afmetingen, die niet voldoet aan veilige afmetingen (eenvoudige beoordeling) en waarvoor een te lage stabiliteitsfactor wordt berekend (gedetailleerde beoordeling), dan kan mogelijk op basis van een analyse van de restbreedte na afschuiven alsnog het oordeel “voldoet” worden vastgesteld. Op het moment is geen restmethode beschikbaar die specifiek is toegespitst op regionale waterkeringen. Voor primaire keringen zijn wel restmethoden beschikbaar, beschreven in het TRAS [ENW, 2009] en TR Macrostabiliteit [Deltares, 2013, concept!].

Een principe schets van de methode uit het TRAS is gegeven in figuur 1.



**Figuur 1: Principeschets 'restbreedte-bij-overhoogte' methode volgens het TRAS**

Teneinde over een restbreedte methode te kunnen beschikken die specifiek betrekking heeft op regionale keringen, wordt voorgesteld om het schema uit figuur 2 toe te passen. Dit schema zal hierna worden toegelicht.



**Figuur 2: Stappenplan restbreedte methode voor regionale keringen**

#### **Stap 1: controleer toepasbaarheid restbreedte methode voor regionale keringen**

Voor de toepassing van de restbreedte voor regionale keringen dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt met voorwaarden die gelden voor de gedetailleerde methode en voor de geavanceerde methode. De voorwaarden voor het toepassen van de restbreedte methode voor regionale keringen zijn in principe gelijk aan die volgens de 'restbreedte-bij-overhoogte' methode volgens het TRAS. Hier worden eisen gesteld met betrekking tot oprijfsituaties, objecten in de waterkering, overslagdebiet en stabiliteitsfactor. Hoe met deze zaken bij regionale keringen moet worden omgegaan komt hierna aan de orde.

### Opdrijven van de deklaag

Voor opdrijfsituaties dienen eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. Opdrijfsituaties vallen buiten de gedetailleerde methode. In de geavanceerde methode kunnen opdrijfsituaties eventueel wel beschouwd worden. Aanwijzingen hiervoor worden gegeven in TRM [Deltares, 2013, concept!]

### Objecten in de waterkering

Voor objecten in de waterkering dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de waterkering mogen zich dus geen objecten bevinden, die bij een primaire of secundaire afschuiving de waterkerende functie van de waterkering in gevaar brengen. Dit betreft bijv. pijpleidingen die door een ontploffing of lekkage de sterkte van de kering aantasten. De aanwezigheid van kabels met een beperkte diameter (zoals telefoon- of glasvezelkabels) brengt de waterkerende functie niet gevaar.

### Overslagdebiet $q < 0,1 \text{ l/m/s}$

Deze eis is gerelateerd aan de minimaal vereiste kruinhoogte. Ook hier dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de gedetailleerde situatie dient het overslagdebiet kleiner te zijn dan  $0,1 \text{ l/m/s}$ . Van deze eis mag in de geavanceerde methode (beargumenteerd) worden afgeweken. Ook weer: zie TRM [Deltares, 2013 concept].

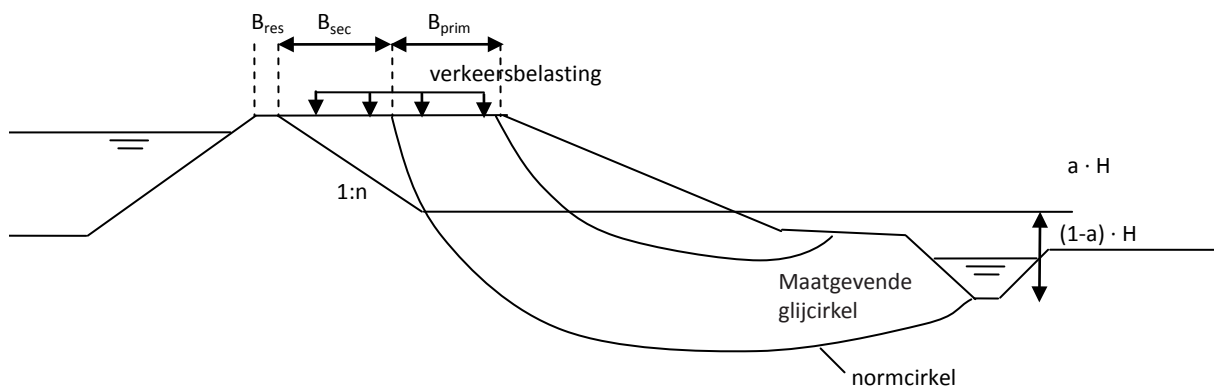
### Stabiliteitsfactor $\gamma \geq 1,0$

Deze stabiliteitseis komt voor regionale keringen te vervallen, omdat de vereiste stabiliteitsfactor (normafhankelijk) varieert van 0,8 tot 1,0. Dit betekent wel dat in de beoordeling alleen de waterkerende functie wordt beschouwd. Andere functies dienen apart beschouwd te worden. Merk op dat voor bijvoorbeeld verkeersfuncties in sommige gevallen een zwaardere eis kan gelden dan voor de waterkerende functie.

### Stap 2: gedetailleerde restbreedte methode

Voorgesteld wordt om voor de gedetailleerde restbreedte methode de 'restbreedte-bij-overhoogte' uit het TRAS als basis te gebruiken, waarbij een aantal aanpassingen en aanvullingen worden voorgesteld.

Voorgesteld wordt om de principeschets, zoals weergegeven in figuur 3, toe te passen. Hierin is de primaire kruindaling gesteld op  $a \cdot H$  in plaats van standaard op  $0,5 \cdot H$ , en wordt ook de marge tussen maatgevende en normcirkel expliciet benoemd.



**Figuur 3: Principeschets voorstel restbreedte methode voor regionale keringen**

In de gedetailleerde beoordeling kunnen voor de parameters in figuur 3 de waarden conform de gedetailleerde 'restbreedte-bij-overhoogte' methode uit het TRAS worden toegepast, waarbij voor de in TRAS aangegeven standaard waarden op een aantal punten kan worden afgeweken.

### Overslagdebiet

De minimaal vereiste kruinhoogte wordt bepaald uitgaande van een maximaal toelaatbaar overslagdebiet van  $q = 0,1 \text{ l/m/s}$  bij Toetspeil of bij het ontwerppeil voor de bepaling van de kruinhoogte. Hier kan in de geavanceerde methode (beargumenteerd) van worden afgeweken. Merk op dat bij regionale keringen zelden een significante overhoogte aanwezig is, dus dat in de meeste gevallen de actuele kruinbreedte zal worden getoetst. De minimum kruinhoogte is in figuur 3 daarom verondersteld samen te vallen met de actuele kruinhoogte.

### Minimaal vereiste kruinbreedte

De minimaal vereiste kruinbreedte voor primaire keringen is 2 m (voor zee- en meerdijken) of 3 m (voor rivierdijken). Voor regionale keringen geldt een minimaal vereiste kruinbreedte van 1,5 m te hanteren. Deze eis hangt samen met normaal beheer. Hierbij moet bedacht worden dat voor deze 'abnormale omstandigheden' een verdere nuan-cering van de minimaal vereiste kruinbreedte mogelijk is, hier wordt in de geavanceerde methode nader op ingegaan.

Benadrukt wordt dat de vereiste kruinbreedte daadwerkelijk aanwezig moet zijn, ofwel het betreffende gedeelte van de kruin moet voldoende stabiel zijn uit oogpunt van macrostabiliteit buitenwaarts. Een gelijktijdige toepassing van een restbreedte benadering voor zowel het binnen- als buitentalud is wel mogelijk, maar vergt speciale aandacht voor het voldoende stabiel zijn van het betreffende gedeelte van de kruin.

### Secundaire afschuiving

De toeslag om het effect van een secundaire afschuiving in rekening te brengen dient te worden bepaald door de factor 'n' uit het TRAS toe te passen:

- |   |   |   |         |
|---|---|---|---------|
| - | voor klei waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$              | : | $n = 2$ |
| - | voor veen waarvoor $c_u > 3,5 \cdot H$              | : | $n = 4$ |
| - | voor goed verdicht zand waarvoor $\phi > 22$ graden | : | $n = 4$ |

Waarbij:

$c_u$	=	ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
$H$	=	kerende hoogte	[m]
$\phi$	=	hoe van inwendige wrijving	[°]

Hierbij dient voor een heterogeen pakket uit te worden gegaan van de maatgevende grondsoort. Indien sprake is van zand waarvoor  $\phi > 22$  graden, maar wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking  $n = 7$  te worden gehanteerd. Voor alle andere gevallen dient de kruinhoogte na de primaire afschuiving gelijk te worden gesteld aan de bovenzijde van de afschuivende grondmoot na de primaire afschuiving.

In de geavanceerde methode wordt een handreiking gegeven om (beargumenteerd) van deze waarden af te kunnen wijken.

### Verkeersbelasting

Voor de te hanteren verkeersbelasting dienen de handreikingen uit dit Addendum te worden gehanteerd. Hierbij dient ook aandacht te worden besteedt aan de vraag of de verkeersfunctie aangetast mag worden door de eerste afschuiving én aan de vraag of in het restprofiel, na het optreden van de eerste afschuiving, nog rekening gehouden dient te worden met een verkeersbelasting.

### Glijcirkel

Voor de glijcirkel behorend bij de primaire afschuiving wordt de benadering volgens TRAS gevolgd. In de gedetailleerde beoordeling uitgegaan van de normcirkel. In een geavanceerde beoordeling kan hier beargumenteerd van worden afgeweken.

### Verplaatsing afschuivende grondmoot

In de gedetailleerde beoordeling wordt standaard een waarde van  $a = 0,5$  gehanteerd, conform de

gedetailleerde methode in het TRAS [ENW, 2009]. Deze waarde is beredeneerd aan de hand van en aantal praktijkvoorbeelden van taludafschuivingen van primaire waterkeringen. Uit deze praktijk voorbeelden volgt dat de taludafschuivingen stoppen bij een kruinzakking van 20 tot 35% van de kerende hoogte (0,2 tot 0,35xH). In het TRAS is uiteindelijk 0,5xH als conservatieve aanname aangenomen voor de primaire kruindaling na afschuiven.

In de geavanceerde beoordeling kan van deze waarde worden afgeweken. Op dat niveau mag een waarde van 0,4 worden gehanteerd, of (mits specifiek onderbouwd / beargumenteerd) een nog lagere waarde.

### Stap 3: geavanceerde restbreedte methode voor regionale keringen

In de geavanceerde restbreedte methode voor regionale keringen kan met 'state-of-the-art' kennis een geavanceerde analyse worden uitgevoerd. In het TRAS zijn al een aantal mogelijkheden aangegeven waarop aanscherping ten opzichte van de gedetailleerde toets plaats zou kunnen vinden. Hieronder zal op enkele mogelijkheden nader worden ingegaan.

### Verplaatsing afschuivende grondmoot

Zoals eerder opgemerkt kan de waarde van 0,5 voor de factor 'a' uit figuur 3 geoptimaliseerd worden. Op geavanceerd niveau mag hiervoor een waarde van 0,4 worden gehanteerd, of een lagere waarde mits deze kan worden onderbouwd. Een toelichting bij de waarde van 0,4 en een werkwijze voor voor de onderbouwing zijn beschreven verder onderstaand in deze bijlage.

### Overslagdebiet

In sommige gevallen kan wellicht een hoger toelaatbaar overslag debiet worden toegestaan.

### Resterende kruinbreedte

De resterende kruinbreedte na een eerste afschuiving dient groter te zijn dan de minimaal vereiste resterende kruinbreedte:

$$B_{rest} \geq B_{min}$$

Waarin:

$$\begin{aligned} B_{rest} &= \text{Resterende kruinbreedte na een eerste afschuiving;} \\ B_{min} &= \text{Minimaal vereiste resterende kruinbreedte.} \end{aligned}$$

Als standaard waarde voor de minimaal vereiste resterend kruinbreedte kan  $B_{min} = 1,5$  m worden gehanteerd, zie de voorgaande subparagraaf.

In de restbreedte methode wordt de kruinbreedte aangetast door de primaire en de secundaire afschuiving, beide bepaald met een zelfs voor primaire keringen voldoende conservatieve benadering. Het is de vraag of deze opstapeling van veiligheidsmarges voor vaak minder belangrijke regionale keringen in alle gevallen noodzakelijk is. Onderstaand worden twee benaderingen gegeven die kunnen leiden tot nuancering van de eis:

1. Ligging normcirkel ( $F_{norm}$ ) ten opzichte van maatgevende cirkel ( $F_{maatgevend}$ );

In de restbreedte methode wordt uitgegaan van de normcirkel. De maatgevend cirkel zal een grotere kans van optreden en daarnaast een stabiliserend effect op het restprofiel hebben. Er is dus een zogenaamde marge tussen de maatgevende cirkel en de normcirkel, zie ook figuur 5.3. Deze marge kan onder meer de onzekerheid in de ligging van de maatgevende cirkel verdisconteren. Er is echter wat voor te zeggen om een reductie op deze marge toe te passen. Deze kan onder andere afhangen van de grootte van, en de stabiliteitsfactor (of kans) behorend bij, de maatgevende glijcirkel.

De eis zou dan als volgt worden genuanceerd:

$$B_{rest} + R_{marge} * marge \geq B_{min}$$

Als standaard waarde voor een reductiefactor op de marge lijkt als eerste inschatting een waarde  $R_{marge} = 0,5$  reëel.

Wellicht is het differentiëren van deze factor voor verschillende IPO-veiligheidsklassen wenselijk, waarbij voor de hogere klassen een lagere reductiefactor (dus meer reductie) kan worden toegepast.

## 2. Verschil maatgevende stabiliteitsfactor ( $F_{maatgevend}$ ) met vereiste stabiliteitsfactor ( $F_{norm}$ )

Indien de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel groter of gelijk is aan de stabiliteits-factor bij de normcirkel, betekent dit dat de kade voldoet en géén restbreedte benodigd is. Op het moment dat de kade (net) niet voldoet, wordt er plotseling wel een zware eis aan de resterende kruinbreedte gesteld. In feite moet dan plotseling gelden:

$$B_{kruin} \geq B_{min} + B_{sec} + B_{prim}$$

Waarin:

- $B_{kruin}$  = Totale kruinbreedte ( $B_{kruin} = B_{res} + B_{sec} + B_{prim}$ );
- $B_{min}$  = Minimaal vereiste resterende kruinbreedte (standaard 1,5 m)
- $B_{sec}$  = Aangetaste kruinbreedte ten gevolge van de secundaire afschuiving
- $B_{prim}$  = Aangetaste kruinbreedte ten gevolge van de primaire afschuiving

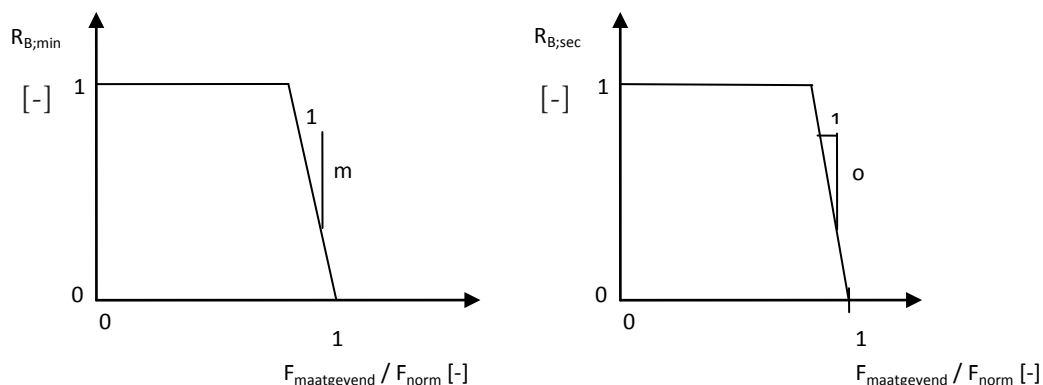
Voor situaties waarbij de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel richting de waarde van de norm cirkel gaat, ofwel  $F_{d;maatgevend} / F_{d;norm}$  gaat naar 1,0, lijkt het echter logisch dat het in rekening brengen van een zeer beperkte restbreedte al voldoende is. Indien de stabiliteitsfactor behorend bij de maatgevende cirkel en de normcirkel immers aan elkaar gelijk zijn, ofwel  $F_{d;maatgevend} / F_{d;norm} = 1,0$ , is er helemaal geen restbreedte benodigd. Voorgesteld wordt om een reductiefactor toe te passen op de breedte van de secundaire afschuiving en/of de minimaal vereiste resterende kruinbreedte. Dit leidt tot:

$$B_{kruin} \geq R_{B;min} \times B_{min} + R_{B;sec} \times B_{sec} + B_{prim}$$

- Waarin:  $xR_{B;min}$  = Reductiefactor op de minimaal vereiste resterende kruinbreedte;
- $R_{B;sec}$  = Reductiefactor op de aangetaste kruinbreedte tengevolge van de secundaire afschuiving;

Voor het bepalen van  $R_{B;min}$  en  $R_{B;sec}$  wordt verwezen naar figuur 4. Als standaard waarde voor 'm' en 'o' lijkt als eerste inschatting een waarde van  $m = o = 10$  reëel.

Wellicht is het differentiëren van deze factor voor verschillende IPO-veiligheidsklassen wenselijk, waarbij voor de lagere klassen een lagere factor voor m en/of o (dus meer reductie) kan worden toegepast.



**Figuur 4: Bepaling reductiefactoren  $R_{B;min}$  en  $R_{B;sec}$**

Aanbevolen wordt om deze beide reductiemogelijkheden in 'kans termen' nader te onderbouwen en een protocol op te stellen voor het op eenvoudige wijze (al dan niet in combinatie) toepassen van deze reductiemogelijkheden.

#### **Onderbouwing optimalisatie waarde 'a' naar 0,4**

In een literatuurstudie zijn beperkt bruikbare praktijkvoorbeelden van taludafschuivingen bij regionale waterkeringen gevonden. De gevonden praktijkvoorbeelden betreffen secundaire / oppervlakkige afschuivingen. De resultaten van de literatuurstudie zijn opgenomen in de notitie Cases afschuivingen [in STOWA, 2015]. De gevonden praktijkvoorbeelden zijn toereikend om de factor 'a', de mate van primaire kruindaling bij afschuiven van het talud te verlagen tot een waarde van 0,4.

Het verdient aanbeveling om een database op te stellen van praktijkvoorbeelden van (primaire) afschuivingen bij regionale waterkeringen. De praktijkvoorbeelden dienen van die aard te zijn dat de relevante variabelen vastgelegd kunnen worden. Wanneer deze variabelen bekend zijn, kan mogelijk de factor 'a' aangescherpt worden op basis van de lokale kenmerken van de beschouwde kade.

#### **Verdere optimalisatie factor a**

Bovenstaande methode is nog verder aangescherpt door Arcadis [2] waarbij rekening is gehouden met de vaak kleine steekproef (het vaak beperkte aantal praktijkvoorbeelden) die voorhanden is. Een schatting van de 95% betrouwbaarheid kan op de volgende manier verkregen worden:

$$x_k = x_{gem} + t_{0,05} S \sqrt{1 + \frac{1}{n}}$$

Hierin is:

$x_k$ : kans

$x_{gem}$ : gemiddelde van de afschuivingen uit praktijkvoorbeelden

$s$ : standaarddeviatie

$n$ : aantal praktijkvoorbeelden

#### **REFERENTIES**

[1] TRAS: Technisch Rapport Actuele Sterkte. ENW, 2007.

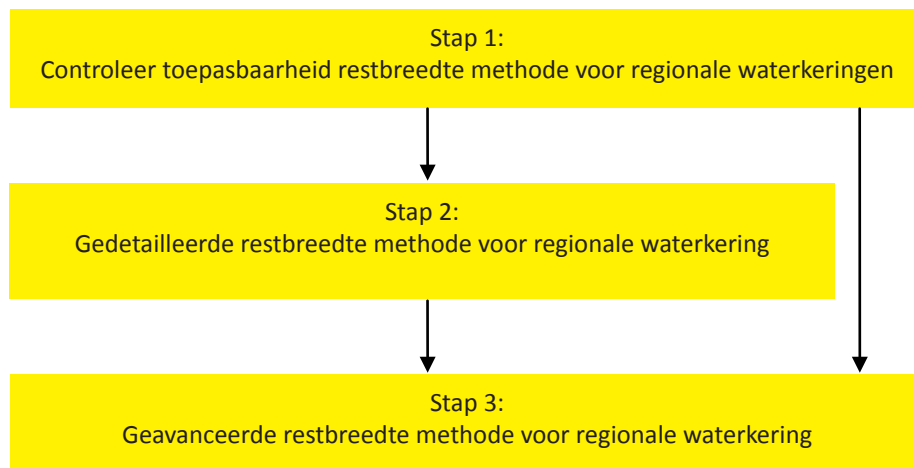
[2] Nader onderzoek en toetsing 5 kades; Kade 8 Lage Abtswoudepolder. Arcadis, rapport 075335235:E.



## Bijlage 4 Restbreedte benadering STBU

Op het moment in geen restmethode beschikbaar voor de beoordeling van het buitentalud. In het vorige hoofdstuk is wel een (nieuwe) methode voor het binnentalud van regionale waterkering beschreven. Voorgesteld wordt om deze methode ook toe te passen voor het buitentalud, waarbij de invloed van erosie van het aangetaste profiel nog toegevoegd dient te worden.

Teneinde over een restbreedte methode te kunnen beschikken die specifiek betrekking heeft op het buitentalud van regionale waterkering, wordt voorgesteld om het schema uit figuur 1 toe te passen. Dit schema komt overeen met het schema voor de beoordeling van het binnentalud. De inhoud van de stappen verschilt echter wel op enkele punten, welk hierna zullen worden toegelicht.



**Figuur 1** Stappenplan restbreedte methode voor regionale waterkering

**Stap 1: controleer toepasbaarheid restbreedte methode voor regionale waterkering**

Voor de toepassing van de restbreedte voor regionale waterkering dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt met voorwaarden die gelden voor de gedetailleerde methode en voor de geavanceerde methode. De voorwaarden voor het toepassen van de restbreedte methode voor boezemkade zijn in principe gelijk aan die volgens de 'restbreedte-bij-overhoogte' methode volgens het TRAS. Hier worden eisen gesteld met betrekking tot opdrijfsituaties, objecten in de waterkering, overslagdebiet en stabiliteitsfactor. Hoe met deze zaken bij het buitentalud van regionale waterkering moet worden omgegaan komt hierna aan de orde.

**Opdrijven van de deklaag**

Opdrijven van de deklaag is voor de beoordeling van het buitentalud niet relevant en vormt derhalve ook geen beperkende voorwaarde voor het toepassen van de methode.

**Objecten in de waterkering**

Voor objecten in de waterkering dienen de eisen uit het TRAS te worden gehanteerd. In de waterkering mogen zich dus geen objecten bevinden, die bij een primaire of secundaire afschuiving de waterkerende functie van de waterkering in gevaar brengen. Dit betreft bijv. pijpleidingen die door een ontploffing of lekkage de sterkte van de kering aantasten. De aanwezigheid van kabels met een beperkte diameter (zoals telefoon- of glasvezelkabels) brengt de waterkerende functie niet gevaar.

**Overslagdebiet  $q \leq 0,1$  l/m/s**

Deze eis is afgeleid voor een beoordeling van de binnenwaartse stabiliteit van een aangetast profiel. Voor een beoordeling van het buitentalud is het niet nodig om een eis aan dit overslagdebiet te stellen. Derhalve vervalt de eis aan het maximale overslagdebiet voor het toepassen van een restbreedte methode voor het buitentalud.

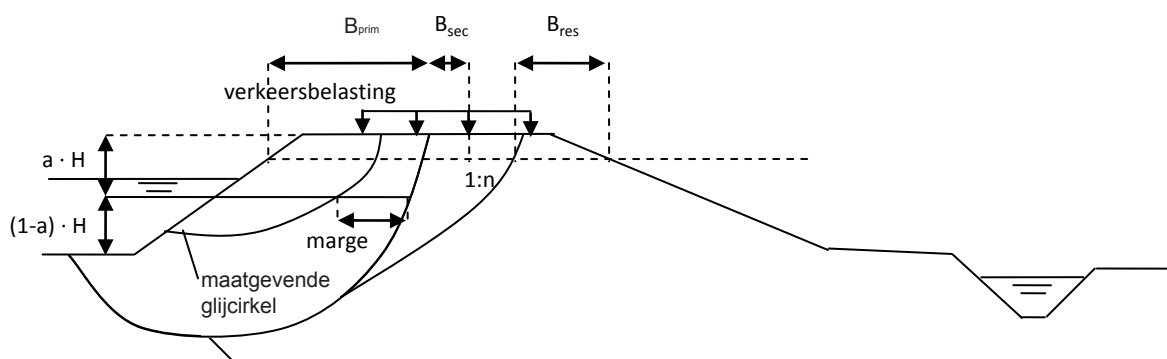
Stabiliteitsfactor  $\gamma \geq 1,0$

Deze stabiliteitseis komt voor regionale waterkering te vervallen. Immers, voor regionale waterkering varieert de vereiste stabiliteitsfactor van 0,8 tot 1,0 voor IPO-klassen I tot V. Dit betekent wel dat in de beoordeling alleen de waterkerende functie wordt beschouwd. Andere functies dienen apart beschouwd te worden. Merk op dat voor bijvoorbeeld verkeersfuncties in sommige gevallen een zwaardere eis kan gelden dan voor de waterkerende functie.

Stap 2: gedetailleerde restbreedte methode voor regionale waterkering

Voorgesteld wordt om voor de gedetailleerde restbreedte methode voor de buitenwaartse stabiliteit van regionale waterkering te baseren op de methode voor binnenwaartse stabiliteit zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. Hierbij worden een aantal aanpassingen en aanvullingen voorgesteld.

Voorgesteld wordt om de principeschets, zoals weergegeven in Figuur 2, voor regionale waterkering toe te passen. Hierin is de primaire kruindaling gesteld op  $a \cdot H$  in plaats van standaard op  $0,5 \cdot H$ , en wordt ook de marge tussen maatgevende en normcirkel expliciet benoemd.



**Figuur 2: Principeschets voorstel restbreedte methode voor regionale waterkering**

In de gedetailleerde beoordeling kunnen voor de parameters in figuur 2 de waarden conform de gedetailleerde 'restbreedte-bij-overhoogte' methode uit het TRAS worden toegepast, waarbij alleen voor de resterende kruinbreedte en minimum kruinhoogte  $h_{kr;min}$  een afwijkende waarde wordt voorgesteld. Op de 'standaard' waarden voor de gedetailleerde restbreedte methode voor regionale waterkering worden de volgende waarden voorgesteld.

Minimum kruinhoogte

Voor de buitenwaartse stabiliteit is, in tegenstelling tot de binnenwaartse stabiliteit, het overslagdebiet geen invloedsparameter voor het bepalen van de minimum kruinhoogte. Macro-instabiliteit van het buitentalud kan verschillende oorzaken hebben, die overwegend gerelateerd zijn aan een snelle daling van de waterstand. Het is daarom onwaarschijnlijk dat direct na het buitenwaarts bezwijken van een kade binnen korte tijd een (zeer) hoge boezemwaterstand optreedt. Voor de minimum kruinhoogte lijkt daarom in eerste instantie een gemiddeld boezempeil, plus lokale toeslagen in verband met scheefstand door opwaaiing en stromingsweerstand en de golftoeslag.

Erosie

In tegenstelling tot de binnenwaartse stabiliteit dient bij de restbreedte methode voor de buitenwaartse stabiliteit ook de invloed van erosie te worden beschouwd. Deze erosie kan in rekening worden gebracht door een extra toeslag  $B_{er}$  op het gereduceerde profiel in rekening te brengen. De erosietoeslag hangt sterk af van de (maatgevende) stroming- en/of golfcondities. Indien de stromingssnelheid en golfhogte lager zijn dan kritische waarden zal de erosie verwaarloosbaar zijn. Achtergronden en formules met betrekking tot erosie worden bijvoorbeeld gegeven in [SBW, 2009].

### Schadefactor

Voor de buitenwaartse stabiliteit worden vaak lagere schadefactoren gehanteerd dan voor de binnenwaartse stabiliteit. In de praktijk wordt wel eens een (niet onderbouwde) 10% lagere schadefactor gehanteerd.

### Minimaal vereiste kruinbreedte

Voor regionale waterkering geldt een minimaal vereiste kruinbreedte van 1,5 m. Deze eis hangt samen met 'normaal beheer'. Hierbij moet bedacht worden dat voor deze 'abnormale omstandigheden' een verdere nuancering van de minimaal vereiste kruinbreedte mogelijk is, hierop kan in een geavanceerde methode nader worden ingegaan.

Benadrukt wordt dat de vereiste kruinbreedte daadwerkelijk aanwezig moet zijn, ofwel het betreffende gedeelte van de kruin moet voldoende stabiel zijn uit oogpunt van macrostabiliteit binnenwaarts. Een gelijktijdige toepassing van een restbreedte benadering voor zowel het binnen- als buitentalud is wel mogelijk, maar vergt speciale aandacht voor het voldoende stabiel zijn van het betreffende gedeelte van de kruin.

### Secundaire afschuiving

De toeslag om het effect van een secundaire afschuiving in rekening te brengen dient te worden bepaald door de factor 'n' uit het TRAS toe te passen:

- voor klei waarvoor  $c_u > 3,5 * H$  :  $n = 2$
- voor veen waarvoor  $c_u > 3,5 * H$  :  $n = 4$
- voor goed verdicht zand waarvoor  $\phi > 22$  graden :  $n = 4$

Waarbij:

$c_u$	=	ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
H	=	kerende hoogte	[m]
$\phi$	=	hoe van inwendige wrijving	[°]

Hierbij dient voor een heterogeen pakket uit te worden gegaan van de maatgevende grondsoort. Indien sprake is van zand waarvoor  $\phi > 22$  graden, maar wat niet goed verdicht is, dient in verband met verweking  $n = 7$  te worden gehanteerd. Voor alle andere gevallen dient de kruinhoogte na de primaire afschuiving gelijk te worden gesteld aan de bovenzijde van de afschuivende grondmoot na de primaire afschuiving.

In de geavanceerde methode wordt een handreiking gegeven om (beargumenteerd) van deze waarden af te kunnen wijken.

### Verkeersbelasting

Voor de te hanteren verkeersbelasting dienen de handreikingen uit dit Addendum te worden gehanteerd. Hierbij dient ook aandacht te worden besteedt aan de vraag of de verkeersfunctie aangetast mag worden door de eerste afschuiving én aan de vraag of in het restprofiel, na het optreden van de eerste afschuiving, nog rekening gehouden dient te worden met een verkeersbelasting.

### Glijcirkel

Voor de glijcirkel behorend bij de primaire afschuiving wordt de benadering volgens TRAS gevolgd. In de gedetailleerde beoordeling uitgegaan van de normcirkel. In een geavanceerde beoordeling kan hier beargumenteerd van worden afgeweken.

### Verplaatsing afschuivende grondmoot

In geval van afschuiven zal de afschuivende grondmoot (primaire afschuiving) afschuiven totdat het aanvankelijke hoogteverschil H tussen de bovenbegrenzing van het actieve gedeelte (oorspronkelijke kruinhoogte of het niveau waar het glijvlak insnijdt in het binnentalud) en het passieve gedeelte (oorspronkelijke bodem van de boezem) is afgenomen met een factor 'a'.

In de gedetailleerde methode wordt een waarde van  $a = 0,5$  gehanteerd, conform de gedetailleerde methode in het TRAS. Deze waarde is in TRAS nader onderbouwd, waarbij wordt opgemerkt dat deze waarde mogelijk (zeer) conservatief is. In de geavanceerde methode kan dan ook (beargumenteerd) van deze waarde worden afgeweken.

## Bijlage 5: Tabellen en grafieken ter bepaling van de golfhoogte en golfoverslaghoogte

### 1 Introductie

Ten behoeve van de toetsing is een aantal grafieken ontwikkeld waaruit de benodigde golfoverslaghoogte eenvoudig kan worden afgeleid. De grafieken zijn samengesteld voor een aantal realistische combinaties van de relevante kenmerken, zoals weergegeven in onderstaande tabel. Deze bijlage presenteert de grafieken, alsmede de gehanteerde uitgangspunten bij de samenstelling en enkele voorwaarden bij het gebruik daarvan.

