

**oranjewoud**

## **Rapport**

Dimensionering van een gesloten  
dijkbekleding op wateroverdrukken

Projectnr. : 27766

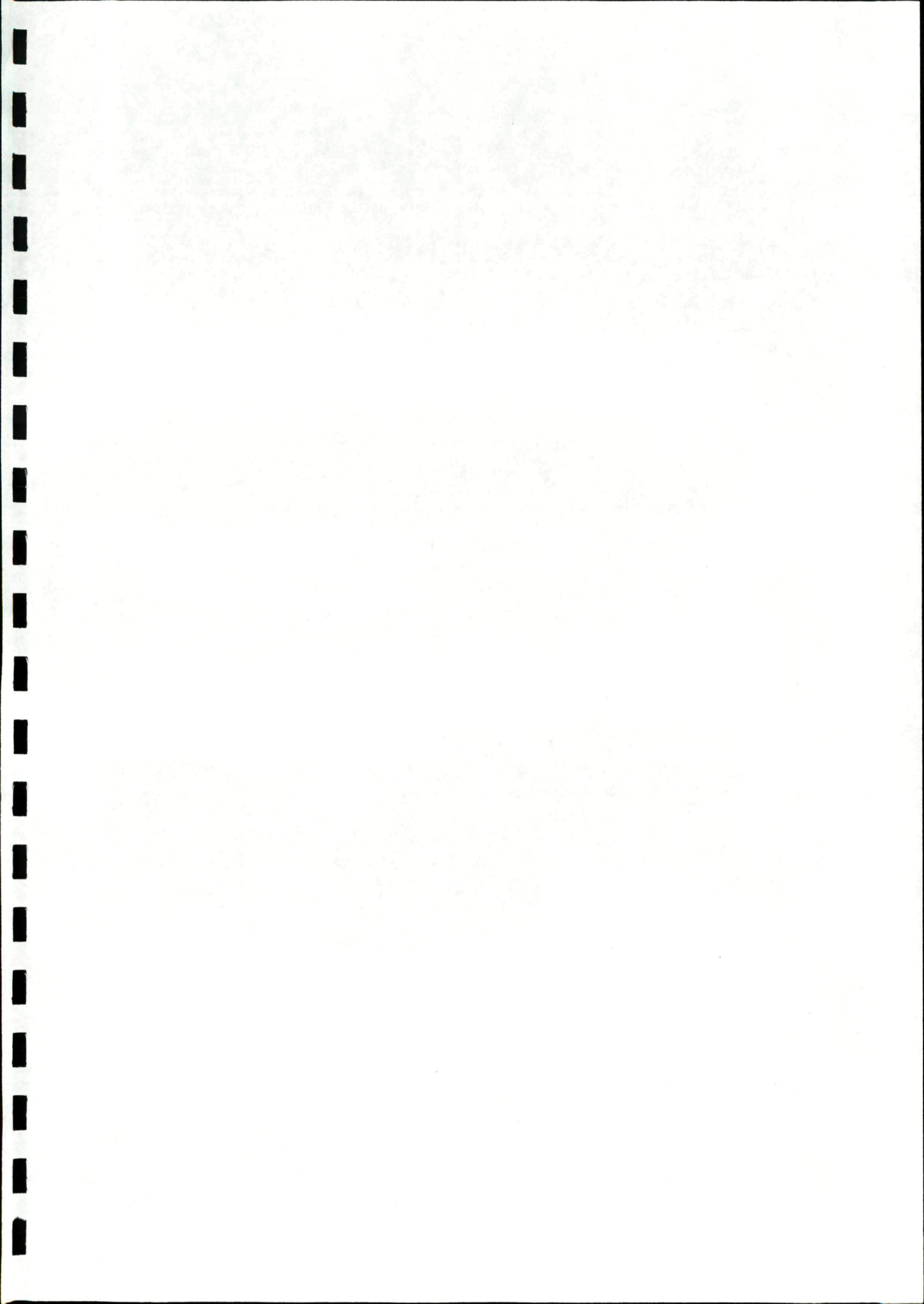
*P.K. de Looff*

*October 1995*

## **Opdrachtgever**

Technische Adviescommissie voor de  
Waterkeringen

Capelle aan den IJssel, oktober 1995



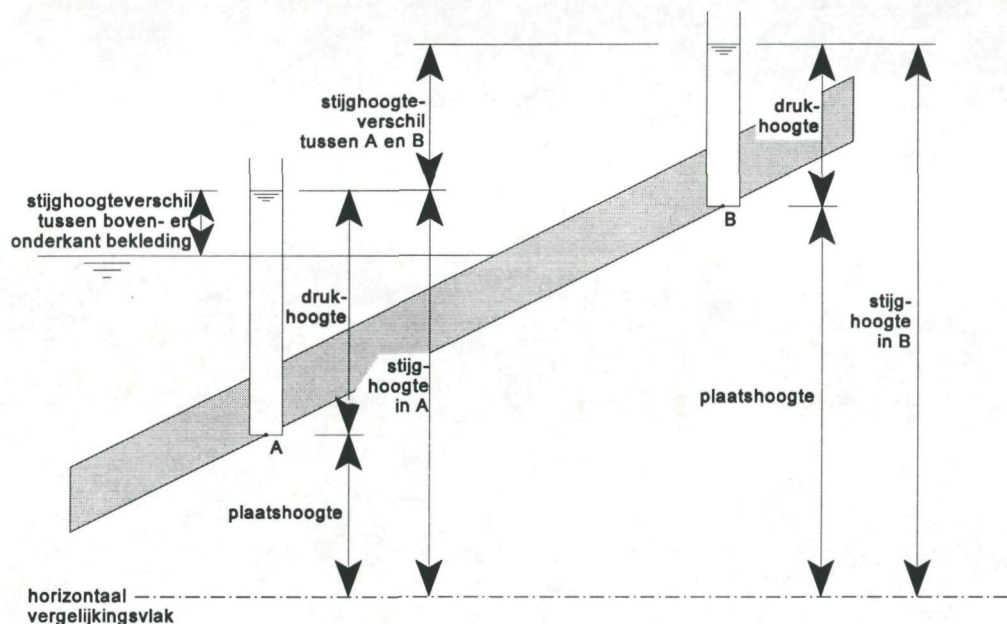
1. Rapport nr. A4 95-24	2. Serie nr.	3. Ontvanger catalogus nummer	
4. Titel en sub-titel Dimensionering van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken		5. Datum rapport oktober 1995	
		6. Kode uitvoerende organisatie	
7. Schrijvers A.K. de Loeff		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie 27766	
9. Naam en adres opdrachtnemer Ingenieursbureau 'Oranjewoud' B.V. Postbus 8590 3009 AN ROTTERDAM		10. Projektnaam	
		11. Kontraktnummer DWW805	
12. Naam en adres opdrachtgever Dienst Weg- en Waterbouwkunde van der Burghweg 1 Postbus 5044 2600 GA DELFT		13. Type rapport eindrapport	
		14. Kode andere opdrachtgever	
15. Opmerkingen Projectleider DWW: R. 't Hart			
16. Referaat <p>Onder een gesloten bekleding kunnen ten gevolge van ongelijke waterstanden binnen en buiten een dijklichaam wateroverdrukken optreden. Bij dimensionering op wateroverdrukken moet voldaan worden aan het afschuifcriterium, oprijfcriterium en het evenwichtscriterium. Bij toetsing wordt alleen het oprijfcriterium beschouwd. In dit rapport is aangegeven hoe de benodigde laagdikte in de zone waarin wateroverdrukken kunnen optreden wordt bepaald.</p> <p>Om de maximale wateroverdruk te bepalen zijn verschillende methoden ontwikkeld. Deze methoden zijn in dit rapport met elkaar vergeleken. De methode van Van der Veer is theoretisch de best onderbouwde. Aanbevolen wordt van deze methode gebruik te maken.</p> <p>Met het niet-stationaire grondwaterstromingsprogramma SEEP zijn verschillende berekeningen uitgevoerd. In eerste instantie is het leegstromen van een verzadigd dijklichaam gesimuleerd. Hier is in feite de schematisatie nagerekend die Van der Veer heeft aangenomen bij opstellen van zijn formules. De berekeningen van SEEP en Van der Veer blijken elkaar te staven.</p> <p>Vervolgens zijn met SEEP voor verschillende geometrieën de maatgevende ontwerpcondities gesimuleerd. Hierbij zijn ook randvoorwaarden als neerslag en golfoverslag beschouwd. Aan de hand van de berekeningen is de grondwaterstand bepaald die bij de methode van Van der Veer gehanteerd moet worden.</p> <p>Voor de meest voorkomende situaties is een handzame formule opgesteld waarmee de benodigde laagdikte kan worden bepaald.</p>			
17. Trefwoorden dijkbekleding, asfalt, dimensionering, laagdikte, wateroverdrukken, opdrijven		18. Distributie systeem	
19. Classificatie	20. Classificatie deze pagina	21. Aant. blz. 26 + bijlagen	22 Prijs

## Inhoud

	<b>Blz.</b>
	1
	1
1	2
1.1	2
1.2	2
1.3	3
	4
2	4
2.1	4
2.2	5
2.3	6
2.4	8
	10
3	10
3.1	10
3.2	10
3.3	11
3.4	13
3.5	13
3.6	14
	16
4	16
4.1	16
4.2	16
4.3	18
	22
5	22
	24
6	24
	26
	26
<b>Bijlagen</b>	
Bijlage 1:	Resultaten numerieke simulatie leegstromen dijklichaam
Bijlage 2:	Hydraulische randvoorwaarden numerieke simulatie maatgevende ontwerpcondities
Bijlage 3:	Resultaten numerieke simulatie maatgevende ontwerpcondities
Bijlage 4:	Stroomschema dimensioneringsmethode

## Gebruikte begrippen

In de literatuur wordt om het mechanisme opdrijven door wateroverdrukken te beschrijven een groot aantal begrippen gebruikt. Voor de duidelijkheid zijn deze termen hieronder opgenomen met de in dit rapport gebruikte symbolen en eenheden. In figuur 1.1 is een aantal van deze begrippen grafisch weergegeven.



Figuur 1.1: grafische weergave van de begrippen drukhoogte, plaatshoogte en stijghoogte

waterdruk ( $P$ )	- kracht per eenheid van oppervlak die het (grond)-water uitoefent op of onder een gesloten bekleding	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]
overdruk ( $\Delta P$ )	- het verschil tussen de waterdruk onder en op een gesloten bekleding	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]
plaatshoogte ( $z$ )	- het niveau van het beschouwde punt ten opzichte van het horizontale vergelijkingsvlak	[m]
drukhoogte	- de hoogte van de waterkolom die dezelfde druk levert als de druk in het beschouwde punt	[m]
drukhoogteverschil ( $p$ )	- het verschil in drukhoogte tussen twee beschouwde punten, meestal betreft het boven elkaar gelegen punten aan de onder- en bovenkant van een gesloten bekleding	[m]
stijghoogte	- de som van de drukhoogte van het (grond)water en de plaatshoogte in dat punt; wordt ook wel het piëzometrisch niveau of (grondwater)potentiaal genoemd	[m]
stijghoogteverschil ( $H$ )	- het verschil in stijghoogte tussen twee beschouwde punten, meestal betreft het boven elkaar gelegen punten aan de onder- en bovenkant van een gesloten bekleding	[m]
piëzometrisch niveau	- zie stijghoogte	
potentiaal	- zie stijghoogte	
potentiaalverschil	- zie stijghoogteverschil	

# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

In de waterbouw worden verschillende asfaltsoorten als dijkbekleding toegepast. Deze kunnen worden onderverdeeld in open en gesloten bekledingen. Onder gesloten bekledingen kunnen ten gevolge van waterstandsverschillen binnen en buiten het grondlichaam wateroverdrukken ontstaan. Dimensionering op overdrukken is beschreven in de 'Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw' [1]. Daarnaast wordt een asfaltbekleding gedimensioneerd op golfklappen, onregelmatige zettingen en ontgronding, stroming en wordt de taludhelling bepaald. In dit rapport wordt nader ingegaan op het dimensioneren van een gesloten dijkbekleding op wateroverdrukken.

