

**WEGEN OP BERMEN VAN DE DIJKEN
LANGS DE WESTERSCHELDE -
TOETSING OP VEILIGHEID**

Rapport opgesteld in
opdracht van

Dienst Weg- en Waterbouwkunde

Contactpersoon

ing. C.C. Montauban

Rapport opgesteld door

Netherlands Pavement Consultants bv
Postbus 2756 Winthontlaan 28
3500 GT UTRECHT 3526 KV UTRECHT

Telefoon 030 - 28 76 950

Telefax 030 - 28 87 844

Opdrachtnummer
Projectleider
Projectmedewerker(s)

008125
ing. A.K. de Looff
dr. ir. M. Hurman
ing. A. Versluis

Voor akkoord gezien



Utrecht, 28 februari 2000

INHOUDSOPGAVE

Blz.

1.	INLEIDING	4
1.1.	Probleemstelling	4
1.2.	Uitgangspunten	4
1.3.	Opzet van het rapport.....	5
2.	HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN	7
2.1.	Algemeen	7
2.2.	Golfhoogte en golfperiode	7
2.3.	Verloop van de stilwaterlijn.....	8
3.	EIGENSCHAPPEN GRINDASFALTBETON	10
4.	EIGENSCHAPPEN ONDERGROND	13
4.1.	Algemeen	13
4.2.	Ondergrond	13
4.3.	Fosforslakken.....	14
4.4.	Fosforslakken op ondergrond	15
4.4.1.	TU Delft	15
4.4.2.	FAA.....	15
4.5.	Aanbeveling	16
5.	BEREKENINGEN MET GOLFKLAP.....	18
6.	CONCLUSIES	19
7.	LITERATUURLIJST	20

BIJLAGEN:

Bijlage 1: Tabel met k-waarden volgens [Houben, 1994]

Bijlage 2: Tabel met k-waarden volgens [FAA, 1995]

Bijlage 3: Tabel met E-moduli volgens [DWW, 1998]

Bijlage 4: Productomschrijving fosforslakken [Pelt&Hooykaas]

- Bijlage 5: Nomogram ter bepaling van de k-waarde van de ondergrond volgens [Houben, 1994]
- Bijlage 6: Nomogram ter bepaling van de k-waarde van de ondergrond voor een ongebonden fundering volgens [FAA, 1995]
- Bijlage 7: Nomogram ter bepaling van de k-waarde van de ondergrond voor een gebonden fundering volgens [FAA, 1995]