**Tabel B6.1: Parameters in grafieken voor de bepaling van de overslaghoogte**

Variabele	Aanduiding	Beschouwde variatie
het overslagdebiet	Q	0,1 en 1,0 l/m/s
de maatgevende windsnelheid	u	16, 22, 24, 26, 28, 30 en 32 m/s
de waterdiepte	D	2, 3, 4, 5 7,5 en 10 m
de helling van het buitentalud	T	helling 1:2 en 1:3 (V:H);
de breedte van de boezem	B	variërend van 10 tot 5000 m

Iedere grafiek presenteert steeds de golfoverslaghoogte voor één combinatie van een overslagdebiet en windsnelheid. In de grafiek is de benodigde golfoverslaghoogte uitgezet tegen de breedte van de boezem, voor verschillende combinaties van de waterdiepte en helling van het buitentalud. De verschillende lijnen in de grafiek betreffen steeds één combinatie van waterdiepte (D) en helling van het buitentalud (T), waarbij de toevoeging in de legenda overeenkomt met de gehanteerde waarde van de variabele. Zo staat bijvoorbeeld:

- T2D4 voor de combinatie van een 1:2 helling van het buitentalud en 4 m waterdiepte;
- T3D7,5 voor de combinatie van een 1:3 helling van het buitentalud en 7,5 m waterdiepte.

### 2 Uitgangspunten

Bij de ontwikkeling van de grafieken zijn ten aanzien van de beschouwde variabelen de onderstaande uitgangspunten gehanteerd.

#### Overslagdebiet

Beschouwd is een toelaatbaar overslagdebiet van 0,1 en 1 l/m/s. Voor een groter overslagdebiet is een geavanceerde beoordeling benodigd, waarbij rekening wordt gehouden met de veiligheid van het binnentalud, eventuele toegankelijkheid van de kade voor (nood-) maatregelen en de overlast voor de polder.

#### Windsnelheid

De grafieken houden geen rekening met de ligging van de kade ten opzichte van de windrichtingen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een maatgevende windsnelheid, die waait vanuit alle windrichtingen. Met de specifieke verdeling van de maatgevende windsnelheden over de verschillende windrichtingen is geen rekening gehouden.

#### Waterdiepte

De waterdiepte betreft de waterdiepte, zoals die tijdens de toetsituatie optreedt. Met totale waterdiepte wordt bedoeld het verschil tussen de waterbodem en het toetspeil, dus inclusief de lokale toeslagen.

#### Helling van buitentalud

In de gehanteerde schematisering heeft het buitentalud een uniforme taludhelling van kruinniveau tot op de waterbodem. Eventueel aanwezige elementen die een gunstige invloed hebben op de hoogte van golven (zoals een rietkraag, een onderwater dam of een ondiepe vooroever) zijn niet beschouwd.

### **Strijk Lengte en breedte van het water**

Bij de berekeningen is een breedte van het water beschouwd variërend van 10 tot 5000 m. De bijbehorende strijk lengte vanuit verschillende invalshoeken is berekend op basis van het uitgangspunt van een rechthoekige boezem, kanaal of regionale rivier, waarbij de keringen evenwijdig aan elkaar lopen.

### **Bekleding buitentalud**

Gehanteerd uitgangspunt is daarnaast dat de bekleding van het talud wordt gevormd door een goed ontwikkelde grasmat. De gehanteerde invloedsfactor voor de ruwheid van het gras is afhankelijk gesteld van de golfhoogte, en neemt met afnemende golfhoogte af van ca. 1,0 tot 0,51 [-]. Ook voor sommige soorten harde bekleding geldt dat in werkelijkheid de invloedsfactor afhankelijk is van de golfhoogte, maar dit effect is sterk afhankelijk van de aard van de bekleding. Bij breuksteen speelt dit effect bijvoorbeeld in veel sterkere mate dan bij asfalt (als er al enig effect is). Hierdoor kan niet worden aangenomen dat een harde bekleding in alle situaties een lagere invloedsfactor heeft dan de gehanteerde factor voor gras. De grafieken kunnen zodoende niet worden toegepast indien het buitentalud een harde (steen)bekleding heeft. Naar verwachting is dit slechts een geringe beperking voor de praktijk, aangezien harde bekleding met name wordt toegepast indien hoge golfhoogten kunnen optreden.

## **3 Toelichting bij het gebruik van de grafieken**

### **Toelaatbaar overslagdebiet**

Een overslagdebiet van maximaal 0,1 l/m/s vormt een verwaarloosbaar overslagdebiet. Dit vormt geen bedreiging voor de stabiliteit van de kade. Indien een toelaatbaar overslagdebiet van 1,0 l/m/s of hoger wordt gehanteerd dient tevens de stabiliteit van de bekleding op de kruin en het binnentalud te worden getoetst. Hiervoor wordt verwezen naar § 4.8.2 en de VTV 2004.

### **Maximale windsnelheid**

Voor de te hanteren maatgevende windsnelheid worden de volgende drie mogelijkheden genoemd:

- Het hanteren van één maatgevende windsnelheid, desgewenst per deel van het beheersgebied (zie bijlage 5). In dit geval dient voor de afleiding van de golfoverslaghoogte de grafiek te worden gekozen die behoort bij deze maximale windsnelheid. Deze aanpak is het meest eenvoudig, maar conservatief in twee opzichten: de windsnelheid is (iets) hoger dan wanneer rekening wordt gehouden met de verdeling over de windrichtingen en waait bovendien uit alle richtingen.
- Desgewenst kan bij de berekening van de golfoverslaghoogte wel rekening worden gehouden met de ligging van de kade ten opzichte van de windrichting en de verdeling van de wind over de verschillende richtingen. Hierbij resulteert een gunstigere windsnelheid. In dit geval kan de benodigde golfoverslaghoogte echter niet grafisch worden afgeleid maar is een gedetailleerde berekening van de golfrandvoorwaarden en de golfoverslaghoogte nodig, bijvoorbeeld op basis van de Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken, deel 2 [LOR2 1989], het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij dijken [TRGG 2002] of het spreadsheet van het Wetterskip Fryslân. Deze benadering wordt beschouwd als onderdeel van de gedetailleerde methode.
- Als alternatief kan een semi-gedetailleerde methode worden toegepast waarbij gedeeltelijk rekening wordt gehouden met de ligging van de kade ten opzichte van de wind en toch gebruik kan worden gemaakt van de grafieken. Hierbij wordt de maximale maatgevende windsnelheid geselecteerd vanuit alle denkbare hoeken van inval op de kade, en wordt op basis van deze maatgevende windsnelheid de golfoverslaghoogte grafisch afgeleid.

Een voorbeeld van deze derde mogelijkheid is verderop in deze bijlage gegeven

### Waterdiepte

De waterdiepte betreft de totale waterdiepte, zoals die tijdens de toetsituatie optreedt. In beginsel dient de golfoverslaghoogte te worden bepaald op basis van de maximale waterdiepte. Indien deze waterdiepte slechts op een zeer gering gedeelte over de totale strijklengte voorkomt, kan worden overwogen een geringere waterdiepte te hanteren. Een dergelijke optimalisatie dient in voldoende mate te worden onderbouwd.

### Helling buitentalud

Bij het gebruik van de grafieken dient de taludhelling te worden gehanteerd zoals die voorkomt op het buitentalud, over een hoogte op het talud van ca.  $1,5 * H_s$  beneden het toetspeil tot ca.  $1,0 * H_s$  boven het toetspeil. Indien een flauwer talud dan 1:3 aanwezig is, kan desgewenst gebruik worden gemaakt van 1:3. Dit is een conservatief uitgangspunt en overschat de benodigde golfoverslaghoogte en dus de vereiste kruinhoogte.

### Strijklengte

Bij de grafische afleiding van de golfoverslaghoogte dient voor een kadevak de maatgevende breedte van de boezem tijdens maatgevende condities te worden geselecteerd. De bijbehorende strijklengte vanuit de verschillende hoeken van inval is berekend met als uitgangspunt een rechte boezem. Het is aannemelijk dat de vorm van een boezem lokaal afwijkt van de gehanteerde rechte boezem. Bij geringe afwijkingen kan de maatgevende breedte worden bepaald aan de hand van onderstaande toelichting. Bij grote variatie binnen het kadevak kan deze worden ingedeeld in kleinere subvakken.

Een denkbare methode om de grafieken bij sterk onregelmatige vorm van de boezem toch te kunnen toepassen is door middel van het afleiden van een equivalente breedte van de boezem. Hierbij dient voor de verschillende hoeken van inval de strijklengte te worden bepaald, welke vervolgens dient te worden omgerekend naar een equivalente breedte van de boezem. Uit de verschillende resulterende breedten dient vervolgens de grootste of maatgevende breedte te worden geselecteerd.

De equivalente breedte kan worden berekend volgens:

$$\text{Bequivalent} = F * \cos \alpha$$

Waarin:

$$\text{Bequivalent} = \text{breedte boezem loodrecht op kade [m]}$$

$$F = \text{strijklengte [m]}$$

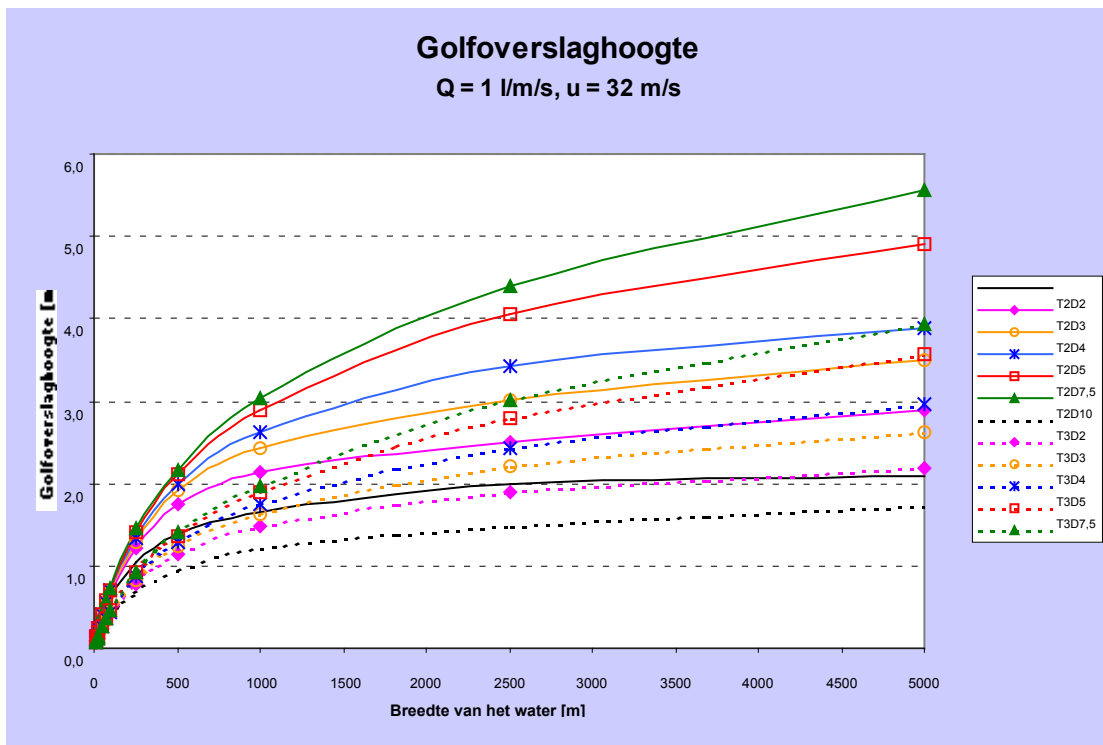
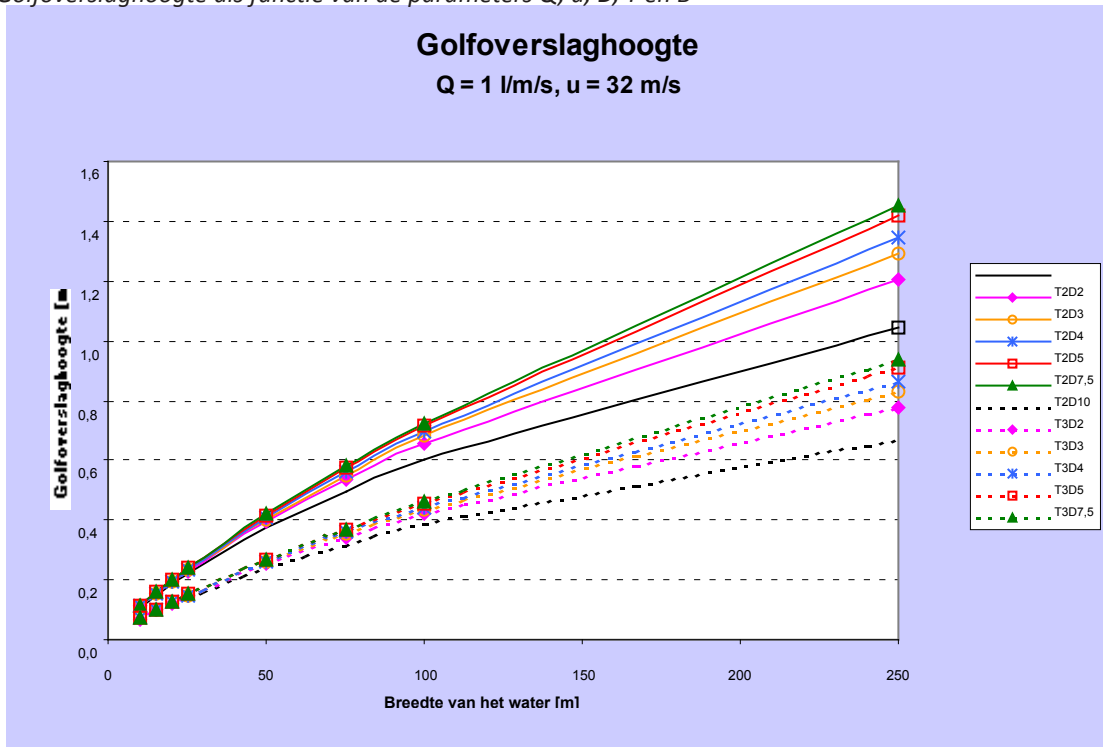
$$\alpha = \text{invalshoek ten opzichte van normaal op de kade [°]}$$

Deze werkwijze is conservatief en resulteert in een overschatting van de golfoverslaghoogte. Veelal zal dit alleen resulteren in het toetsoordeel 'voldoet' indien sprake is van een ruime overdimensionering van de kruinhoogte.

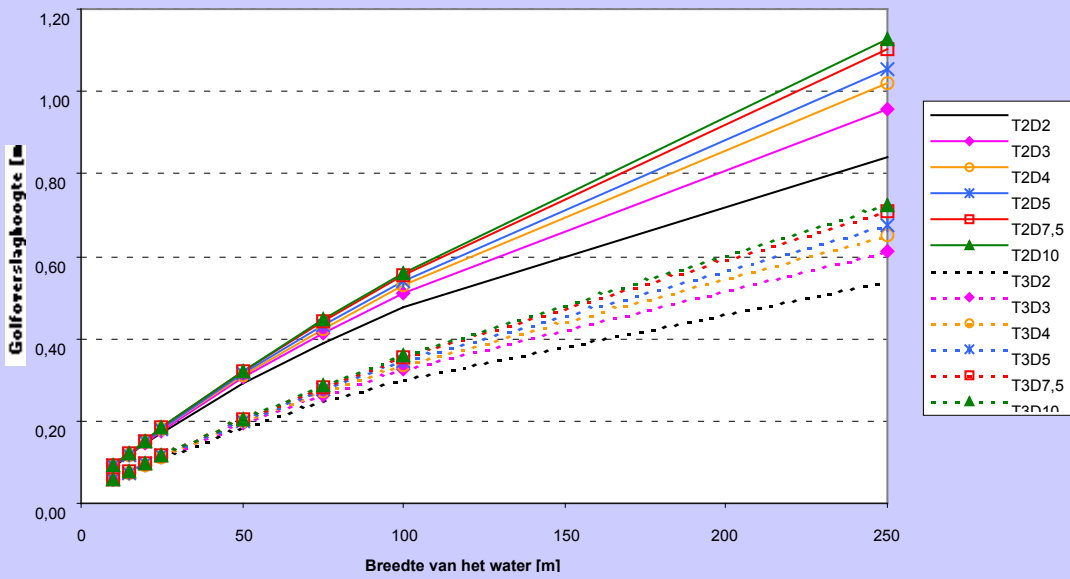
## 4 Grafieken en tabellen

Onderstaand volgen de grafieken, waaruit de in rekening te brengen golfoverslaghoogte kan worden afgelezen. De numerieke resultaten van de berekeningen die aan deze grafieken ten grondslag liggen zijn verder onderstaand beschreven.

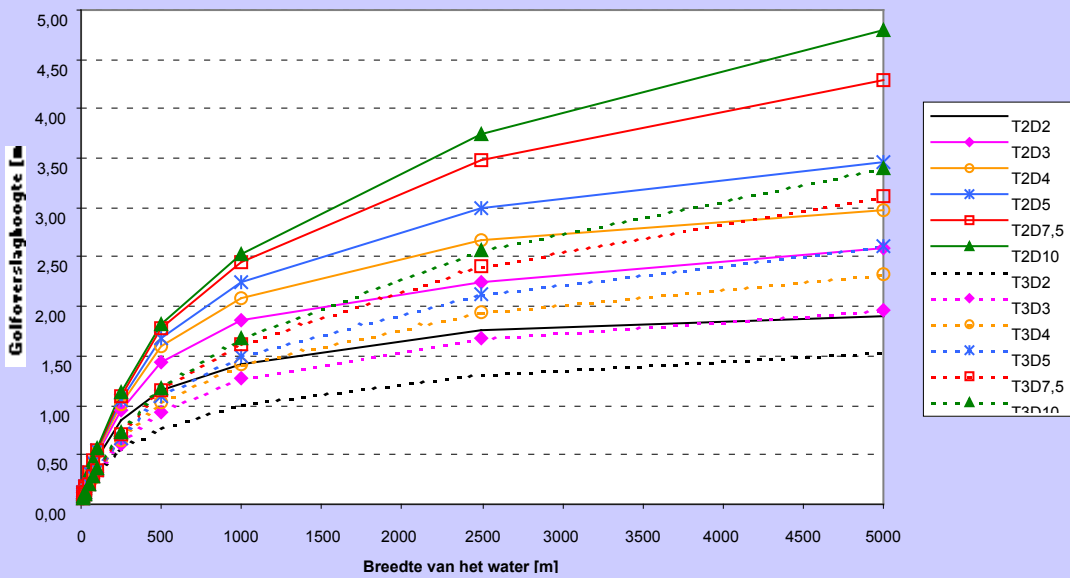
Golfverslaghoogte als functie van de parameters  $Q$ ,  $u$ ,  $D$ ,  $T$  en  $B$



### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 28 m/s

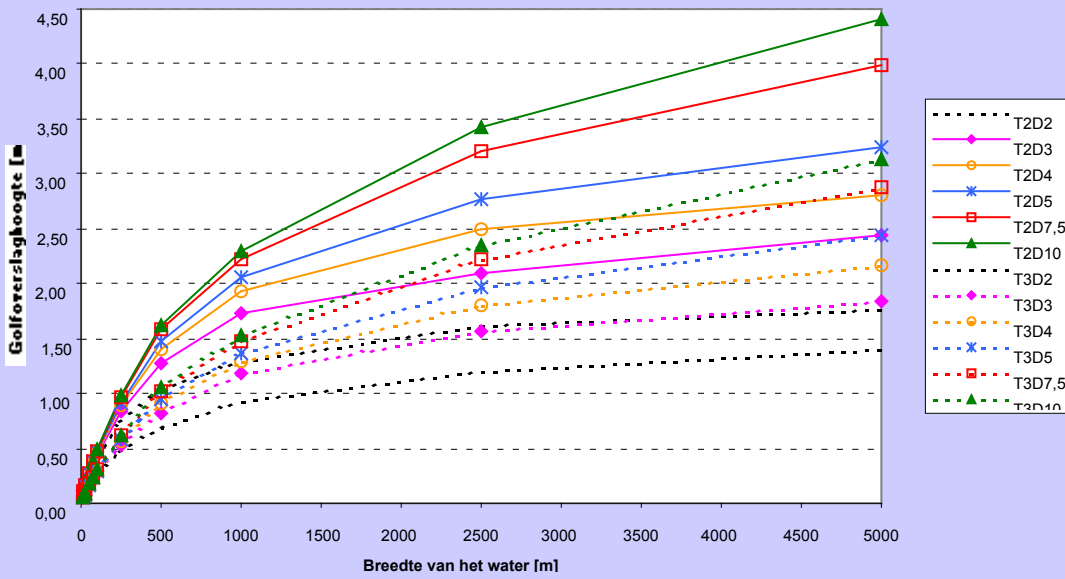


### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 28 m/s

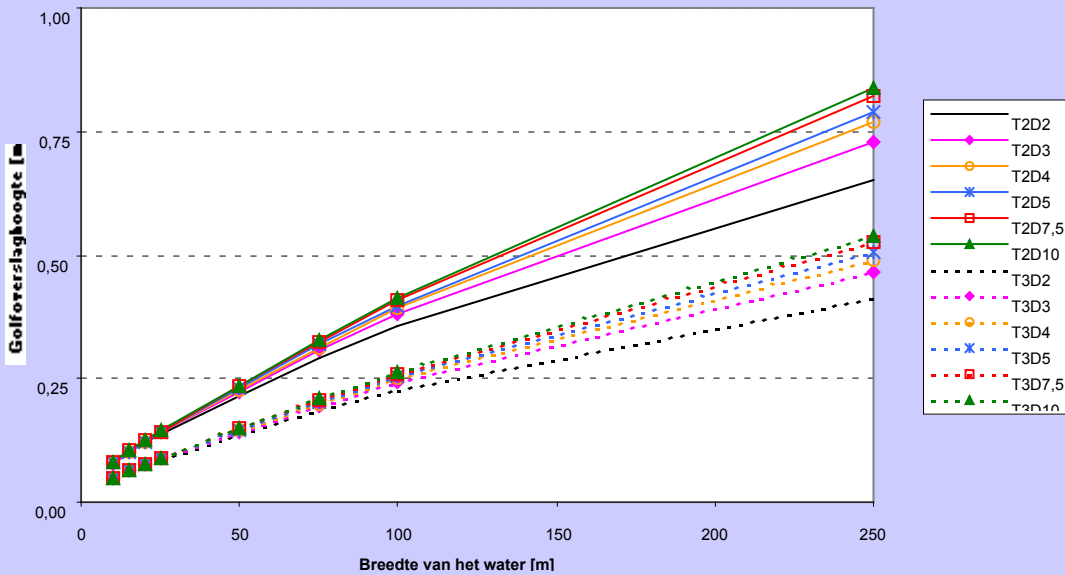




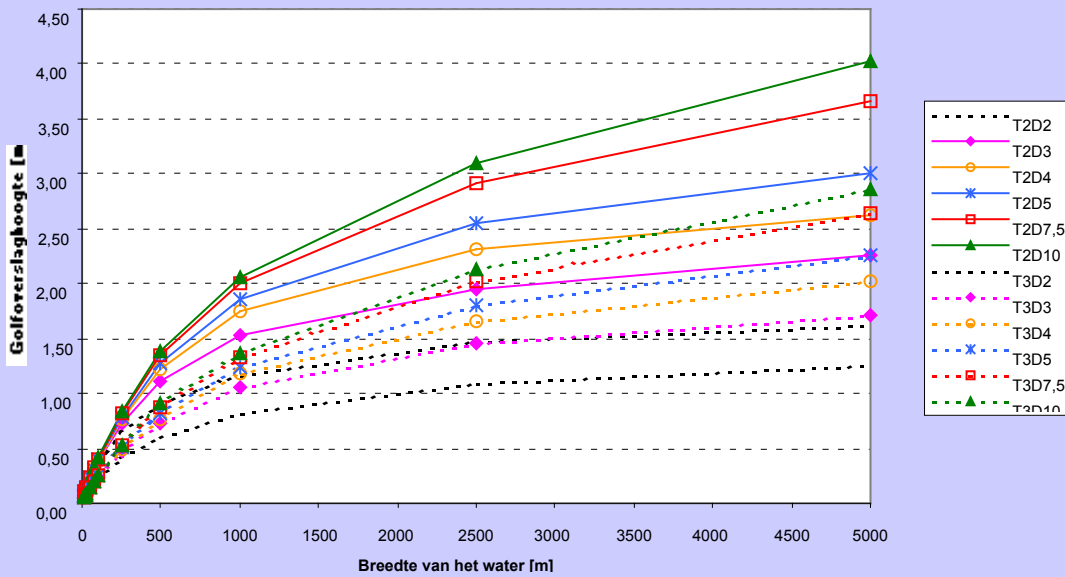
### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 26 m/s



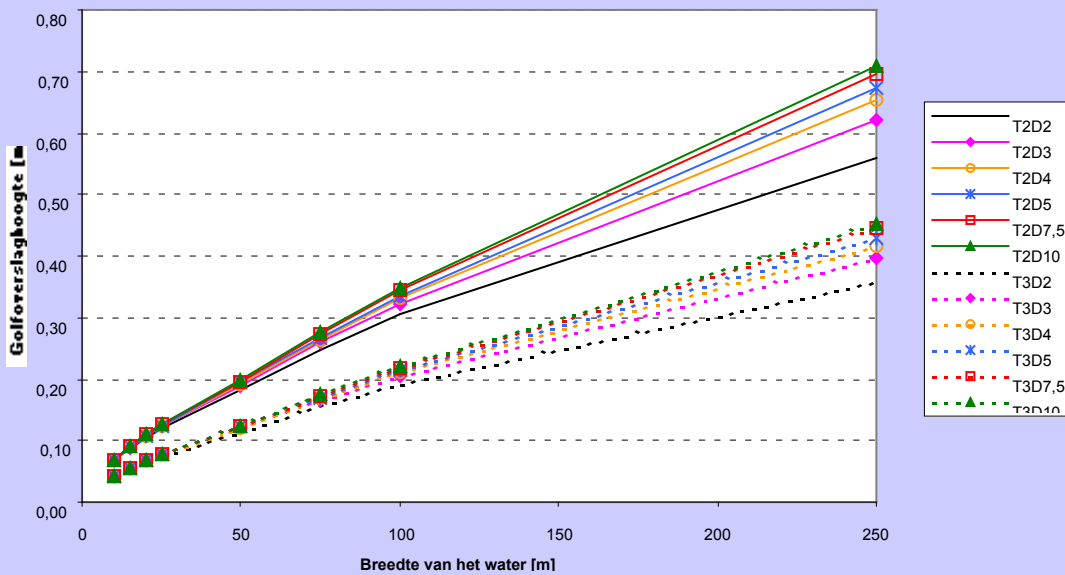
### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 24 m/s



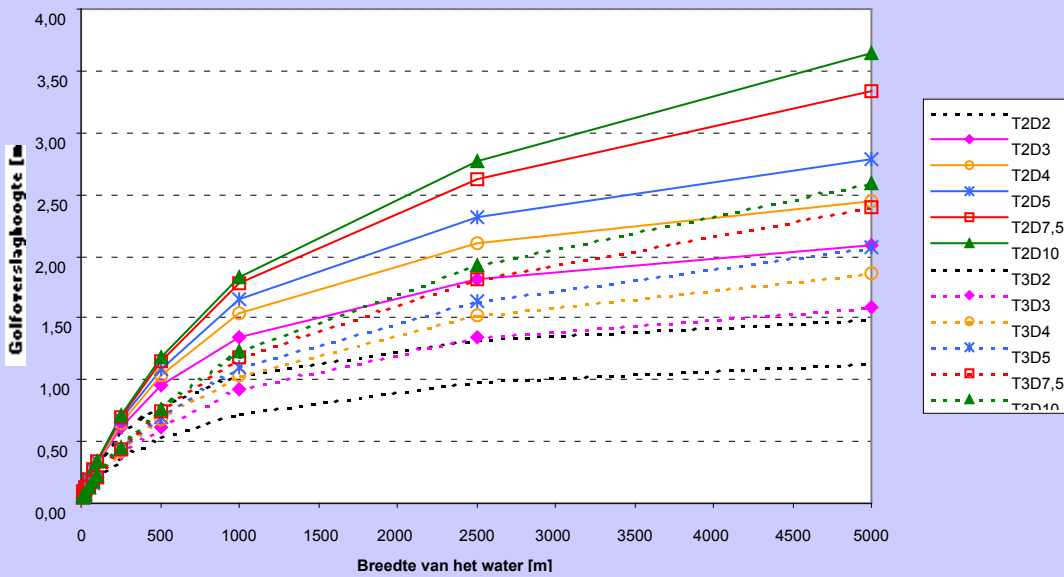
### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 24 m/s



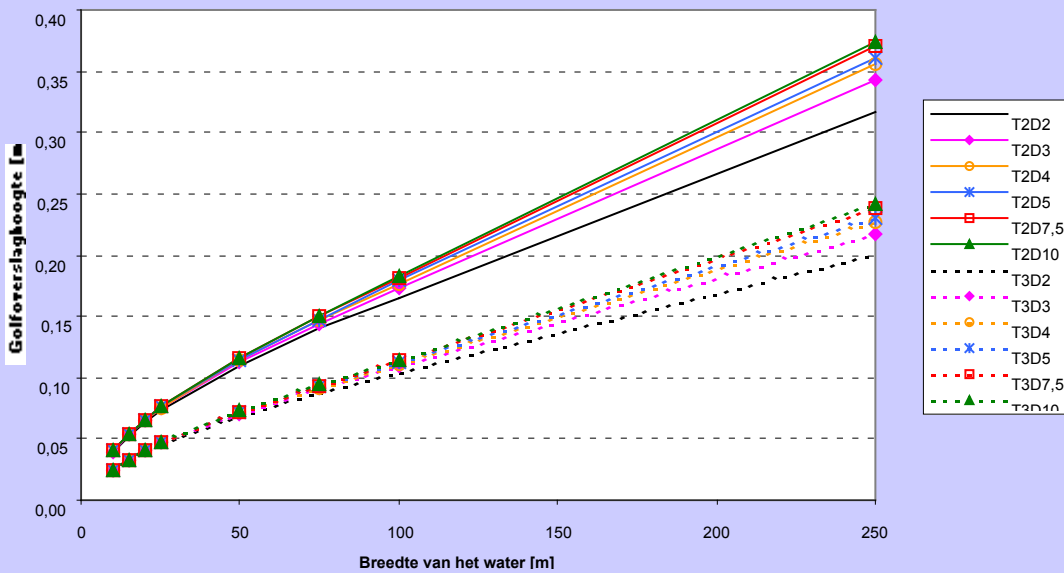
### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 22 m/s



### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 22 m/s

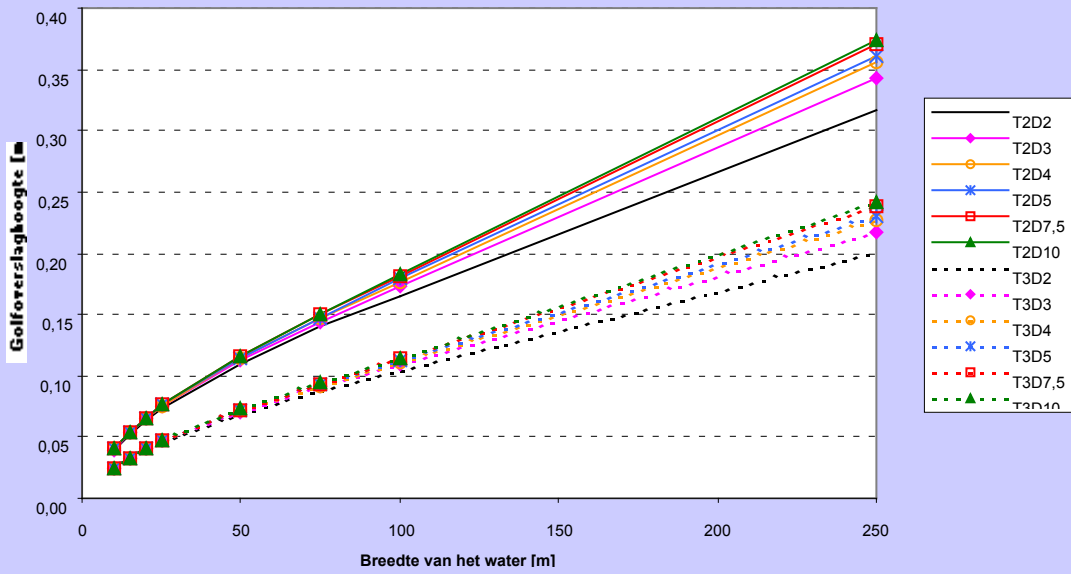


### Golfoverslaghoogte Q = 1 l/m/s, u = 16 m/s



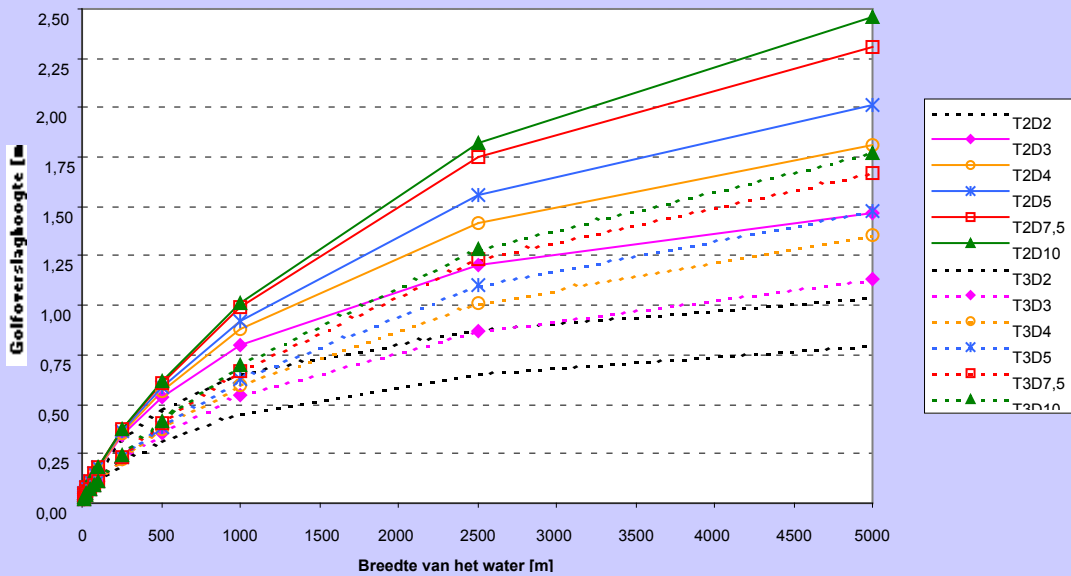
### Golfoverslaghoogte

Q = 1 l/m/s, u = 16 m/s



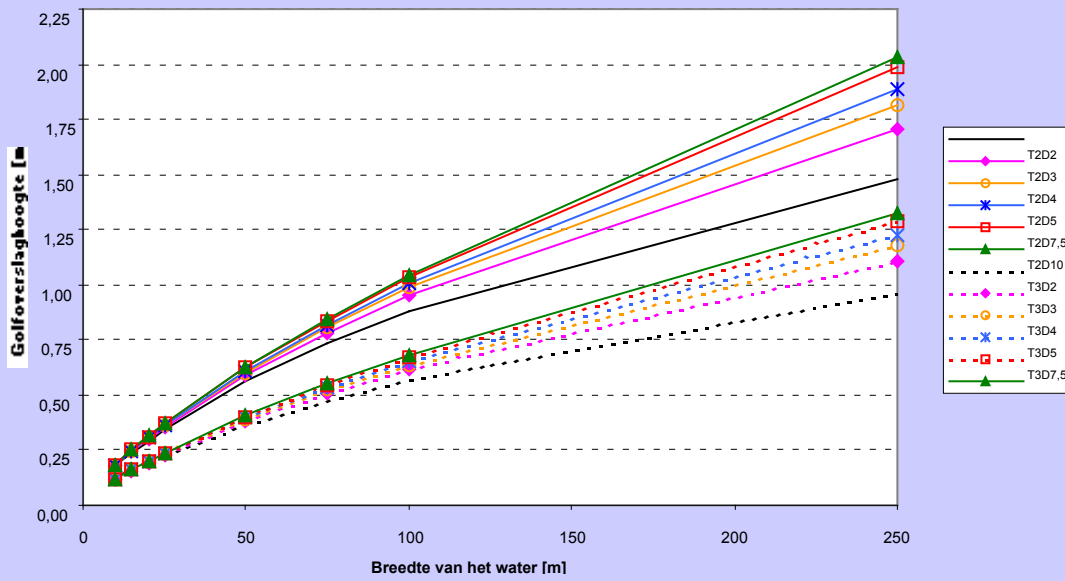
### Golfoverslaghoogte

Q = 1 l/m/s, u = 16 m/s



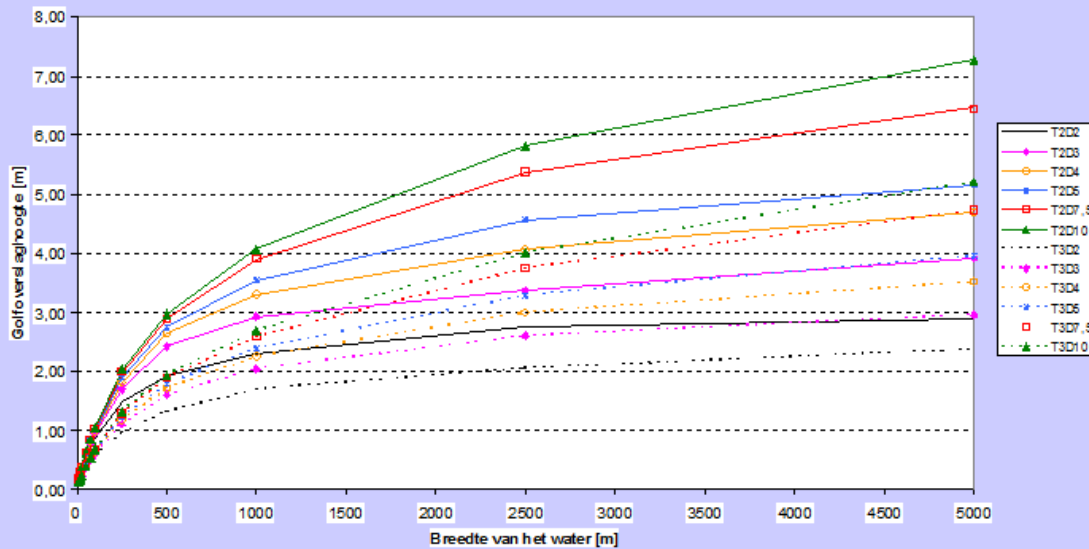
### Golfoverslaghoogte

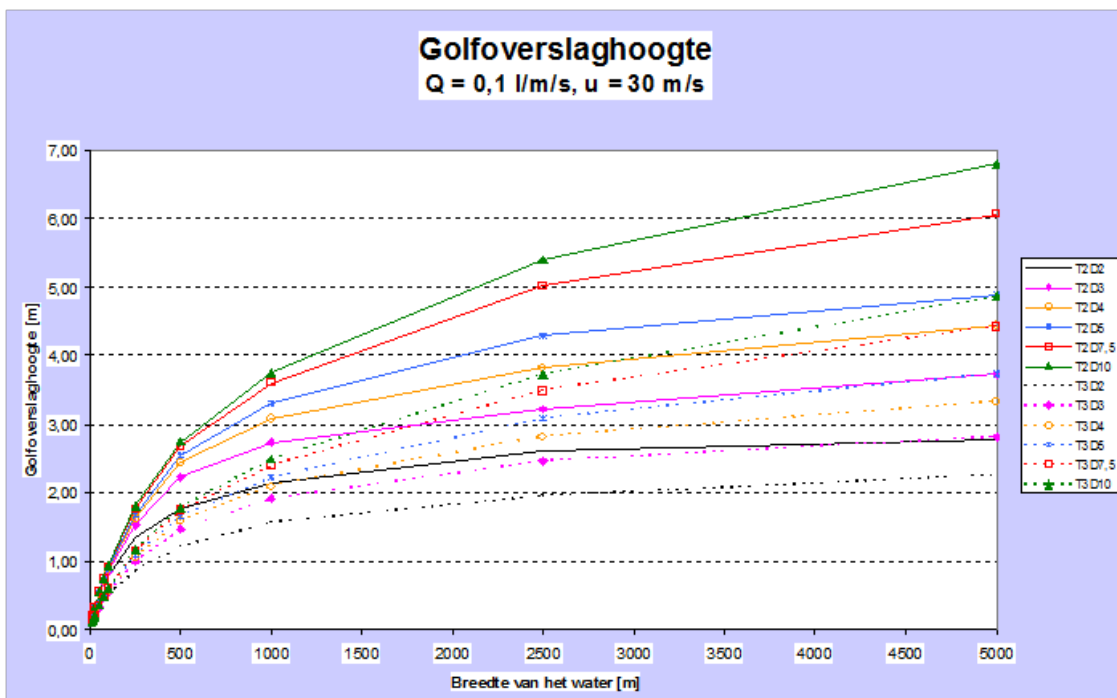
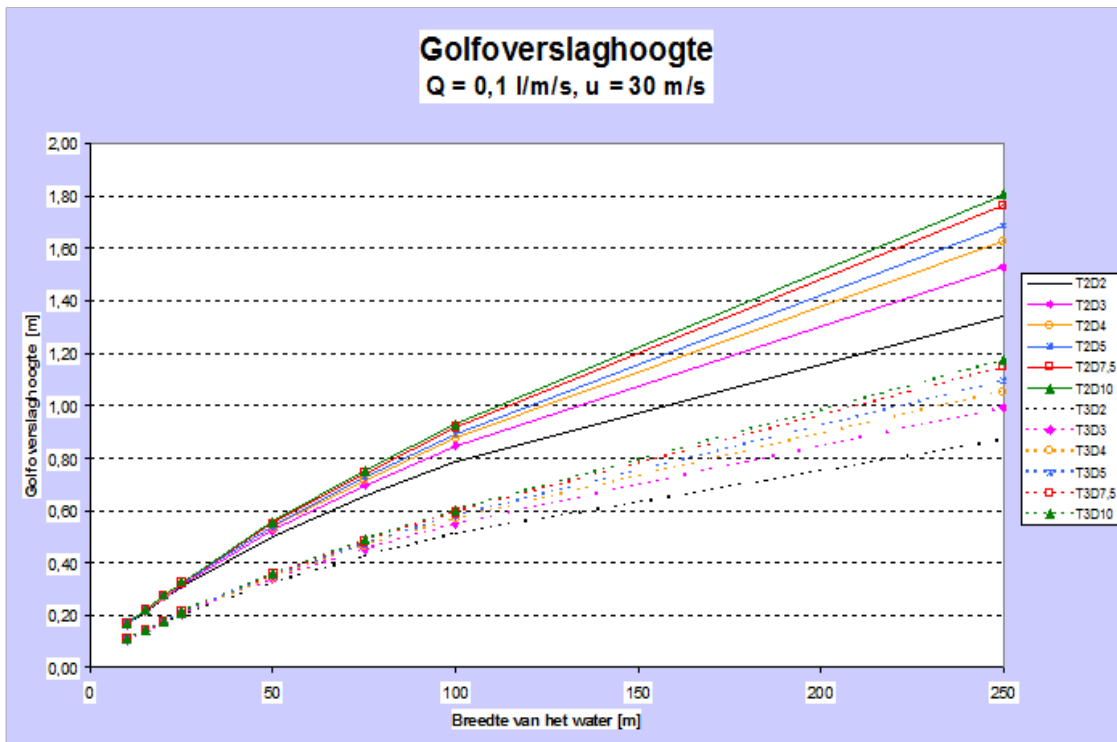
Q = 0,1 l/m/s, u = 32 m/s

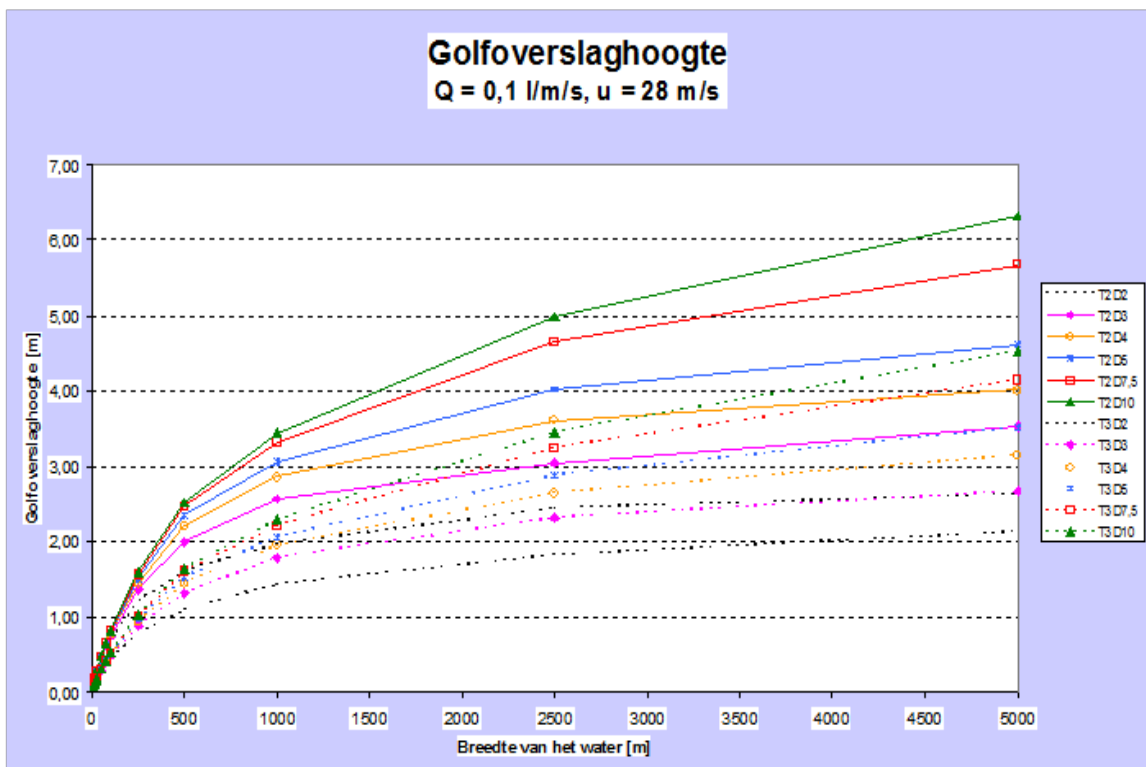
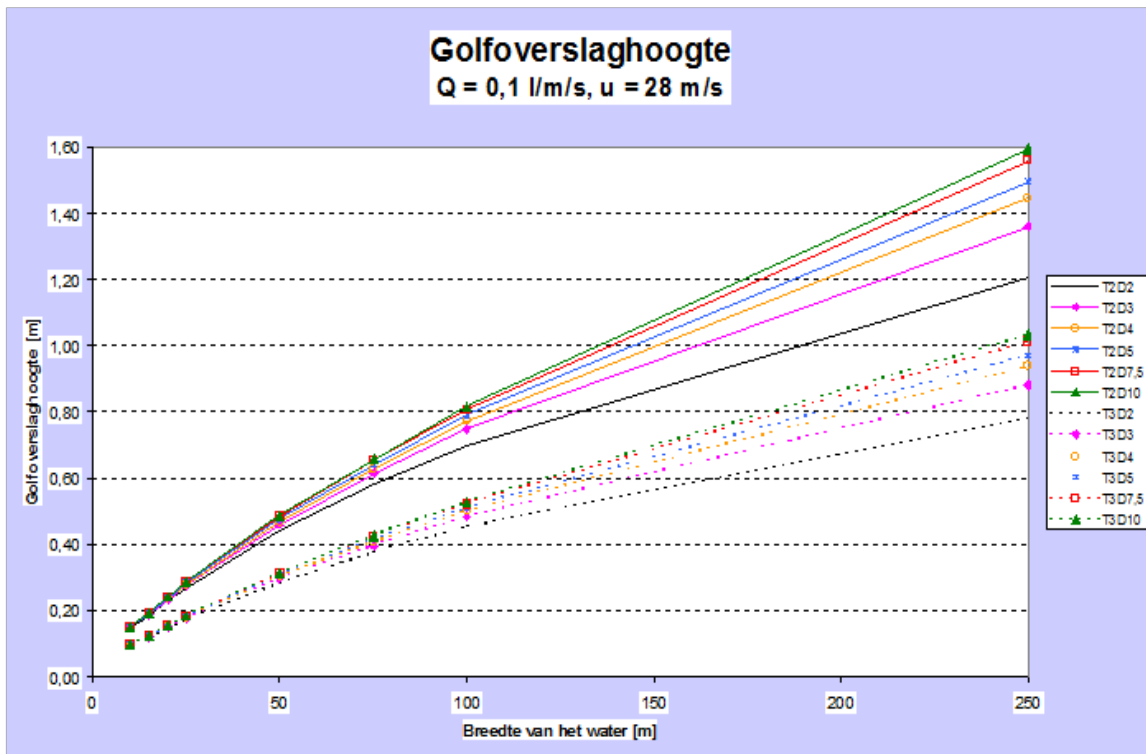


### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 32 m/s

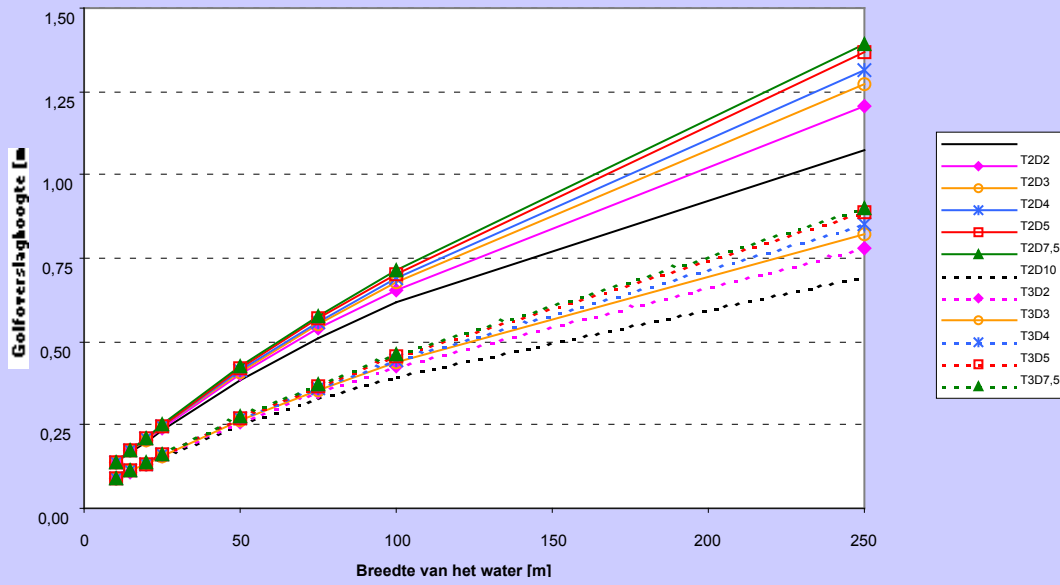






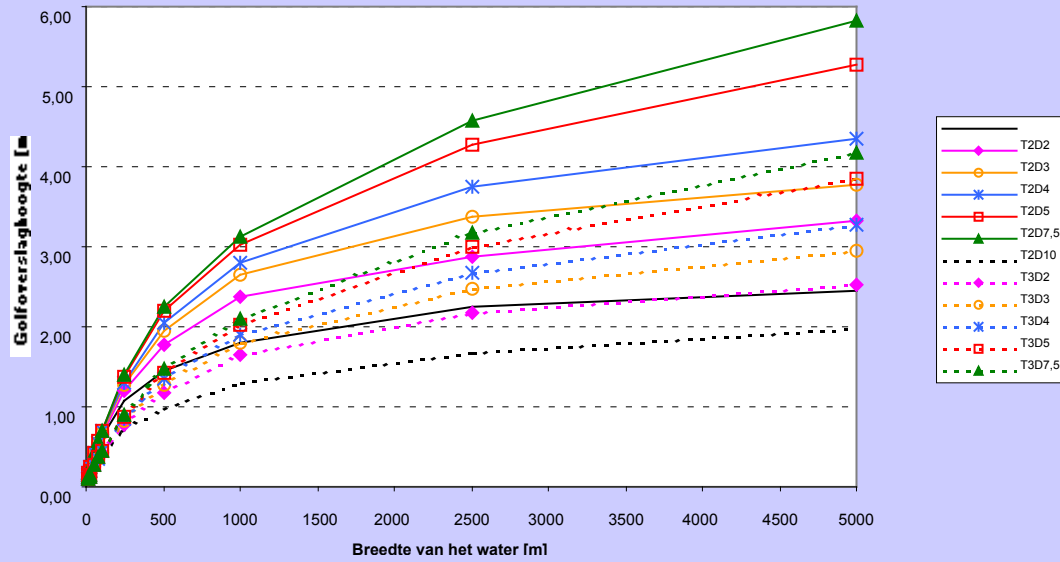
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 26 m/s



### Golfoverslaghoogte

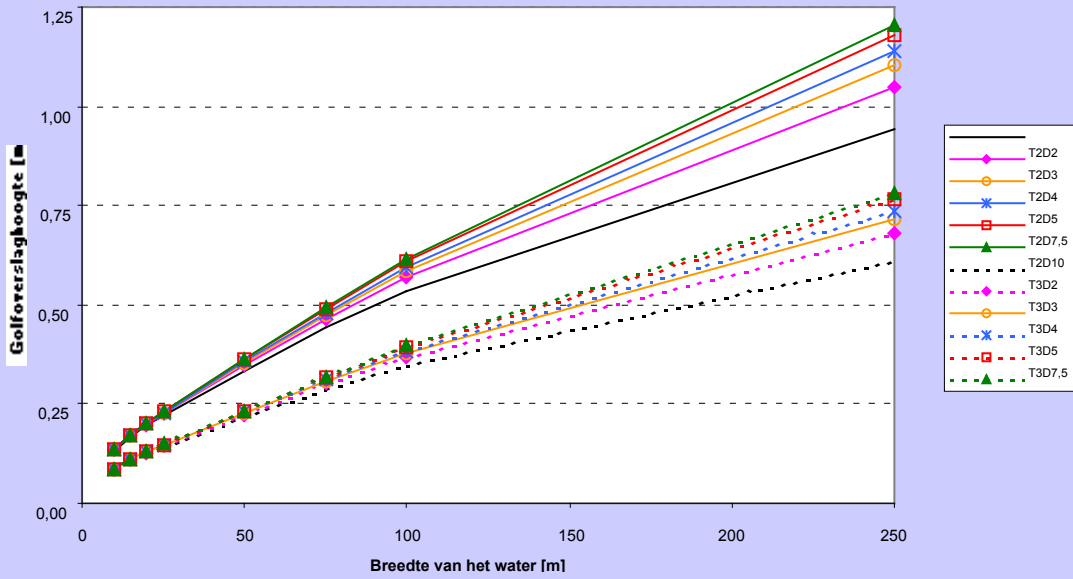
Q = 0,1 l/m/s, u = 26 m/s





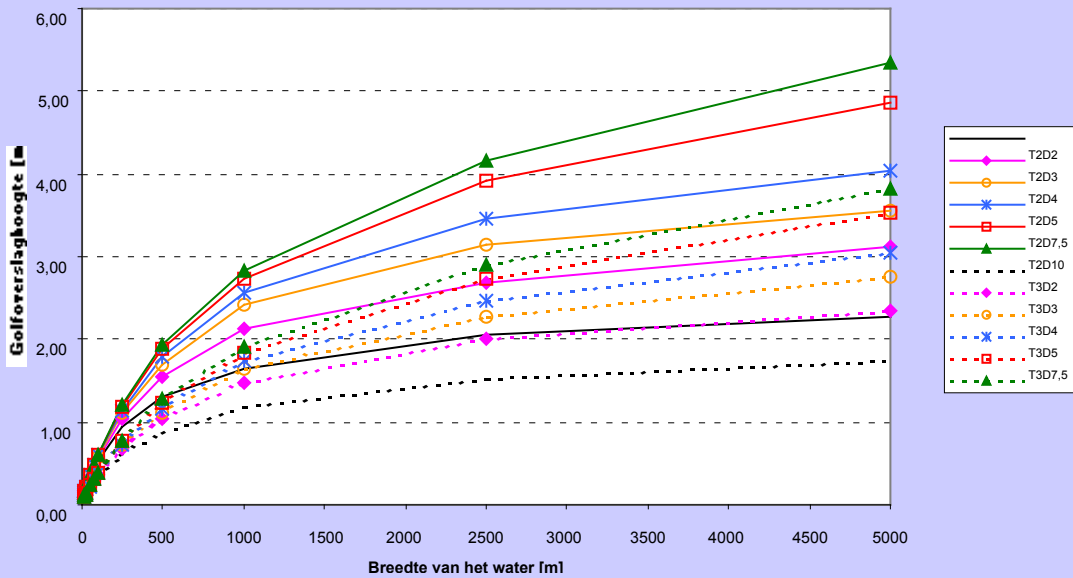
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 24 m/s



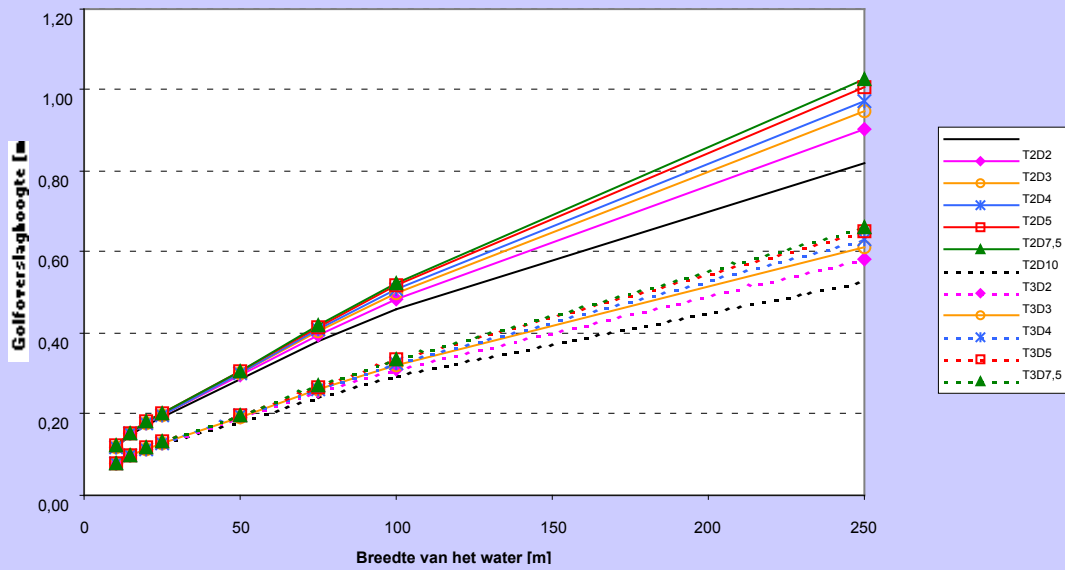
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 24 m/s



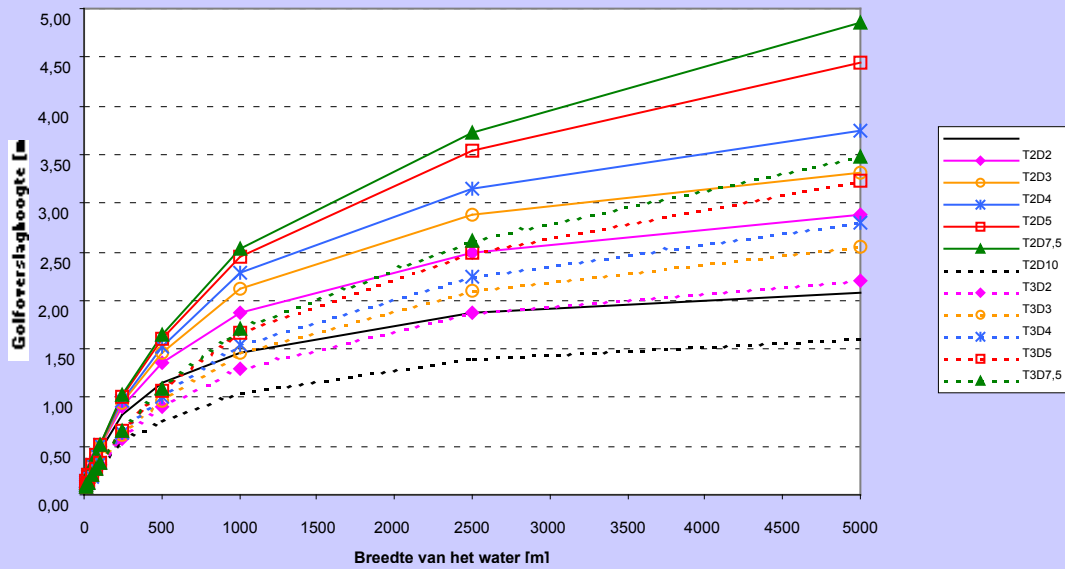
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 22 m/s



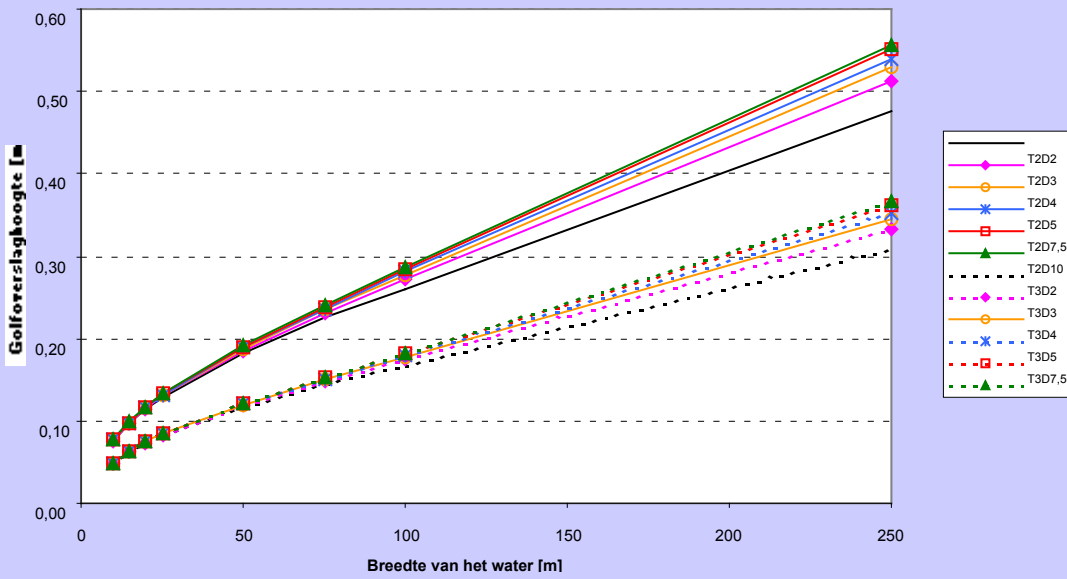
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 22 m/s



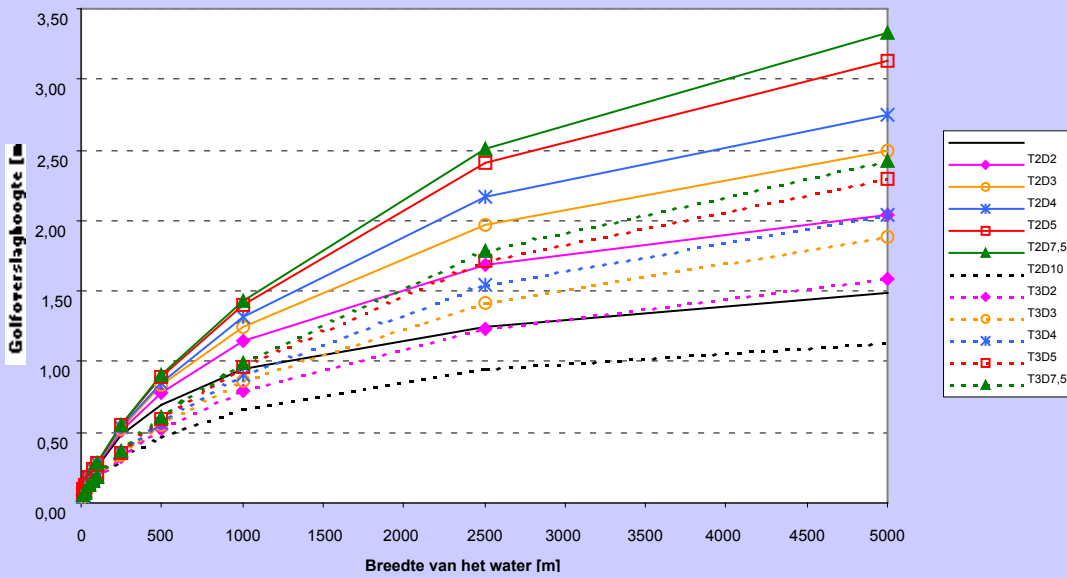
### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 16 m/s