De bestaande rekenregels, volgens [1] geven een conservatieve benadering van het probleem. In de 'Leidraad Toetsing' dienen gereedschappen te worden aangeleverd waarmee de actuele veiligheid van bekledingen kan worden beoordeeld. Daarom is door de 'Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen', projectgroep A4 'Asfalttoepassingen' besloten onderzoek te verrichten naar een aangepaste ontwerp- en beoordelingsmethode voor het bezwijkmechanisme 'wateroverdrukken'. In dit onderzoek wordt aandacht geschonken aan:

- Het bepalen van de maximale wateroverdruk bij een gegeven buitenwaterstand en een gegeven waterstand in het dijklichaam
- het bepalen van de te hanteren waterstand in het dijklichaam bij ontwerp

Voor bepaling van de maximale wateroverdruk zijn verschillende rekenregels voor handen. Aan de hand van een vergelijking wordt bepaald welke van de rekenregels in de toekomst de voorkeur verdient.

Het verschil tussen de buitenwaterstand en waterstand in het dijklichaam bepaalt de grootte van de optredende wateroverdruk. In [1] wordt dit verschil bepaald door een percentage te nemen van het verschil tussen de hoogste buitenwaterstand en de gemiddelde buitenwaterstand. In een recent onderzoek [2] zijn met behulp van een eindige elementen programma niet-stationaire grondwaterstromingsberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn de optredende maximale overdrukken bepaald. Aan de hand van deze resultaten worden aanbevelingen gedaan voor de bepaling van de waterstand in het dijklichaam bij het ontwerp en de toetsing.

## 1.2 Ontwikkeling van de rekenregels

Na de overstromingsramp in 1953 is men er vooral uit economische overwegingen toe over gegaan dammen en dijken op te bouwen uit een kern van zand en een ondoorlatende bovenlaag van asfalt. Voor het vaststellen van de laagdikte ging men uit van globale rekentechnieken. In 1959 is een begin gemaakt door Bischoff van Heemskerck [3] met het opstellen van de rekenregels. Na de verschijning van het Voorlopig Rapport 1961 [4] van de Werkgroep

Gesloten Dijkbekledingen hebben de rekenregels meer vaste gestalte gekregen.

In het Voorlopig Rapport 1961 [4] zijn rekenregels opgesteld voor de mechanismen opdrijven, afschuiven en voor het bepalen van het evenwicht van de bekleding. De wateroverdruk onder de bekleding wordt bepaald aan de hand van de Nederlandse driehoeksregel.

Wat betreft de rekenregels voor de genoemde mechanismen zijn in de loop der jaren geen veranderingen opgetreden. Wel is de methode verbeterd waarmee de maximale wateroverdruk wordt bepaald. In de jaren zeventig zijn de Duitse driehoeksregel [5] en de methode van Van der Veer [6] ontwikkeld.

Bij het bepalen van de wateroverdrukken werd in de jaren zestig en zeventig veelvuldig gebruik gemaakt van het elektrisch analogon, waarvan het ELNAG-model van de Deltadienst wel het bekendste is. In een later stadium zijn computerprogramma's ontwikkeld om grondwaterstromingen en waterspanningen te bepalen. Met de komst van deze computerprogramma's is het elektrisch analogon achterhaald.

### 1.3 Opzet van het rapport

In hoofdstuk 2 worden de verschillende ontwerpcriteria behandeld

In hoofdstuk 3 worden de verschillende methoden voor het bepalen van de maximale wateroverdruk behandeld. Na een vergelijking van de verschillende methoden wordt bepaald welke methode de voorkeur verdient bij dimensionering.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten van de berekeningen met het grondwaterstromingsmodel SEEP weergegeven. Met dit model zijn onder verschillende randvoorwaarden wateroverdrukken bepaald. Deze wateroverdrukken worden vergeleken met theoretisch berekende wateroverdrukken.

In hoofdstuk 5 wordt een voorstel gedaan hoe in de toekomst om te gaan met het mechanisme 'wateroverdrukken' bij gesloten bekledingen. Zowel een toets- als een ontwerpsituatie worden in beschouwing genomen.

In hoofdstuk 6 is zijn de conclusies opgenomen.



## 2            Ontwerpcriteria

### 2.1         Algemeen

Bij het toepassen van een dichte bekleding spelen verschillende hydraulische en grondmechanische aspecten een rol. Eén aspect is dat de ondoorlatende bekledingslaag aan een opwaartse wateroverdruk onderhevig kan zijn. De wateroverdruk ontstaat indien de buitenwaterstand lager is dan de freatische lijn in het dijklichaam.

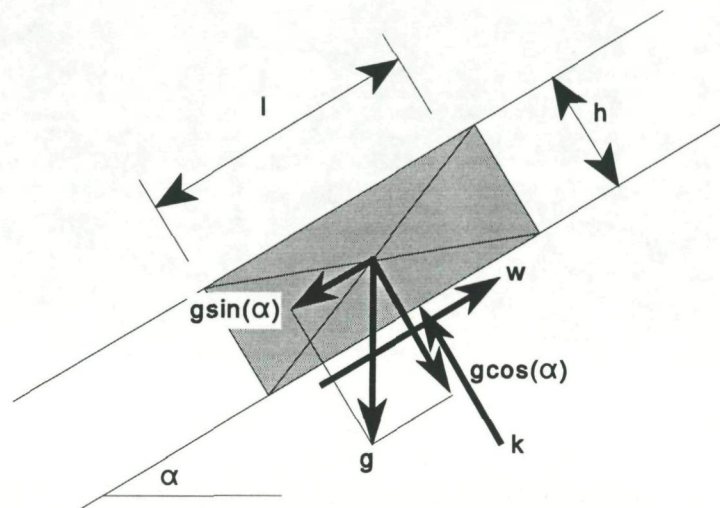
Het hoogteverschil tussen de freatische lijn in de dijk ter plaatse van de bekleding en de buitenwaterstand is van invloed op de grootte van de optredende wateroverdruk. De aanwezigheid van een stationaire of wisselende waterstand bepaalt het karakter van de grondwaterstroming.

Ook zijn het karakter van de grondwaterstroming, de doorlatendheid van de ondergrond en de geometrie van de dijk van belang voor de grootte van de wateroverdruk. Het karakter van de grondwaterstroming kan stationair danwel niet-stationair zijn. Een stationaire grondwaterstroming geeft over het algemeen grotere 'wateroverdrukken' dan een niet-stationaire grondwaterstroming. Stationaire grondwaterstroming is tijdsafhankelijk. Niet-stationaire grondwaterstroming wordt gekenmerkt door naijlen van het freatisch vlak. Bij de doorlatendheid van de ondergrond moet rekening worden gehouden met inhomogeniteit en anisotropie. Van anisotropie is sprake als de doorlatendheid van de grond niet in elke richting gelijk is.

In de volgende situaties kunnen wateroverdrukken ontstaan:

- een freatische lijn die de getjebeweging vertraagd volgt;
- het snel dalen van de buitenwaterstand na stormvloeden;
- de val van een hoogwatergolf op rivieren;
- haalgolven van voorbij varende schepen;
- een verlaging van waterstanden in reservoirs.

Voor het opstellen van rekenregels voor het mechanisme 'wateroverdrukken' wordt uitgegaan van een ondoorlatende asfaltbekleding op een talud. De asfaltbekleding wordt geschematiseerd tot een bekleding bestaande uit blokjes (dikte  $h$ ) die onderling geen dwarskrachten kunnen overbrengen (zie ook figuur 2.1). Hierdoor wordt de plaatwerking, dit is de meewerkende invloed van het aangrenzende materiaal, verwaarloosd. Uit een evenwichtsbeschouwing van de bekleding zijn de dimensioneringscriteria opgesteld.



waarin:

$h$ :	dikte van het blokje	[m]
$l$ :	lengte van het blokje	[m]
$g$ :	eigen gewicht van het blokje	[kN]
$k$ :	korrelkracht onder tegen het blokje	[kN]
$w$ :	wrijvingskracht tussen ondergrond en het blokje	[kN]
$\alpha$ :	taludhelling	[°]

Figuur 2.1: Schematisatie dichte bekleding tot blokjes

In werkelijkheid bestaat de bekleding niet uit blokjes. Een doorgaande bekleding kan dwars-, normaalkrachten en momenten opnemen. Op de Technische Universiteit Delft, afdeling Geotechniek is bij een promotieonderzoek onderzoek gedaan naar de invloed van de sterkte-eigenschappen op het mechanisme 'wateroverdrukken'. Uit een analyse van de resultaten valt op te maken dat de invloed van dwarskrachten en momenten gering is. Dit aspect is hier niet verder in beschouwing genomen.

## 2.2 Afschuiven

Indien de wateroverdruk zo groot wordt dat de wrijving tussen de bekleding en de ondergrond minder wordt dan de component van het eigen gewicht van het asfalt langs het talud, zal de bekleding de neiging hebben af te schuiven.

Bij getij, dit is een regelmatig terugkerende belastingsomstandigheid, moet ervoor gezorgd worden dat afschuiven van de bekleding niet kan optreden. Het asfalt, dat wil afschuiven, zal aan het bovenliggende asfalt gaan hangen en op het onderliggende asfalt gaan steunen, waarbij de spanningen in het asfalt zullen toenemen. Asfalt is een visco-elastisch materiaal. Indien de duur van de belasting relatief lang aanhoudt, bestaat de kans dat het asfalt blijvend vervormt en dat scheuren ontstaan.

Bij zeer frequent voorkomende belastingen, zoals springtij, moet een bekleding op het mechanisme afschuiven worden gedimensioneerd. Dit gebeurt met de volgende formule:

$$h \geq \frac{H}{\cos(\alpha)} \cdot \frac{1}{\frac{\rho_a}{\rho_w} \cdot \left(1 - \frac{\tan(\alpha)}{f}\right) - 1} \quad (1)$$

Hierin is:

$h$	: benodigde laagdikte	[m]
$H$	: maatgevende potentiaal- of stijghoogteverschil	[m]
$\rho_w$	: soortelijke massa water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	: soortelijke massa asfalt	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\alpha$	: taludhelling	[°]
$f$	: wrijvingscoëfficiënt; voor $\varphi < \theta$ : $\tan(\varphi)$ , voor $\varphi \geq \theta$ : $\tan(\theta)$	[-]
$\varphi$	: hoek van inwendige wrijving van de ondergrond	[°]
$\theta$	: wrijvingshoek tussen bekleding en ondergrond	[°]

Bij het ontwerp moet de bekleding op afschuiven gedimensioneerd worden. Bij toetsing volgens de Leidraad Toetsing wordt op de extreme situatie getoetst. Om deze reden wordt het afschuifcriterium in dit rapport verder buiten beschouwing gelaten.

## 2.3 Evenwicht van het talud

Indien de buitenwaterstand zakt, zal de binnenwaterstand deze willen volgen. Bij gesloten bekledingen kan het grondwater niet uit het talud treden, zodat het grondwater gedwongen wordt evenwijdig aan het talud door het kernmateriaal af te stromen.