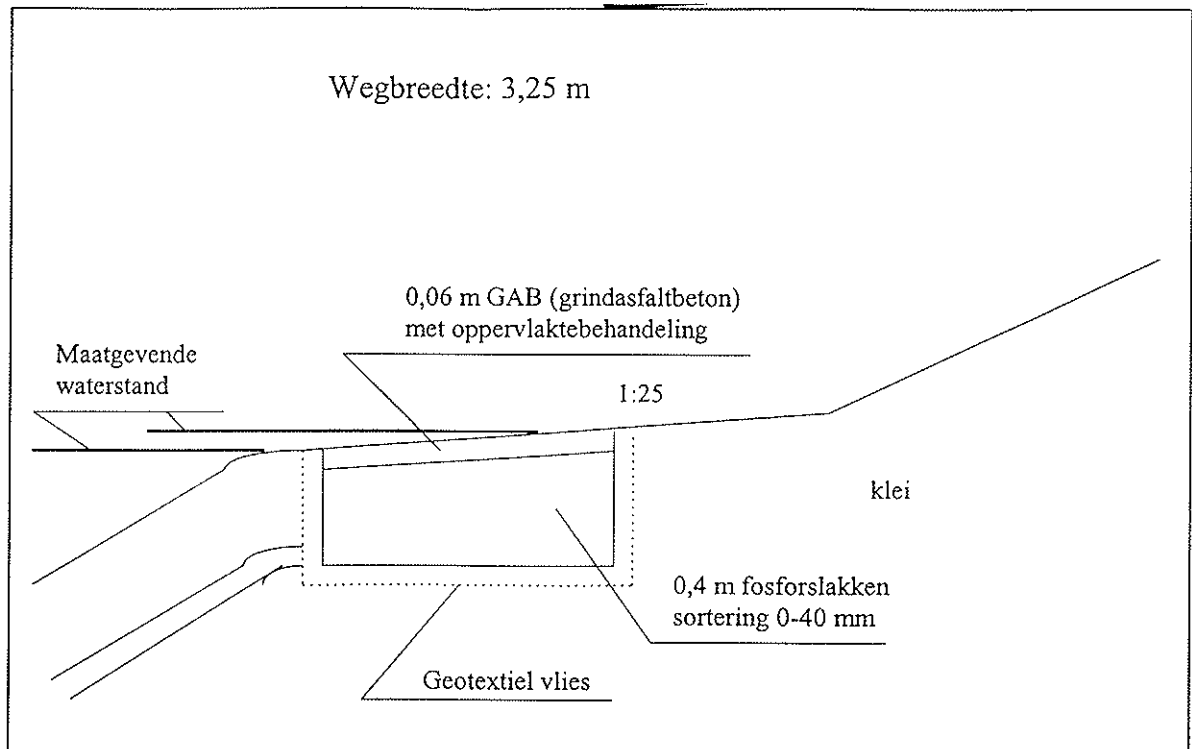
1. INLEIDING

1.1. Probleemstelling

Momenteel worden in het kader van de renovatie van de dijkbekledingen in Zeeland onderhoudswegen van asfalt aangelegd op de buitenberm. Deze berm kan onder extreme omstandigheden worden belast door golfklappen. Omdat zowel de ondergrond als de samenstelling van het asfalt afwijken van een gebruikelijke waterbouwasfaltbetonbekleding, kan met behulp van de standaardgrafieken niet worden aangegeven of de toegepast constructie voldoet.

1.2. Uitgangspunten

Een schets van de beschouwde constructie is gegeven in figuur 1.



Figuur 1: beschouwde constructie

Bij het toetsen van de onderhoudswegen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De berm bevindt zich op het niveau van het Toetspeil.
- Onder de fundering van fosforslakken kan zich zowel een ondergrond van zand als van klei bevinden. Beide mogelijkheden zijn beschouwd.
- De beschouwde constructie hoeft alleen te worden getoetst op golfklappen. Wateroverdrukken kunnen, gezien de hoge ligging van de wegen niet optreden onder de bekleding.
- Alleen de asfaltverharding is getoetst. De overgangsconstructie is in dit rapport buiten beschouwing gelaten.
- Voor de hydraulische randvoorwaarden wordt verwezen naar hoofdstuk 2.
- Voor de eigenschappen van het grindasfaltbeton wordt verwezen naar hoofdstuk 3.
- Voor de eigenschappen van de ondergrond wordt verwezen naar hoofdstuk 4.
- Voor de uitgangspunten bij de berekeningen met GOLFKLAP wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

1.3. Opzet van het rapport

In dit rapport worden de volgende stappen doorlopen om veiligheidstoetsing uit te voeren:

In hoofdstuk 2 wordt nagegaan welke hydraulische randvoorwaarden optreden op de Westerschelde. De relevante parameters zijn het Toetspeil, de significante golfhoogte en de gemiddelde golfperiode. Daarnaast moet worden bepaald gedurende welke periode de wegbermen worden belast door golfklappen.

De sterkteparameters van het grindasfaltbeton zijn enigszins afwijkend van de waterbouwkundige asfaltmengsels. In hoofdstuk 3 is aangegeven hoe deze parameters zijn bepaald.

De ondergrond is afwijkend van die van een taludbekleding van asfaltbeton omdat er een fundering van fosforslakken is aangebracht. Dit heeft consequenties voor de beddingsconstante van de ondergrond. In hoofdstuk 4 wordt de beddingsconstante bepaald.

In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de berekeningen met het computermodel GOLFKLAP gegeven.

In hoofdstuk 6 zijn de conclusies opgenomen.

2. HYDRAULISCHE RANDVOORWAARDEN

2.1. Algemeen

De volgende hydraulische randvoorwaarden zijn voor het toetsen van een asfaltbekleding op golfklappen van belang:

- Toetspeil (m t.o.v. N.A.P.). In dit rapport wordt ervan uitgegaan dat het toetspeil zich op het niveau van de berm bevindt
- Significante golfhoogte (m) en gemiddelde golfperiode (s). Deze zijn vermeld in [TCRAND, 1996].
- Verloop van de stilwaterlijn tijdens een maatgevende storm. Deze wordt bepaald door een stormopzet op het getij te superponeren.
- Tijd dat de beschouwde strook van de asfaltbekleding wordt belast door golfklappen. Deze wordt bepaald uit het verloop van de stilwaterlijn.