### Golfoverslaghoogte

Q = 0,1 l/m/s, u = 16 m/s



## Tabellen

KENMERKEN				GOLFOVERSLAGHOOGTE		MAATGEVENDE BELASTING				
Wind-snelheid	Buiten talud	Water diepte	Breedte water	Bij overslagdebiet Q = 0,1 l/m/s      1 l/m/s		Golf-oploop z2%	Effectieve Strijklengte	Golfhoogte bij de kade	Golfperiode Tm-1,0	Invalshoek golven
[m/s]	[1:n]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[s]	[ ° ]
32	2	2	10	0,18	0,11	0,24	21	0,18	1,12	42
32	2	2	15	0,24	0,15	0,31	31	0,22	1,23	42
32	2	2	20	0,30	0,19	0,37	41	0,24	1,32	42
32	2	2	25	0,35	0,22	0,42	52	0,27	1,39	42
32	2	2	50	0,56	0,37	0,64	104	0,34	1,63	42
32	2	2	75	0,73	0,50	0,81	155	0,40	1,78	42
32	2	2	100	0,88	0,60	0,94	207	0,44	1,89	42
32	2	2	250	1,48	1,04	1,43	518	0,58	2,29	42
32	2	2	500	1,94	1,39	1,82	1036	0,67	2,61	42
32	2	2	1000	2,30	1,66	2,15	2071	0,74	2,93	42
32	2	2	2500	2,75	1,99	2,44	2549	0,76	3,02	0
32	2	2	5000	2,89	2,09	2,57	5097	0,79	3,33	0
32	2	3	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	3	15	0,24	0,15	0,31	31	0,22	1,24	42
32	2	3	20	0,30	0,19	0,37	41	0,25	1,33	42
32	2	3	25	0,36	0,23	0,43	52	0,27	1,40	42
32	2	3	50	0,59	0,40	0,67	104	0,36	1,65	42
32	2	3	75	0,78	0,53	0,86	155	0,42	1,81	42
32	2	3	100	0,95	0,66	1,02	207	0,46	1,93	42
32	2	3	250	1,70	1,21	1,65	518	0,63	2,35	42
32	2	3	500	2,43	1,76	2,21	1036	0,78	2,71	42
32	2	3	1000	2,92	2,13	2,61	2071	0,91	3,08	42
32	2	3	2500	3,38	2,49	3,00	5178	1,03	3,57	42
32	2	3	5000	3,92	2,89	3,30	5097	1,03	3,56	0
32	2	4	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	4	15	0,25	0,16	0,31	31	0,22	1,25	42
32	2	4	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,34	42
32	2	4	25	0,36	0,23	0,44	52	0,27	1,41	42
32	2	4	50	0,60	0,40	0,68	104	0,36	1,66	42
32	2	4	75	0,81	0,55	0,88	155	0,42	1,83	42
32	2	4	100	0,99	0,68	1,05	207	0,47	1,95	42
32	2	4	250	1,82	1,29	1,75	518	0,66	2,39	42
32	2	4	500	2,63	1,91	2,37	1036	0,83	2,76	42
32	2	4	1000	3,30	2,43	2,89	2071	1,01	3,17	42
32	2	4	2500	4,06	3,02	3,49	5178	1,20	3,71	42
32	2	4	5000	4,70	3,50	3,83	5097	1,20	3,71	0
32	2	5	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,13	42
32	2	5	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,25	42
32	2	5	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,34	42

32	2	5	25	0,36	0,24	0,44	52	0,27	1,42	42
32	2	5	50	0,61	0,41	0,69	104	0,36	1,67	42
32	2	5	75	0,82	0,56	0,89	155	0,43	1,84	42
32	2	5	100	1,01	0,70	1,07	207	0,48	1,96	42
32	2	5	250	1,89	1,35	1,82	518	0,68	2,41	42
32	2	5	500	2,74	1,99	2,46	1036	0,87	2,80	42
32	2	5	1000	3,55	2,62	3,07	2071	1,07	3,23	42
32	2	5	2500	4,56	3,42	3,84	5178	1,33	3,82	42
32	2	5	5000	5,15	3,88	4,31	10357	1,47	4,26	42
32	2	7,5	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,14	42
32	2	7,5	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,26	42
32	2	7,5	20	0,31	0,20	0,38	41	0,25	1,35	42
32	2	7,5	25	0,37	0,24	0,44	52	0,27	1,42	42
32	2	7,5	50	0,62	0,42	0,70	104	0,37	1,68	42
32	2	7,5	75	0,84	0,57	0,91	155	0,43	1,85	42
32	2	7,5	100	1,03	0,72	1,09	207	0,48	1,98	42
32	2	7,5	250	1,99	1,42	1,90	518	0,70	2,45	42
32	2	7,5	500	2,90	2,11	2,58	1036	0,91	2,86	42
32	2	7,5	1000	3,90	2,89	3,31	2071	1,16	3,32	42
32	2	7,5	2500	5,37	4,05	4,40	5178	1,53	3,98	42
32	2	7,5	5000	6,45	4,91	5,19	10357	1,79	4,50	42
32	2	10	10	0,18	0,11	0,24	21	0,19	1,14	42
32	2	10	15	0,25	0,16	0,32	31	0,22	1,26	42
32	2	10	20	0,31	0,20	0,39	41	0,25	1,35	42
32	2	10	25	0,37	0,24	0,45	52	0,27	1,43	42
32	2	10	50	0,63	0,42	0,71	104	0,37	1,69	42
32	2	10	75	0,85	0,58	0,92	155	0,43	1,86	42
32	2	10	100	1,05	0,73	1,10	207	0,49	1,99	42
32	2	10	250	2,03	1,45	1,94	518	0,71	2,47	42
32	2	10	500	2,97	2,17	2,64	1036	0,93	2,89	42
32	2	10	1000	4,06	3,03	3,43	2071	1,20	3,37	42
32	2	10	2500	5,82	4,40	4,70	5178	1,64	4,07	42
32	2	10	5000	7,26	5,55	5,74	10357	1,99	4,64	42
32	3	2	10	0,12	0,07	0,16	21	0,18	1,12	42
32	3	2	15	0,15	0,10	0,20	31	0,22	1,23	42
32	3	2	20	0,19	0,12	0,24	41	0,24	1,32	42
32	3	2	25	0,22	0,14	0,28	52	0,27	1,39	42
32	3	2	50	0,36	0,24	0,43	104	0,34	1,63	42
32	3	2	75	0,47	0,32	0,54	155	0,40	1,78	42
32	3	2	100	0,57	0,39	0,63	207	0,44	1,89	42
32	3	2	250	0,96	0,67	1,00	518	0,58	2,29	42
32	3	2	500	1,33	0,94	1,33	1036	0,67	2,61	42
32	3	2	1000	1,69	1,21	1,66	2071	0,74	2,93	42
32	3	2	2500	2,05	1,48	1,96	5178	0,79	3,33	42
32	3	2	5000	2,38	1,72	2,16	5097	0,79	3,33	0

32	3	3	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	3	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,24	42
32	3	3	20	0,20	0,12	0,25	41	0,25	1,33	42
32	3	3	25	0,23	0,15	0,29	52	0,27	1,40	42
32	3	3	50	0,38	0,25	0,45	104	0,36	1,65	42
32	3	3	75	0,51	0,34	0,57	155	0,42	1,81	42
32	3	3	100	0,62	0,42	0,68	207	0,46	1,93	42
32	3	3	250	1,11	0,78	1,13	518	0,63	2,35	42
32	3	3	500	1,60	1,14	1,58	1036	0,78	2,71	42
32	3	3	1000	2,04	1,48	1,94	2071	0,91	3,08	42
32	3	3	2500	2,60	1,91	2,39	5178	1,03	3,57	42
32	3	3	5000	2,96	2,18	2,68	10357	1,07	3,91	42
32	3	4	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	4	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,25	42
32	3	4	20	0,20	0,12	0,25	41	0,25	1,34	42
32	3	4	25	0,23	0,15	0,29	52	0,27	1,41	42
32	3	4	50	0,39	0,26	0,45	104	0,36	1,66	42
32	3	4	75	0,52	0,35	0,59	155	0,42	1,83	42
32	3	4	100	0,64	0,44	0,70	207	0,47	1,95	42
32	3	4	250	1,18	0,83	1,20	518	0,66	2,39	42
32	3	4	500	1,71	1,23	1,67	1036	0,83	2,76	42
32	3	4	1000	2,25	1,64	2,10	2071	1,01	3,17	42
32	3	4	2500	2,99	2,21	2,69	5178	1,20	3,71	42
32	3	4	5000	3,51	2,61	3,10	10357	1,29	4,12	42
32	3	5	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,13	42
32	3	5	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,25	42
32	3	5	20	0,20	0,13	0,25	41	0,25	1,34	42
32	3	5	25	0,24	0,15	0,29	52	0,27	1,42	42
32	3	5	50	0,40	0,26	0,46	104	0,36	1,67	42
32	3	5	75	0,53	0,36	0,60	155	0,43	1,84	42
32	3	5	100	0,65	0,45	0,71	207	0,48	1,96	42
32	3	5	250	1,23	0,87	1,25	518	0,68	2,41	42
32	3	5	500	1,79	1,28	1,72	1036	0,87	2,80	42
32	3	5	1000	2,38	1,74	2,21	2071	1,07	3,23	42
32	3	5	2500	3,28	2,44	2,91	5178	1,33	3,82	42
32	3	5	5000	3,96	2,96	3,42	10357	1,47	4,26	42
32	3	7,5	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,14	42
32	3	7,5	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,26	42
32	3	7,5	20	0,20	0,13	0,26	41	0,25	1,35	42
32	3	7,5	25	0,24	0,15	0,30	52	0,27	1,42	42
32	3	7,5	50	0,40	0,27	0,47	104	0,37	1,68	42
32	3	7,5	75	0,54	0,37	0,61	155	0,43	1,85	42
32	3	7,5	100	0,67	0,46	0,73	207	0,48	1,98	42
32	3	7,5	250	1,29	0,91	1,30	518	0,70	2,45	42
32	3	7,5	500	1,88	1,36	1,80	1036	0,91	2,86	42

32	3	7,5	1000	2,58	1,90	2,36	2071	1,16	3,32	42
32	3	7,5	2500	3,74	2,80	3,25	5178	1,53	3,98	42
32	3	7,5	5000	4,72	3,57	3,98	10357	1,79	4,50	42
32	3	10	10	0,12	0,07	0,16	21	0,19	1,14	42
32	3	10	15	0,16	0,10	0,21	31	0,22	1,26	42
32	3	10	20	0,20	0,13	0,26	41	0,25	1,35	42
32	3	10	25	0,24	0,15	0,30	52	0,27	1,43	42
32	3	10	50	0,41	0,27	0,47	104	0,37	1,69	42
32	3	10	75	0,55	0,37	0,61	155	0,43	1,86	42
32	3	10	100	0,68	0,46	0,74	207	0,49	1,99	42
32	3	10	250	1,32	0,94	1,33	518	0,71	2,47	42
32	3	10	500	1,93	1,40	1,84	1036	0,93	2,89	42
32	3	10	1000	2,69	1,98	2,44	2071	1,20	3,37	42
32	3	10	2500	4,01	3,01	3,44	5178	1,64	4,07	42
32	3	10	5000	5,20	3,94	4,32	10357	1,99	4,64	42
30	2	2	10	0,16	0,10	0,22	21	0,17	1,09	42
30	2	2	15	0,21	0,13	0,27	31	0,20	1,20	42
30	2	2	20	0,26	0,17	0,33	41	0,23	1,28	42
30	2	2	25	0,31	0,20	0,38	52	0,25	1,35	42
30	2	2	50	0,50	0,33	0,58	104	0,32	1,58	42
30	2	2	75	0,66	0,44	0,73	155	0,37	1,73	42
30	2	2	100	0,79	0,54	0,85	207	0,41	1,84	42
30	2	2	250	1,34	0,94	1,31	518	0,54	2,22	42
30	2	2	500	1,77	1,27	1,69	1036	0,64	2,53	42
30	2	2	1000	2,13	1,54	2,01	2071	0,71	2,85	42
30	2	2	2500	2,62	1,89	2,34	2549	0,73	2,95	0
30	2	2	5000	2,77	2,00	2,48	5097	0,76	3,25	0
30	2	3	10	0,17	0,10	0,22	21	0,17	1,09	42
30	2	3	15	0,22	0,13	0,28	31	0,20	1,20	42
30	2	3	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,29	42
30	2	3	25	0,32	0,20	0,39	52	0,25	1,36	42
30	2	3	50	0,52	0,35	0,60	104	0,33	1,60	42
30	2	3	75	0,70	0,47	0,77	155	0,39	1,75	42
30	2	3	100	0,85	0,58	0,91	207	0,43	1,87	42
30	2	3	250	1,53	1,08	1,49	518	0,59	2,28	42
30	2	3	500	2,22	1,60	2,05	1036	0,73	2,63	42
30	2	3	1000	2,74	2,00	2,48	2071	0,86	2,99	42
30	2	3	2500	3,22	2,37	2,88	5178	0,99	3,48	42
30	2	3	5000	3,73	2,74	3,17	5097	0,98	3,47	0
30	2	4	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	4	15	0,22	0,14	0,28	31	0,20	1,21	42
30	2	4	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,30	42
30	2	4	25	0,32	0,21	0,39	52	0,25	1,37	42
30	2	4	50	0,54	0,36	0,61	104	0,33	1,61	42
30	2	4	75	0,72	0,49	0,79	155	0,39	1,77	42

30	2	4	100	0,88	0,60	0,94	207	0,44	1,89	42
30	2	4	250	1,63	1,15	1,58	518	0,62	2,32	42
30	2	4	500	2,45	1,77	2,22	1036	0,78	2,68	42
30	2	4	1000	3,08	2,26	2,72	2071	0,95	3,08	42
30	2	4	2500	3,84	2,85	3,32	5178	1,15	3,61	42
30	2	4	5000	4,44	3,30	3,65	5097	1,14	3,61	0
30	2	5	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	5	15	0,22	0,14	0,28	31	0,21	1,21	42
30	2	5	20	0,27	0,17	0,34	41	0,23	1,30	42
30	2	5	25	0,32	0,21	0,40	52	0,25	1,37	42
30	2	5	50	0,54	0,36	0,62	104	0,34	1,62	42
30	2	5	75	0,73	0,49	0,80	155	0,40	1,78	42
30	2	5	100	0,90	0,61	0,96	207	0,44	1,90	42
30	2	5	250	1,69	1,20	1,64	518	0,63	2,34	42
30	2	5	500	2,55	1,84	2,31	1036	0,81	2,72	42
30	2	5	1000	3,31	2,44	2,89	2071	1,01	3,13	42
30	2	5	2500	4,30	3,21	3,65	5178	1,26	3,71	42
30	2	5	5000	4,89	3,67	4,12	10357	1,41	4,15	42
30	2	7,5	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	7,5	15	0,22	0,14	0,28	31	0,21	1,22	42
30	2	7,5	20	0,28	0,17	0,34	41	0,23	1,31	42
30	2	7,5	25	0,33	0,21	0,40	52	0,25	1,38	42
30	2	7,5	50	0,55	0,37	0,63	104	0,34	1,63	42
30	2	7,5	75	0,74	0,51	0,82	155	0,40	1,79	42
30	2	7,5	100	0,92	0,63	0,98	207	0,45	1,92	42
30	2	7,5	250	1,77	1,26	1,70	518	0,65	2,38	42
30	2	7,5	500	2,68	1,94	2,41	1036	0,85	2,77	42
30	2	7,5	1000	3,61	2,67	3,10	2071	1,09	3,22	42
30	2	7,5	2500	5,01	3,77	4,15	5178	1,44	3,86	42
30	2	7,5	5000	6,07	4,60	4,93	10357	1,70	4,37	42
30	2	10	10	0,17	0,10	0,23	21	0,17	1,10	42
30	2	10	15	0,22	0,14	0,29	31	0,21	1,22	42
30	2	10	20	0,28	0,18	0,35	41	0,23	1,31	42
30	2	10	25	0,33	0,21	0,40	52	0,25	1,38	42
30	2	10	50	0,56	0,37	0,63	104	0,34	1,64	42
30	2	10	75	0,75	0,51	0,82	155	0,40	1,80	42
30	2	10	100	0,93	0,64	0,99	207	0,45	1,93	42
30	2	10	250	1,81	1,29	1,74	518	0,66	2,40	42
30	2	10	500	2,75	1,99	2,46	1036	0,86	2,81	42
30	2	10	1000	3,75	2,78	3,21	2071	1,12	3,27	42
30	2	10	2500	5,40	4,08	4,42	5178	1,54	3,95	42
30	2	10	5000	6,80	5,18	5,42	10357	1,87	4,50	42
30	3	2	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,09	42
30	3	2	15	0,14	0,08	0,18	31	0,20	1,20	42
30	3	2	20	0,17	0,10	0,22	41	0,23	1,28	42



30	3	2	25	0,20	0,13	0,25	52	0,25	1,35	42
30	3	2	50	0,32	0,21	0,39	104	0,32	1,58	42
30	3	2	75	0,42	0,28	0,49	155	0,37	1,73	42
30	3	2	100	0,51	0,34	0,57	207	0,41	1,84	42
30	3	2	250	0,87	0,60	0,92	518	0,54	2,22	42
30	3	2	500	1,21	0,85	1,23	1036	0,64	2,53	42
30	3	2	1000	1,56	1,12	1,54	2071	0,71	2,85	42
30	3	2	2500	1,95	1,41	1,88	5178	0,76	3,25	42
30	3	2	5000	2,26	1,63	2,07	5097	0,76	3,25	0
30	3	3	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,09	42
30	3	3	15	0,14	0,08	0,19	31	0,20	1,20	42
30	3	3	20	0,17	0,11	0,22	41	0,23	1,29	42
30	3	3	25	0,20	0,13	0,26	52	0,25	1,36	42
30	3	3	50	0,34	0,22	0,40	104	0,33	1,60	42
30	3	3	75	0,45	0,30	0,52	155	0,39	1,75	42
30	3	3	100	0,55	0,37	0,61	207	0,43	1,87	42
30	3	3	250	0,99	0,69	1,03	518	0,59	2,28	42
30	3	3	500	1,47	1,04	1,46	1036	0,73	2,63	42
30	3	3	1000	1,91	1,38	1,84	2071	0,86	2,99	42
30	3	3	2500	2,46	1,80	2,28	5178	0,99	3,48	42
30	3	3	5000	2,82	2,07	2,57	10357	1,03	3,82	42
30	3	4	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	4	15	0,14	0,09	0,19	31	0,20	1,21	42
30	3	4	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,30	42
30	3	4	25	0,21	0,13	0,26	52	0,25	1,37	42
30	3	4	50	0,35	0,23	0,41	104	0,33	1,61	42
30	3	4	75	0,46	0,31	0,53	155	0,39	1,77	42
30	3	4	100	0,57	0,38	0,63	207	0,44	1,89	42
30	3	4	250	1,06	0,74	1,09	518	0,62	2,32	42
30	3	4	500	1,59	1,14	1,57	1036	0,78	2,68	42
30	3	4	1000	2,10	1,52	1,98	2071	0,95	3,08	42
30	3	4	2500	2,82	2,08	2,56	5178	1,15	3,61	42
30	3	4	5000	3,33	2,47	2,96	10357	1,24	4,01	42
30	3	5	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	5	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,21	42
30	3	5	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,30	42
30	3	5	25	0,21	0,13	0,26	52	0,25	1,37	42
30	3	5	50	0,35	0,23	0,41	104	0,34	1,62	42
30	3	5	75	0,47	0,32	0,54	155	0,40	1,78	42
30	3	5	100	0,58	0,39	0,64	207	0,44	1,90	42
30	3	5	250	1,10	0,77	1,13	518	0,63	2,34	42
30	3	5	500	1,66	1,19	1,62	1036	0,81	2,72	42
30	3	5	1000	2,22	1,62	2,08	2071	1,01	3,13	42
30	3	5	2500	3,08	2,28	2,76	5178	1,26	3,71	42
30	3	5	5000	3,74	2,79	3,26	10357	1,41	4,15	42

30	3	7,5	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	7,5	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,22	42
30	3	7,5	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,31	42
30	3	7,5	25	0,21	0,13	0,27	52	0,25	1,38	42
30	3	7,5	50	0,36	0,23	0,42	104	0,34	1,63	42
30	3	7,5	75	0,48	0,32	0,55	155	0,40	1,79	42
30	3	7,5	100	0,60	0,40	0,66	207	0,45	1,92	42
30	3	7,5	250	1,15	0,81	1,17	518	0,65	2,38	42
30	3	7,5	500	1,74	1,25	1,69	1036	0,85	2,77	42
30	3	7,5	1000	2,40	1,75	2,22	2071	1,09	3,22	42
30	3	7,5	2500	3,50	2,60	3,07	5178	1,44	3,86	42
30	3	7,5	5000	4,43	3,34	3,77	10357	1,70	4,37	42
30	3	10	10	0,11	0,06	0,15	21	0,17	1,10	42
30	3	10	15	0,14	0,09	0,19	31	0,21	1,22	42
30	3	10	20	0,18	0,11	0,23	41	0,23	1,31	42
30	3	10	25	0,21	0,13	0,27	52	0,25	1,38	42
30	3	10	50	0,36	0,24	0,42	104	0,34	1,64	42
30	3	10	75	0,49	0,33	0,55	155	0,40	1,80	42
30	3	10	100	0,60	0,41	0,66	207	0,45	1,93	42
30	3	10	250	1,17	0,83	1,20	518	0,66	2,40	42
30	3	10	500	1,79	1,28	1,73	1036	0,86	2,81	42
30	3	10	1000	2,49	1,83	2,29	2071	1,12	3,27	42
30	3	10	2500	3,73	2,79	3,24	5178	1,54	3,95	42
30	3	10	5000	4,86	3,68	4,08	10357	1,87	4,50	42
28	2	2	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,05	42
28	2	2	15	0,19	0,11	0,25	31	0,19	1,16	42
28	2	2	20	0,23	0,14	0,29	41	0,21	1,24	42
28	2	2	25	0,27	0,17	0,34	52	0,23	1,30	42
28	2	2	50	0,44	0,29	0,52	104	0,30	1,53	42
28	2	2	75	0,58	0,39	0,66	155	0,35	1,67	42
28	2	2	100	0,70	0,47	0,77	207	0,38	1,78	42
28	2	2	250	1,21	0,84	1,19	518	0,51	2,15	42
28	2	2	500	1,61	1,15	1,55	1036	0,60	2,46	42
28	2	2	1000	1,97	1,41	1,87	2071	0,68	2,77	42
28	2	2	2500	2,44	1,76	2,20	2549	0,70	2,86	0
28	2	2	5000	2,63	1,90	2,37	5097	0,73	3,16	0
28	2	3	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	3	15	0,19	0,12	0,25	32	0,19	1,17	42
28	2	3	20	0,23	0,15	0,30	41	0,21	1,25	42
28	2	3	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,32	42
28	2	3	50	0,46	0,30	0,54	104	0,31	1,55	42
28	2	3	75	0,61	0,41	0,69	155	0,36	1,70	42
28	2	3	100	0,75	0,51	0,82	207	0,40	1,81	42
28	2	3	250	1,36	0,96	1,34	518	0,55	2,21	42
28	2	3	500	2,00	1,43	1,86	1036	0,69	2,55	42

28	2	3	1000	2,57	1,87	2,34	2071	0,81	2,90	42
28	2	3	2500	3,05	2,24	2,75	5178	0,94	3,38	42
28	2	3	5000	3,53	2,59	3,02	5097	0,94	3,37	0
28	2	4	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	4	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,17	42
28	2	4	20	0,24	0,15	0,30	41	0,21	1,25	42
28	2	4	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,32	42
28	2	4	50	0,47	0,31	0,55	104	0,31	1,56	42
28	2	4	75	0,63	0,42	0,71	155	0,36	1,71	42
28	2	4	100	0,77	0,53	0,84	207	0,41	1,83	42
28	2	4	250	1,45	1,02	1,42	518	0,58	2,24	42
28	2	4	500	2,21	1,60	2,04	1036	0,73	2,60	42
28	2	4	1000	2,86	2,09	2,56	2071	0,89	2,98	42
28	2	4	2500	3,61	2,67	3,15	5178	1,09	3,51	42
28	2	4	5000	4,01	2,98	3,49	10357	1,19	3,90	42
28	2	5	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,06	42
28	2	5	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,17	42
28	2	5	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	5	25	0,28	0,18	0,35	52	0,23	1,33	42
28	2	5	50	0,48	0,32	0,56	104	0,31	1,56	42
28	2	5	75	0,64	0,43	0,72	155	0,37	1,72	42
28	2	5	100	0,79	0,54	0,85	207	0,41	1,84	42
28	2	5	250	1,50	1,06	1,47	518	0,59	2,27	42
28	2	5	500	2,35	1,69	2,14	1036	0,75	2,63	42
28	2	5	1000	3,06	2,24	2,70	2071	0,94	3,04	42
28	2	5	2500	4,02	2,99	3,45	5178	1,19	3,60	42
28	2	5	5000	4,62	3,46	3,92	10357	1,34	4,03	42
28	2	7,5	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,07	42
28	2	7,5	15	0,19	0,12	0,25	31	0,19	1,18	42
28	2	7,5	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	7,5	25	0,29	0,18	0,36	52	0,24	1,33	42
28	2	7,5	50	0,48	0,32	0,56	104	0,31	1,57	42
28	2	7,5	75	0,65	0,44	0,73	155	0,37	1,74	42
28	2	7,5	100	0,81	0,55	0,87	207	0,42	1,86	42
28	2	7,5	250	1,56	1,10	1,52	518	0,60	2,30	42
28	2	7,5	500	2,46	1,78	2,24	1036	0,79	2,69	42
28	2	7,5	1000	3,31	2,44	2,89	2071	1,01	3,12	42
28	2	7,5	2500	4,65	3,49	3,89	5178	1,35	3,74	42
28	2	7,5	5000	5,68	4,30	4,65	10357	1,61	4,24	42
28	2	10	10	0,15	0,09	0,21	21	0,16	1,07	42
28	2	10	15	0,19	0,12	0,26	31	0,19	1,18	42
28	2	10	20	0,24	0,15	0,31	41	0,21	1,26	42
28	2	10	25	0,29	0,18	0,36	52	0,24	1,34	42
28	2	10	50	0,49	0,32	0,57	104	0,31	1,58	42
28	2	10	75	0,66	0,45	0,73	155	0,37	1,74	42

28	2	10	100	0,82	0,56	0,88	207	0,42	1,87	42
28	2	10	250	1,59	1,13	1,54	518	0,61	2,32	42
28	2	10	500	2,52	1,82	2,28	1036	0,80	2,71	42
28	2	10	1000	3,44	2,54	2,98	2071	1,04	3,16	42
28	2	10	2500	4,99	3,75	4,12	5178	1,43	3,83	42
28	2	10	5000	6,32	4,80	5,08	10357	1,76	4,37	42
28	3	2	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,05	42
28	3	2	15	0,12	0,07	0,16	31	0,19	1,16	42
28	3	2	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,24	42
28	3	2	25	0,17	0,11	0,23	52	0,23	1,30	42
28	3	2	50	0,29	0,18	0,35	104	0,30	1,53	42
28	3	2	75	0,38	0,25	0,44	155	0,35	1,67	42
28	3	2	100	0,45	0,30	0,52	207	0,38	1,78	42
28	3	2	250	0,78	0,54	0,84	518	0,51	2,15	42
28	3	2	500	1,10	0,77	1,13	1036	0,60	2,46	42
28	3	2	1000	1,43	1,02	1,43	2071	0,68	2,77	42
28	3	2	2500	1,82	1,31	1,77	5178	0,73	3,17	42
28	3	2	5000	2,13	1,53	1,96	5097	0,73	3,16	0
28	3	3	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	3	15	0,12	0,07	0,17	31	0,19	1,16	42
28	3	3	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,25	42
28	3	3	25	0,18	0,11	0,23	52	0,23	1,32	42
28	3	3	50	0,30	0,19	0,36	104	0,31	1,55	42
28	3	3	75	0,40	0,26	0,46	155	0,36	1,70	42
28	3	3	100	0,49	0,33	0,55	207	0,40	1,81	42
28	3	3	250	0,88	0,61	0,93	518	0,55	2,21	42
28	3	3	500	1,32	0,93	1,33	1036	0,69	2,55	42
28	3	3	1000	1,79	1,28	1,73	2071	0,81	2,90	42
28	3	3	2500	2,32	1,69	2,17	5178	0,94	3,38	42
28	3	3	5000	2,67	1,95	2,45	10357	0,99	3,72	42
28	3	4	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	4	15	0,12	0,08	0,17	32	0,19	1,17	42
28	3	4	20	0,15	0,09	0,20	41	0,21	1,25	42
28	3	4	25	0,18	0,11	0,23	52	0,23	1,32	42
28	3	4	50	0,30	0,20	0,37	104	0,31	1,56	42
28	3	4	75	0,41	0,27	0,47	155	0,36	1,71	42
28	3	4	100	0,50	0,34	0,57	207	0,41	1,83	42
28	3	4	250	0,94	0,65	0,98	518	0,58	2,24	42
28	3	4	500	1,45	1,03	1,44	1036	0,73	2,60	42
28	3	4	1000	1,95	1,41	1,86	2071	0,89	2,98	42
28	3	4	2500	2,64	1,94	2,42	5178	1,09	3,51	42
28	3	4	5000	3,14	2,33	2,81	10357	1,19	3,90	42
28	3	5	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,06	42
28	3	5	15	0,12	0,07	0,17	31	0,19	1,17	42
28	3	5	20	0,15	0,10	0,20	41	0,21	1,26	42

28	3	5	25	0,18	0,11	0,24	52	0,23	1,33	42
28	3	5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,31	1,56	42
28	3	5	75	0,42	0,28	0,48	155	0,37	1,72	42
28	3	5	100	0,51	0,34	0,58	207	0,41	1,84	42
28	3	5	250	0,97	0,68	1,01	518	0,59	2,27	42
28	3	5	500	1,53	1,09	1,51	1036	0,75	2,63	42
28	3	5	1000	2,06	1,49	1,95	2071	0,94	3,04	42
28	3	5	2500	2,88	2,12	2,60	5178	1,19	3,60	42
28	3	5	5000	3,51	2,62	3,09	10357	1,34	4,03	42
28	3	7,5	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,07	42
28	3	7,5	15	0,13	0,08	0,17	31	0,19	1,18	42
28	3	7,5	20	0,16	0,10	0,21	41	0,21	1,26	42
28	3	7,5	25	0,19	0,12	0,24	52	0,24	1,33	42
28	3	7,5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,31	1,57	42
28	3	7,5	75	0,42	0,28	0,49	155	0,37	1,74	42
28	3	7,5	100	0,52	0,35	0,59	207	0,42	1,86	42
28	3	7,5	250	1,01	0,71	1,05	518	0,60	2,30	42
28	3	7,5	500	1,60	1,15	1,57	1036	0,79	2,69	42
28	3	7,5	1000	2,21	1,61	2,07	2071	1,01	3,12	42
28	3	7,5	2500	3,25	2,41	2,88	5178	1,35	3,74	42
28	3	7,5	5000	4,14	3,11	3,55	10357	1,61	4,24	42
28	3	10	10	0,10	0,06	0,14	21	0,16	1,07	42
28	3	10	15	0,13	0,08	0,17	31	0,19	1,18	42
28	3	10	20	0,16	0,10	0,21	41	0,21	1,26	42
28	3	10	25	0,19	0,12	0,24	52	0,24	1,34	42
28	3	10	50	0,32	0,21	0,38	104	0,31	1,58	42
28	3	10	75	0,43	0,28	0,49	155	0,37	1,74	42
28	3	10	100	0,53	0,36	0,59	207	0,42	1,87	42
28	3	10	250	1,03	0,72	1,07	518	0,61	2,32	42
28	3	10	500	1,64	1,17	1,61	1036	0,80	2,71	42
28	3	10	1000	2,29	1,67	2,14	2071	1,04	3,16	42
28	3	10	2500	3,45	2,57	3,03	5178	1,43	3,83	42
28	3	10	5000	4,52	3,41	3,83	10357	1,76	4,37	42
26	2	2	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,01	42
26	2	2	15	0,17	0,10	0,23	31	0,17	1,12	42
26	2	2	20	0,20	0,12	0,26	41	0,19	1,19	42
26	2	2	25	0,24	0,15	0,30	52	0,21	1,26	42
26	2	2	50	0,39	0,25	0,46	104	0,28	1,47	42
26	2	2	75	0,51	0,34	0,59	155	0,32	1,61	42
26	2	2	100	0,62	0,41	0,68	207	0,35	1,72	42
26	2	2	250	1,07	0,74	1,07	518	0,48	2,08	42
26	2	2	500	1,46	1,03	1,41	1036	0,57	2,38	42
26	2	2	1000	1,80	1,29	1,72	2071	0,64	2,69	42
26	2	2	2500	2,25	1,61	2,05	2549	0,66	2,78	0
26	2	2	5000	2,46	1,77	2,23	5097	0,70	3,07	0