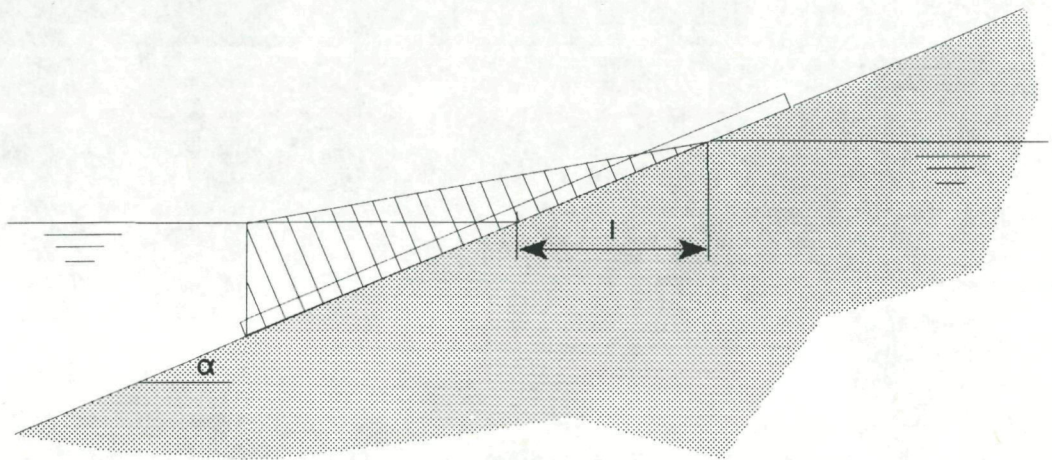
In de evenwichtsbeschouwing wordt een evenwichtsvergelijking opgesteld voor een grondmoot onder de bekleding. Er behoort evenwicht te zijn tussen de stromingsdrukken, het eigen gewicht van een gronddeeltje en de door de ondergrond geleverde schuifspanning.

Het evenwicht is met de volgende vergelijking te bepalen:

$$\tan(\varphi) \geq \tan(\alpha) \cdot \left[ 1 + \frac{\rho_w}{\rho_g - \rho_w} \cdot \frac{i}{\sin(\alpha)} \right] \quad (2)$$

Voor het stromingsverhang  $i$  is de volgende formule opgesteld (zie ook figuur 2.2):

$$i = \sin(\alpha) - \frac{H \cdot \cos(\alpha)}{l} \quad (3)$$



Figuur 2.2: verhang onder dichte bekledingen

Het ongunstigste geval zal optreden bij  $H/l = 0$ . In dat geval is  $i = \sin(\alpha)$ , zodat het evenwicht gewaarborgd is als geldt:

$$\tan(\alpha) \leq \tan(\varphi) \cdot \left( 1 - \frac{\rho_w}{\rho_g} \right) \quad (4)$$

Gebruikte symbolen:

$\alpha$	- hoek van het talud met de horizontaal	[°]
$\varphi$	- hoek van inwendige wrijving	[°]
$\rho_w$	- soortelijke massa van water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_g$	- soortelijke massa van grond	[kg/m <sup>3</sup> ]
$i$	- potentiaalverhang aan het oppervlak	[-]
$H$	- potentiaal- of stijghoogteverschil	[m]

Uitgaande van een ondergrond van zand betekent dit dat de taludhelling altijd 1:4 of flauwer moet zijn. Dit geldt alleen voor de zone waarin wateroverdrukken op kunnen treden. Om deze reden wordt in het vervolg van dit rapport alleen met taluds gerekend van 1:4 en flauwer.

## 2.4

## Opdrijven

Onder extreme belastingsomstandigheden kan de wateroverdruk nog meer toenemen en groter worden dan de component van het eigen gewicht van het asfalt loodrecht op het talud. De bekleding heeft dan de neiging opgelicht te worden. Doordat over de lengte van een plaatselijk opgelichte bekleding, in de ontstane ruimte, de hydraulische weerstand veel kleiner is dan die van het onderliggende kernmateriaal, treedt een grotere waterstroming op door deze ruimte. In dit geval moet rekening gehouden worden met verplaatsing van het kernmateriaal. Als dit heeft plaats gevonden zal na verdwijnen van de overdruk, de bekleding niet meer in de oorspronkelijke positie kunnen terugkeren.

Getijbewegingen (regelmatig terugkerende belastingen) mogen geen aanleiding geven tot optreden van spanningen die op den duur ontoelaatbare vervormingen geven. Bij stormen (kortdurende belastingen) kunnen hogere spanningen toegelaten worden, mits ze niet tot bezwijken van de bekleding leiden. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat geen viskeuze vervormingen zullen optreden.

Met de volgende formule wordt een bekleding op opdrijven gedimensioneerd:

$$h \geq \frac{H}{\cos(\alpha)} \cdot \left( \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right) \quad (5)$$

Hierin is:

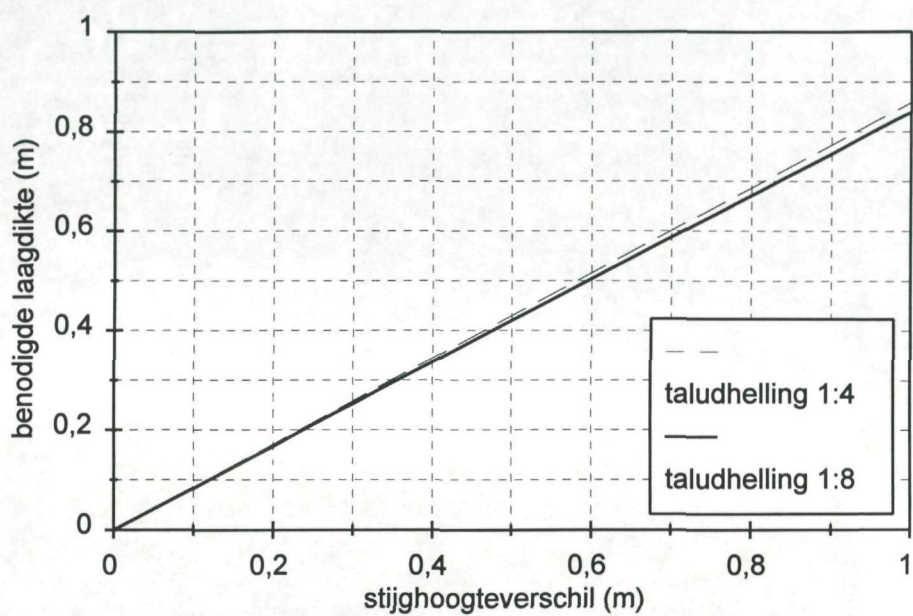
$h$	: benodigde laagdikte	[m]
$H$	: maximale potentiaal- of stijghoogteverschil	[m]
$\rho_w$	: soortelijke massa water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	: soortelijke massa asfalt	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\alpha$	: taludhelling	[°]

In de grafiek in figuur 2.3 is voor twee taludhellingen de benodigde laagdikte bij een gegeven stijghoogteverschil weergegeven. Hieruit blijkt dat de taludhelling bij taluds van 1:4 en flauwer nauwelijks van invloed is op de benodigde laagdikte.

De volgende soortelijke massa's zijn aangehouden:

soortelijke massa water:  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

soortelijke massa asfalt:  $\rho_a = 2200 \text{ kg/m}^3$



Figuur 2.3: benodigde laagdikte afhankelijk van het stijghoogteverschil bij verschillende taludhellingen

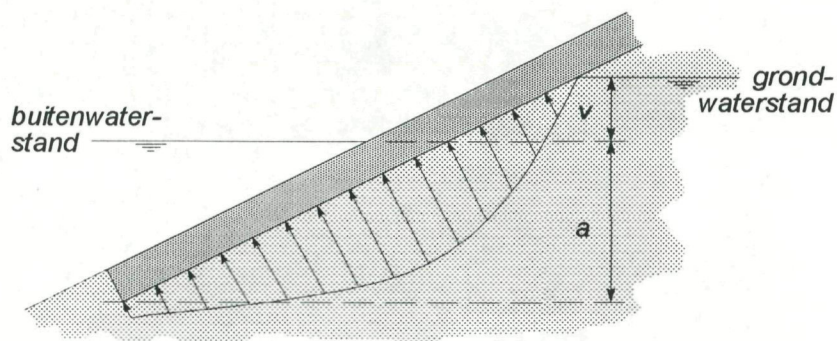
## 3 Bepaling van de maximale wateroverdruk

### 3.1 Algemeen

Bij het bepalen van het stijghoogteverschil wordt uitgegaan van de volgende schematisaties:

- een isotrope, homogene samenstelling van de ondergrond;
- een voorlopige schatting van de verticale afstand tussen de freatische grondwaterspiegel in het kernmateriaal en de buitenwaterstand ( $v$ ).

In figuur 3.1 is een schematisatie van de dwarsdoorsnede weergegeven.



Figuur 3.1: Schematisatie van de dwarsdoorsnede.

In [1] wordt voor de waarde van  $v$  50% aangehouden van het verschil tussen de hoogste buitenwaterstand en de gemiddelde buitenwaterstand in geval van getijden/stormvloed en 100% in geval van langdurige hoge waterstanden, zoals die optreden in spaarbekkens en bij rivieren. In [1] wordt de gemiddelde waterstand als de te hanteren buitenwaterstand aangegeven.

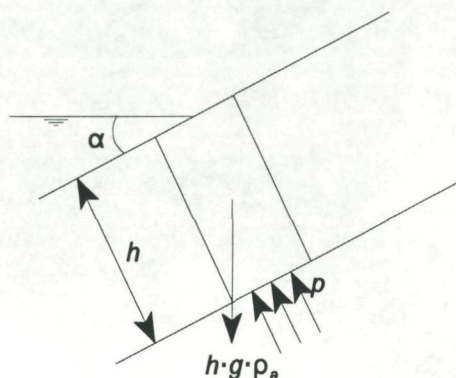
### 3.2 Drukhoogte en stijghoogte

Dimensionering kan gebeuren op basis van drukhoogten en stijghoogten. Afhankelijk van de gekozen methode moet met het bovenwatergewicht (uitgaande van drukhoogten) of onder water gewicht (uitgaande van stijghoogten) van asfalt worden gerekend.

Het opdrijf criterium op basis van drukhoogte is als volgt:

$$h \geq \frac{P}{\cos(\alpha)} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a} \quad (6)$$

Dit is weergegeven in figuur 3.3.



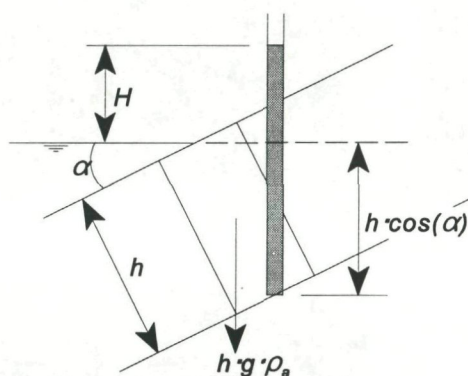
Figuur 3.3: Evenwichtsbeschouwing op basis van drukhoogte

Het opdrijf criterium op basis van stijghoogten is als volgt:

$$h \geq \frac{H}{\cos(\alpha)} \cdot \left( \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right) \quad (7)$$

Dit is weergegeven in figuur 3.4

In dit rapport wordt verder uitgegaan van een uitwerking op basis van stijghoogten.

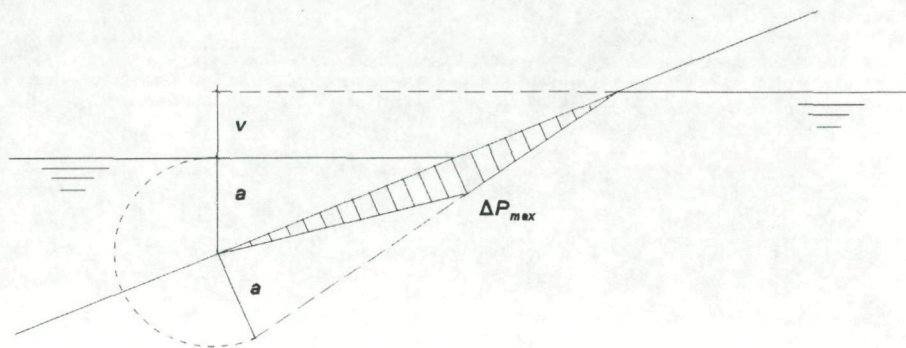


Figuur 3.4: Evenwichtsbeschouwing op basis van stijghoogte

### 3.3 Nederlandse driehoeksregel

Begin jaren zestig is de Nederlandse driehoeksregel geïntroduceerd. De regel gaat uit van een lineair drukverloop onder de bekleding. De dikte van de bekleding wordt bij de methode buiten beschouwing gelaten. De maximale overdruk treedt op ter plaatse van het snijpunt van de talusbekleding en de waterlijn.