2.2. Golfhoogte en golfperiode

Nagegaan is met welke significante golfhoogten en gemiddelde golfperioden de dijken van de Westerschelde volgens [TCRAND, 1996] moeten worden getoetst. De significante golfhoogte blijkt te variëren tussen 0,5 en 4,1 m. De gemiddelde golfperiode is niet altijd gegeven. Daarom is deze bepaald met de volgende relatie uit [TAW, 1984]:

$$T_g = 3,5 \sqrt{H_s}$$

Hierin is T_g de gemiddelde golfperiode in seconden en H_s de significante golfhoogte in meters.

De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende waarden voor de significante golfhoogte en gemiddelde golfperiode:

Tabel 2.1

Significante golfhoogte (m)	gemiddelde golfperiode (s)
1,0	3,5
2,0	4,9
3,0	6,1
4,1	7,1

2.3. Verloop van de stilwaterlijn

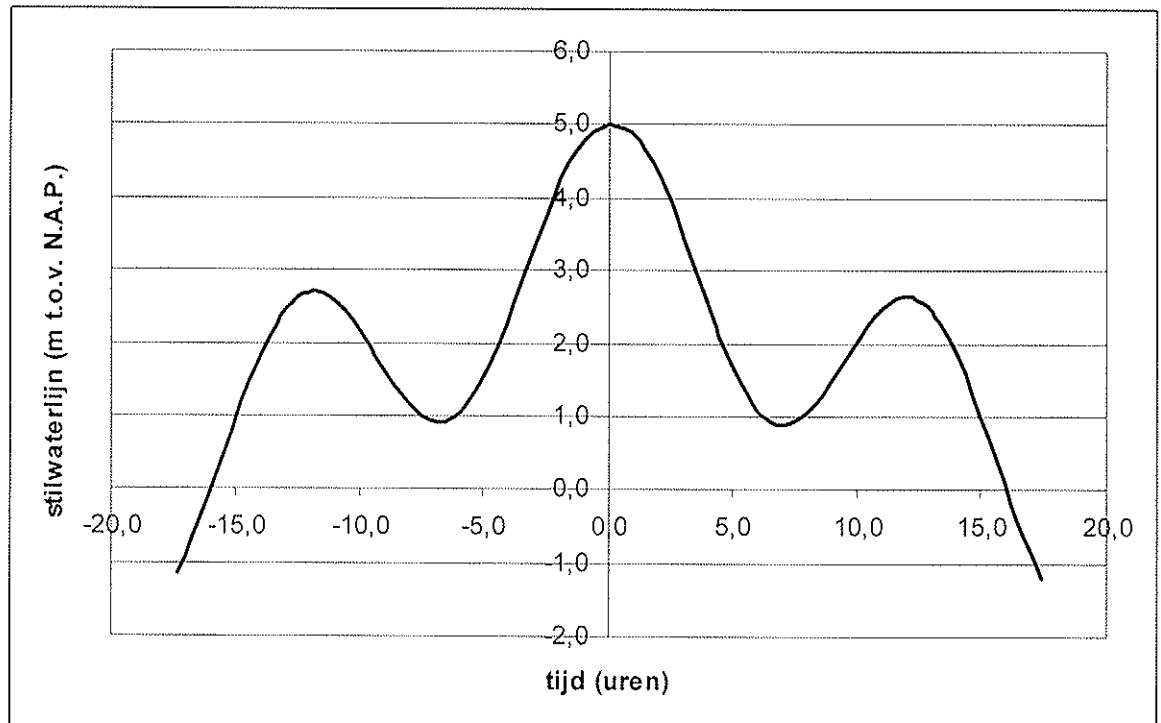
Voor het bepalen van het verloop van de stilwaterlijn wordt een stormopzet met een duur van 35 uur gesuperponeerd op de getijkromme volgens [Den Heijer, 1996].

Voor het toetsen op golfklappen wordt het ongunstiger naarmate de stilwaterlijn gedurende een langere periode in de beschouwde strook op het talud verblijft. Voorin de Westerschelde is het verschil tussen hoog- en laagwater het kleinst, wat het meest ongunstigst is. Voor het vaststellen van het verloop van de stilwaterlijn zijn de volgende gegevens aangehouden:

- Toetspeil: 5 m + N.A.P.
- Verschil tussen hoog en laagwater: 3 meter

Het getij is geschematiseerd als een sinusgolf.