26	2	3	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	3	15	0,17	0,10	0,23	31	0,17	1,12	42
26	2	3	20	0,20	0,13	0,27	41	0,19	1,20	42
26	2	3	25	0,24	0,15	0,31	52	0,21	1,27	42
26	2	3	50	0,40	0,26	0,48	104	0,28	1,49	42
26	2	3	75	0,54	0,36	0,61	155	0,33	1,64	42
26	2	3	100	0,66	0,44	0,72	207	0,37	1,75	42
26	2	3	250	1,20	0,84	1,20	518	0,51	2,14	42
26	2	3	500	1,77	1,27	1,68	1036	0,64	2,46	42
26	2	3	1000	2,38	1,72	2,20	2071	0,76	2,81	42
26	2	3	2500	2,87	2,10	2,61	5178	0,89	3,28	42
26	2	3	5000	3,33	2,43	2,87	5097	0,89	3,27	0
26	2	4	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	4	15	0,17	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	4	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,21	42
26	2	4	25	0,24	0,15	0,31	52	0,21	1,27	42
26	2	4	50	0,41	0,27	0,49	104	0,28	1,50	42
26	2	4	75	0,55	0,37	0,63	155	0,33	1,65	42
26	2	4	100	0,68	0,46	0,74	207	0,38	1,76	42
26	2	4	250	1,27	0,89	1,26	518	0,53	2,17	42
26	2	4	500	1,95	1,40	1,82	1036	0,68	2,51	42
26	2	4	1000	2,64	1,92	2,39	2071	0,83	2,88	42
26	2	4	2500	3,38	2,49	2,98	5178	1,03	3,40	42
26	2	4	5000	3,79	2,81	3,32	10357	1,13	3,79	42
26	2	5	10	0,14	0,08	0,19	21	0,15	1,02	42
26	2	5	15	0,17	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	5	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,21	42
26	2	5	25	0,25	0,16	0,31	52	0,22	1,28	42
26	2	5	50	0,41	0,27	0,49	104	0,29	1,51	42
26	2	5	75	0,56	0,37	0,63	155	0,34	1,66	42
26	2	5	100	0,69	0,47	0,75	207	0,38	1,78	42
26	2	5	250	1,31	0,92	1,30	518	0,54	2,19	42
26	2	5	500	2,06	1,48	1,91	1036	0,70	2,54	42
26	2	5	1000	2,81	2,05	2,51	2071	0,88	2,93	42
26	2	5	2500	3,74	2,77	3,24	5178	1,12	3,49	42
26	2	5	5000	4,34	3,24	3,71	10357	1,27	3,91	42
26	2	7,5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,15	1,03	42
26	2	7,5	15	0,18	0,11	0,23	31	0,17	1,13	42
26	2	7,5	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,22	42
26	2	7,5	25	0,25	0,16	0,32	52	0,22	1,28	42
26	2	7,5	50	0,42	0,28	0,50	104	0,29	1,52	42
26	2	7,5	75	0,57	0,38	0,64	155	0,34	1,67	42
26	2	7,5	100	0,70	0,48	0,77	207	0,38	1,79	42
26	2	7,5	250	1,37	0,96	1,34	518	0,55	2,22	42
26	2	7,5	500	2,20	1,58	2,02	1036	0,73	2,59	42

26	2	7,5	1000	3,03	2,22	2,68	2071	0,94	3,01	42
26	2	7,5	2500	4,29	3,20	3,63	5178	1,26	3,62	42
26	2	7,5	5000	5,28	3,98	4,37	10357	1,51	4,11	42
26	2	10	10	0,14	0,08	0,20	21	0,15	1,03	42
26	2	10	15	0,18	0,11	0,24	31	0,17	1,14	42
26	2	10	20	0,21	0,13	0,27	41	0,20	1,22	42
26	2	10	25	0,25	0,16	0,32	52	0,22	1,29	42
26	2	10	50	0,42	0,28	0,50	104	0,29	1,52	42
26	2	10	75	0,58	0,38	0,65	155	0,34	1,68	42
26	2	10	100	0,71	0,48	0,77	207	0,38	1,80	42
26	2	10	250	1,39	0,98	1,36	518	0,56	2,23	42
26	2	10	500	2,26	1,63	2,07	1036	0,74	2,62	42
26	2	10	1000	3,13	2,30	2,75	2071	0,96	3,05	42
26	2	10	2500	4,57	3,42	3,83	5178	1,33	3,70	42
26	2	10	5000	5,83	4,42	4,75	10357	1,64	4,22	42
26	3	2	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,01	42
26	3	2	15	0,11	0,06	0,15	31	0,17	1,12	42
26	3	2	20	0,13	0,08	0,17	41	0,19	1,19	42
26	3	2	25	0,15	0,09	0,20	52	0,21	1,26	42
26	3	2	50	0,25	0,16	0,31	104	0,28	1,47	42
26	3	2	75	0,33	0,22	0,39	155	0,32	1,61	42
26	3	2	100	0,40	0,26	0,46	207	0,35	1,72	42
26	3	2	250	0,69	0,48	0,75	518	0,48	2,08	42
26	3	2	500	0,99	0,69	1,03	1036	0,57	2,38	42
26	3	2	1000	1,30	0,92	1,31	2071	0,64	2,69	42
26	3	2	2500	1,68	1,20	1,65	5178	0,70	3,08	42
26	3	2	5000	1,97	1,41	1,83	5097	0,70	3,07	0
26	3	3	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	3	15	0,11	0,07	0,15	31	0,17	1,12	42
26	3	3	20	0,13	0,08	0,18	41	0,19	1,20	42
26	3	3	25	0,16	0,10	0,21	52	0,21	1,27	42
26	3	3	50	0,26	0,17	0,32	104	0,28	1,49	42
26	3	3	75	0,35	0,23	0,41	155	0,33	1,64	42
26	3	3	100	0,43	0,28	0,49	207	0,37	1,75	42
26	3	3	250	0,78	0,54	0,83	518	0,51	2,14	42
26	3	3	500	1,17	0,82	1,20	1036	0,64	2,46	42
26	3	3	1000	1,66	1,18	1,62	2071	0,76	2,81	42
26	3	3	2500	2,17	1,58	2,05	5178	0,89	3,28	42
26	3	3	5000	2,51	1,84	2,33	10357	0,95	3,61	42
26	3	4	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	4	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	4	20	0,13	0,08	0,18	41	0,20	1,21	42
26	3	4	25	0,16	0,10	0,21	52	0,21	1,27	42
26	3	4	50	0,27	0,17	0,32	104	0,28	1,50	42
26	3	4	75	0,36	0,23	0,42	155	0,33	1,65	42

26	3	4	100	0,44	0,29	0,50	207	0,38	1,76	42
26	3	4	250	0,82	0,57	0,88	518	0,53	2,17	42
26	3	4	500	1,28	0,90	1,29	1036	0,68	2,51	42
26	3	4	1000	1,80	1,29	1,74	2071	0,83	2,88	42
26	3	4	2500	2,47	1,80	2,28	5178	1,03	3,40	42
26	3	4	5000	2,95	2,18	2,66	10357	1,13	3,79	42
26	3	5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,02	42
26	3	5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,20	1,21	42
26	3	5	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,28	42
26	3	5	50	0,27	0,17	0,33	104	0,29	1,51	42
26	3	5	75	0,36	0,24	0,43	155	0,34	1,66	42
26	3	5	100	0,45	0,30	0,51	207	0,38	1,78	42
26	3	5	250	0,85	0,59	0,90	518	0,54	2,19	42
26	3	5	500	1,34	0,95	1,35	1036	0,70	2,54	42
26	3	5	1000	1,90	1,37	1,82	2071	0,88	2,93	42
26	3	5	2500	2,67	1,96	2,44	5178	1,12	3,49	42
26	3	5	5000	3,29	2,44	2,92	10357	1,27	3,91	42
26	3	7,5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,03	42
26	3	7,5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,13	42
26	3	7,5	20	0,14	0,08	0,18	41	0,20	1,22	42
26	3	7,5	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,28	42
26	3	7,5	50	0,27	0,18	0,33	104	0,29	1,52	42
26	3	7,5	75	0,37	0,24	0,43	155	0,34	1,67	42
26	3	7,5	100	0,46	0,30	0,52	207	0,38	1,79	42
26	3	7,5	250	0,89	0,61	0,93	518	0,55	2,22	42
26	3	7,5	500	1,43	1,02	1,43	1036	0,73	2,59	42
26	3	7,5	1000	2,03	1,47	1,93	2071	0,94	3,01	42
26	3	7,5	2500	2,99	2,21	2,69	5178	1,26	3,62	42
26	3	7,5	5000	3,85	2,88	3,33	10357	1,51	4,11	42
26	3	10	10	0,09	0,05	0,13	21	0,15	1,03	42
26	3	10	15	0,11	0,07	0,16	31	0,17	1,14	42
26	3	10	20	0,14	0,08	0,18	41	0,20	1,22	42
26	3	10	25	0,16	0,10	0,21	52	0,22	1,29	42
26	3	10	50	0,27	0,18	0,33	104	0,29	1,52	42
26	3	10	75	0,37	0,25	0,44	155	0,34	1,68	42
26	3	10	100	0,46	0,31	0,53	207	0,38	1,80	42
26	3	10	250	0,90	0,63	0,95	518	0,56	2,23	42
26	3	10	500	1,48	1,05	1,47	1036	0,74	2,62	42
26	3	10	1000	2,10	1,52	1,98	2071	0,96	3,05	42
26	3	10	2500	3,17	2,35	2,82	5178	1,33	3,70	42
26	3	10	5000	4,18	3,14	3,58	10357	1,64	4,22	42
24	2	2	10	0,13	0,08	0,19	21	0,13	0,97	42
24	2	2	15	0,17	0,10	0,23	31	0,16	1,07	42
24	2	2	20	0,20	0,12	0,26	41	0,18	1,15	42



24	2	2	25	0,22	0,14	0,29	52	0,19	1,21	42
24	2	2	50	0,33	0,22	0,41	104	0,25	1,42	42
24	2	2	75	0,44	0,29	0,51	155	0,29	1,55	42
24	2	2	100	0,54	0,36	0,60	207	0,33	1,66	42
24	2	2	250	0,94	0,65	0,96	518	0,44	2,01	42
24	2	2	500	1,30	0,92	1,28	1036	0,53	2,30	42
24	2	2	1000	1,64	1,16	1,58	2071	0,61	2,60	42
24	2	2	2500	2,06	1,47	1,89	2549	0,63	2,69	0
24	2	2	5000	2,27	1,63	2,08	5097	0,67	2,97	0
24	2	3	10	0,14	0,08	0,19	21	0,13	0,98	42
24	2	3	15	0,17	0,10	0,23	31	0,16	1,08	42
24	2	3	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	3	25	0,23	0,14	0,29	52	0,19	1,22	42
24	2	3	50	0,35	0,22	0,42	104	0,26	1,44	42
24	2	3	75	0,47	0,31	0,54	155	0,30	1,58	42
24	2	3	100	0,57	0,38	0,64	207	0,34	1,68	42
24	2	3	250	1,05	0,73	1,06	518	0,47	2,06	42
24	2	3	500	1,56	1,11	1,50	1036	0,59	2,37	42
24	2	3	1000	2,13	1,54	1,99	2071	0,71	2,71	42
24	2	3	2500	2,69	1,96	2,46	5178	0,85	3,17	42
24	2	3	5000	3,11	2,27	2,71	5097	0,84	3,16	0
24	2	4	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,98	42
24	2	4	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,08	42
24	2	4	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	4	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	4	50	0,35	0,23	0,43	104	0,26	1,44	42
24	2	4	75	0,47	0,31	0,55	155	0,31	1,59	42
24	2	4	100	0,58	0,39	0,65	207	0,34	1,70	42
24	2	4	250	1,11	0,77	1,11	518	0,49	2,09	42
24	2	4	500	1,70	1,21	1,61	1036	0,62	2,42	42
24	2	4	1000	2,42	1,75	2,22	2071	0,77	2,78	42
24	2	4	2500	3,14	2,31	2,79	5178	0,96	3,29	42
24	2	4	5000	3,55	2,63	3,14	10357	1,07	3,66	42
24	2	5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,98	42
24	2	5	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	5	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,16	42
24	2	5	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	5	50	0,36	0,23	0,43	104	0,26	1,45	42
24	2	5	75	0,48	0,32	0,55	155	0,31	1,60	42
24	2	5	100	0,59	0,40	0,66	207	0,35	1,71	42
24	2	5	250	1,14	0,79	1,14	518	0,50	2,11	42
24	2	5	500	1,79	1,28	1,69	1036	0,64	2,45	42
24	2	5	1000	2,56	1,86	2,32	2071	0,81	2,83	42
24	2	5	2500	3,45	2,55	3,02	5178	1,05	3,37	42
24	2	5	5000	4,05	3,01	3,49	10357	1,20	3,78	42

24	2	7,5	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,99	42
24	2	7,5	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	7,5	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,17	42
24	2	7,5	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,23	42
24	2	7,5	50	0,36	0,23	0,43	104	0,26	1,46	42
24	2	7,5	75	0,49	0,32	0,56	155	0,31	1,61	42
24	2	7,5	100	0,61	0,41	0,67	207	0,35	1,72	42
24	2	7,5	250	1,18	0,82	1,18	518	0,51	2,13	42
24	2	7,5	500	1,89	1,36	1,77	1036	0,66	2,49	42
24	2	7,5	1000	2,74	2,00	2,46	2071	0,86	2,90	42
24	2	7,5	2500	3,91	2,91	3,36	5178	1,17	3,49	42
24	2	7,5	5000	4,87	3,66	4,07	10357	1,41	3,96	42
24	2	10	10	0,14	0,08	0,20	21	0,13	0,99	42
24	2	10	15	0,17	0,10	0,24	31	0,16	1,09	42
24	2	10	20	0,20	0,12	0,27	41	0,18	1,17	42
24	2	10	25	0,23	0,14	0,30	52	0,20	1,24	42
24	2	10	50	0,36	0,24	0,43	104	0,26	1,46	42
24	2	10	75	0,49	0,33	0,56	155	0,31	1,62	42
24	2	10	100	0,61	0,41	0,67	207	0,35	1,73	42
24	2	10	250	1,20	0,84	1,19	518	0,51	2,15	42
24	2	10	500	1,94	1,39	1,81	1036	0,67	2,52	42
24	2	10	1000	2,82	2,06	2,52	2071	0,88	2,94	42
24	2	10	2500	4,15	3,09	3,53	5178	1,23	3,56	42
24	2	10	5000	5,34	4,03	4,40	10357	1,52	4,07	42
24	3	2	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,97	42
24	3	2	15	0,11	0,06	0,15	31	0,16	1,07	42
24	3	2	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,15	42
24	3	2	25	0,14	0,09	0,19	52	0,19	1,21	42
24	3	2	50	0,22	0,14	0,27	104	0,25	1,42	42
24	3	2	75	0,29	0,18	0,35	155	0,29	1,55	42
24	3	2	100	0,35	0,23	0,41	207	0,33	1,66	42
24	3	2	250	0,61	0,41	0,67	518	0,44	2,01	42
24	3	2	500	0,88	0,61	0,93	1036	0,53	2,30	42
24	3	2	1000	1,18	0,83	1,20	2071	0,61	2,60	42
24	3	2	2500	1,54	1,09	1,52	5178	0,67	2,98	42
24	3	2	5000	1,74	1,25	1,70	10357	0,69	3,24	42
24	3	3	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	3	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,08	42
24	3	3	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	3	25	0,15	0,09	0,20	52	0,19	1,22	42
24	3	3	50	0,22	0,14	0,28	104	0,26	1,44	42
24	3	3	75	0,30	0,20	0,36	155	0,30	1,58	42
24	3	3	100	0,37	0,24	0,43	207	0,34	1,68	42
24	3	3	250	0,68	0,47	0,74	518	0,47	2,06	42
24	3	3	500	1,03	0,72	1,07	1036	0,59	2,37	42

24	3	3	1000	1,48	1,05	1,47	2071	0,71	2,71	42
24	3	3	2500	2,02	1,46	1,93	5178	0,85	3,17	42
24	3	3	5000	2,36	1,72	2,20	10357	0,91	3,50	42
24	3	4	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	4	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,08	42
24	3	4	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	4	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	4	50	0,23	0,15	0,28	104	0,26	1,44	42
24	3	4	75	0,31	0,20	0,37	155	0,31	1,59	42
24	3	4	100	0,38	0,25	0,44	207	0,34	1,70	42
24	3	4	250	0,72	0,49	0,77	518	0,49	2,09	42
24	3	4	500	1,12	0,76	1,14	1036	0,62	2,42	42
24	3	4	1000	1,65	1,18	1,62	2071	0,77	2,78	42
24	3	4	2500	2,28	1,66	2,13	5178	0,96	3,29	42
24	3	4	5000	2,75	2,02	2,51	10357	1,07	3,66	42
24	3	5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,98	42
24	3	5	15	0,11	0,06	0,16	31	0,16	1,09	42
24	3	5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,16	42
24	3	5	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	5	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,45	42
24	3	5	75	0,31	0,20	0,37	155	0,31	1,60	42
24	3	5	100	0,38	0,25	0,45	207	0,35	1,71	42
24	3	5	250	0,74	0,51	0,79	518	0,50	2,11	42
24	3	5	500	1,17	0,82	1,19	1036	0,64	2,45	42
24	3	5	1000	1,73	1,24	1,68	2071	0,81	2,83	42
24	3	5	2500	2,46	1,80	2,28	5178	1,05	3,37	42
24	3	5	5000	3,05	2,25	2,74	10357	1,20	3,78	42
24	3	7,5	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,99	42
24	3	7,5	15	0,11	0,07	0,16	31	0,16	1,09	42
24	3	7,5	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,17	42
24	3	7,5	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,23	42
24	3	7,5	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,46	42
24	3	7,5	75	0,32	0,21	0,38	155	0,31	1,61	42
24	3	7,5	100	0,39	0,26	0,46	207	0,35	1,72	42
24	3	7,5	250	0,76	0,53	0,82	518	0,51	2,13	42
24	3	7,5	500	1,24	0,88	1,26	1036	0,66	2,49	42
24	3	7,5	1000	1,85	1,33	1,78	2071	0,86	2,90	42
24	3	7,5	2500	2,74	2,02	2,49	5178	1,17	3,49	42
24	3	7,5	5000	3,54	2,64	3,11	10357	1,41	3,96	42
24	3	10	10	0,09	0,05	0,13	21	0,13	0,99	42
24	3	10	15	0,11	0,07	0,16	31	0,16	1,09	42
24	3	10	20	0,13	0,08	0,18	41	0,18	1,17	42
24	3	10	25	0,15	0,09	0,20	52	0,20	1,24	42
24	3	10	50	0,23	0,15	0,29	104	0,26	1,46	42
24	3	10	75	0,32	0,21	0,38	155	0,31	1,62	42

24	3	10	100	0,40	0,26	0,46	207	0,35	1,73	42
24	3	10	250	0,78	0,54	0,83	518	0,51	2,15	42
24	3	10	500	1,28	0,90	1,29	1036	0,67	2,52	42
24	3	10	1000	1,90	1,37	1,82	2071	0,88	2,94	42
24	3	10	2500	2,89	2,14	2,61	5178	1,23	3,56	42
24	3	10	5000	3,83	2,87	3,32	10357	1,52	4,07	42
22	2	2	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,93	42
22	2	2	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,03	42
22	2	2	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,10	42
22	2	2	25	0,19	0,12	0,26	52	0,17	1,16	42
22	2	2	50	0,29	0,18	0,35	104	0,23	1,36	42
22	2	2	75	0,38	0,25	0,45	155	0,27	1,49	42
22	2	2	100	0,46	0,30	0,53	207	0,30	1,59	42
22	2	2	250	0,82	0,56	0,84	518	0,40	1,93	42
22	2	2	500	1,14	0,80	1,14	1036	0,49	2,21	42
22	2	2	1000	1,46	1,04	1,43	2071	0,57	2,50	42
22	2	2	2500	1,86	1,32	1,73	2549	0,59	2,59	0
22	2	2	5000	2,09	1,49	1,92	5097	0,64	2,87	0
22	2	3	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	3	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,03	42
22	2	3	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,11	42
22	2	3	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,17	42
22	2	3	50	0,30	0,19	0,36	104	0,23	1,38	42
22	2	3	75	0,40	0,26	0,47	155	0,27	1,51	42
22	2	3	100	0,49	0,32	0,55	207	0,31	1,61	42
22	2	3	250	0,91	0,62	0,93	518	0,43	1,98	42
22	2	3	500	1,35	0,95	1,32	1036	0,54	2,28	42
22	2	3	1000	1,88	1,35	1,78	2071	0,66	2,61	42
22	2	3	2500	2,49	1,81	2,31	5178	0,79	3,06	42
22	2	3	5000	2,89	2,10	2,54	5097	0,79	3,05	0
22	2	4	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	4	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,04	42
22	2	4	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,11	42
22	2	4	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,17	42
22	2	4	50	0,30	0,19	0,37	104	0,24	1,38	42
22	2	4	75	0,41	0,26	0,47	155	0,28	1,52	42
22	2	4	100	0,50	0,33	0,56	207	0,31	1,63	42
22	2	4	250	0,95	0,65	0,97	518	0,44	2,00	42
22	2	4	500	1,46	1,04	1,41	1036	0,57	2,32	42
22	2	4	1000	2,13	1,53	1,98	2071	0,71	2,67	42
22	2	4	2500	2,88	2,11	2,60	5178	0,90	3,16	42
22	2	4	5000	3,31	2,44	2,95	10357	1,01	3,53	42
22	2	5	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	5	15	0,15	0,09	0,21	31	0,14	1,04	42
22	2	5	20	0,18	0,11	0,24	41	0,16	1,12	42

22	2	5	25	0,20	0,12	0,27	52	0,18	1,18	42
22	2	5	50	0,30	0,19	0,37	104	0,24	1,39	42
22	2	5	75	0,41	0,27	0,48	155	0,28	1,53	42
22	2	5	100	0,51	0,34	0,57	207	0,31	1,64	42
22	2	5	250	0,97	0,67	0,99	518	0,45	2,02	42
22	2	5	500	1,53	1,08	1,47	1036	0,58	2,35	42
22	2	5	1000	2,28	1,65	2,11	2071	0,74	2,72	42
22	2	5	2500	3,15	2,32	2,80	5178	0,97	3,24	42
22	2	5	5000	3,75	2,78	3,27	10357	1,12	3,64	42
22	2	7,5	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,94	42
22	2	7,5	15	0,15	0,09	0,22	31	0,14	1,04	42
22	2	7,5	20	0,18	0,11	0,25	41	0,16	1,12	42
22	2	7,5	25	0,20	0,13	0,27	52	0,18	1,18	42
22	2	7,5	50	0,31	0,20	0,37	104	0,24	1,40	42
22	2	7,5	75	0,42	0,27	0,48	155	0,28	1,54	42
22	2	7,5	100	0,52	0,34	0,58	207	0,32	1,65	42
22	2	7,5	250	1,01	0,70	1,02	518	0,46	2,04	42
22	2	7,5	500	1,61	1,14	1,54	1036	0,60	2,39	42
22	2	7,5	1000	2,45	1,78	2,24	2071	0,78	2,78	42
22	2	7,5	2500	3,54	2,62	3,08	5178	1,07	3,35	42
22	2	7,5	5000	4,45	3,33	3,77	10357	1,30	3,81	42
22	2	10	10	0,12	0,07	0,18	21	0,12	0,95	42
22	2	10	15	0,15	0,09	0,22	31	0,14	1,05	42
22	2	10	20	0,18	0,11	0,25	41	0,16	1,12	42
22	2	10	25	0,20	0,13	0,27	52	0,18	1,19	42
22	2	10	50	0,31	0,20	0,37	104	0,24	1,40	42
22	2	10	75	0,42	0,28	0,49	155	0,28	1,55	42
22	2	10	100	0,52	0,35	0,58	207	0,32	1,66	42
22	2	10	250	1,03	0,71	1,03	518	0,46	2,06	42
22	2	10	500	1,65	1,17	1,57	1036	0,61	2,42	42
22	2	10	1000	2,52	1,83	2,30	2071	0,80	2,82	42
22	2	10	2500	3,74	2,77	3,22	5178	1,12	3,42	42
22	2	10	5000	4,85	3,64	4,05	10357	1,40	3,91	42
22	3	2	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,93	42
22	3	2	15	0,10	0,05	0,14	31	0,14	1,03	42
22	3	2	20	0,11	0,07	0,16	41	0,16	1,10	42
22	3	2	25	0,13	0,08	0,18	52	0,17	1,16	42
22	3	2	50	0,18	0,12	0,24	104	0,23	1,36	42
22	3	2	75	0,24	0,16	0,30	155	0,27	1,49	42
22	3	2	100	0,30	0,19	0,36	207	0,30	1,59	42
22	3	2	250	0,53	0,36	0,59	518	0,40	1,93	42
22	3	2	500	0,77	0,53	0,83	1036	0,49	2,21	42
22	3	2	1000	1,05	0,73	1,08	2071	0,57	2,50	42
22	3	2	2500	1,39	0,99	1,39	5178	0,64	2,88	42
22	3	2	5000	1,60	1,14	1,57	10357	0,66	3,14	42

22	3	3	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	3	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,03	42
22	3	3	20	0,11	0,07	0,16	41	0,16	1,11	42
22	3	3	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,17	42
22	3	3	50	0,19	0,12	0,24	104	0,23	1,38	42
22	3	3	75	0,26	0,16	0,31	155	0,27	1,51	42
22	3	3	100	0,31	0,20	0,38	207	0,31	1,61	42
22	3	3	250	0,59	0,40	0,65	518	0,43	1,98	42
22	3	3	500	0,90	0,62	0,94	1036	0,54	2,28	42
22	3	3	1000	1,30	0,92	1,31	2071	0,66	2,61	42
22	3	3	2500	1,86	1,34	1,80	5178	0,79	3,06	42
22	3	3	5000	2,19	1,59	2,07	10357	0,86	3,38	42
22	3	4	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	4	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	4	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,11	42
22	3	4	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,17	42
22	3	4	50	0,19	0,12	0,25	104	0,24	1,38	42
22	3	4	75	0,26	0,17	0,32	155	0,28	1,52	42
22	3	4	100	0,32	0,21	0,39	207	0,31	1,63	42
22	3	4	250	0,61	0,42	0,67	518	0,44	2,00	42
22	3	4	500	0,96	0,67	1,01	1036	0,57	2,32	42
22	3	4	1000	1,45	1,03	1,45	2071	0,71	2,67	42
22	3	4	2500	2,09	1,52	1,98	5178	0,90	3,16	42
22	3	4	5000	2,54	1,86	2,35	10357	1,01	3,53	42
22	3	5	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	5	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	5	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	5	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,18	42
22	3	5	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,39	42
22	3	5	75	0,26	0,17	0,32	155	0,28	1,53	42
22	3	5	100	0,33	0,21	0,39	207	0,31	1,64	42
22	3	5	250	0,63	0,43	0,69	518	0,45	2,02	42
22	3	5	500	1,01	0,70	1,04	1036	0,58	2,35	42
22	3	5	1000	1,55	1,11	1,53	2071	0,74	2,72	42
22	3	5	2500	2,25	1,64	2,11	5178	0,97	3,24	42
22	3	5	5000	2,81	2,07	2,55	10357	1,12	3,64	42
22	3	7,5	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,94	42
22	3	7,5	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,04	42
22	3	7,5	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	7,5	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,18	42
22	3	7,5	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,40	42
22	3	7,5	75	0,27	0,17	0,33	155	0,28	1,54	42
22	3	7,5	100	0,33	0,22	0,40	207	0,32	1,65	42
22	3	7,5	250	0,65	0,45	0,71	518	0,46	2,04	42
22	3	7,5	500	1,06	0,74	1,10	1036	0,60	2,39	42

22	3	7,5	1000	1,66	1,19	1,63	2071	0,78	2,78	42
22	3	7,5	2500	2,49	1,82	2,29	5178	1,07	3,35	42
22	3	7,5	5000	3,24	2,40	2,88	10357	1,30	3,81	42
22	3	10	10	0,08	0,04	0,12	21	0,12	0,95	42
22	3	10	15	0,10	0,06	0,14	31	0,14	1,05	42
22	3	10	20	0,12	0,07	0,16	41	0,16	1,12	42
22	3	10	25	0,13	0,08	0,18	52	0,18	1,19	42
22	3	10	50	0,20	0,12	0,25	104	0,24	1,40	42
22	3	10	75	0,27	0,17	0,33	155	0,28	1,55	42
22	3	10	100	0,34	0,22	0,40	207	0,32	1,66	42
22	3	10	250	0,66	0,45	0,72	518	0,46	2,06	42
22	3	10	500	1,09	0,77	1,12	1036	0,61	2,42	42
22	3	10	1000	1,71	1,23	1,67	2071	0,80	2,82	42
22	3	10	2500	2,61	1,92	2,39	5178	1,12	3,42	42
22	3	10	5000	3,49	2,60	3,06	10357	1,40	3,91	42
16	2	2	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	2	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,88	42
16	2	2	20	0,11	0,06	0,17	41	0,11	0,94	42
16	2	2	25	0,13	0,07	0,19	52	0,12	0,99	42
16	2	2	50	0,18	0,11	0,24	104	0,16	1,17	42
16	2	2	75	0,23	0,14	0,28	155	0,19	1,28	42
16	2	2	100	0,26	0,17	0,32	207	0,21	1,37	42
16	2	2	250	0,48	0,32	0,53	518	0,29	1,66	42
16	2	2	500	0,69	0,47	0,74	1036	0,37	1,92	42
16	2	2	1000	0,95	0,66	0,97	2071	0,44	2,18	42
16	2	2	2500	1,25	0,88	1,26	5178	0,52	2,53	42
16	2	2	5000	1,49	1,04	1,42	5097	0,51	2,52	0
16	2	3	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	3	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,88	42
16	2	3	20	0,12	0,06	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	3	25	0,13	0,07	0,19	52	0,12	1,00	42
16	2	3	50	0,19	0,11	0,24	104	0,16	1,18	42
16	2	3	75	0,23	0,14	0,29	155	0,19	1,30	42
16	2	3	100	0,27	0,17	0,33	207	0,22	1,38	42
16	2	3	250	0,51	0,34	0,56	518	0,31	1,70	42
16	2	3	500	0,79	0,54	0,82	1036	0,39	1,97	42
16	2	3	1000	1,14	0,80	1,14	2071	0,49	2,26	42
16	2	3	2500	1,69	1,20	1,63	5178	0,62	2,66	42
16	2	3	5000	2,05	1,47	1,95	10357	0,69	2,96	42
16	2	4	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	4	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	4	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	4	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,00	42
16	2	4	50	0,19	0,11	0,25	104	0,16	1,18	42
16	2	4	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,30	42

16	2	4	100	0,28	0,18	0,33	207	0,22	1,39	42
16	2	4	250	0,53	0,36	0,58	518	0,31	1,72	42
16	2	4	500	0,83	0,57	0,86	1036	0,41	2,00	42
16	2	4	1000	1,25	0,88	1,24	2071	0,52	2,31	42
16	2	4	2500	1,98	1,42	1,87	5178	0,68	2,75	42
16	2	4	5000	2,49	1,81	2,31	10357	0,79	3,08	42
16	2	5	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,80	42
16	2	5	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	5	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,95	42
16	2	5	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	5	50	0,19	0,11	0,25	104	0,16	1,19	42
16	2	5	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,31	42
16	2	5	100	0,28	0,18	0,34	207	0,22	1,40	42
16	2	5	250	0,54	0,36	0,59	518	0,32	1,73	42
16	2	5	500	0,85	0,59	0,88	1036	0,41	2,02	42
16	2	5	1000	1,31	0,93	1,29	2071	0,53	2,34	42
16	2	5	2500	2,17	1,56	2,03	5178	0,72	2,80	42
16	2	5	5000	2,75	2,01	2,51	10357	0,86	3,17	42
16	2	7,5	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,81	42
16	2	7,5	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	7,5	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,96	42
16	2	7,5	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	7,5	50	0,19	0,12	0,25	104	0,16	1,19	42
16	2	7,5	75	0,24	0,15	0,29	155	0,19	1,32	42
16	2	7,5	100	0,29	0,18	0,34	207	0,22	1,41	42
16	2	7,5	250	0,55	0,37	0,60	518	0,32	1,75	42
16	2	7,5	500	0,89	0,61	0,91	1036	0,42	2,05	42
16	2	7,5	1000	1,40	0,99	1,37	2071	0,55	2,39	42
16	2	7,5	2500	2,42	1,75	2,23	5178	0,77	2,89	42
16	2	7,5	5000	3,14	2,31	2,80	10357	0,96	3,30	42
16	2	10	10	0,08	0,04	0,13	21	0,08	0,81	42
16	2	10	15	0,10	0,05	0,15	31	0,10	0,89	42
16	2	10	20	0,12	0,07	0,17	41	0,11	0,96	42
16	2	10	25	0,13	0,08	0,19	52	0,12	1,01	42
16	2	10	50	0,19	0,12	0,25	104	0,16	1,20	42
16	2	10	75	0,24	0,15	0,30	155	0,20	1,32	42
16	2	10	100	0,29	0,18	0,34	207	0,22	1,42	42
16	2	10	250	0,56	0,37	0,60	518	0,32	1,76	42
16	2	10	500	0,90	0,62	0,92	1036	0,43	2,07	42
16	2	10	1000	1,44	1,02	1,40	2071	0,56	2,42	42
16	2	10	2500	2,51	1,82	2,30	5178	0,80	2,94	42
16	2	10	5000	3,34	2,46	2,94	10357	1,02	3,37	42
16	3	2	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	2	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,88	42
16	3	2	20	0,07	0,04	0,11	41	0,11	0,94	42