Figuur 3.5: verloop van de overdruk volgens de Nederlandse driehoeksregel

Het maximale stijghoogteverschil is te bepalen met de volgende formule:

$$H_{\max} = \left( \frac{a}{a+v} \right) \cdot v \quad (8)$$

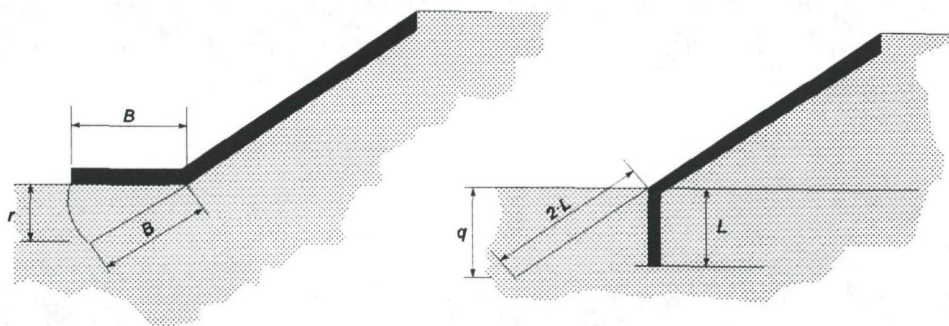
Hierin is:

- $H_{\max}$  : maximale stijghoogteverschil over de bekleding [m]  
 $a$  : de verticaal gemeten afstand van onderkant bekleding tot de buiten waterlijn [m]  
 $v$  : de verticaal gemeten afstand van de buiten waterlijn tot het grondwaterniveau [m]

Als een verticaal scherm of een dichte vooroeververdediging aanwezig is, wordt de wateroverdruk verhoogd. In figuur 3.6 is een overzicht gegeven. In de figuur zijn zowel een teenconstructie als een damwandconstructie in beeld gebracht. Voor een damwand wordt gerekend met de waarde van  $r$ , voor de gesloten vooroeververdediging met de waarde van  $q$ .

De invloed is te verwerken door de formule (8) te vervangen door:

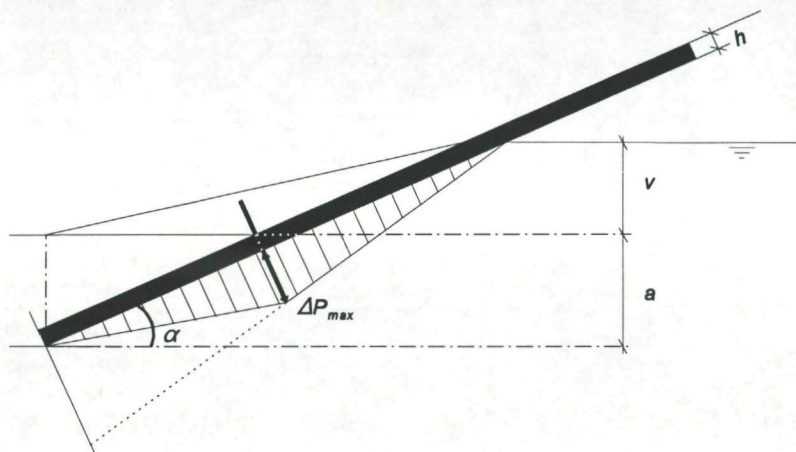
$$H = \frac{a+r}{a+r+v} \cdot v \quad \text{dan wel} \quad H = \frac{a+q}{a+q+v} \cdot v \quad (9)$$



Figuur 3.6 Invloed van damwand of teenconstructie bij de driehoeksregel

### 3.4 Duitse driehoeksregel

Begin jaren zeventig is de Duitse driehoeksregel geïntroduceerd. Ook hier wordt uitgegaan van een lineair drukverloop onder de bekleding. Bij deze regel wordt echter wel rekening gehouden met de bekledingsdikte. De maximale overdruk treedt op ter plaatse van de dwarsdoorsnede zoals is aangegeven in figuur 3.7.



Figuur 3.7: verloop van de overdruk bij de Duitse driehoeksregel.

Het maximale stijghoogteverschil kan bepaald worden met de volgende formule:

$$H_{\max} = \left( \frac{v}{a + v} \right) \cdot (a - h \cdot \cos(\alpha)) \quad (10)$$

### 3.5 Methode van Van der Veer

Van der Veer heeft, midden jaren zeventig, een analytische oplossing voor de wateroverdruk onder een gesloten bekleding opgesteld [6]. De oplossing is geldig als tenminste circa 20 % van de bekleding die door 'wateroverdrukken' wordt belast, onder water ligt. Het geldigheidsgebied voor de formule van der Veer is in onderstaande vergelijking weergegeven.

$$\frac{v}{a + v} < 0,80 \text{ á } 0,85 \quad (11)$$

In de afleiding van de analytische oplossing wordt er vanuit gegaan dat de lengte van het talud groot is in vergelijking met de lengte van de bekleding. Bovendien wordt verondersteld dat het verhang van de freatische lijn gering is. Op korte afstand van de bekleding doen zich dan geen versturende invloeden voor.

De maximale wateroverdruk treedt ter plaatse van de waterlijn op. Het maximale stijghoogteverschil over de bekleding ter plaatse van de waterlijn wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

$$H = \frac{v}{\pi} \cdot \arccos \left[ 2 \cdot \left( \frac{v}{a+v} \right)^{\frac{\pi}{\theta}} - 1 \right] \quad \text{met } \theta = \arctg(n) + \frac{\pi}{2} \quad (12)$$

De dikte van de bekleding is bij deze formule in de schematisatie verwaarloosd. Volgens [7] kan de invloed van de bekledingsdikte op de volgende wijze worden verdisconteerd:

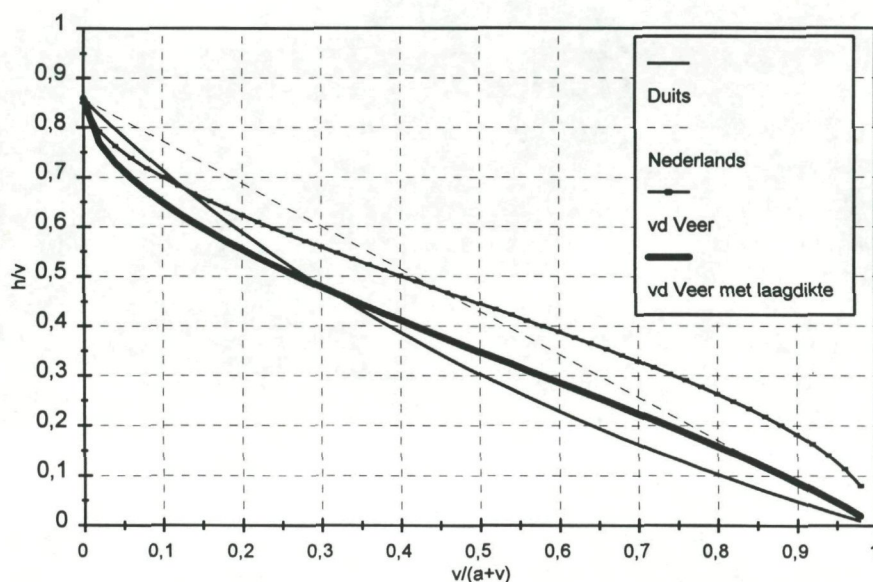
$$H = \frac{v}{\pi} \cdot \arccos \left[ 2 \cdot \left( \frac{v + h \cdot \cos(\alpha)}{a+v} \right)^{\frac{\pi}{\theta}} - 1 \right] \quad \text{met } \theta = \arctg(n) + \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

De genoemde formules zijn geldig voor een niet-stationaire stroming. Bij dijken zal de stroming bij situaties waar wateroverdrukken optreden altijd niet-stationair zijn.

### 3.6 Vergelijking van de methoden

In de grafiek in figuur 3.7 is voor de verschillende methoden voor bepaling van de maximale wateroverdruk de benodigde laagdikte weergegeven. De in de vorige paragrafen vermelde formules zijn hierbij ingevoerd in de formule voor het opdrijf criterium. De uitwerking is gedaan op basis van stijghoogten. Bij opstellen van de grafiek zijn verder de volgende uitgangspunten aangehouden:

- soortelijke massa van het asfalt ( $\rho_a$ ) = 2200 kg/m<sup>3</sup>
- soortelijke massa van water ( $\rho_w$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>
- taludhelling = 1:4

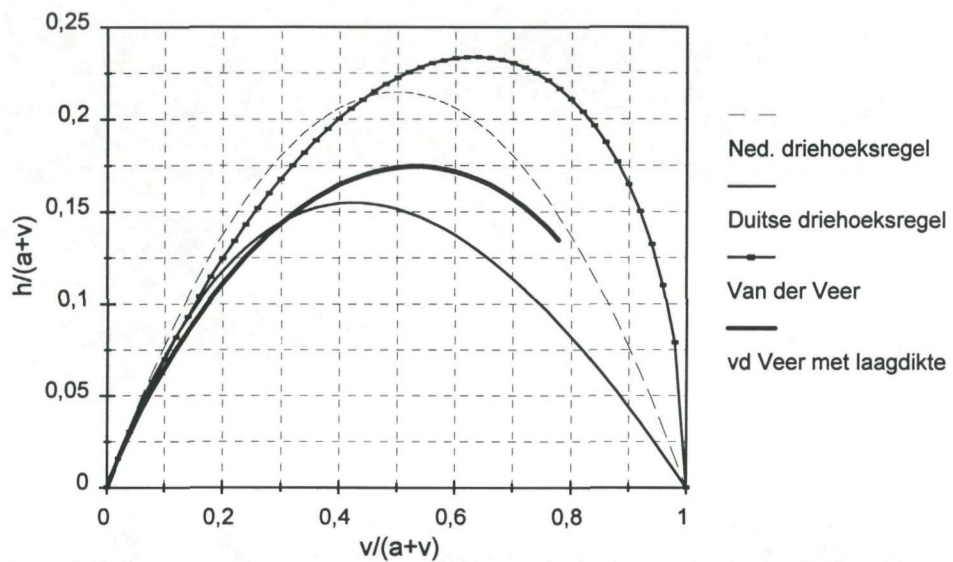


Figuur 3.7: vergelijking tussen de methoden op basis van het opdrijf criterium

Uit figuur 3.7 blijkt dat bij de methoden waarbij de laagdikte in rekening wordt gebracht, kan worden volstaan met een significant dünnere bekleding.

De formules van Van der Veer zijn theoretisch het best onderbouwd. Geadviseerd wordt voor dimensionering de formules van Van der Veer toe te passen.

Bij de genoemde methoden treedt de maximale overdruk op ter plaatse van de buiten waterlijn. Om te bepalen op welke plaats op het talud deze waterlijn de grootste overdruk onder de bekleding veroorzaakt bij een gegeven grondwaterstand, is in figuur 3.8 het optimum bepaald voor de beide driehoeksregels en de formules van Van der Veer. Dit is gedaan op basis van het oprijfcriterium.



Figuur 3.8: bepaling van de plaats waar de maximale overdruk op het talud plaatsvindt

De waarde op de x-as geeft de parameter  $v$ , genormeerd op  $(a+v)$ . Op de y-as wordt een parameter met daarin de benodigde laagdikte ( $h$ ) weergegeven. Op de top van de parabool is  $h$  het grootst en is dus de wateroverdruk het grootst. Het blijkt dat de grootste wateroverdruk optreedt bij de volgende waarden.