Het bovenstaande resulteert in een verloop van de stilwaterlijn zoals aangegeven in figuur 2.



Figuur 2: geschematiseerd verloop stilwaterlijn

Als de stilwaterlijn op het hoogste punt is ligt deze op het niveau van de berm. Aangenomen wordt dat de berm wordt belast door golfklappen als de stilwaterlijn tussen 4,5 m en 5,0 m + N.A.P. ligt. Hieruit volgt dat de berm gedurende circa 3,2 uur wordt belast door golfklappen.

3. EIGENSCHAPPEN GRINDASFALTBETON

De volgende eigenschappen van het grindasfaltbeton zijn van belang voor het toetsen op golfklappen:

- Elasticiteitsmodulus en dwarscontractiecoëfficiënt
- vermoeiingseigenschappen ($\log(k)$ en a)

Voor de elasticiteitsmodulus en de dwarscontractiecoëfficiënt worden de volgende (conservatief ingeschatte) waarden gehanteerd:

- $E = 10.000 \text{ MPa}$
- $\nu = 0,35$

Vermoeiingseigenschappen van wegebouwmengsels worden bepaald met rekgestuurde vermoeiingsproeven. Van de waterbouwkundige mengsels worden deze eigenschappen bepaald met krachtgestuurde proeven. De met rekgestuurde proeven bepaalde vermoeiingsparameters zijn niet zonder meer vergelijkbaar met parameters die met een krachtgestuurde proef zijn bepaald. Daarom is geen gebruik gemaakt van de in de wegebouw bekende vermoeiingseigenschappen. De vermoeiingseigenschappen zijn als volgt bepaald:

- 1) Uit de geteste waterbouwkundige mengsels is een mengsel geselecteerd dat qua samenstelling het wegbouwkundige grindasfaltbeton het dichtst benadert. Dit is weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1

	Wegbouwkundig GAB	GAB parameter II onderzoek
fractie > 2mm (%m/m)	57	48
fractie > 63 μ m (%m/m)	92	94
bitumen (% "op")	5,3	6,2

- 2) Van het geselecteerde mengsel zijn de gemiddelde en karakteristieke waarden van de vermoeiingsparameters bekend. Deze zijn gegeven in tabel 3.2

Tabel 3.2

	gemiddeld	karakteristiek (95%)
log (k)	4,5	4,3
- a	3,2	3,2
s (spreiding)	0,06	

- 3) De gevonden spreiding is te gunstig omdat de proefstukken uit platen komen die in het laboratorium zijn vervaardigd. Daarom wordt de karakteristieke waarde bepaald met een spreiding zoals deze gebruikelijk is in de waterbouw (zie de resultaten van het onderzoek op de waterbouwasfaltbeton-bekleding van Noordland). Gerekend wordt met een spreiding van $s = 0,3$. De karakteristieke waarden worden dan:

$$\log(k) = 3,9$$

$$-a = 3,0$$

- 4) Het bitumenpercentage heeft een grote invloed op de vermoeiingseigenschappen. Hoe meer bitumen, hoe beter de vermoeiingseigenschappen. Daarom worden de bovenstaande eigenschappen gecorrigeerd. Dit is gedaan met behulp van de OCW-methode (krachtgestuurd) met het computerprogramma LABVIEW. Hiervoor zijn de volgende (gebruikelijke) waarden gehanteerd:

- $Tr\&b = 55^{\circ}C$
- $pen = 40, 0,1 \text{ mm}$
- $PI = - 0,53$
- bitumen $1020 \text{ kg/m}^3 (11,9 \%v/v)$
- mineraalaggregaat $2650 \text{ kg/m}^3 (82,1 \%v/v)$
- holle ruimte 6%

Met OCW-methode is voor beide bitumenpercentages het aantal lastherhalingen bij bezwijken bepaald. Deze zijn:

- $N_{OCW} \text{ bij } 5,3\% \text{ bitumen} = 1,37^{E5}$
- $N_{OCW} \text{ bij } 6,2\% \text{ bitumen} = 2,57^{E5}$

De $\log(N)$ -daling is 0,27. Aangenomen wordt dat de helling van de vermoeiingslijn (a) onveranderd blijft en dat $\log(k)$ zal verlagen. Hierdoor wordt $\log(k)$ parallel met $\log(N)$ verlaagd. Dit resulteert in de volgende vermoeiingsparameters:

- $\log(k) = 3,6$
- $a = 3,0$

Deze vermoeiingsparameters zijn bij de berekeningen gehanteerd.