16	3	2	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	0,99	42
16	3	2	50	0,12	0,07	0,16	104	0,16	1,17	42
16	3	2	75	0,15	0,09	0,19	155	0,19	1,28	42
16	3	2	100	0,17	0,10	0,22	207	0,21	1,37	42
16	3	2	250	0,31	0,20	0,37	518	0,29	1,66	42
16	3	2	500	0,47	0,31	0,53	1036	0,37	1,92	42
16	3	2	1000	0,67	0,46	0,73	2071	0,44	2,18	42
16	3	2	2500	0,95	0,66	0,99	5178	0,52	2,53	42
16	3	2	5000	1,13	0,79	1,16	10357	0,55	2,77	42
16	3	3	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	3	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,88	42
16	3	3	20	0,07	0,04	0,11	41	0,11	0,95	42
16	3	3	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	1,00	42
16	3	3	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,18	42
16	3	3	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,30	42
16	3	3	100	0,17	0,11	0,23	207	0,22	1,38	42
16	3	3	250	0,33	0,22	0,40	518	0,31	1,70	42
16	3	3	500	0,53	0,35	0,59	1036	0,39	1,97	42
16	3	3	1000	0,79	0,54	0,84	2071	0,49	2,26	42
16	3	3	2500	1,24	0,87	1,25	5178	0,62	2,66	42
16	3	3	5000	1,59	1,13	1,57	10357	0,69	2,96	42
16	3	4	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	4	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	4	20	0,07	0,04	0,12	41	0,11	0,95	42
16	3	4	25	0,08	0,05	0,13	52	0,12	1,00	42
16	3	4	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,18	42
16	3	4	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,30	42
16	3	4	100	0,18	0,11	0,23	207	0,22	1,39	42
16	3	4	250	0,35	0,23	0,41	518	0,31	1,72	42
16	3	4	500	0,55	0,37	0,62	1036	0,41	2,00	42
16	3	4	1000	0,86	0,60	0,91	2071	0,52	2,31	42
16	3	4	2500	1,42	1,01	1,42	5178	0,68	2,75	42
16	3	4	5000	1,88	1,35	1,82	10357	0,79	3,08	42
16	3	5	10	0,05	0,02	0,08	21	0,08	0,80	42
16	3	5	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	5	20	0,07	0,04	0,12	41	0,11	0,95	42
16	3	5	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	5	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,19	42
16	3	5	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,31	42
16	3	5	100	0,18	0,11	0,23	207	0,22	1,40	42
16	3	5	250	0,35	0,23	0,41	518	0,32	1,73	42
16	3	5	500	0,57	0,39	0,63	1036	0,41	2,02	42
16	3	5	1000	0,90	0,63	0,95	2071	0,53	2,34	42
16	3	5	2500	1,55	1,11	1,53	5178	0,72	2,80	42
16	3	5	5000	2,04	1,48	1,95	10357	0,86	3,17	42

16	3	7,5	10	0,05	0,02	0,09	21	0,08	0,81	42
16	3	7,5	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	7,5	20	0,08	0,04	0,12	41	0,11	0,96	42
16	3	7,5	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	7,5	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,19	42
16	3	7,5	75	0,15	0,09	0,20	155	0,19	1,32	42
16	3	7,5	100	0,18	0,11	0,24	207	0,22	1,41	42
16	3	7,5	250	0,36	0,24	0,42	518	0,32	1,75	42
16	3	7,5	500	0,60	0,40	0,66	1036	0,42	2,05	42
16	3	7,5	1000	0,96	0,67	1,00	2071	0,55	2,39	42
16	3	7,5	2500	1,72	1,23	1,68	5178	0,77	2,89	42
16	3	7,5	5000	2,29	1,67	2,14	10357	0,96	3,30	42
16	3	10	10	0,05	0,03	0,09	21	0,08	0,81	42
16	3	10	15	0,06	0,03	0,10	31	0,10	0,89	42
16	3	10	20	0,08	0,04	0,12	41	0,11	0,96	42
16	3	10	25	0,09	0,05	0,13	52	0,12	1,01	42
16	3	10	50	0,12	0,07	0,17	104	0,16	1,20	42
16	3	10	75	0,15	0,09	0,20	155	0,20	1,32	42
16	3	10	100	0,18	0,11	0,24	207	0,22	1,42	42
16	3	10	250	0,37	0,24	0,43	518	0,32	1,76	42
16	3	10	500	0,61	0,41	0,67	1036	0,43	2,07	42
16	3	10	1000	0,99	0,69	1,03	2071	0,56	2,42	42
16	3	10	2500	1,79	1,28	1,74	5178	0,80	2,94	42
16	3	10	5000	2,43	1,77	2,25	10357	1,02	3,37	42

## Bijlage 6 Beoordeling bomen

Deze bijlage geeft alleen een aanpassing voor de beoordeling van niet-waterkerende objecten waar het bomen betreft.

Bij de opzet van de beoordeling van bomen is getracht de toetsing zo praktisch mogelijk in te steken. De beoordeling van de bomen borduurt voort op gegevens die normaliter al beschikbaar zijn uit de toetsing van het grondlichaam zelf. Voor zowel de eenvoudige als de gedetailleerde beoordeling van de bomen zijn alleen locaties en globale afmetingen vereist. Dit is mogelijk door de berekening van de kans op het omwaaien van een boom achterwege te laten. Deze stap komt pas terug in een eventuele geavanceerde beoordeling. Deze bijlage beschrijft het beoordelingschema voor bomen.

Voor de beoordeling van bomen op boezemkaden is een specifiek toegespitst beoordelingsschema opgesteld. De beoordeling borduurt voort op de toetsing van de waterkering op hoogte, binnen- en buitenwaartse macrostabiliteit, microstabiliteit en bekleding. Dit betekent dat deze toetsing uitgevoerd moet zijn voorafgaand aan de bomentoets. Als de kade net voldoet ten aanzien van macrostabiliteit of piping en de boom bevindt zich op een zodanige locatie dat deze een negatieve invloed heeft (zie beoordelingsschema), dan is het waarschijnlijk dat de kade met boom niet voldoet.

Bij de eenvoudige en gedetailleerde toets wordt geen uitspraak gedaan over de kans op het omwaaien van een boom. Per zone en faalmechanisme is aangegeven welke situatie maatgevend is, ofwel het meenemen van de boom als belasting, ofwel rekening houden met een ontgrondingskuil. Verder onderstaand is een voorbeeld berekening opgenomen met de voor D-GeoStability benodigde belastingparameters.

Bij de beoordeling van bomen op boezemkaden worden zeven verschillende zones onderscheiden, zie figuur 1. Op welke faalmechanismen beoordeeld moet worden is afhankelijk van de zone waarin de boom zich bevindt. Dit is nader uitgewerkt in het beoordelingsschema.

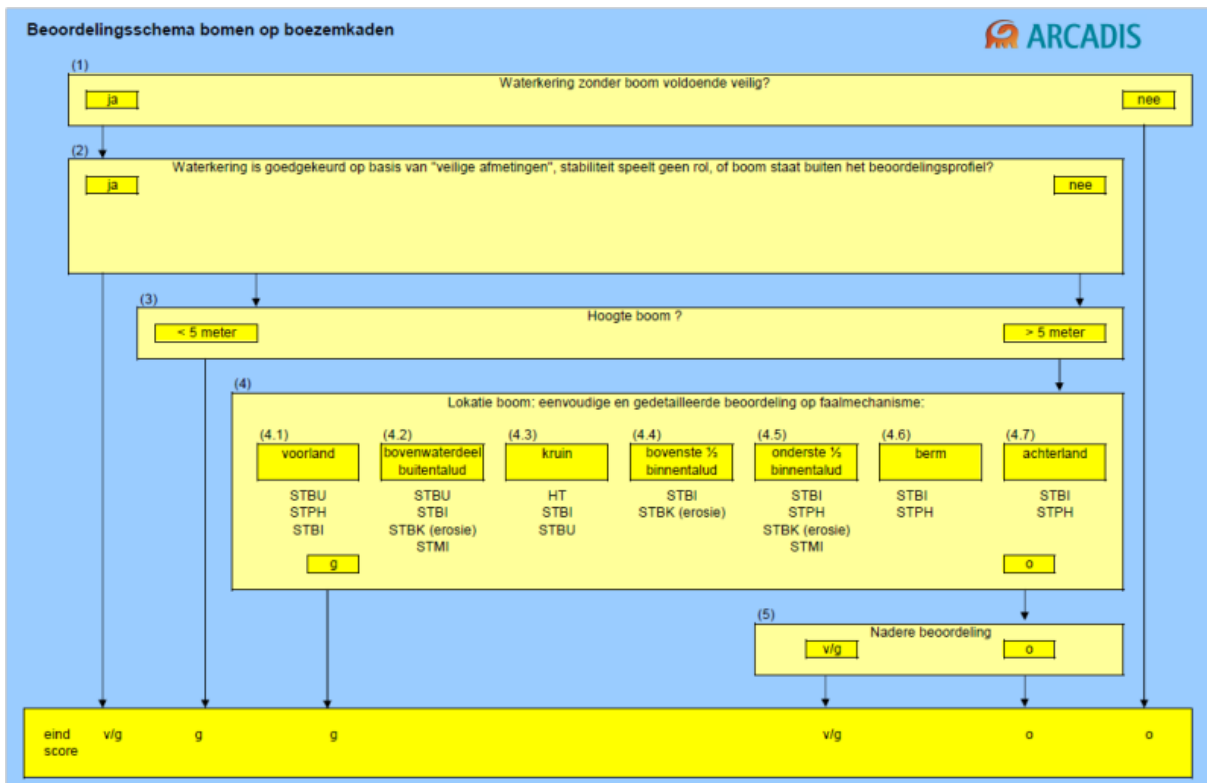


**Figuur 1** Indeling zones boezemkaden bij beoordeling bomen

#### **Bepalen van de invloed van bomen op macrostabiliteit en piping**

In het toetschema wordt op diverse plaatsen aangegeven dat de invloed van bomen of van een ontgrondingskuil op de macrostabiliteit bepaald moet worden. Het is voor veel kaden ondoenlijk om voor iedere boom een aparte berekening te maken en meestal is dat ook niet nodig. Uitgangspunt is dat de kade zonder bomen al is getoetst, zonder deze toets is het niet zinvol om de invloed van bomen te bepalen. Het beschikbaar zijn van toetsresultaten van de kade zonder bomen houdt in dat ofwel "veilige afmetingen" of een beoordelingsprofiel of stabiliteits- en pipingberekeningen beschikbaar zijn. Bij het beoordelen van de bomen worden deze gebruikt.

Voor het praktisch gebruik van dit beoordelingsschema wordt aanbevolen om gelijksoortige bomen te clusteren. Voorafgaande kan een inventarisatie worden uitgevoerd waarbij de bomen worden geclusterd op basis van hoogte (5-10 m, 10-15m, 15-20 m) en locatie in het profiel conform figuur 1. Bij de beoordeling wordt gebruik gemaakt van de trajectindeling die voor macrostabiliteit en piping is opgesteld. Per traject kan meestal worden volstaan met de beoordeling van één (maatgevende) boom, per relevante locatie in het profiel (zie beoordelingsschema en figuur 1). Hiermee kan een aanzienlijke clustering worden bewerkstelligd en neemt de benodigde inspanning sterk af. Dit houdt in dat per beschikbare stabiliteits- en pipingberekening enkele varianten doorgerekend moeten worden, om tot een eenvoudige of gedetailleerde beoordeling te komen.



- In stap 1 t/m 4 wordt geen uitspraak gedaan over het risico van het omwaaien van een boom, bij de beoordeling in stap 4 wordt zowel de situatie met boom als de situatie na ontwortelen beschouwd.
- Uitgangspunt betreft dat het optreden van storm en maatgevende waterstand samen vallen. Voor afvoer gedomineerde watersystemen is niet te conservatief, en kan dit uitgangspunt worden geoptimaliseerd.

Onderstaand is een toelichting bij het schema en de stappen beschreven.

#### Toelichting op beoordelingschema

Stap 1: Waterkering zonder boom voldoende veilig?

Stap 1 bestaat conform de gebruikelijke toetsmethodiek bij NWO's uit de beschouwing of het fysiek aanwezige profiel zonder boom voldoende veilig is.

Stap 2: Waterkering is goedgekeurd op basis van "veilige afmetingen", stabiliteit speelt geen rol, of boom staat buiten het beoordelingsprofiel?

Als een kade op basis van "veilige afmetingen" is goedgekeurd (oordeel "voldoet") en de rand van de ontgrondingskuil bevindt zich tenminste 2 m binnendijs van de buitenkruinlijn, dan voldoet de kade ook met boom, omdat deze beoordelingsmethode uitgaat van een restprofiel en dus van een instabiele kade. Of dat met of zonder boom is maakt niet uit. Als stabiliteit geen rol speelt (verheerde kade, of een kade met een talud met een kerende hoogte van max. 0,5 m of een taludhelling flauwer dan 1:8) is het oordeel direct "voldoet".

Beoordeling van een boom kan ook op basis van een beoordelingsprofiel, conform het VTV. Indien de boom buiten het beoordelingsprofiel staat is het oordeel direct "voldoet", bij bomen op de kruin of de bovenzijde van het binnen of buitentalud moet wel worden nagegaan of een door de boom geïnduceerde afschuiving het beoordelingsprofiel niet doorsnijdt, indien dit naar verwachting het geval is moet vervolgt worden met stap 3.

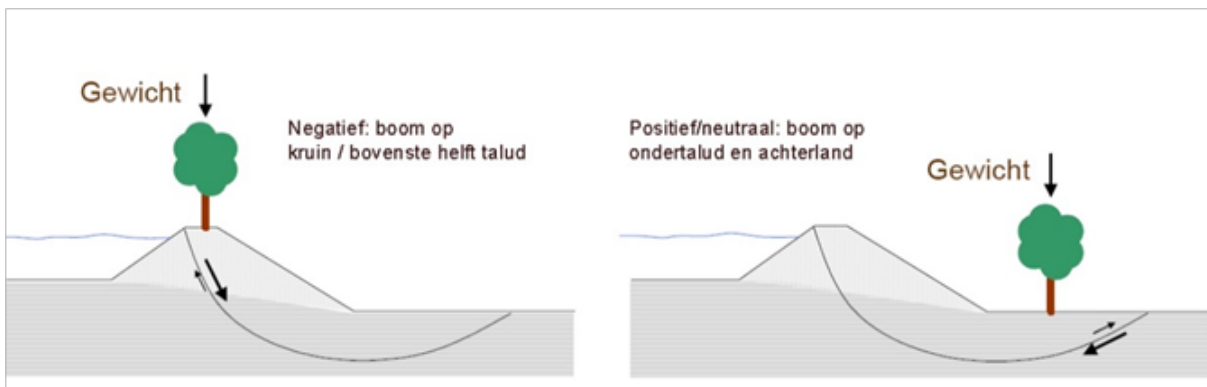
*Stap 3 Boomhoogte*

Is de hoogte van de boom kleiner dan 5 meter, dan is het oordeel direct goed. Voor bomen van meer dan 5 meter wordt de beoordeling vervolgd in stap 4.

*Stap 4 Bomen > 5 meter*

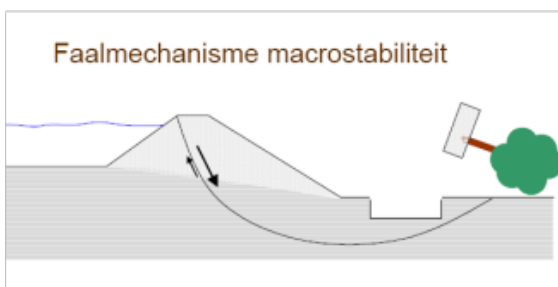
Bij de beoordeling van bomen op boezemkaden worden zeven verschillende zones onderscheiden. Op welke faalmechanismen beoordeeld moet worden is afhankelijk van de zone waarin de boom zich bevindt. Dit is gebaseerd op tabel 10-4.1 uit het VTV2006 en specifiek toegespitst op boezemkaden. Per faalmechanisme is een korte toelichting gegeven op de aanpak. Bij de beoordeling van macrostabiliteit is afgeweken van dit schema, onderstaand is een toelichting gegeven op de gevolgde aanpak.

Er is onderscheid gemaakt in invloed op de macrostabiliteit door belasting van de boom in combinatie met windbelasting en invloed door een ontgrondingskuil. Het gewicht en de windbelasting worden alleen geacht een negatieve invloed te hebben indien de boom op de kruin staat of op de bovenste helft van het binnen of buitentalud. Zie figuur 4-9.



**Figuur B6.1 (bron: Fugro & Bomenwacht, tekst aangepast)**

Daarnaast kan een ontgrondingskuil de macrostabiliteit negatief beïnvloeden. Dit wordt geacht alleen een negatieve invloed te hebben op de onderste helft van het binnen of buitentalud en binnen 5 meter vanaf de teen van de waterkering. Zie figuur 4-10. Op een afstand van meer dan 5 meter neemt de invloed sterk af, alleen een relatief diepe en daarmee ook brede glijvlak kan deze ontgrondingskuil snijden. Op deze afstand is het glijvlak zodanig breed dat de invloed minimaal is, bovendien blijft het gewicht aanwezig. Op de kruin en op de bovenste helft van het talud is de invloed positief/neutral, door een ontgrondingskuil verdwijnt gewicht uit het aandrijvende deel. Aan de buitenzijde kan een ontgrondingskuil daarnaast leiden tot een hogere intree van water, dit heeft ook een negatieve invloed op de stabiliteit.



#### **Stap 4.1 Beoordeling boom > 5 m op voorland**

##### **Beoordeling STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):**

Een ontgrondingskuil in het voorland kan de buitenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de buitenteen bevindt.

Eenvoudige toets:

Het oordeel is voldoende indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot buitenteen > 7 meter (helpt ontgrondingskuil + 5 meter). De ontgrondingskuil heeft op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit
- Breedte voorland > 10 meter en maaiveldniveau voorland ligt boven MBP. Het voorland is zodanig breed dat bij een afschuiving van het buitentalud het restant van de kade niet in contact kan komen met de boezem.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening buitenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV2006.

##### **Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):**

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting en indien de boom dicht bij de waterlijn staat.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot waterlijn bij MBP > 4 meter (helpt van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ( $4H_s \tan \alpha < 0,2$ ). De ontgrondingskuil komt in deze situatie niet in contact met de boezem.
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil minimaal 1 meter met volumiek gewicht >12 kN/m<sup>3</sup>. Intredepunt wijzigt niet.
- Veiligheid tegen opbarsten achterland bij hydraulische kortsluiting >1,2. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding voldoende lang. Piping kan in deze situatie nooit optreden.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met intreepunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

##### **Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):**

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een verhoogde intrede van water in de dijk, dit heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit. Dit is bij het voorland van een boezemkade alleen relevant indien de boom dicht bij de waterlijn staat en er sprake is van een goed doorlatende ondergrond.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helpt van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ( $4H_s \tan \alpha < 0,2$ ). Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil nog minimaal 1 meter. Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit met verhoogde freatische lijn conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### **Beoordeling STBK (erosie)**

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam.

Als de boom op minder dan 2 m van de buitenteen staat, kan bij ontworteling het buitentalud worden aangetast. Voor de beoordeling wordt verwezen naar stap 4.2.

Als de boom verder dan 2 m van de buitenteen staat, dan zal bij ontworteling het buitentalud niet worden aangetast. Indien het voorland een rol speelt bij erosie, dan moet ook voor deze mogelijkheid op erosie te worden getoetst.

#### **Stap 4.2: Beoordeling boom >5 meter op bovenwaterdeel buitentalud**

##### **Beoordeling STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):**

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben op het bovenste deel, het bovenwaterdeel van het buitentalud een negatieve invloed op de macrostabiliteit. In omgewaaide toestand kan een ontgrondingskuil ontstaan, dit heeft tot gevolg dat er gewicht uit het aandrijvende deel verdwijnt. Een ontgrondingskuil in de bovenste helft van het buitentalud heeft daarom geen negatieve invloed op de stabiliteit. Verondersteld wordt dat de onderste helft van het buitentalud onder water staat, beoordeling van bomen op de onderste helft van het buitentalud is daarom niet relevant. Erosie speelt wel een rol, dit wordt beschouwd onder beoordeling STBK (erosie).

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met:

- Invloed eigengewicht boom op het aandrijvend moment;
- Invloed windbelasting op boom op het aandrijvend moment.
- Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met een ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte). Deze toets is alleen van belang voor bomen onderaan het buitentalud.

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen".

##### **Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit) en STMI microstabiliteit:**

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een verhoogde intrede van water in de dijk, dit heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabiliteit en de microstabiliteit. Dit is in het buitentalud van een boezemkade alleen relevant indien de boom dicht bij de waterlijn staat en er sprake is van een goed doorlatende kern.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helft van de ontgrondingskuil + 2 meter) en er is geen sprake van een significante golfbelasting ( $4H_{stana} < 0,2$ ).
- Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water;
- Afdekkende kleilaag onder ontgrondingskuil minimaal 1 meter met volumiek gewicht >12 kN/m<sup>3</sup> of kernmateriaal boezemkade is klei. Er kan in dit geval geen sprake zijn van een verhoogde intrede van water.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit en beoordeling microstabiliteit met verhoogde freatische lijn conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### **Beoordeling STBK (erosie)**

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Er is een voorland aanwezig boven boezempeil en de afstand van de boom tot de waterlijn bij MBP > 4 meter (helft van de ontgrondingskuil + 2 meter). Het restprofiel van de waterkering wordt in deze situatie niet belast vanuit de boezem. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn.
- Breedte boezemkade boven boezempeil > 8 meter. Er blijft ondanks erosie een voldoende breed profiel over om de waterkerende functie te behouden. Alleen toepasbaar als er geen sprake is van een significante golfbelasting ( $4H_{stana} < 0,2$ ) op de kade en er geen sprake is van zandig kernmateriaal.
- Erosie is geen relevant faalmechanisme.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfbelasting conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### **Stap 4.3: Beoordeling boom >5 meter op kruin**

Beoordeling HT (hoogte):

Een ontgrondingskuil kan leiden tot een reductie van de kruinhoogte.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Afstand boom tot binnenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin) en er geen sprake van een significante golfbelasting ( $4H_{stana} < 0,2$ ). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn, beoordeling conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale - Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd. Het restprofiel dient wel voldoende stabiel te zijn, beoordeling conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.
- Niveau buitenkruinlijn - 1 meter >  $0,1 \text{ l/m/s}$  niveau (MBP + toeslagen). De kade is in deze situatie zodanig hoog dat een reductie van de kruinhoogte geen invloed heeft op de waterkerende functie.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling door golfoploop/overslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit) & STBU (buitenwaartse macrostabiliteit):

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een negatieve invloed op de binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit.

Gedetailleerde toets binnenwaartse en buitenwaartse macrostabiliteit:

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen".

#### **Stap 4.4: Beoordeling boom >5 meter op bovenste ½ binnentalud**

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een negatieve invloed op de macrostabiliteit.

In omgewaaide toestand kan een ontgrondingskuil ontstaan, dit heeft tot gevolg dat er gewicht uit het aandrijvende deel verdwijnt. Een ontgrondingskuil in de bovenste helft van het binnentalud heeft daarom geen negatieve invloed op de stabiliteit. Beoordeling restprofiel onder Beoordeling STBK (erosie)

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met:

- invloed eigengewicht boom op het aandrijvend moment;
- invloed windbelasting op boom op het aandrijvend moment.

In Mstab is vanaf versie 9.10 een optie opgenomen om de invloed van windbelasting op bomen mee te nemen in de berekening. Ter indicatie zijn voor verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven, zie



kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen"

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam indien er sprake is van een overslagdebiet  $>0,1$  l/m/s. Daarnaast moet er voldoende restprofiel overblijven om de waterkerende functie te behouden.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Overslagdebiet  $<0,1$  l/m/s (bij MBP + toeslagen). In deze situatie speelt erosie geen rol, geen sprake van overslag.
- Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd door het restprofiel.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfoverslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### **Stap 4.5: Beoordeling boom >5 meter op onderste ½ binnentalud**

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in de onderste helft van het binnentalud heeft een negatieve invloed op de macrostabiliteit. Het eigengewicht van de boom en de windbelasting hebben een neutrale of positieve invloed op de macrostabiliteit. Beoordeling restprofiel onder Beoordeling STBK (erosie)

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekeningen macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen waarbij rekening gehouden wordt met een ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte).

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting.
- Kernmateriaal is ondoorlatend en er zijn geen watervoerende tussenzandlagen aanwezig in de kern.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding  $>18DH$ .

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden.

Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag. Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting;
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpeil;
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding  $>18DH$ .

De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uitteerpunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STBK (erosie)

Een ontgrondingskuil kan leiden tot erosie van het grondlichaam indien er sprake is van een overslagdebiet  $>0,1$  l/m/s. Daarnaast moet er voldoende restprofiel overblijven om de waterkerende functie te behouden.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarden:

- Overslagdebiet  $<0,1$  l/m/s (bij MBP + toeslagen). In deze situatie speelt erosie geen rol, geen sprake van overslag.

- Afstand boom tot buitenkruinlijn is minimaal 4 meter (helft van ontgrondingskuil + 2 meter restbreedte kruin). De waterkerende functie van de kade blijft in deze situatie gegarandeerd door het restprofiel.

Gedetailleerde toets:

Reststerktebeoordeling onder golfoverslag conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Beoordeling STMI

Een ontgrondingskuil kan leiden tot blootleggen van de kern van het dijklichaam of een afname van de dikte van de deklaag, waardoor eerder micro-instabiliteit op kan treden.

Eenvoudige of gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### **Stap 4.6: Beoordeling boom >5 meter op berm**

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in de berm kan de binnenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de binnenteen bevindt. Het eigengewicht van de boom heeft een positieve invloed op de macrostabiliteit.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarde:

- Afstand boom tot onderinsteek binnentalud (begin berm of binnenteen) > 7 meter (helft ontgrondingskuil + 5 meter). Verondersteld wordt dat de ontgrondingskuil van een enkele omgewaaide boom op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit van het binnentalud.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV.

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting;
- Veiligheid tegen opbarsten berm - 1 meter ontgroning >1,2 Er kan rekening worden gehouden met spanningsspreiding door de beperkte breedte van de ontgroning conform regels opbarsten slootbodern. Indien de berm zodanig breed is dat naast de ontgrondingskuil nog minimaal 1 meter berm overblijft mag bij de opbarstberekening gerekend worden met het vollopen met water van de ontgrondingskuil.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding >18DH.

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden.

Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag.

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting.
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpeil. De wortels komen in deze situatie niet in contact met de watervoerende zandlaag.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding >18DH.

De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uitteerpunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

#### Stap 4.7: Beoordeling boom >5 meter op achterland

Beoordeling STBI (binnenwaartse macrostabiliteit):

Een ontgrondingskuil in het achterland kan de binnenwaartse macrostabiliteit negatief beïnvloeden indien deze zich dicht bij de binnenteen bevindt. Het eigengewicht van de boom heeft een positieve invloed op de macrostabiliteit.

Eenvoudige toets:

score is goed indien voldaan wordt aan de volgende voorwaarde:

- Afstand boom tot onderinsteek berm (snijpunt maaiveld - bermталud) > 7 meter (helft ontgrondingskuil + 5 meter). Verondersteld wordt dat de ontgrondingskuil van een enkele omgewaaide boom op deze afstand geen significante negatieve invloed meer op de stabiliteit van het binnentalud.

Gedetailleerde toets:

Uitvoeren sterkteberekening binnenwaartse macrostabiliteit conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen met ontgrondingskuil 4x1 meter (breedte x diepte) conform het VTV.

Beoordeling STPH (stabiliteit piping en heave):

Een ontgrondingskuil kan zorgen voor een afname van de kwelweglengte waardoor gevaar voor piping kan ontstaan. Dit is alleen relevant wanneer er sprake kan zijn van hydraulische kortsluiting.

Eenvoudige toets:

Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Veiligheid tegen opbarsten achterland - 1 meter ontgroning >1,2 Er kan rekening worden gehouden met spanningsspreiding door de beperkte breedte van de ontgroning conform regels opbarsten slootbodern. Daarnaast mag bij de opbarstberekening gerekend worden met het vollopen met water van de ontgrondingskuil.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding >18DH.

Daarnaast kan langs de afgestorven wortels eventueel kwel uit een watervoerende zandlaag plaatsvinden.

Voorwaarde is dat de wortels contact maken met deze zandlaag. Score is goed indien voldaan wordt aan één van de volgende voorwaarden:

- Geen risico op hydraulische kortsluiting. Piping kan in deze situatie nooit optreden.
- Watervoerende zandlaag ligt meer dan 0,5 meter onder polderpeil. De wortels komen in deze situatie niet in contact met de watervoerende zandlaag.
- Kwelweglengte is ondanks doorsnijding >18DH.

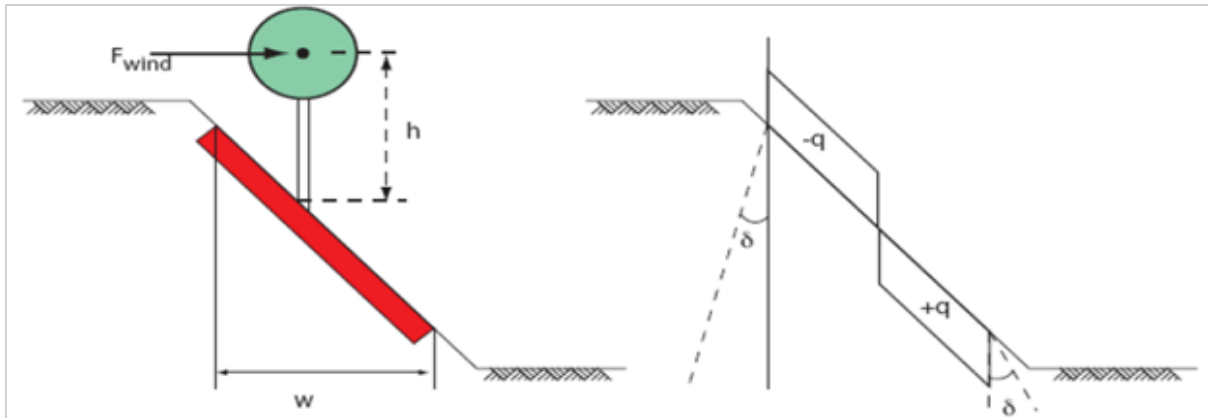
De slechste van beide deelscores voor piping bepaald de eindscore.

Gedetailleerde toets:

Toetsing boezemkade met uittreepunt bij ontgrondingskuil conform Leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen.

Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen

MStab versie 9.10 heeft de mogelijkheid om belastingen van bomen te modelleren en om de invloed hiervan op de stabiliteit te toetsen. De windbelasting ( $F_{wind}$ ) wordt via de kluit ( $w$ ) als bovenbelasting links of rechts van de boom gemodelleerd. De windrichting bepaalt welke zijde de waterkering een belasting toename ervaart dan wel een belasting afname (zie figuur)



In het onderstaande kader is een voorbeeldberekening weergegeven om de benodigde invoerparameters te bepalen voor een boom van 10 meter hoog. Bij deze berekening is gerekend met conservatieve uitgangspunten. Op basis van dezelfde conservatieve uitgangspunten voor de windsnelheid (21 m/s) en luchtweerstandcoëfficiënt (0,6) zijn in tabel 1 voor vier verschillende boomafmetingen richtwaarden gegeven voor een eerste berekening. Indien een scherpere beoordeling gewenst is kunnen de betreffende parameters nader bepaald worden. Met name de windsnelheid werkt sterk door in de berekende windbelasting, de windbelasting is afhankelijk van de locatie en het al dan niet samenvallen van een storm met MBP.