Van der Veer (zonder bekledingsdikte):	$v = 64\%$ van $(a+v)$
Van der Veer (met bekledingsdikte):	$v = 53\%$ van $(a+v)$
Duitse driehoeksregel:	$v = 43\%$ van $(a+v)$
Nederlandse driehoeksregel:	$v = 50\%$ van $(a+v)$

## 4 Recent onderzoek

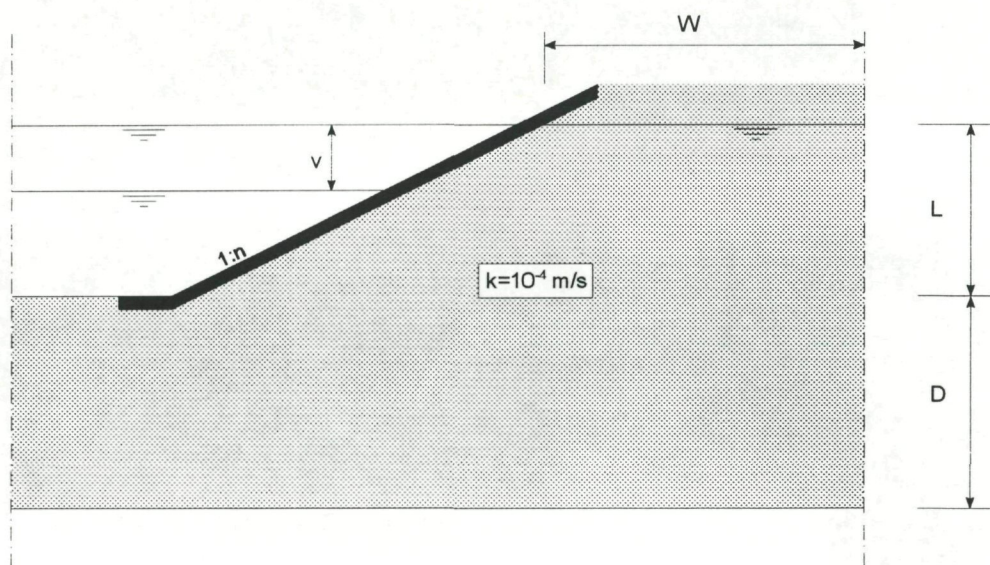
### 4.1 Inleiding

In 1990-1992 is door Grondmechanica Delft onderzoek gedaan naar overdrukken onder asfaltbekledingen. Hierbij is onder meer gebruik gemaakt van het eindige elementenprogramma SEEP, waarmee niet-stationaire stromingsberekeningen gemaakt kunnen worden.

In de eerste plaats is met het programma SEEP in een serie berekeningen de wateroverdruk bepaald na een plotselinge verlaging van de buitenwaterstand (4.2) Vervolgens is voor verschillende geometrieën met SEEP de maximale wateroverdruk bepaald. Hierbij zijn verschillende randvoorwaarden opgelegd. (4.3)

### 4.2 Numerieke simulatie leegstromen dijklichaam

Bij het onderzoek zoals beschreven in [8] is met SEEP een aantal berekeningen uitgevoerd waarbij de maximale wateroverdruk is bepaald. Hierbij is de constructie geschematiseerd zoals aangegeven in figuur 4.1.



Figuur 4.1: Schematisatie bij de berekeningen

Met de parameters  $W$ ,  $L$ ,  $D$  en  $n$  is gevarieerd. De waarden voor de parameters zijn weergegeven bij de berekeningsresultaten in bijlage 1.

Met deze berekeningen is in feite de methode van Van der Veer via SEEP nagerekend. Voor elke berekening is de coëfficiënt ( $c$ ) van Van der Veer bepaald. Hierbij is  $c$  wordt bepaald volgens:

$$c = \frac{\Delta P}{v} \quad (14)$$

Waarbij:

- $\Delta P$  = maximale overdruk [kPa]  
 $v$  = verticaal gemeten afstand tussen de grondwaterstand en buitenwaterstand [m]

Volgens Van der Veer wordt  $c$  voor niet-stationaire stroming gedefinieerd als:

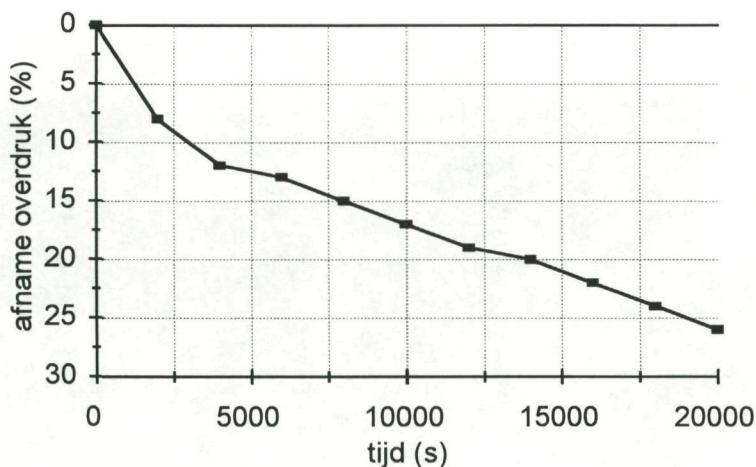
$$c = \frac{1}{\pi} \cdot \arccos \left[ 2 \cdot \left( \frac{v}{a+v} \right)^{\frac{\pi}{\theta}} - 1 \right] \quad \text{met } \theta = \arctan(n) + \frac{\pi}{2} \quad (15)$$

- $v$  = verticaal gemeten afstand tussen de grondwaterstand en buitenwaterstand [m]  
 $a$  = verticaal gemeten afstand tussen de buitenwaterstand en onderkant van de gesloten bekleding [m]  
 $1:n$  = taludhelling [-]

In bijlage 1 zijn de resultaten van de berekeningen weergegeven.

De berekende factor  $c$  volgens de methode van Van der Veer en SEEP blijken redelijk overeen te komen. De uitkomsten van de SEEP-berekeningen blijken dus de methode van Van der Veer te staven.

Run 20 is langdurig berekend. Hierbij is de afname van de druk in de tijd bepaald. In de grafiek in figuur 4.2 is de afname van de druk (en opzichte van de druk op  $t = 0$ ) in de tijd weergegeven.

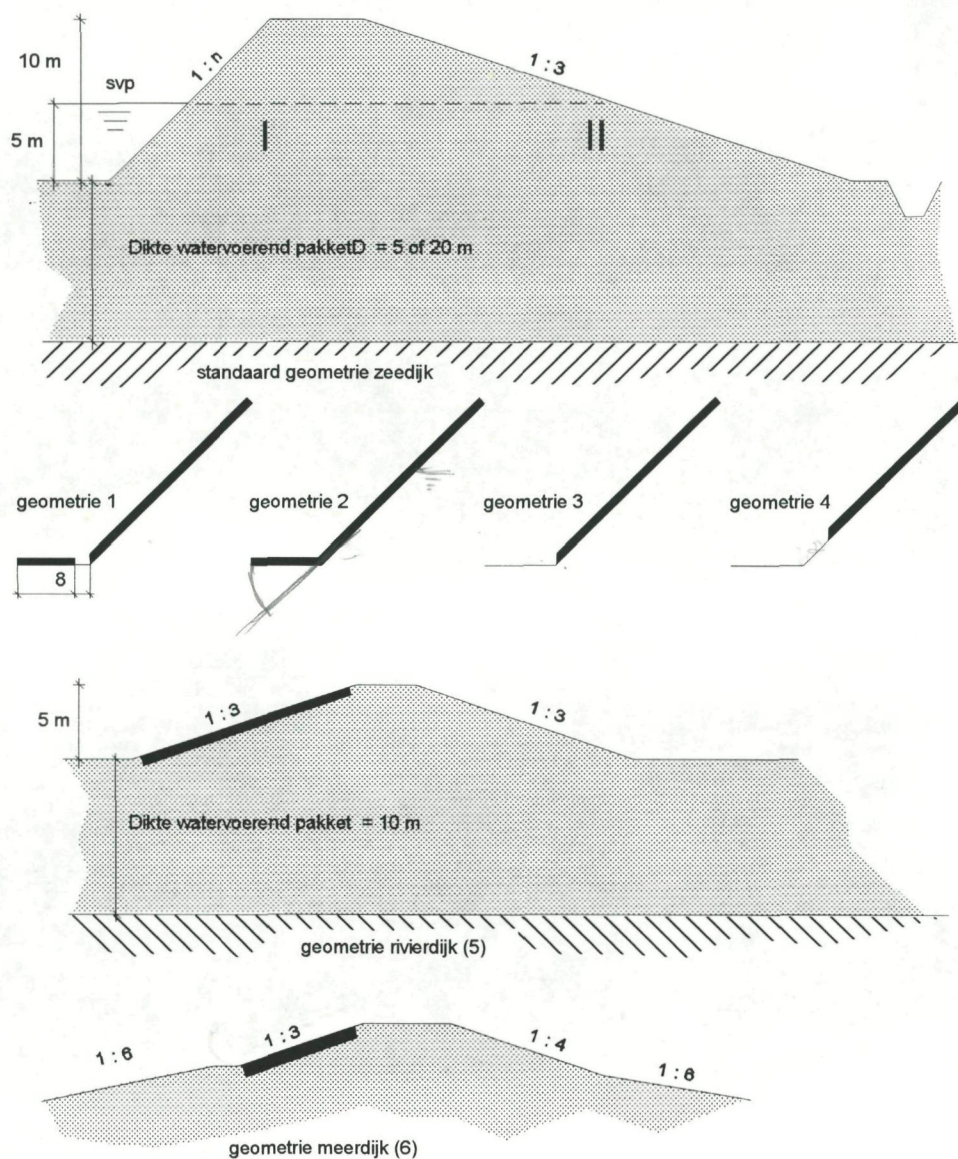


Figuur 4.2: afname van de overdruk in de tijd voor run 20

## 4.3

### Numerieke simulatie maatgevende ontwerpcondities

Om een indruk te krijgen van de optredende overdrukken onder een gesloten bekleding bij ontwerpomstandigheden zijn door Grondmechanica Delft berekeningen uitgevoerd met het eindige elementenprogramma SEEP. Dit onderzoek is beschreven in [2]. In het totaal zijn 31 berekeningen uitgevoerd, 1 met betrekking tot meerdijken, 3 met betrekking tot rivierdijken en 27 met betrekking tot zeedijken. Het bezwijkmechanisme wateroverdrukken is vooral van belang bij zeedijken, daarom lag hierop de nadruk bij het onderzoek. In figuur 4.3 zijn de verschillende doorgerekende geometrieën weergegeven.



Figuur 4.3: doorgerekende geometrieën bij de SEEP-berekeningen

Bij de berekeningen waren de volgende parameters variabel:

- geometrie
- dikte van het onderliggende watervoerend pakket

- verticale en horizontale doorlatendheid van de ondergrond
- mogelijkheid tot afstroming van het grondwater naar het achterland. Hierbij zijn twee mogelijkheden:
  - 1) geen afstroming naar het achterland mogelijk. Hierbij wordt het dijklichaam op locatie I of II (zie figuur 4.3) als ondoorlatend verondersteld.
  - 2) wel afstroming naar het achterland mogelijk.
- hydraulische randvoorwaarden. Daarnaast zijn extra belastingen in de vorm van neerslag of golfoverslag gesimuleerd. De volgende randvoorwaarden zijn mogelijk:
  1. stormvloed getij
  - 1.2 randvoorwaarde 1, vermenigvuldigd met een factor 1,2
  - 1.3 randvoorwaarde 1, waarbij gedurende de gehele periode een debiet van  $0,001 \text{ l/s/m}^2$  aan de freatische lijn wordt toegevoegd
  - 1.4 randvoorwaarde 1 plus gedurende de hele periode 1 mm/uur neerslag op de freatische lijn
  - 1.5 randvoorwaarde 1 plus gedurende de hele periode 10 mm/uur neerslag op de freatische lijn
  - 1.6 randvoorwaarde 1 plus 5 cm/uur overslag van 2 uur voor de top van het hoogwater tot 4 uur na de top
  - 1.7 randvoorwaarde 1 plus 10 cm/uur overslag van 2 uur voor de top van het hoogwater tot 4 uur na de top
  2. hoogwatergolf rivierdijk
    - 2.1 hoogwatergolf rivierdijk plus getij
    3. windopzet meerdijk

De opgelegde hydraulische randvoorwaarden zijn grafisch weergegeven in bijlage 2.