H	hoogte boom	10,0	m
D <sub>stam</sub>	stamdiameter	0,6	m
D <sub>kluit</sub>	stabiliteitskluit (width of root zone)	4,0	m
D <sub>kroon</sub>	kroondiameter	7,0	m
A <sub>kroon</sub>	kroonoppervlak $A_{kroon} = \frac{1}{4}P \cdot D_{kroon}^2$	38,5	m <sup>2</sup>
I <sub>boom</sub>	inhoud boom $I_{boom} = \frac{1}{4}P \cdot D_{stam}^2 \cdot H$	1,9	m <sup>3</sup>
r <sub>boom</sub>	gewicht hout	10,0	kN/m <sup>3</sup>
r <sub>lucht</sub>	luchtdichtheid	1,25	kg/m <sup>3</sup>
C <sub>d</sub>	luchtweerstandcoëfficiënt (0,15 kale bomen, 0,6 gesloten bladerdek, bij windsnelheid 21 m/s)	0,6	-
v	windsnelheid (windkracht 8 = 21 m/s, windkracht 10 = 28 m/s)	21	m/s
I(z)	turbulentie intensiteit (gebied I, onbebouwd conform NEN6702)	0,22	-
z	hoogte aangrijpingspunt (standaardwaarde 10 m aangehouden, behorende bij windsnelheid)	10	m
P <sub>w</sub>	Stuwdruk $P = (1+7 I(z)) \cdot 0,5 \cdot r \cdot C_d \cdot v^2$	0,42	kN/m <sup>2</sup>
P <sub>totaal</sub>	Stuwdruk totale boom $P_w \cdot A_{kroon}$	16,0	kN

Invoer in Mstab:

F <sub>wind</sub>	Kracht op aangrijpingspunt = $P_{totaal} / D_{kluit}$	4,0	kN/m <sup>1</sup>
Y <sub>wind</sub>	Hoogte aangrijpingspunt boven maaiveld $Y_{wind} = H - \frac{1}{2}D_{kroon}$	6,5	m
D <sub>kluit</sub>	stabiliteitskluit (width of root zone)	4,0	m
d	Angle of distribution [graden]	30,0	graden
Feigengewicht	Kracht tgv eigengewicht = totaal gewicht / D <sub>kluit</sub>	4,7	kN/m <sup>1</sup>

Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen

tabel 1: Invoer in Mstab voor drie verschillende boomafmetingen:

Afmeting boom	m	5	10	15	20
F <sub>wind</sub>	kN/m <sup>1</sup>	1,3	4,0	7,2	12,8
D <sub>kluit</sub>	m	3	4	5	5
Y <sub>wind</sub>	m	3	7	10	13
d	graden	30	30	30	30
Feigengewicht	kN/m <sup>1</sup>	1	5	10	20

## Stap 6: Nadere beoordeling

Voor een nadere beoordeling bestaan verschillende mogelijkheden die een scherpere toetsing mogelijk maken. Afhankelijk van de situatie kan gedacht worden aan de volgende nadere

- meer gedetailleerde bepaling afmetingen, windbelasting en belasting door eigengewicht;
- omvang ontgrondingskuil in relatie tot soort boom en ondergrond;
- kans op omwaaien nader beschouwen, waarbij de windsnelheid die optreedt tijdens maatgevende omstandigheden wordt beschouwd (in relatie tot de bepaling van de hydraulische
- kans op omwaaien nader beschouwen, lettende op het soort boom, de toestand van de boom en ondergrond;
- onderscheid alleenstaande bomen en bomenrij.

### Berekening belastingen door bomen

MStab versie 9.10 heeft de mogelijkheid om belastingen van bomen te modelleren en om de invloed hiervan op de stabiliteit te toetsen. De windbelasting ( $F_{wind}$ ) wordt via de kluit ( $w$ ) als bovenbelasting links en rechts van de boom gemodelleerd.

In het kader "Gedetailleerde beoordeling invloed door belasting bomen" is een voorbeeldberekening uitgewerkt om de benodigde belastingen te bepalen, daarnaast zijn ter indicatie voor vier verschillende boom afmetingen conservatieve waarden opgegeven.

Voor de berekening van deze waarden zijn voor verschillende afmetingen de benodigde parameters geschat. De berekening bestaat uit:

- berekening stuwdruk per m<sup>2</sup> boomoppervlak;
- berekening oppervlak en gewicht van de boom;
- berekening belastingen per strekkende meter.

### Berekening stuwdruk per m<sup>2</sup> boomoppervlak

Voor de berekening van de stuwdruk zijn er feitelijk twee variabelen, de windsnelheid en de luchtweerstandcoëfficiënt. Daarnaast is conform de NEN 6702 een factor toegepast die compenseert voor extra stuwdruk ten gevolge van turbulentie.

De luchtweerstandcoëfficiënt van bomen is afhankelijk van het type boom, de dichtheid van het bladerdek en de windsnelheid. Uit literatuuronderzoek volgt dat bij hoge windsnelheden >25 m/s de luchtweerstandcoëfficiënt varieert van circa 0,10 tot 0,5 (0,10 open bomen zonder bladeren, 0,5 gesloten bladerdek). Bij een windsnelheid van 20 m/s varieert de luchtweerstandcoëfficiënt van circa 0,15 tot 0,6 (0,15 open bomen zonder bladeren, 0,6 gesloten bladerdek). Deze onderzoeken zijn uitgevoerd voor naaldbomen met uitzondering van het onderzoek op bomen zonder bladeren, deze zijn uitgevoerd op populieren. De luchtweerstandcoëfficiënt is afhankelijk van een groot aantal variabelen, naast het boomtype en de dichtheid van het bladerdek ook de afmetingen en de stijfheid.

Het is daarom niet goed mogelijk om de luchtweerstandcoëfficiënt nauwkeurig te variëren naar boomtype of dichtheid van het bladerdek. De beschikbare onderzoeken geven hiervoor niet voldoende informatie.

De windsnelheid heeft de grootste invloed, de maximale windsnelheid is circa 28 m/s. Dit is voor het merendeel van Nederland de maatgevende windsnelheid met een herhalingsperiode van 1/100 jaar. In de periode dat bomen vol in blad staan treden deze zeer hoge windsnelheden naar verwachting niet op. Uit "Langjarige gemiddelden en extremen, tijdvak 1971 – 2000" van KNMI volgt dat in de maanden april tot september windkracht 8 of hoger zeer zelden optreedt. Bij windkracht 8 treden maximale windsnelheden op van 21 m/s.

De combinatie van een gesloten bladerdek (0,6) en een windsnelheid van 21 m/s resulteert in een stuwdruk van 0,42 kN/ m<sup>2</sup>. De combinatie van een meer open bladerdek 0,3 (in het voor of najaar) met een hoge windsnelheid van 28 m/s resulteert in een stuwdruk van 0,37 kN/ m<sup>2</sup>. Voor de berekeningen wordt uitgegaan van een stuwdruk van 0,42 kN/ m<sup>2</sup>.

Literatuur weerstandcoëfficiënt bomen:

- Evaluation of drag coefficients of poplar-tree crowns by a field test method, Akio Koizumi , Jun-ichi Motoyama, Kei Sawata, Yoshihisa Sasaki and Takuro Hirai, Received: 7 September 2009 Accepted: 3 November 2009 Published online: 22 January 2010;
- Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies, G.J. Mayhead, Accepted 17 May 1973. Available online 4 April 2003, Agricultural Meteorology, Volume 12, 1973, Pages 123-130;
- Flow around a Living Tree, Hitoshi Shikawa, Suguru Amano and Kenta Yakushiji, JSME International Journal Series B, Vol. 49 (2006) , No. 4 Special Issue on Jets, Wakes and Separated Flows pp.1064-1069.

Berekening oppervlak en gewicht van de boom

Voor de berekening van het kroonoppervlak is aangenomen dat de totale diameter van de kroon gelijk is aan 0,7 maal de hoogte van de boom. Dit betreft een geschatte waarde.

Voor de berekening van het gewicht van de boom zijn bij verschillende boomhoogtes stamdiameters geschat, de bijbehorende diameter van de stabiliteitskluit volgt uit presentatie Themadag Bomen, HoogWaterBescherminsProgramma, 17 juni 2009. Zie tabel 4.1. Voor de berekening van het gewicht is aangenomen dat het gewicht van de stam ongeveer gelijk is aan het gewicht van de takken en bladeren. Het totale gewicht van de boom is dus gelijk aan twee maal het gewicht van de stam. De stam is gemodelleerd als een kegel met een basisoppervlak gelijk aan de stamdiameter en een hoogte gelijk aan de boom.

HoogWaterBescherminsProgramma, 17 juni 2009. Zie tabel 4.1. Voor de berekening van het gewicht is aangenomen dat het gewicht van de stam ongeveer gelijk is aan het gewicht van de takken en bladeren. Het totale gewicht van de boom is dus gelijk aan twee maal het gewicht van de stam. De stam is gemodelleerd als een kegel met een basisoppervlak gelijk aan de stamdiameter en een hoogte gelijk aan de boom.

hoogt [m]	Stamdiameter [m]	diameter stabiliteitskluit [m]
< 5	0,3	3
5 -10	0,6	4
10 - 15	0,8	5
15 - 20	1,0	5

**Tabel 4.1: geschatte afmetingen bomen**

Berekening belastingen per strekkende meter

Voor de berekening van de belastingen per strekkende meter is als conservatief uitgangspunt aangenomen dat de belasting zich beperkt tot de stabiliteitskluit. De totale belasting wordt dus gedeeld door de diameter van de stabiliteitskluit voor zowel de windbelasting als het eigengewicht per strekkende meter dijk.

***NB. Hoe de afgifte van de windbelasting van de boom naar de ondergrond plaatsvindt, betreft een grote onzekerheid. Vooralsnog is uitgegaan van een vrij conservatieve verdeling van de belasting, dit heeft grote invloed op de uitkomsten van de gedetailleerde toets. Mogelijk zijn er partijen met specifieke ervaring omtrent de belastingafgifte van bomen naar de ondergrond die hierover een gefundeerde uitspraak kunnen doen.***

Beoordelingspoor	Relevante belasting	Verschijnselen	Faalverschijnselen niet waargenomen	Faalverschijnselen niet waargenomen tijdens maatgevende situaties	Faalverschijnselen niet waargenomen tijdens maatgevende situaties	Beheerder bepaalt acceptabele marges t.a.v. "bijna" maatgevende omstandigheden	Zwakte-indicatoren
<b>Hoogte</b> Overloop (volgens leidraad beoordelen)							
Overslag	Waterstand en golfhoogte	Erosie van het binnentalud, beschadiging van de grasbekleding Scholvorming binnentalud als gevolg van verzadiging binnentalud Erosie van de toplaag op kruin, concentratie van wegstromend water Afschuiving binnentalud door verzadiging Langsscheuren in de kruin door verzadiging binnentalud Indringing Vervorming bij de teen van het binnentalud door verzadiging binnentalud	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende	T.a.v. waterstand, golfhoogte (Er moet minimaal een overslag situatie hebben plaatsgevonden)	lokale verlagingen van de kruin, slechte/matige graskwaliteit evt in combinatie met steil talud zandige deklaag Het achterland moet het waterbezuwaar aan kunnen
<b>Piping en Heave</b>							
Opdrijven (voldoende onderbouwen dat er geen sprake is van een inredepunt)		Natte plekken bij teen binnentalud dan wel op enige afstand van de teen van het binnentalud Opbarsten deklaag Zandmevoerende wellen (of zandheuveltjes na inspectie) Verandering vegetatie Uitstromend water Drijfzand	Onvoldoende (bij zandmevoerende wellen)	Goed	Goed/Voldoende (opbarsten moet in ieder geval sprake zijn van een gelijke kwelweg)	T.a.v. waterstand en verval	
<b>Macro-instabiliteit binnenwaarts</b> Glijfinkel	Waterstand, verval, freatische lijn, verkeersbelasting	Scheurvorming (in dijklchaam / wegconstructie) Verzakken van de kruin Opbolling bij de teen van het binnentalud Dichtdrukken van de sloot bij de teen van het binnentalud Vervorming beschouwing Brekten besnoeiing en leidingen Objecten staan schreef	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende bij geen verkeersbelasting Geen oordeel bij verkeersbelasting	T.a.v. waterstand en verval	steil binnentalud, nager ontwerp slecht doorlatend
Opdrijven	Waterstand, verval, freatische lijn, verkeersbelasting	Opbolling bij de teen van het binnentalud Opbolling maaiweld achterland	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende bij geen verkeersbelasting Geen oordeel bij verkeersbelasting	T.a.v. waterstand en verval	
Droogte	Waterstand, verval, freatische lijn, verkeersbelasting	Scheurvorming Verzakken van de kruin	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende bij geen verkeersbelasting Geen oordeel bij verkeersbelasting	T.a.v. waterstand en verval	steil buitentalud (denk aan mogelijk om faalmechanisme al weg te schrijven)
<b>Macro-instabiliteit buitenwaarts</b> Instabiliteit grond	Waterstand, val van de waterstand, verkeersbelasting	Langsscheuren op de kruin Kanteling van de kruin	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende bij geen verkeersbelasting Geen oordeel bij verkeersbelasting	T.a.v. waterstand en verval	
Instabiliteit kerende constructie	Waterstand, val van de waterstand, verkeersbelasting	Vervorming van de constructie Scheurvorming in de constructie (erosie van grond achter de constructie) Scheuren in het aangrenzende grondlichaam	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende bij geen verkeersbelasting Geen oordeel bij verkeersbelasting	T.a.v. waterstand en verval	
<b>Micro-instabiliteit</b>	Waterstand, verval, freatische lijn	Ultrreden van water op het binnentalud Verkleuring slootwater Verandering van de vegetatie Vorming glijfinkel zie macro-instabiliteit	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende	T.a.v. waterstand en verval	gangenstelsels, gaten in de toplaag
<b>Instabiliteit bekleding</b>	Waterstand en golfhoogte	Scheurvorming Beschadiging Erosie uit onderlaag Erosie van het buitentalud	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende	T.a.v. waterstand en golfhoogte (en gelijke karakter talud, 'waarneming' en belast onder maatgevende omstandigheden)	slechte/matige kwaliteit gras, geulen, gaten, openingen bij overgangen (denk aan zwaardere belasting onder dagelijkse blijvoorbeeld door scheepvaart)
<b>Niet-Waterkerende objecten</b> Bomen Kabels en leidingen Constructies/objecten	Waterstand, verval Waterstand, verval Waterstand, verval Waterstand, verval Golven	Omgewaalde bomen Verweking van de ondergrond Scheurvorming Vervorming van de ondergrond Scheurvorming, breuk Grond sluit niet aan op constructie/object Grond vervormt nabij constructie/object Beweging in constructie/object	Onvoldoende	Goed	Goed/Voldoende	T.a.v. waterstand, golfhoogte en verval	

## BIJLAGE 8: Matrix waarnemingen beheerdersoordeel waterkerende kunstwerken

### Uitgangspunt

Dankzij screenings- / prioriteringstool resteert orde grootte 20 a 30% van de kunstwerken voor een beoordeling  
 Prioritering richt zich op zowel de kunstwerken zelf (welke kunstwerken wel / niet beoordelen) en de toetssporen (welke toetssporen wel / niet beoordelen)

Onderscheid: waterkerende kunstwerken zijn wel of niet zelfstandig waterkerend (dus wel of geen grondlichaam wat kerende hoogte verzorgt)

Focus op hoogwatergerelateerde mechanismen

Afh. van faalmechanisme is waterstand, verval of beide van belang. Hierbij geldt: dat een maatgevende gebeurtenis / situatie zonder normcondities op het watersysteem kan zijn opgetreden (bijv. onderhoud) of kan worden gecreëerd (praktijkproef).

### Randvoorwaarden bij aanpak

Faalprocessen kennen een geleidelijk of abrupt verloop, extrapolatie veiligheid alleen toegestaan (binnen marges) bij geleidelijke processen  
 De beoordelingsspoor Hoogte en Stabiliteit voorland vallen buiten deze verkenning. Hoogte omdat dit kenmerk eenvoudig te meten is en STVL omdat dit niet te maken heeft met de fysieke toestand van het kunstwerk zelf maar veelal wordt getoetst op basis van de diepte van het aanliggende waterlichaam.

T.a.v. beoordeling obv 'overleefde' waterstanden en/of verval geldt dat de sterkte sinds die overleefde situatie niet mag zijn achteruitgegaan, door veroudering van constructieve delen en/of aanpassing van de geometrie door bijv. baggeren, erosie of andere processen

Oordeel 'voldoende' o.b.v. extrapolatie veiligheid bij geleidelijke processen: vraag of afwijkend oordeel moet zijn tbv herkenning hardheid / achtergrond van dit oordeel

### Overige punten

Voor betrouwbaarheid sluiting geldt dat t.a.v. de onderdelen Hoogwateralarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen waarnemingen het gebrek aan gegevens niet kunnen vervangen. Wel kunnen ervaringen aantonen dat deze facetten goed verlopen, of juist niet. Dergelijke ervaringen dienen in de reguliere toetsprocedure voor BS te worden verwerkt, maar kunnen dus niet zelfstandig tot een volwaardig toetsoordeel leiden.

Beoordelingsspoor	Deelspoor / aspect	Karakter	Relevante belasting	Verschijnselen	Randvoorwaarde	Marges
Stabiliteit / sterkte						
STCG	Stabiliteit constructie en Kantelen grondlichaam	Geleidelijk (staalfundering)	Verval en waterstand	Vervorming van damwanden Verzakkingen Significante scheurvorming in vloer, wanden en plafonds Afschuiving van delen van het grondlichaam (binnendijks)	Voldoende	T.a.v. verval en waterstand (x en y meter)
	Horizontaal afschuiven	Geleidelijk (staalfundering)	Verval	Scheurvorming op grensvlak constructie en vleugelwanden (buitendijks)	Voldoende	T.a.v. verval
	Opdrijven	Geleidelijk (staalfundering)	Verval	Opbolling / scheurvorming vloer idem	Voldoende	T.a.v. verval
	Kantelen	Progressief (paalfundering)	Verval en waterstand	idem	geen oordeel	n.v.t.
	Horizontaal afschuiven	Progressief (paalfundering)	Verval	idem	geen oordeel	n.v.t.
	Opdrijven	Progressief (paalfundering)	Verval	idem	geen oordeel	n.v.t.
STCO	Sterkte constructie-onderdelen	Progressief	Verval		Voldoende	n.v.t.
STPH	Piping en heave	Geleidelijk (bij boezenwaterkeringen)	Verval	Wellen	Voldoende	Verval: x m
				Losse pakking grond direct binnendijks Opbarsten deklaag Zandmevoerende wellen Stijghoogte gradient onder kunstwerk idem	Voldoende	geen oordeel
	Onder- en achterloopsheid	(Mogelijk) progressief (bij overige keringen)	Verval		Voldoende	n.v.t.



## Bijlage 9 Keuze maatgevende wind

De Leidraad schrijft géén maatgevend hoge windsnelheden voor, deze dienen te worden afgeleid door de beheerder. Een veilige benadering voor de afleiding van een maatgevende hoge windsnelheid is de keuze voor een hoge windsnelheid met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de veiligheidsnorm van de kering. Dit is erg conservatief, zowel voor boezem- en kanaalkaden als speciaal voor keringen langs wateren met een afvoer - gedomineerde hoogwatersituatie. Als optimalisatie stelt de Leidraad daarom:

- in zijn algemeenheid, onder meer voor boezemkaden, gebruik te maken van een volledig probabilistische benadering, rekening houdend met de kans op het gelijktijdig optreden van hoge waterstanden en hoge windsnelheden;
- voor keringen langs regionale rivieren een meer gemiddelde hoge windsnelheid te hanteren, indien de hoogwatersituatie samenhangt met hoge afvoeren.

Deze bijlage gaat nader in op de afleiding van de maatgevend hoge windsnelheid, voor wat betreft:

1. het gebruik van de KNMI-data;
2. de vertaling van KNMI-data naar een beschouwde kering.

Aanvullend wordt opgemerkt dat een pragmatisch alternatief voor een volledig probabilistische benadering kan zijn een beschouwing van enkele uiterste combinaties, te weten:

- o eens per jaar wind met 1/N waterpeil/afvoer;
- o 1/N wind met eens per jaar waterpeil/afvoer;
- o eens per 10 jaar wind met 1/N waterpeil/afvoer
- o 1/N wind met eens per 10 jaar waterpeil/afvoer.

Dit alternatief kan bijvoorbeeld dienen als verkenning van het nut van een volledig pragmatische benadering. Bij een sterke correlatie tussen wind en een hoge waterstand of afvoer is dit mogelijk te optimistisch.

### Gebruik van de KNMI-data

Voor de afleiding van de maatgevend hoge windsnelheid op basis van KNMI data kunnen onderstaande stappen worden toegepast:

- Kies één KNMI-referentielocatie, aanbevolen referentie-locaties zijn:
- Schiphol: voor de provincies Zeeland, Zuid-Holland, Noord-Holland, Flevoland, Friesland en Groningen
- Eindhoven: voor alle overige provincies <sup>1</sup>
- Leid voor de KNMI - potentiële wind <sup>2</sup> op deze locaties (zie [www.knmi.nl/samenw/hydra](http://www.knmi.nl/samenw/hydra)) windextremen af.
- Presenteer de windextremen in tabel/grafiekvorm als functie van de windrichting en herhalingstijd.
- Kies de herhalingstijd, op basis van de veiligheidsnorm van de waterkering en eventueel rekening houdend met de correlatie tussen hoogwater en harde wind.
- Leidt op basis van de herhalingstijd de windsnelheid af.

*Deze aanwijzingen gelden indien geen gebruik wordt gemaakt van een probabilistische benadering.*

### Vertaling van KNMI-data naar een beschouwde kering

Soms is sprake van een sterke beschutte ligging van wateren, zowel in stedelijke gebieden (door gebouwen) als in het landelijke gebied (door bomen of bomenrijen). Ten opzichte van de KNMI-stations kan de beschutting sterk (20-50%) zijn. Een sterke reductie van de hoge windsnelheid door beschutting heeft significante invloed op de berekende golfhoogten, en kan relevant zijn voor de beoordeling van de hoogte en bekleding van de kering. Voor beschutte situaties kan de windsnelheid worden geoptimaliseerd, door rekening te houden met beschutting. Dit is complex, en geldt als een beoordeling op geavanceerd niveau. Universele modellen om de wind tussen dergelijke obstakels af te leiden ontbreken<sup>3</sup>. Onderstaand worden twee werkwijzen beschreven voor de uitwerking van de optimalisatie.

<sup>1</sup> De locatie De Bilt wordt niet als referentie aangeraden, omdat deze locatie uit oogpunt van windsnelheden is verstoord door hoge bomen en gebouwen

<sup>2</sup> Het gebruik van de ruwe winddata op de reguliere klimatologiesite van KNMI wordt afgeraden

<sup>3</sup> Alle theorieën beperken zich tot wind ruim boven de obstakels

Met behulp van een opwaaiingsmodel

Bij deze werkwijze wordt de beschuttingsfactor empirisch afgeleid van de verhouding tussen KNMI-wind en modelwind. Hierbij wordt in een opwaaiingsmodel (als SOBEM/WAQUA) de modelwind aangepast door de berekende opwaaiing te kalibreren op de gemeten opwaaiing. De verhouding tussen KNMI-wind en aangepaste modelwind is dan te beschouwen als empirische beschuttingsfactor.

Voorwaarde voor deze werkwijze is de beschikbaarheid van gemeten opwaaiing, waarbij deze niet vertekend mag zijn door bijv. een afvoergedreven verhang).

Met behulp van het KNMI-tweelagenmodel

Vooraf voor meren (en iets minder beschermd gelegen wateren) kan het KNMI-tweelagenmodel worden gebruikt. Dit is een gangbare werkwijze, al wordt ten behoeve van WTI2023 meerjarig onderzoek gedaan naar een nauwkeuriger maar ook meer complexe methode, die mogelijk gunstiger gaat uitvallen.

De vertaling van de windextremen naar de interesselocatie volgens dit KNMI-tweelagenmodel gaat als volgt:

- a) Vertaal de potentiële KNMI-wind naar de zgn. meso-wind op 60 m hoogte, op basis van het logaritmisch windprofiel.

Voor de potentiële wind moet (per definitie) een ruwheidslengte  $Z_{nul}$  van 0,03 m worden gehanteerd. In formulevorm [zie Wieringa & Rijkoort, Windklimaat van Nederland, 1983]:

$$U_{meso} (KNMI) / U_{pot}(KNMI) = \ln(60/0,03) / \ln(10/0,03) = 1,31$$

- b) Bepaal in navolging van Wieringa vervolgens de zgn. mesoruwheid voor het KNMI-station. De coördinaten daarvan zijn beschreven in [www.knmi.nl/samenw/hydra](http://www.knmi.nl/samenw/hydra). Een digitale ruwheidskaart van Nederland is te vinden op <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/vergaderstukken/2012/03/15/ruwheidskaart.html>. Deze ruwheidskaart beschrijft de ruwheidslengtes  $Z_{NUL}$  (in meters) in een 1x1 km landsdekkend raster. Voor afleiding van de mesoruwheid moeten de 1x1 km ruwheden worden geaggregeerd naar een 5x5 km blok. De aggregatie is idealiter direct bovenwinds van de te gebruiken locatie, acceptabel alternatief is aggregatie gecentreerd rond de locatie. Omdat de ruwheden  $Z_{NUL}$  logaritmisch samenhangen met de windsnelheid moeten de ruwheden logaritmisch worden gemiddeld. Ofwel: middel de logaritme van alle ruwheden in een 5x5 km blok, en neem de inverse logaritme (dus exponent) van het aldus bepaalde "gemiddelde van de logaritmes" om de effectieve ruwheidslengte over 5x5 km te bepalen.

*Vereenvoudigd voorbeeld: Stel de ruwheden 0,1 en 0,01 m komen in een 5x5 m blok gelijkelijk voor. Dan is de effectieve ruwheid  $\exp( [\ln(0,1)+\ln(0,01)] / 2 ) = 0,032$  m.*

- c) Bepaal de 5x5 km mesoruwheid voor de beschouwde locatie, volgens de werkwijze als beschreven bij stap b.
- d) Bepaal de mesowind op 60 m hoogte boven het beschouwde watersysteem (hier nu aangeduid als  $U_{meso} (WS)$ ), volgens formule:

$$U_{meso}(WS) / U_{meso}(KNMI) = [ (Z_{nul}(meso,WS)/Z_{nul}(meso,KNMI) ) ^{0,07} ] * [ \ln(60/Z_{nul}(meso,WS)) / \ln(60/Z_{nul}(meso,KNMI)) ]$$

De term met ruwheden tot de macht 0,07 verrekent de toename van de schuifspanningen (de  $u^*$ -schaalparameters) bij een toename van de ruwheid van het landschap.

Voor nadere info over o.a. de formule wordt verwezen naar:

- RWS RIZA rapport 2007.020 (de par. 4.4.1 en bijlage E (pag 267): ([http://files.kennisplein.intranet.minienm.nl/3/5/359788/Measured\\_wind-wave\\_climatology\\_lake\\_IJssel\\_\(NL\)-main\\_results\\_for\\_the\\_period1.pdf](http://files.kennisplein.intranet.minienm.nl/3/5/359788/Measured_wind-wave_climatology_lake_IJssel_(NL)-main_results_for_the_period1.pdf))
- Bottema, Klaassen en Hopwood (zie: <http://cio.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/1998/BoundLayMetBottema2/1998BoundaryLayerMeteorolBottema2.pdf> .
- e) Vertaal de 60-m-mesowind boven het watersysteem naar de 10-meter-wind boven het watersysteem. Deze 10-meter-wind dient als input voor het golfmodel.

Deze vertaling geschiedt conform de werkwijze in stap "a", waarbij in plaats van de standaard ruweidslengte van 0,03 m (voor obstakelvrij grasland) de lokale 1x1 km ruweidslengte ZnuWS dient te worden gehanteerd. Deze lokale 1x1 km ruweidslengte ZnuWS kan direct (dus zonder middeling) uit bovengenoemde ruweidskaart worden afgelezen. Ofwel:

$$U_{10}(WS) / U_{meso}(WS) = \ln(10/ZnuWS) / \ln(60/ZnuWS)$$

Benadrukt wordt dat hiervoor niet bij voorbaat een open-water-ruweid moet worden gehanteerd, maar de ruweid van de ruweidskaart. Alleen op die manier kan rekening worden gehouden met de beperkte afmetingen van veel regionale watersystemen.

**Deze bijlage is opgesteld op basis van informatie aangeleverd door M. Bottema – RWS.**

## Bijlage 10 Beoordeling ongedraineerde stabiliteit volgens CSSM - model

### Nieuwe kennis

Ten aanzien van de berekening van de macrostabiliteit van waterkeringen is op dit moment sprake van een overgangssituatie. Het WBI2017 zal een nieuw materiaalmodel voor het karakteriseren van het gedrag van grond voorschrijven, gebaseerd op het Critical State Soil Mechanics model (CSSM) en de Stress History And Normalized Soil Engineering Properties (SHANSEP) methode. Voor grondsoorten met een relatief lange hydrodynamische periode in relatie tot de belastingduur dient daarbij de ongedraineerde (bezwijk-) sterkte te worden gehanteerd.

Deze Leidraad schrijft de (nu vigerende) werkwijze met een gedraineerde stabiliteitsberekening gebaseerd op het Mohr-Coulomb model voor.

Introductie van het nieuwe materiaalmodel heeft enkele belangrijke consequenties voor de beoordeling van de stabiliteit van een regionale kering, waaronder de gegevens betreffende de sterkte van de grond die benodigd zijn. Dit vergt een andere invulling van het grond- en laboratoriumonderzoek, en de afleiding van de parameters. Consequentie is ook dat bij toepassing van dit model andere partiële veiligheidsfactoren resulteren.

Conform ook het advies van het ENW wordt zodoende in deze Leidraad gewaarschuwd voor de waarschijnlijke overgang naar het CSSM – model, binnen enkele jaren, al dan niet in combinatie met de methode van de ongedraineerde (bezwijk-) sterkte.

Vanwege de consequenties van een overgang is een werkwijze voor de beoordeling van de stabiliteit van regionale keringen pragmatisch uitgewerkt. Deze werkwijze vormt geen alternatief voor de nu vigerende methode, maar dient enerzijds om de waterkering beheerder tijdig te informeren over deze ontwikkeling (om desinvesteringen te voorkomen) en anderzijds om eventueel gewenste verkenningen van de consequenties van de nieuwe methode mogelijk te maken met een voorlopig beoordelingsschema. Deze bijlage beschrijft een voorlopig beoordelingsschema.

Opgemerkt wordt dat een volledig set partiële veiligheidsfactoren afgestemd op de veiligheidsfilosofie en de veiligheidsniveau's voor regionale waterkeringen ontbreekt. Een dergelijk set partiële veiligheidsfactoren is voor de primaire keringen in ontwikkeling (geplande oplevering: zomer 2016).

### Beoordeling

#### Eenvoudige beoordeling

De beoordeling start met de vraag of de stabiliteit van de kering volgens een eerdere toetsing voldeed aan de norm of een verbetering van de stabiliteit is ontworpen. Bij de overstap naar het nieuwe materiaalmodel gebaseerd op het CSSM is deze eenvoudige beoordeling niet mogelijk, omdat op voorhand niet bekend is of het oude materiaalmodel gunstiger of ongunstiger is dan het nieuwe materiaalmodel. De keuze voor het nieuwe materiaalmodel houdt in dat de toetsing op gedetailleerd niveau moet worden voortgezet. Uitzondering is wanneer de eerdere beoordelingsmethode gevalideerd kan worden op basis van de nieuwe methode. Deze uitzondering is wat theoretisch, een dergelijke validatie is waarschijnlijk erg complex.

De Leidraad noemt tevens als optie voor een eenvoudige toetsing de beoordeling van de stabiliteit op basis van veilige afmetingen. Deze beoordeling is wel mogelijk bij toepassing van het CSSM – model, mits de veilige afmetingen volgens deze aanpak zijn vastgesteld.

## Gedetailleerde beoordeling

De gedetailleerde beoordeling van de macrostabiliteit bestaat uit de volgende stappen:

- Stap 1: vaststellen relevante belasting (-en);
- Stap 2: bepalen veilige schematisering;
- Stap 3: berekenen stabiliteit;
- Stap 4: toetsen berekende stabiliteitsfactor aan vereiste stabiliteitsfactor.

Onderstaand volgt een toelichting bij de stappen, een nadere toelichting bij enkele specifieke onderdelen van deze stappen is beschreven in deel Sterkte en Schematisering.

### Stap 1: vaststellen belastingsituatie en belastingen

De uitwerking van deze stap is gelijk aan de vigerende werkwijze.

#### Permanent belaste waterkeringen

Voor permanent belaste keringen (m.n. boezem- en kanaalkaden) wordt nog aandacht besteed aan de noodzaak aanvullend tevens de situatie met streefpeil te beoordelen met de gedraineerde schuifsterkte voor alle grondlagen. Deze aanvulling volgt uit het inzicht dat de situatie streefpeil met de gedraineerde schuifsterkte kan leiden tot een maatgevend lage stabiliteitsfactor, terwijl voor permanent waterkerende keringen ook de stabiliteit bij streefpeil geborgd moet zijn.

### Stap 2: bepalen veilige schematisering

De uitwerking van deze stap is gelijk aan de vigerende werkwijze.

Veel kennis over de afleiding van de ongedraineerde schuifsterkte parameters horend bij het CSSM - model, de schematisering en de materiaalmodellen en schuifvlakmodellen is beschreven in rapporten die worden samengesteld voor het WBI2017, zoals Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit [Deltares, 2016a]. Algemeen wordt aanbevolen voorafgaand aan een toetsing zich op de hoogte te stellen van alle uitgekomen publicaties. Zie hiervoor bijvoorbeeld de Helpdeskwater: [www.helpdeskwater.nl](http://www.helpdeskwater.nl).

In combinatie met het bepalen van de veilige schematisering wordt de schematiseringsfactor bepaald. Zie verder stap 4 (voor een meer gedetailleerde toelichting wordt verwezen naar bijlage 2 van de Leidraad).

### Stap 3: berekenen stabiliteit

Voorafgaand aan de daadwerkelijke berekening van de stabiliteit dienen het glijvlakmodel en het grondgedrag (gedraineerd / ongedraineerd) te worden gekozen. De keuze voor het glijvlakmodel is conform de vigerende aanpak.

Ten aanzien van de keuze van het grondgedrag geldt het volgende. Het afschuiven van een talud kan een betrekkelijk snel proces zijn in relatie tot de hydrodynamische periode van veel grondsoorten, met name klei en veen. Door de deformatie van de grond tijdens een snel optredende afschuiving worden in slecht waterdoorlatende grondlagen waterspanningen gegeneerd. Afhankelijk van de consolidatiesnelheid van de grond kunnen in het glijvlak deze wateroverspanningen in meer of mindere mate dissiperen. Door de gegeneerde waterspanningen wordt de korrelspanning beïnvloed, en kan de schuifsterkte van de grond reduceren. In een ongedraineerde stabiliteitsanalyse worden deze waterspanningen en de resulterende schuifsterkte van de grond in rekening gebracht.

Indien een belastingverandering betrekkelijk snel optreedt, zoals een hoogwater, moet worden uitgegaan van het snel optreden van een eventuele afschuiving van een talud. Zodoende dient voor de stabiliteitsanalyse te worden uitgegaan van ongedraineerd grondgedrag. Daarbij geldt dat:

- voor grondlagen met een lange hydrodynamische periode (klei en veen) moet worden uitgegaan van ongedraineerd grondgedrag, en moet de ongedraineerde sterkte worden gehanteerd;
- voor grondlagen met een korte hydrodynamische periode (zand) kan worden uitgegaan van gedraineerd grondgedrag en de bijbehorende gedraineerde schuifsterkte. Gedraineerd grondgedrag

wordt gemodelleerd met een hoek van inwendige wrijving, uitgaande van de 'critical state' toestand van de grond.

De inschatting of voor een grondlaag de gedraineerde of ongedraineerde schuifsterkte moet worden gehanteerd is afhankelijk van de hydrodynamische periode van de grondlaag. Dit wordt bepaald door enerzijds de dikte en geotechnische eigenschappen van de grondlaag, zoals de doorlatendheid en samendrukbaarheid, en anderzijds de snelheid van de belasting/afschuiving. Op basis van de consolidatie-theorie kan een inschatting worden gemaakt van het ongedraineerd of gedraineerd grondgedrag. De vaststelling van enkele uitgangspunten daarbij is echter complex, bijvoorbeeld de snelheid van de belastingverandering en de snelheid waarmee de afschuiving zich voltrekt. Zodoende moet zekerheidshalve bij een beoordeling op gedetailleerd niveau standaard worden uitgegaan van ongedraineerd gedrag voor alle (niet sterk over-geconsolideerde) grondlagen. Enige uitzondering vormen (schoon) zandlagen met een dikte van minimaal 0,5 m, hiervoor mag van gedraineerd grondgedrag worden uitgegaan.

Op geavanceerd niveau kan zo nodig het grondgedrag voor de zandige / meer doorlatende grondlagen nader worden beschouwd. Dit kan bijvoorbeeld relevant zijn bij sterk siltige klei of bij wadafzettingen (klei met zandlaagjes en zand met kleilaagjes). Aanwijzingen hiervoor worden beschreven in de zgn. Schematiseringshandleiding Macrostabieliteit behorende bij het WBI2017 (Deltares, 2016a). Indien van bovenstaande aanbeveling wordt afgeweken dient dit goed te worden onderbouwd.

Tijdens hoogwater kunnen door een toename van de waterspanningen bij grondlagen met initieel contractant gedrag (generatie van wateroverspanning) uiteindelijk sprake zijn van dilatant gedrag (generatie van wateronderspanning) onder ongedraineerde afschuifcondities. De wateronderspanningen genereren bij ongedraineerd afschuiven extra schuifsterkte langs het schuifvlak. Daarbij kunnen zich verschillen voordoen tussen de grondlagen in een dwarsprofiel. Bij dilatant gedrag geeft een gedraineerde analyse een lagere schuifsterkte dan een ongedraineerde analyse. Voor een individuele grondlaag is wel te zeggen welke analyse de laagste schuifsterkte geeft. Maar voor een dwarsprofiel met verschillende grondlagen ligt het gecompliceerder. Alle slecht doorlatende grondlagen in een dwarsprofiel moeten allemaal met ongedraineerd grondgedrag worden gemodelleerd of, indien van toepassing voor de beschouwde situatie, allemaal met gedraineerd grondgedrag. Het is nadrukkelijk niet de bedoeling dat slecht doorlatende grondlagen met contractant gedrag als ongedraineerd worden gemodelleerd en in dezelfde analyse de slecht doorlatende grondlagen met dilatant gedrag als gedraineerd worden gemodelleerd (hoewel dit een veilige benadering kan zijn).

#### Permanent belaste waterkeringen

Een ongedraineerde stabiliteitsanalyse volgens het CSSM model kan resulteren in een stabiliteitsfactor die hoger is dan de berekende stabiliteitsfactor volgens een volledig gedraineerde stabiliteitsanalyse volgens het CSSM model [cnf. Consequentieanalyse, in STOWA 2015]. Een ongedraineerde stabiliteitsanalyse is daarom niet altijd een veilige analyse. Daarom dient de macrostabieliteit ook te worden beoordeeld op basis van de gedraineerde schuifsterkte. Bij toepassing van de gedraineerde schuifsterkte wordt uitgegaan van een langdurig aanwezige belasting, namelijk de situatie met streefpeil. Deze gedraineerde stabiliteitsanalyse is alleen van belang wanneer het streefpeil relevant hoger is dan het maaiveldniveau in het achterland. In die gevallen kan ook bij streefpeil instabiliteit optreden, waarbij een doorbraak ontstaat met inundatie tot gevolg. Zodoende moet voor permanent belaste waterkeringen ook de gedraineerde stabiliteit bij dagelijkse omstandigheden worden aangetoond. Dit vormt een aanvulling op de ongedraineerde stabiliteitsanalyse voor de normsituatie.

Bij de berekening van de stabiliteit bij streefpeil moet worden uitgegaan van gedraineerd grondgedrag, en moet de ultimate state of bezwijkwaarde van de gedraineerde schuifsterkte (op basis van hoek van inwendige wrijving  $\phi'$ ) voor alle grondlagen worden gehanteerd. Onder dagelijkse omstandigheden met streefpeil is sprake van een langdurige, min of meer constante belasting. Onder die omstandigheden kan een taludinstabiliteit zich langzaam voltrekken. Het afschuiven is dan een gedraineerd proces, ook in slecht doorlatende grondlagen.

Een mogelijk alternatief voor een berekening betreft de beoordeling van de stabiliteit aan de hand van bewezen sterkte bij streefpeil. Immers, de stabiliteit bij streefpeil bewijst zich dagelijks. Daarnaast doen zich soms

<sup>1</sup> Dit hangt o.a. af van de overige relevante belastingen en eventuele achteruitgang in de sterkte door verschillende oorzaken.

perioden voor met een verhoogde of een bijna maatgevende hoogwaterstand. De stabiliteit kan zodoende mogelijk ook worden beoordeeld op basis van bewezen sterkte. Belangrijke onderdelen van zo'n beoordeling zijn de afwezigheid van verschijnselen die duiden op deformatie van de kering (scheuren in asfalt, aanzienlijke daling kruin, etc.). Zie voor aanwijzingen hieromtrent de module over het beheerdersoordeel (module G).

Nadeel van een kwalitatieve beoordeling op basis van bewezen sterkte bij dagelijkse omstandigheden is dat de mobiliseerbare schuifsterkte van de grond en het aanwezige veiligheidsniveau van de kering onbekend zijn. Zodoende kan worden overwogen een kwalitatieve beoordeling te onderbouwen met een berekening voor enkele cases (verschillende typen waterkeringen in het beheersgebied). Nuttige aanvulling daarbij is een gevoeligheidsanalyse naar het verschil in berekende stabiliteitsfactor tussen de situaties met gedraineerde schuifsterkte bij streefpeil en ongedraineerde schuifsterkte bij toetspeil.

#### Stap 4: toetsen berekende stabiliteitsfactor aan vereiste stabiliteitsfactor

De uitwerking van deze stap is gelijk aan de vigerende werkwijze. Uitzondering vormt de grootte van de partiële veiligheidsfactoren. Onderstaand wordt hier nader op ingegaan.

In het kader van het WBI2017 worden voor primaire keringen alle partiële veiligheidsfactoren voor een stabiliteitsberekening volgens het CSSM – model opnieuw gekalibreerd, inclusief de materiaalfactoren. Hierbij wordt uitgegaan van ongedraineerd grondgedrag cq. de ongedraineerde schuifsterkte voor slecht doorlatende grondlagen en van gedraineerd grondgedrag voor goed doorlatende grondlagen. De invloed van de verschillende onzekerheden in de sterkte op de faalkans kan voor een regionale kering afwijken van de invloed hiervan voor een primaire kering. Dat vergt andere partiële veiligheidsfactoren.

De afleiding van partiële veiligheidsfactoren specifiek voor regionale keringen is in deze overgangssituatie nog niet uitgevoerd. Zodoende dient voor regionale keringen voorlopig te worden uitgegaan van de partiële veiligheidsfactoren die voor de primaire keringen worden afgeleid. Zodra gevalideerde partiële veiligheidsfactoren zijn gepresenteerd, kunnen deze voor verkenningen van de consequentie worden toegepast. Idealiter start dan ook de kalibratie van de partiële veiligheidsfactoren voor regionale keringen, en zo nodig de afleiding daarvan specifiek voor (de verschillende typen) regionale keringen. Zulks afhankelijk van de ontwikkelingen op het gebied van macrostabiliteit in het WBI2017 en de voortzetting van het Ontwikkelingsprogramma Regionale Waterkeringen.

#### Modelfactor

De modelfactor is afhankelijk van het schuifvlakmodel en het toegepaste model voor grondgedrag. Bij de huidige werkwijze met gedraineerd grondgedrag wordt aanvullend onderscheid gemaakt in het al dan niet optreden van opdrijven/opbarsten van de deklaag in het achterland, in relatie tot de grootte van het 3D-effect. Voor het CSSM materiaalmodel en ongedraineerd grondgedrag worden ten behoeve van het WBI2017 nieuwe factoren afgeleid. De factoren zijn iets hoger, en het onderscheid naar opdrijven/opbarsten is vervallen. Onderstaande tabellen presenteren de modelfactoren, voor de verschillende werkwijzen. Deze modelfactoren zijn afgeleid bij een betrouwbaarheidseis  $\beta = 4,8$ , vanwege de beoogde toepassing voor primaire keringen (WBI2017). Dit betreft voorlopige waarden. Zodra deze waarden definitief zijn vastgesteld, zal een integrale set partiële veiligheidsfactoren voor regionale keringen worden afgeleid, in 2016.

**Tabel B8.1 Nieuwe modelfactoren bij toepassing van het CSSM materiaalmodel (ongedraineerd grondgedrag) [Deltares, 2014b].**

Glijvlakmodel	Modelfactor <sup>2</sup>
Bishop	1,12
LiftVan	1,07
Spencer - van der Meij	1,07
EEM - Mohr Coulomb	1,07

<sup>2</sup> Dit betreft de totale rekenmodelfactor, deze waarde is het product van onzekerheden in het schuifvlakmodel en het schuifsterktemodel en het 3D-effect en onnauwkeurigheid van de zoekprocedure.

<sup>3</sup> Deze materiaalfactoren zijn beoogd te passen bij een betrouwbaarheidsindex  $\beta = 3,6$ .

### Materiaalfactor

Een voorstel voor de toe te passen materiaalfactoren is gegeven in tabel B10.2. Dit betreft materiaalfactoren die zijn toegepast bij de STOWA consequentie analyse ongedraineerde stabiliteitsberekeningen. Deze waarden gelden nadrukkelijk als indicatief. Ten behoeve van het WBI2017 worden nieuwe materiaalfactoren vastgesteld, voorlopige waarden zijn beschreven in het Ontwerp Instrumentarium 2014 (versie 3) [Min. I & M, 2015]. Voor een meer gedetailleerde uitwerking van een verkenning kunnen die waarden worden toegepast.

Parameter	Materiaalfactor $\gamma_m$ [-]
$\phi'$	1,12
Su – ratio	1,1
POP	1,1

### Schadefactor

Vooralsnog gelden de schadefactoren conform de vigerende werkwijze. Binnen WBI 2017 wordt een nieuwe relatie tussen betrouwbaarheidsindex en schadefactor afgeleid, passend bij de opnieuw gekalibreerde materiaalfactoren.

### Permanent waterkerende keringen

Voor de situatie met streefpeil en gedraineerd grondgedrag kan wellicht een versoepeling worden aangebracht in de veiligheidseisen, ten opzichte van de situatie met toetspeil (ongedraineerd grondgedrag), vanwege het verschil in de waarschijnlijke snelheid van bezwijken tussen deze situaties.

Bij de streefpeil situatie gaat het om langzaam bezwijken onder gedraineerde grondcondities. Dit gedraineerde bezwijkproces duurt weken of maanden of zelfs jaren. Dit bezwijkproces wordt bij voldoende frequente inspectie tijdig opgemerkt. In dat geval kunnen maatregelen worden genomen om het bezwijkproces te stoppen. Zodoende is voor de situatie streefpeil (naast of samen met het punt van de bewezen sterkte) wellicht een lagere veiligheidseis voor de streefpeil situatie rechtvaardig. Dit aspect vormt onderdeel van nadere studie.

### Schematiseringfactor

Vooralsnog geldt voor de bepaling van de schematiseringsfactoren de werkwijze zoals die geldt voor de vigerende aanpak met een gedraineerde stabiliteitsberekening aan de hand van het Mohr-Coulomb model.

### Beoordelen van de vervorming

Het nieuwe materiaalmodel dat is gebaseerd op het CSSM-model en dat in het WBI 2017 wordt toegepast voor het beoordelen van macrostabiliteit gaat uit van de bezwijksterkte van grond (critical state of ultimate state).

Voor klei wordt de schuifsterkte afgeleid uit triaxiaalproeven bij 25% axiale rek. Voor veen wordt de schuifsterkte afgeleid uit direct simple shear proeven bij 40% schuifrek. Dit betekent dat bij een dijk of kade die op basis van deze schuifsterkte parameters niet voldoet aan de vereiste schadefactor de kans op falen van de kade te groot is. Bij het optreden van taludinstabiliteit is vervorming in de orde van meerdere decimeters tot meer dan een meter mogelijk, waardoor een doorbraak kan ontstaan, zodat in geval van hoog water sprake is van falen van de waterkering. Wanneer wordt voldaan aan de vereiste schadefactor is de faalkans van de waterkering voldoende klein. Met andere woorden: de kans op een afschuiving van het talud met een doorbraak tot gevolg is voldoende klein. De toelaatbare faalkans is afgeleid van de overschrijdingskans van de betreffende kade of de overstromingskans bij een primaire waterkering.

<sup>2</sup> Dit betreft de totale rekenmodelfactor, deze waarde is het product van onzekerheden in het schuifvlakmodel en het schuifsterktemodel en het 3D-effect en onnauwkeurigheid van de zoekprocedure.

<sup>3</sup> Deze materiaalfactoren zijn beoogd te passen bij een betrouwbaarheidsindex  $\beta = 3,6$ .



Bij de overschrijdingskansbenadering is het uitgangspunt dat een waterstand met een vastgestelde overschrijdingskans veilig moet kunnen worden gekeerd. Dit betekent dat de sterkte voldoende moet zijn en dat de vervorming binnen een bepaalde grens moet blijven (0,10 m volgens het TR Waterkerende Grondconstructies; TAW, 2001). Bij de nu gangbare werkwijze wordt de schuifsterkte van de grond daarom bepaald bij een kleine rek in de laboratoriumproeven (2 a 5%). De gedachte bij deze werkwijze is dat hiermee de beoordeling van de sterkte van een waterkering (met een glijvlakanalyse) kan worden uitgevoerd en dat tevens de optredende vervorming binnen acceptabele grenzen zal blijven. Deze beoordeling van macrostabiliteit is dus een gecombineerde beoordeling van de sterkte en de vervorming van een waterkering.

De Nederlandse normen voor bouwconstructies (NEN-EN 1990 en NEN 9997 en de voorgangers) gaan al langere tijd uit van een aparte beoordeling van de sterkte en van de vervorming van (grond)constructies. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in de uiterste grenstoestand (UGT) en de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). In de UGT gaat het om de veiligheid van personen en van de constructie en wordt getoetst op verlies van evenwicht en op bezwijken door grote vervorming van de constructie of constructiedelen. In de BGT gaat het om het functioneren van de constructie onder normale dagelijkse omstandigheden. De sterkte wordt beoordeeld in de UGT en de vervorming wordt beoordeeld in de UGT en de BGT.

In het WBI 2017 wordt deze werkwijze nu ook gevolgd, met dien verstande dat in de Waterwet alleen eisen worden gesteld aan de overstromingskans bij primaire waterkeringen. Met een glijvlakanalyse wordt de sterkte van een waterkering berekend en wordt beoordeeld of een waterkering voldoet aan de vereiste overstromingskans. Deze beoordeling is de beoordeling van de sterkte in de uiterste grenstoestand voor waterkeringen. Het toepassen van het CSSM-model uitgaande van de bezwijksterkte van de grond sluit goed bij deze werkwijze aan.

Uitgaande van de overstromingskansbenadering is het beoordelen van de vervorming van een primaire waterkering in de uiterste grenstoestand of de bruikbaarheidsgrenstoestand vanuit het oogpunt van waterveiligheid alleen nodig wanneer er sprake is van leidingen en aansluit- en overgangsconstructies nabij een waterkering. Bij vervorming van een dijklichaam kunnen kritische situaties ontstaan bij overgangen naar stijve constructies of op- en afritten, bebouwing, kabels en leidingen, etc. bijvoorbeeld scheuren in dwarsrichting van een dijk. Voor constructies en niet waterkerende objecten bij dijken kan het daarom noodzakelijk zijn om ook te controleren op falen door vervorming van het dijklichaam. Wanneer er geen constructies en andere bijzonderheden zijn bij een waterkering wordt in het WBI 2017 geen beoordeling van de vervorming uitgevoerd. Indien de sterkte van een waterkering met betrekking tot macrostabiliteit voldoende is, mag er van uit worden gegaan dat de vervorming van de waterkering niet leidt tot falen van de waterkering (Deltares, 2016b).

Voor de toelaatbare vervorming van een waterkering wordt meestal 0,1 m aangehouden conform het TR Waterkerende grondconstructies (TAW, 2001). De Nederlandse geotechnische norm (NEN 9997) gaat echter uit van een toelaatbare vervorming van een grondconstructie die afhankelijk is van wat toelaatbaar is voor de belendende constructies naast het talud. De norm NEN 9997 stelt geen eisen aan vervorming van grondconstructies zelf, maar alleen aan het effect van een grondconstructie op andere constructies. Dat kan voor een leiding een andere vervorming zijn dan voor een woning. De vervormingseis is daarmee afhankelijk van de specifieke situatie.

Een belangrijk punt bij het beoordelen van de vervorming van grondconstructies is dat de nauwkeurigheid waarmee met eindige elementen modellen kan worden gerekend aan vervormingen in de orde van centimeters of een decimeter ligt. De nauwkeurigheid van de analyses ligt daarmee in dezelfde orde van grootte als de vervormingseis. Monitoring van waterkeringen waar aanwijzingen zijn voor te grote vervorming is dan een alternatieve aanpak of een waardevolle aanvulling op de analyses met eindige elementen modellen. Zeker omdat voor regionale keringen (in ieder geval boezemkaden) de dagelijkse waterstand (streefpeil) wel eens eerder tot bezwijken zou kunnen leiden dan de maatgevende boezemwaterstand. Er kan dus in veel situaties zinvol gemonitord worden zonder dat heel veel extrapolatie naar extremere situaties nodig is. De wijze waarop de monitoring wordt ingericht (meting van vervorming van het maaiveld, hellingmeetbuizen, glasvezelkabel, etc.) hangt af van de specifieke situatie. Monitoren vanwege onvoldoende betrouwbaarheid/nauwkeurigheid van berekende vervorming met eindige elementen modellen is overigens in lijn met wat de Nederlandse geotechnische norm (NEN 9997) daarover zegt.

Voor regionale waterkeringen kan een vergelijkbare werkwijze worden gevolgd als in de Nederlandse geotechnische norm en het WBI 2017. Omdat bij regionale waterkeringen wordt uitgegaan van de overschrijdingskansbenadering en het daarbij uitgangspunt is dat een waterstand met een bepaalde overschrijdingskans veilig moet kunnen worden gekeerd, moet in de beoordeling van de uiterste grenstoestand en bij toepassing van de bezwijksterkte van de grond niet alleen de sterkte van een waterkering, maar ook de vervorming in een afzonderlijke analyse worden beoordeeld.

Vanuit de waterveiligheid is de vervorming van belang vanwege de mogelijkheid van evacuatie over de waterkering en vanwege het beperken van het overslagdebiet (of zelfs overlopen bij grote vervormingen). Daarnaast geldt ook bij regionale waterkeringen dat bij vervorming van een waterkering kritische situaties kunnen ontstaan bij overgangen naar stijve constructies of op- en afritten, of door het falen van leidingen, etc. Het beoordelen van de sterkte van een waterkering in de UGT wordt met het CSSM-model uitgevoerd uitgaande van de bezwijksterkte van de grond. De beoordeling van de vervorming in de UGT of de BGT dient in een afzonderlijke analyse te worden uitgevoerd. Hiervoor kan een eindige elementen model worden ingezet. De toelaatbare vervorming in de UGT is gerelateerd aan de hiervoor genoemde waterveiligheidsaspecten. Waar dit van belang is, wordt ook de vervorming van de waterkering in de BGT beschouwd. De toelaatbare vervorming is in de BGT gerelateerd aan het beperken van het beheer en onderhoud van de waterkering en het voorkomen van schade aan belendingen.

Bij waterkeringen met een streefpeil dat relevant hoger is dan het maaiveld achter de waterkering moet ook de sterkte en vervorming voor deze situatie worden beoordeeld. Deze situatie kan zowel in de UGT als de BGT worden beschouwd. Enerzijds betreft het de dagelijkse situatie, die in de BGT zou kunnen worden beoordeeld, maar anderzijds kan in geval van bezwijken van de kering de veiligheid van personen in het geding zijn. Dit laatste betreft de UGT. Voor het beoordelen van de situatie met streefpeil kan ook een bewezen sterkte analyse worden uitgevoerd, zoals eerder aangegeven.

Voor de beoordeling van de sterkte en vervorming van een regionale waterkering in de UGT en de BGT zijn de volgende grenstoestanden van belang:

- De beoordeling van de sterkte in de uiterste grenstoestand (UGT) met maatgevend boezempeil. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd met een glijvlakanalyse (LiftVan, Spencer-Van der Meij) uitgaande van de bezwijksterkte van de grond (ultimate state of critical state). In de uiterste grenstoestand met maatgevend boezempeil zal het veelal gaan om de ongedraineerde schuifsterkte van de slecht doorlatende grondlagen, uitgaande van een relatief korte duur van het maatgevend boezempeil.
- De beoordeling van de vervorming in de uiterste grenstoestand (UGT) met maatgevend boezempeil. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd met een eindige elementen model uitgaande van de ongedraineerde bezwijksterkte van de grond en de stijfheidseigenschappen van de grond (elasticiteitsmoduli).
- De beoordeling van de sterkte in de UGT met streefpeil. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd met een glijvlakanalyse (LiftVan, Spencer-Van der Meij) uitgaande van de bezwijksterkte van de grond (ultimate state of critical state). In de uiterste grenstoestand met streefpeil gaat het om de gedraineerde schuifsterkte van de grondlagen, vanwege de constante belasting door het streefpeil.
- De beoordeling van de vervorming in de uiterste grenstoestand (UGT) met streefpeil. Deze beoordeling kan worden uitgevoerd met een eindige elementen model uitgaande van de gedraineerde bezwijksterkte van de grond en de stijfheidseigenschappen van de grond (elasticiteitsmoduli).
- De beoordeling van de vervorming in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) met streefpeil. Deze beoordeling kan eveneens worden uitgevoerd met een eindige elementen model uitgaande van de bezwijksterkte van de grond en de stijfheidseigenschappen van de grond. In de bruikbaarheidsgrenstoestand met streefpeil zal het veelal gaan om de gedraineerde schuifsterkte van de grondlagen, omdat de situatie met streefpeil een langdurig aanwezige belastingconditie is.

Voor het beoordelen van de vervorming met een eindige elementen model komen in eerste instantie de locaties met een relatief lage stabiliteitsfactor en locaties met leidingen, constructies en andere bijzonderheden in aanmerking.

Beoordeling		Toestand	Waterstand	Aanpak	Sterkte
1	Stabiliteit	UGT	Toetspeil	Glijvlakanalyse	Ongedraineerde schuifsterkte
2	Vervorming	UGT	Toetspeil	EEM	Ongedraineerde bezwijksterkte
3	Stabiliteit	UGT	Toetspeil	Glijvlakanalyse	Gedraineerde schuifsterkte
4	Vervorming	UGT	Toetspeil	EEM	Gedraineerde bezwijksterkte
5	Vervorming	UGT	Toetspeil	EEM	Gedraineerde schuifsterkte

## REFERENTIES

- [CIRIA, 2013] The International Levee Handbook, 2013.
- [CV, 1988] Cultuurtechnisch Vademecum, 1988.
- [Deltares, 2009] SBW,Buitendijkse zones en afslagbeheer; Erosie en Afslag Voorland, rapport 1200503 001-GEO-0003, Versie 2 (concept), september 2009.
- [Deltares, 2012] Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares, rapport 1202123-003-GEO-0002, maart 2012.
- [Deltares, 2014a] Memo Ongedraineerde schuifsterkte bij toetsspoor macrostabiliteit in WTI 2017 - informatie voor besluitvormingsproces. Deltares memo met kenmerk 1209434-006-GEO-000711, juli 2014.
- [Deltares, 2014] WTI2017. Beoordeling macrostabiliteit met ongedraineerd materiaalmodel, probabilistische analyse en voorlopige veiligheidsfactoren, 1207808-001-GEO-004. Jongejan et al., Delft, 2014.
- [Deltares, 2014b] Rapport Modelonzekerheidsfactoren Spencer-Van der Meij model en ongedraineerde schuifsterkte Programma WTI 2017, rapport 1207808-001-GEO-0005, Versie 02, Deltares, 17 december 2014.
- [Deltares, 2014c] droogtegevoeligheid/verdroging
- [Deltares, 2016a] Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit. 1220083-008-GEO-0005. Van Deen, J.K. en Van Duinen, T.A.. Februari 2016. Een update wordt verwacht omstreeks september 2016.
- [Deltares, 2016b] Vervorming van een waterkering in relatie tot sterkte van grond. 1220077-005-HYE-0013. Van Duinen, T.A. 1 maart 2016.
- [ENW, 2007] Addendum bij het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.
- [ENW, 2009] Technisch Rapport Actuele Sterkte van dijken, maart 2009.
- [ENW, 2012] Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken. Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving, Oktober 2012.
- [Geo, 2013] Van Duinen, T.A., en Van Hemert, H. (2013). Stabiliteitsanalyses met ongedraineerde schuifsterkte voor regionale waterkeringen. Geotechniek, december 2013.
- [IPO, 1998] Richtlijn ter bepaling van het veiligheidsniveau van boezemkaden, 1998.
- [IPO-UvW, 2004] Visie op regionale waterkeringen. Unie van Waterschappen en Interprovinciaal Overleg, juni 2004.
- [JvdM, 2014] Van der Meer Consulting, Mogelijke aanpassingen LD Toetsen regionale keringen, aspect Hoogte, november 2014.
- [KNMI, 1983] Windklimaat van Nederland. Wieringa, J. en P. J. Rijkoort. KNMI, 1983.
- [KNMI, 2003] Wind statistiek van Nederland inclusief kustzone, J.W. Verkaik, A. Smits en J. Ettema. KNMI, 2003.

[Min. I&M, 2007]	VTV, Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire waterkeringen, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.
[Min. I&M, 2012]	Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Min. I&M, RWS Waterdienst, oktober 2012.
[Min. I&M, 2015]	OI2014v3 – Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, RWS WVL, Kennisplatform Risicobenadering en Deltares, in wording.
[NEN-EN 1990]	Eurocode - Grondslag van het constructief ontwerp.
[NEN 2016]	NEN 9997-1+C1+A1:2016 Ontw. NI. Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1: Algemene regels.
[PZH, 2009]	Vuistregels voor het beheerdersoordeel bij de toetsing van niet-waterkerende objecten. Provincie Zuid Holland, mei 2009.
[STOWA, 2004]	Beslissingsondersteuning inspectie verdroogde boezemkaden, januari 2004.
[STOWA, 2007a]	LTV2007, Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, ORK2007-02.
[STOWA, 2007b]	Richtlijn Normering Compartimenteringskeringen, december 2007.
[STOWA, 2008]	Richtlijn Normering keringen langs regionale rivieren, augustus 2008.
[STOWA, 2009]	Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, ORK 2009-06.
[STOWA, 2011]	Leidraad Waterkerende kunstwerken in regionale Waterkeringen, ORK 2011-15.
[STOWA, 2015]	Compendium achtergrondrapportages bij ORK-II, STOWA2015-.
[STOWA, 2015]	Compendium achtergrondrapporten Ontwikkelingsprogramma Regionale Keringen, fase II. Stowa, 2015.
[TAW, 1993]	TRTB, Technisch Rapport voor het toetsen van boezemkaden, TAW richtlijn, juni 1993.
[TAW, 1994]	Handreiking constructief ontwerpen. TAW richtlijn, april 1994.
[TAW, 1996]	Geotechnische classificatie van veen. TAW richtlijn, juni 1996.
[TAW, 1999]	TRZW, Technisch Rapport Zandmeevoerende Wellen. TAW richtlijn, maart 1999.
[TAW, 2001]	TRWG, Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies, Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden, TAW richtlijn, juni 2001.
[TAW, 2002]	Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken. TAW richtlijn, mei 2002.
[TAW, 2003a]	Technisch Rapport Steenzettingen achter gronden. TAW richtlijn, 2003.
[TAW, 2003b]	Leidraad Kunstwerken. TAW richtlijn, mei 2003.
[TAW, 2004]	Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, TAW richtlijn, september 2004.

- [TAUW, 2001 ] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen Delft, juni 2001.
- [Verkaik et al, 2003] Wind Climate Assessment of the Netherlands 2003: Extreme value analysis and spatial interpolation methods for the determination of extreme return levels of wind speed. KNMI-Hydra project: Phase report 9. J.W. Verkaik, A. Smits, J. Ettema. KNMI De Bilt, the Netherlands, april/may, 2003.
- [VNK2, 2013] VNK2: Globale faalkansschatting kunstwerken. Kwantitatieve toetsing faalmechanismen op basis van een eenvoudige en praktisch toepasbare methode. Projectbureau VNK2, referentienummer RWS-1931315, april 2013.