In tabel 4.1 zijn de resultaten van de berekeningen samengevat. Een volledig overzicht van de berekeningsresultaten is weergegeven in bijlage 3. In de tabel is ook een vergelijking gemaakt tussen de met SEEP bepaalde overdrukken en de overdrukken volgens de formule van Van der Veer (formule 12). Bij het berekenen van de overdrukken volgens Van der Veer zijn de volgende aannamen gedaan:

- de grondwaterstand ligt midden tussen het stormvloedpeil en de gemiddelde waterstand
- als  $(a+v) = 100\%$ , is  $a = 36\%$  en  $v = 64\%$ . Bij deze verhouding wordt de grootste overdruk gevonden met de formule van Van der Veer waarbij geen rekening is gehouden met de bekledingsdikte.



Tabel 4.1: samenvatting berekeningsresultaten

berekening nr.	geometrie	rand	H(SEEP)	H(vdveer)	verschil
			[m]	[m]	[m]
1	1	1	0,29	0,68	0,40
5	2	1	0,48	1,28	0,80
2	2	1	0,41	1,28	0,88
6	3	1	0,33	0,68	0,35
10	3	1	0,46	0,68	0,22
11	3	1	0,48	0,68	0,20
12	3	1	0,52	0,68	0,16
13	3	1	0,52	0,68	0,16
14	3	1,2	0,51	0,82	0,31
15	3	1	0,31	0,68	0,37
21	3	1,4	0,46	0,68	0,22
22	3	1,5	0,61	0,68	0,07
23	3	1,7	0,66	0,68	0,02
25	3	1,6	0,54	0,68	0,14
26	3	1,7	0,76	0,68	-0,08
27	3	1,6	0,63	0,68	0,05
28	3	1	0,51	0,68	0,17
29	3	1,7	0,64	0,68	0,04
31	3	1,6	0,41	0,68	0,27
3	3	1	0,28	0,68	0,41
8	3	1	0,24	0,67	0,43
18	3	1,3	1,83	0,68	-1,15
16	3	1	0,36	0,68	0,32
17	3	1	0,41	0,67	0,26
9	3	1	0,20	0,68	0,48
4	4	1	0,14	0,95	0,81
7	4	1	0,07	0,95	0,88
19	5	2	-	1,16	1,16
20	5	2,1	0,18	1,16	0,98
24	5	2,1	0,16	1,16	0,99
30	6	3	0,16	0,69	0,53

Na vergelijking van de berekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken (tussen haakjes staat steeds welke berekeningen met elkaar zijn vergeleken):

- Het stijghoogteverschil bij geometrie 1 (een beklede vooroever met open teenconstructie) en geometrie 3 (een niet beklede vooroever) zijn vrijwel gelijk (1-3).
- Het stijghoogteverschil bij geometrie 2 (beklede vooroever met gesloten teenconstructie) is hoger dan bij geometrie 3 (niet beklede vooroever) (2-3, 5-6)
- Bij de methode van Van der Veer heeft de aanwezigheid van een beklede vooroever een grotere invloed op het stijghoogteverschil dan bij SEEP. (2-3, 5-6)
- Verhoging van het stormvloedpeil met 1 meter geeft slechts een verhoging van het stijghoogteverschil van 0,05 meter (10-14)

- ?
- Een grotere doorlatendheid leidt tot een groter stijghoogteverschil (3-6, 8-9, 11-15)
  - De invloed van de dikte van het watervoerend pakket op de grootte van de wateroverdruk blijkt gering (10-11, 12-28). Een vergelijking tussen 26 en 29 laat echter zien dat een geringere dikte van het watervoerend pakket een kleinere overdruk oplevert. Dit is een fysisch niet verklaarbare trend. Worden 26 en 29 vergeleken met 12 en 28, dan verschilt alleen de belastingsrandvoorwaarde. In berekening 26 en 29 wordt rekening gehouden met golfoverslag. Verwacht zou worden dat een geringere dikte van het watervoerend pakket een grotere wateroverdruk oplevert.
  - Hoe steiler het talud, des te groter de overdruk. De invloed is vrij gering maar groter dan bij de methode van Van der Veer (3-8)
  - Als de gemiddelde waterstand 2 meter onder de onderkant van de bekleding ligt, treden nauwelijks overdrukken op (4, 7).
  - De berekening met randvoorwaarde 1,3 (18), een debiet van  $0,01 \text{ l/s/m}^2$ , geeft onrealistisch hoge waarden voor de maximale wateroverdruk. Het is niet duidelijk in welke omstandigheid deze randvoorwaarde zou kunnen optreden. Daarom is deze berekening verder buiten beschouwing gelaten. 6/218
  - Bij rivierdijken wordt bij een hoogwatergolf geen wateroverdruk gevonden (19). Bij een hoogwatergolf met getij wordt een geringe wateroverdruk gevonden (20, 24). Het is niet bekend hoe hoog de overdrukken zullen zijn bij een geringere doorlatendheid van de ondergrond en in combinatie met neerslag en golfoverslag.  
Een rivierdijk staat gedurende een langere periode bloot aan een hoogwaterperiode dan een zeedijk. Het dijklichaam heeft dus meer tijd om verzadigd te raken en raakt wellicht ook bij een geringere doorlatendheid geheel of gedeeltelijk verzadigd. Bij daling van de waterstand zal het water bij een geringere doorlatendheid minder snel afstromen waardoor een grotere overdruk kan ontstaan.
- ?
- Er zijn niet genoeg berekeningen om een betrouwbare uitspraak te doen over de maximaal optredende wateroverdrukken bij rivierdijken.
- Bij meerdijken is slechts één variant doorgerekend. Om bovengenoemde redenen wordt geen uitspraak gedaan over de maximaal optredende wateroverdrukken bij meerdijken.

?

De keuze van de te hanteren grondwaterstand en buitenwaterstand bepaalt in hoge mate de uitkomst van de berekening met de formules van Van der Veer. Uit de SEEP-berekeningen wordt geen duidelijkheid verkregen over de optredende waterstanden. Hierdoor is het niet mogelijk een nauwkeurige vergelijking te maken tussen de SEEP-berekeningen en de methode van Van der Veer. Door bij de formule van Van der Veer een grondwaterstand te kiezen die midden tussen het stormvloedpeil en de grondwaterstand ligt, blijken de overdrukken vergelijkbaar te zijn met de door SEEP bepaalde overdrukken, veroorzaakt door een getijgolf in combinatie met neerslag of golfoverslag. Hierbij wordt opgemerkt dat de randvoorwaarden 1,5 en 1,7 wel heel extreme zijn.

## Te hanteren dimensioneringsregels

Bij zowel toetsen als ontwerpen van een gesloten bekleding moet de benodigde laagdikte worden bepaald aan de hand van het opdrijfcriterium. Bij ontwerp moet de bekleding eveneens voldoen aan het afschuifcriterium (zie paragraaf 2.2) en het evenwichtscriterium (paragraaf 2.3).

Het afschuifcriterium is in dit rapport niet nader uitgewerkt. Als de teen van de bekleding voldoende wordt gesteund, mag het afschuifcriterium tijdens maatgevende omstandigheden worden overschreden. Voor dimensionering op frequent voorkomende belastingen is het afschuifcriterium wel van belang.

Voor het evenwichtscriterium is in dit rapport slechts een veilige benadering als uitgangspunt gekozen. Deze resulteert erin dat de taludhelling in de zone waarin wateroverdrukken optreden 1:4 of flauwer moet zijn. Voor een minder conservatieve dimensionering van de taludhelling dient de geotechnische stabiliteit van de dijk te worden bepaald.

Aan de hand van het navolgende stappenplan kan een bekleding op het opdrijfcriterium worden gedimensioneerd. Dit stappenplan is in bijlage 4 schematisch weergegeven.

De hier gepresenteerde methode geeft veilige waarden voor de benodigde laagdikte. Door de maximale overdruk te bepalen met een niet-stationair grondwaterstromingsprogramma en deze in te voeren in de formule voor het opdrijfcriterium (formule 5), kan in veel gevallen scherper worden gedimensioneerd. Deze methode is echter veel complexer en er zijn meer gegevens van de ondergrond voor nodig.

Het stappenplan is als volgt:

- 1) Bepaal de te hanteren grondwaterstand in het dijklichaam. Voor zeedijken wordt deze midden tussen het stormvloedpeil en de gemiddelde waterstand geschat. Als gemiddelde waterstand kan voor zeedijken het midden tussen het gemiddeld hoogwater en het gemiddeld laagwater worden genomen. Dit is ongeveer N.A.P. De afstand tussen de maatgevende grondwaterstand en de onderkant van de bekleding =  $(a+v)$ .
- 2) Ligt de maatgevende grondwaterstand onder de onderkant van de gesloten bekleding, dan hoeft deze niet op wateroverdrukken te worden gedimensioneerd.
- 3) Indien een gesloten teenconstructie in de vorm van een damplank of een beklede vooroever aanwezig is dan moet dit worden verdisconteerd. Dit gebeurt door  $(a+v)$  te herschrijven tot  $(a+q+v)$  danwel  $(a+r+v)$ . Dit staat verder beschreven in paragraaf 3.3.
- 4) Bepaal de buitenwaterstand waarbij de maximale wateroverdruk optreedt. Deze ligt op een niveau  $0,53*(a+v)$  beneden de maatgevende grondwaterstand.
- 5) Ligt de maatgevende buitenwaterstand onder de gemiddelde waterstand, dan wordt de gemiddelde waterstand als buitenwaterstand aangehouden. Het maximale stijghoogteverschil ( $H$ ) wordt nu berekend met formule 13. Vervolgens wordt de benodigde laagdikte bepaald met formule 5. Dit is een iteratief proces omdat de benodigde laagdikte ook in formule 13 moet worden ingevoerd.

- 6) Ligt de maatgevende buitenwaterstand boven de gemiddelde waterstand, dan wordt met de volgende formule de benodigde laagdikte bepaald.

$$h = 0,21 \cdot Q_n \cdot (a+v) \cdot \left( \frac{\rho_w}{\rho_a - \rho_w} \right) \quad (16)$$

Hierin is:

$h$	: benodigde laagdikte	[m]
$Q_n$	: factor, afhankelijk van de taludhelling	[-]
$(a+v)$	: verticaal gemeten afstand tussen de maatgevende grondwaterstand en onderkant van de bekleding	[m]
$\rho_w$	: soortelijke massa water	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_a$	: soortelijke massa bekleding	[kg/m <sup>3</sup> ]

Voor de factor  $Q_n$  kunnen de volgende waarden worden aangehouden:

taludhelling	$Q_n$
1:2	1,12
1:3	1,03
1:4	1,00
1:5	0,98
1:6	0,97
1:7	0,97
1:8	0,96

Formule 16 is gebaseerd op het opdrijf criterium waarbij rekening is gehouden met golfoverslag. De maximale overdruk is bepaald met de formule van Van der Veer. Hierbij is voor  $a$  en  $v$  de meest kritieke verhouding aangehouden, namelijk:  $a = 47\%$  en  $v = 53\%$  van  $(a+v)$ .

Bij ontwerp is de berekende benodigde laagdikte minimaal nodig in de zone waarin wateroverdrukken op kunnen treden. Bij toetsing wordt de berekende benodigde laagdikte vergeleken met de aanwezige laagdikte in deze zone.

De zone waarin wateroverdrukken op kunnen treden is de zone tussen de geschatte grondwaterstand in het dijklichaam en de onderkant van de gesloten bekleding.

## 6

# Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van dit rapport wordt het volgende geconcludeerd:

Uit een vergelijking tussen de verschillende methoden voor bepaling van de maximale wateroverdruk blijkt dat bij de methoden waarbij de laagdikte in rekening wordt gebracht, kan worden volstaan met een significant dunnere bekleding.

De formules van Van der Veer zijn theoretisch beter onderbouwd dan de driehoeksregels. Geadviseerd wordt voor een eenvoudige beoordeling de formules van Van der Veer toe te passen.

Wordt de formule van Van der Veer toegepast waarbij de bekledingsdikte in rekening is gebracht dan blijkt, bij een gegeven grondwaterstand, de maximale wateroverdruk op te treden als  $a = 47\%$  en  $v = 53\%$ .

De berekeningen die zijn uitgevoerd met SEEP waarbij het leegstromen van een verzadigd dijklichaam is gesimuleerd, blijken de uitkomsten van de berekeningen met de formules van Van der Veer te staven.

Aan de hand van de SEEP-berekeningen waarbij maatgevende ontwerpcondities op verschillende geometrieën zijn gesimuleerd, wordt het volgende geconcludeerd:

- Het stijghoogteverschil bij een dijk met een beklede vooroever met open teenconstructie en een dijk met een niet beklede vooroever is vrijwel gelijk.
- Het stijghoogteverschil bij een dijk met een beklede vooroever met gesloten teenconstructie is hoger dan bij een dijk met een niet beklede vooroever.
- Bij de methode van Van der Veer heeft de aanwezigheid van een beklede vooroever een grotere invloed op het stijghoogteverschil dan bij SEEP.
- Verhoging van het stormvloedpeil met 1 meter geeft slechts een verhoging van het stijghoogteverschil van 0,05 meter.
- Een grotere doorlatendheid leidt tot een groter stijghoogteverschil.
- De invloed van de dikte van het watervoerend pakket op de grootte van de wateroverdruk is gering.
- Hoe steiler het talud, des te groter de overdruk. De invloed is vrij gering maar groter dan bij de methode van Van der Veer.
- Als de gemiddelde waterstand 2 meter onder de onderkant van de bekleding ligt, treden nauwelijks overdrukken op.
- Bij rivierdijken wordt bij een hoogwatergolf geen wateroverdruk gevonden. Bij een hoogwatergolf met getij wordt een geringe wateroverdruk gevonden. Het is niet bekend hoe hoog de overdrukken zullen zijn bij een geringere doorlatendheid van de ondergrond en in combinatie met neerslag en golfoverslag.

Er zijn niet genoeg berekeningen om een betrouwbare uitspraak te doen over de maximaal optredende wateroverdrukken bij rivierdijken.

- Bij meerdijken is slechts één variant doorgerekend. Om bovengenoemde redenen wordt geen uitspraak gedaan over de maximaal optredende wateroverdrukken bij meerdijken.

De keuze van de te hanteren grondwaterstand en buitenwaterstand bepaalt in hoge mate de uitkomst van de berekening met de formules van Van der Veer. Uit de SEEP-berekeningen wordt geen duidelijkheid verkregen over de optredende waterstanden. Hierdoor is het niet mogelijk een nauwkeurige vergelijking te maken tussen de SEEP-berekeningen en de methode van Van der Veer. Door bij de formule van Van der Veer een grondwaterstand te kiezen die midden tussen het stormvloedpeil en de grondwaterstand ligt, blijken de overdrukken een goede bovengrens te geven voor de met de door SEEP bepaalde overdrukken, veroorzaakt door een getijgolf in combinatie met neerslag of golfoverslag.

## Referentielijst

1. *Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw*, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1984.
2. *Overdrukken onder asfaltbekleding*, CO-329570/10, Grondmechanica Delft, Delft, oktober 1992.
3. Bischoff van Heemskerck, Ir. W. C. *Voorlopige richtlijnen voor de dimensionering van waterdichte dijkbekledingen, voorzover deze volgt uit de te verwachten waterspanningen*, Den Haag, Maart 1959.
4. Ir. Edelman e.a. *Voorlopig rapport 1961*, Werkgroep "Gesloten Dijkbekledingen", 1961.
5. de Vries ing J. T. *Beschouwing van een aantal berekeningsmethoden voor het dimensioneren van gesloten dijkbekledingen op wateroverdruk*, Centrum voor Onderzoek Waterkeringen, maart 1983.
6. Van der Veer, Dr. ir. J.P. *Grondwaterbeweging onder oeverconstructies, uit: "Kust en Oeverwerken in praktijk en theorie, K&O 25*.
7. 't Hart, ir. R. *Dimensioneren op het opdrijfcriterium*, notitie, Delft, maart 1995.
8. *Overdrukken onder asfaltbekleding, laagdikte effect, tijdsafhankelijk effect*, concept, CO-315070/6, Grondmechanica Delft, Delft, juli 1990.

## Resultaten numerieke simulatie leegstromen dijklichaam

Tabel B1.1

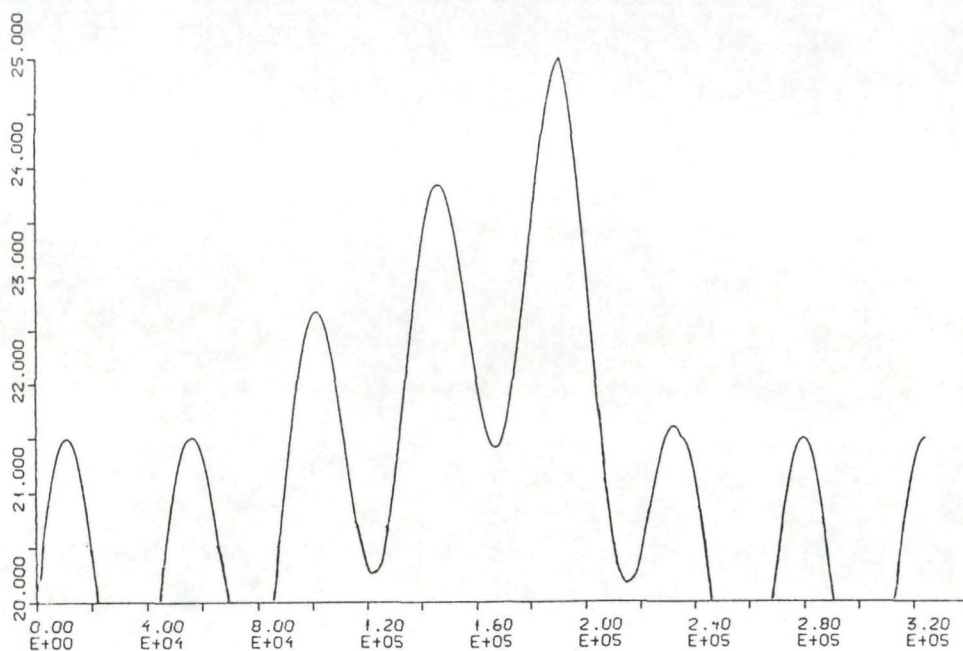
run	$\Delta H$ [m]	L [m]	D zandlaag [m]	W afst. drain [m]	talud- helling [1:n]	P(SEEP) [kPa]	c [-]	c(vd Veer) [-]	verschil [%]
1	2	5	6	14	1	14,92	0,746	0,635	-11,1
2	3	5	6	14	1	19,27	0,642	0,496	-14,6
3	4	5	6	14	1	20,16	0,504	0,339	-16,5
4	2	5	6	14	3	13,64	0,682	0,590	-9,2
5	3	5	6	14	3	15,11	0,504	0,458	-4,6
6	4	5	6	14	3	15,74	0,394	0,311	-8,3
7	2	5	12	14	3	12,92	0,646	0,590	-5,6
8	3	5	12	14	3	14,58	0,486	0,458	-2,8
9	4	5	12	14	3	15,22	0,381	0,311	-7,0
10	2	5	18	14	3	12,75	0,638	0,590	-4,7
11	3	5	18	14	3	14,61	0,487	0,458	-2,9
12	4	5	18	14	3	14,24	0,356	0,311	-4,5
13	2	5	12	3	3	12,07	0,604	0,590	-1,3
14	3	5	12	3	3	13,65	0,455	0,458	0,3
15	4	5	12	3	3	13,03	0,326	0,311	-1,5
16	4	20	18	14	3	21,05	0,526	0,732	20,6
17	8	20	18	14	3	37,04	0,463	0,590	12,7
18	12	20	18	14	3	43,42	0,362	0,458	9,6
19	2	5,63	6	6	3	13,2	0,660	0,620	-4,0
20	3	5,63	6	6	3	14,64	0,488	0,503	1,5
21	4	5,63	6	6	3	15,29	0,382	0,381	-0,2
22	2	5,63	12	6	3	12,07	0,604	0,620	1,7
23	3	5,63	12	6	3	13,65	0,455	0,503	4,8
24	4	5,63	12	6	3	13,03	0,326	0,381	5,5
25	2	5,95	18	6	3	11,73	0,587	0,633	4,7
26	3	5,95	18	6	3	13,44	0,448	0,521	7,3
27	4	5,95	18	6	3	13,19	0,330	0,408	7,8
28	2	5,89	6	6	2	13,43	0,672	0,644	-2,8
29	3	5,89	6	6	2	15,3	0,510	0,530	2,0
30	4	5,89	6	6	2	16,63	0,416	0,413	-0,3
31	2	5,89	12	6	2	12,43	0,622	0,644	2,2
32	3	5,89	12	6	2	14,2	0,473	0,530	5,7
33	4	5,89	12	6	2	13,9	0,348	0,413	6,5
34	2	6,34	18	6	2	12,25	0,613	0,661	4,8
35	3	6,34	18	6	2	14,11	0,470	0,554	8,4
36	4	6,34	18	6	2	14,09	0,352	0,447	9,5

gemiddeld 0,4

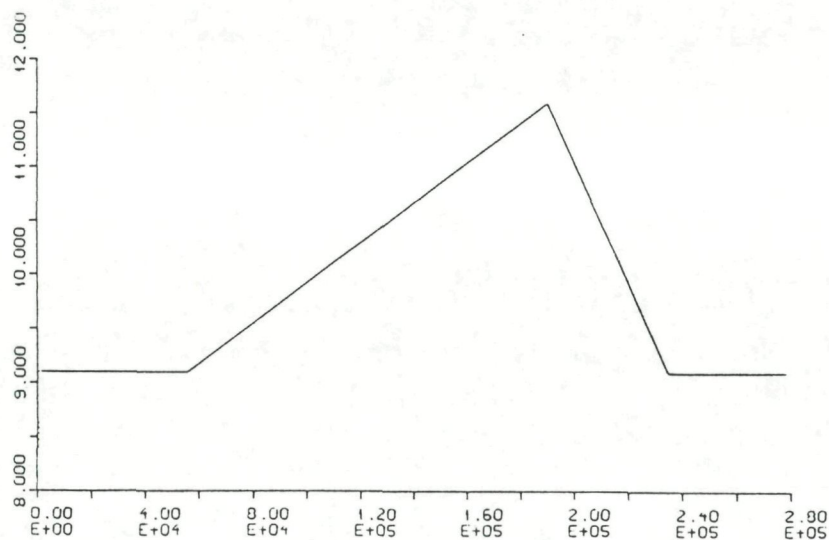
De parameter  $c$  is bepaald volgens formule (15) en  $c(\text{vd Veer})$  volgens formule (16) uit paragraaf 4.3. De kolom *verschil* geeft het verschil tussen  $c$  en  $c(\text{vd Veer})$  vermenigvuldigd met 100 aan.



### Hydraulische randvoorwaarden numerieke simulatie maatgevende ontwerprichties

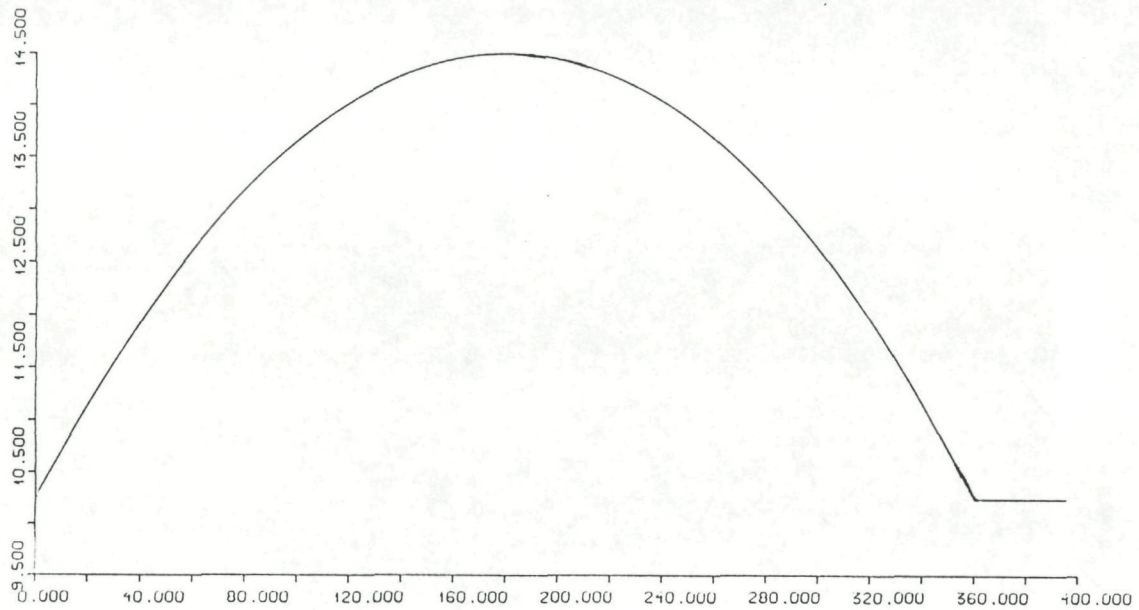


Figuur B2.1: Getijdeweg met stormvloed bij een zeedijk

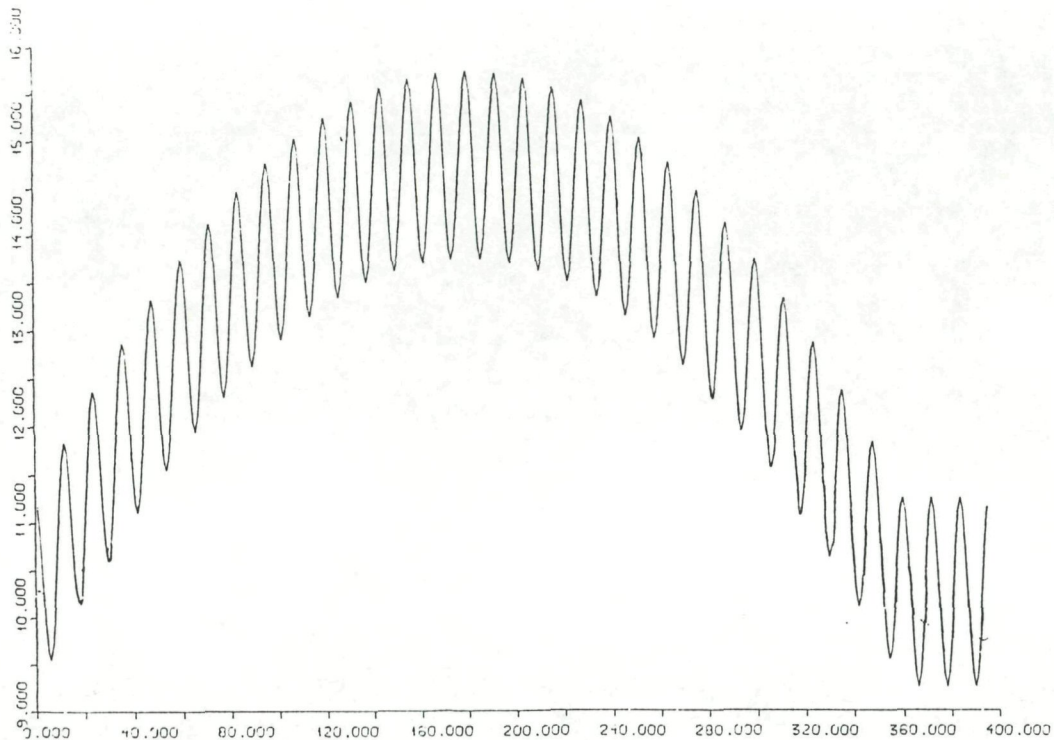


Figuur B2.2 Windopzet bij een meerdijk

### Hydraulische randvoorwaarden numerieke simulatie maatgevende ontwerpcondities



Figuur B2.3 Hoogwatergolf bij een rivierdijk



Figuur B2.4: hoogwatergolf met getij bij een rivierdijk

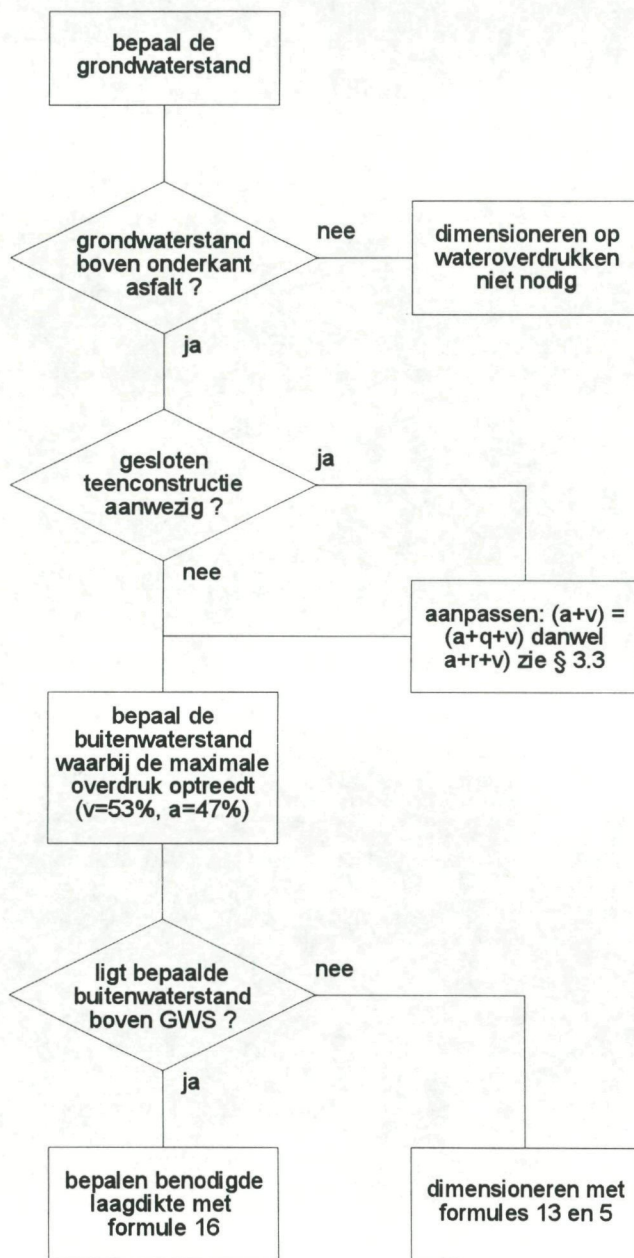
## Resultaten numerieke simulatie maatgevende ontwerpcndities

Tabel B3.1

berekening nr.	geometrie	SVP tov onderkant [m]	D zandlaag [m]	W drain [m]	taludhelling [1:n]	doorlatendheid		randvoorwaarde	locatie max. overdruk t.o.v. teen [m]	H (SEEP) [m]	H (vdveer) [m]	verschil [m]
						$k_x$ [m/s]	$k_y$ [m/s]					
1	1	5	20	-2	4	0	0	1	1	0,29	0,68	0,4
5	2	5	20	-2	4	0	0	1	0	0,48	1,28	0,8
2	2	5	20	-2	4	0	0	1	0	0,41	1,28	0,88
6	3	5	20	-2	4	0	0	1	0,5	0,33	0,68	0,35
10	3	5	20	0	4	0	0	1	1	0,46	0,68	0,22
11	3	5	5	0	4	0	0	1	1	0,48	0,68	0,2
12	3	5	20	II	4	0	0	1	1	0,52	0,68	0,16
13	3	5	20	I	4	0	0	1	1	0,52	0,68	0,16
14	3	6	20	0	4	0	0	1,2	1	0,51	0,82	0,31
15	3	5	5	0	4	0	0	1	0,5	0,31	0,68	0,37
21	3	5	20	0	4	0	0	1,4	1	0,46	0,68	0,22
22	3	5	20	0	4	0	0	1,5	1	0,61	0,68	0,07
23	3	5	20	0	4	0	0	1,7	1	0,66	0,68	0,02
25	3	5	20	0	4	0	0	1,6	1	0,54	0,68	0,14
26	3	5	20	II	4	0	0	1,7	1	0,76	0,68	-0,08
27	3	5	20	II	4	0	0	1,6	1	0,63	0,68	0,05
28	3	5	5	II	4	0	0	1	1	0,51	0,68	0,17
29	3	5	5	II	4	0	0	1,7	1	0,64	0,68	0,04
31	3	5	20	-2	4	0	0	1,6	1	0,41	0,68	0,27
3	3	5	20	-2	4	0	0	1	1	0,28	0,68	0,41
8	3	5	20	-2	6	0	0	1	0,5	0,24	0,67	0,43
18	3	5	20	-2	4	0	0	1,3	4,5	1,83	0,68	-1,15
16	3	5	5	I	4	0	0	1	0,5	0,36	0,68	0,32
17	3	5	20	I	6	0	0	1	0,5	0,41	0,67	0,26
9	3	5	20	-2	4	0	0	1	0,5	0,2	0,68	0,48
4	4	5	20	-2	4	0	0	1	2,5	0,14	0,95	0,81
7	4	5	20	-2	4	0	0	1	2,5	0,07	0,95	0,88
19	5	4,2	10	-1	3	0	0	2	-	-	1,16	1,16
20	5	4,2	10	-1	3	0	0	2,1	0,83	0,18	1,16	0,98
24	5	4,2	10	-1	3	0	0	2,1	0,83	0,16	1,16	0,99
30	6	2,5		-3,6	3	0	0	3	1	0,16	0,69	0,53

In de kolom 'locatie waar de max. overdruk optreedt t.o.v. teen' wordt de hoogte plaats aangegeven waar bij de SEEP-berekening de maximale overdruk optrad. Deze overdruk is echter steeds alleen maar in de knopen van de elementen bepaald. Deze hebben bij de geometrieën 1 t/m 4 een onderlinge afstand van een halve meter. De gegeven waarde heeft dus een nauwkeurigheid van 0,5 meter (0,25 meter + en 0,25 meter -).

### Stroomschema dimensioneringsmethode





**Hoofdkantoor**  
 Kon. Wilhelminaweg 1/11  
 Postbus 24  
 8440 AA Heerenveen  
 Telefoon: 05130-34567  
 Telefax: 05130-33353

**District Noord / Mijnbouw**  
 Kon. Wilhelminaweg 1  
 Postbus 24  
 8440 AA Heerenveen  
 Telefoon: 05130-34567  
 Telefax: 05130-33353

**District Midden**  
 Wisselweg 1  
 Postbus 10044  
 1301 AA Almere-Stad  
 Telefoon: 036-5396411  
 Telefax: 036-5338189

**District West / Afd. Centrale Overheid**  
 Rivium Quadrant 1  
 Capelle a/d IJssel  
 Postbus 8590  
 3009 AN Rotterdam  
 Telefoon: 010-4477744  
 Telefax: 010-4477747

**District Oost**  
 Keulenstraat 3  
 Postbus 321  
 7400 AH Deventer  
 Telefoon: 05700-79444  
 Telefax: 05700-37227

**District Zuid**  
 Beneluxweg 7  
 Postbus 40  
 4900 AA Oosterhout  
 Telefoon: 01620-87000  
 Telefax: 01620-51141

**Kantoor Maastricht**  
 Markt 27  
 6211 CJ Maastricht  
 Telefoon: 043-288800  
 Telefax: 043-288888

**Laboratorium**  
 Maerlant 13  
 Postbus 1011  
 8200 BA Lelystad  
 Telefoon: 03200-70111  
 Telefax: 03200-28459

Tevens vestigingen in: Groningen, Assen, Jisp, Heinkenszand en Lomm

~gekopieerd op chloorvrij gebleekt papier~