4. EIGENSCHAPPEN ONDERGROND

4.1. Algemeen

De beddingsconstante of k-waarde (N/mm^3) geeft de draagkracht van de onderbouw van een verharding weer als de verticale spanning (N/mm^2) die wordt opgewekt per mm oppervlakte deflectie. De k-waarde wordt bepaald met behulp van een in situ plaatbelastingsproef.

Alleen wanneer de onderbouw zich gedraagt als een dichte vloeistof (geen schuifspanningen) is het gedrag ervan te beschrijven met een k-waarde. Doordat er in de onderbouw wel schuifspanningen optreden is de modellering middels een k-waarde niet geheel conform de werkelijkheid. Dit resulteert in de situatie dat de k-waarde mede afhankelijk is van de omvang van de belastingplaat. In het algemeen wordt de k bepaald met behulp van een lastplaat met een diameter van 762 mm (30 inch) [Houben, 1994] en [FAA, 1995]. Ook de, in dit werk gerapporteerde k-waarden hebben betrekking op deze standaard.

4.2. Ondergrond

De ondergrond bestaat uit klei of zand. De E-moduli en k-waarden van deze materialen zijn in de onderstaande tabel gegeven.

Tabel 4.1: k-waarden voor de ondergrond

	Klei	Zand
	k [N/mm^3]	k [N/mm^3]
k-waarde, TU Delft (bijlage 1) [Houben, 1994]	0.01-0.03	0.08-0.13
k-waarde, FAA (bijlage 2) [FAA, 1995]	0.014-0.027	0.08 +

Omrekening:

De k-waarde kan worden omgerekend van N/mm³ naar MPa/m door deze met 1000 te vermenigvuldigen.

FAA geeft k in LB/IN³ In SI-eenheden is dit:

$$1 \text{ LB} = 0,4535 \text{ kg} \Rightarrow 4,4443 \text{ N}$$

$$1 \text{ IN} = 0,0254 \text{ m}, 1 \text{ IN}^3 = 1,6387 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

ergo

$$1 \text{ LB/IN}^3 = 0,2712 \text{ MN/m}^3 \text{ ofwel } 0,0002712 \text{ N/mm}^3$$

Bij het ontwerp van waterbouw asfaltconstructies wordt gebruik gemaakt van de volgende waarden:

$$\begin{aligned} - k_{\text{klei}} &= 0,03 \text{ N/mm}^3 \\ - k_{\text{zand}} &= 0,10 \text{ N/mm}^3 \end{aligned}$$

Deze zijn ook in de toetsingsgrafieken in [TAW, 1999] als invoerparameter gebruikt. Beide waarden liggen in de range van de gevonden waarden, zie tabel 4.1.

4.3. Fosforslakken

Onder het GAB worden Fosforslakken toegepast. Deze slakken hebben een licht bindend karakter, aan de verdichting worden geen eisen gesteld. De verdichting wordt gerealiseerd doordat de fundering gedurende de renovatiewerkzaamheden als werkweg dienst doet.

Uit de literatuur blijkt dat de stijfheid van hydraulische fosforslakken kan oplopen tot ca. 1000 MPa, bijlage 3 en 4 [DWW,1998] en [Pelt&Hooykaas, 1998]. Omdat er bij de toepassing van deze slakken geen eisen aan de verdichting worden gesteld, wordt de stijfheid van fosforslakken in deze toepassing op 500 MPa gesteld

4.4. Fosforslakken op ondergrond

Om de k-waarde aan de bovenzijde van de fosforslakken fundering te bepalen wordt voor de ondergrond van de volgende waarden uitgegaan:

gemiddelde k-klei = $0,03 \text{ N/mm}^3$ ofwel $110,6 \text{ LB/IN}^3$

ondergrens k-zand $0,10 \text{ N/mm}^3$ ofwel $368,7 \text{ LB/IN}^3$

4.4.1. TU Delft

De TU Delft geeft een nomogram waarmee de k-waarde op een fundering kan worden bepaald als functie van de k-waarde van de ondergrond, de dikte van de fundering en de stijfheid van de fundering [Houben, 1994]. Dit nomogram is gegeven in bijlage 5. Gebruik van het nomogram leidt voor een 0,4 m dikke fundering met $E=500 \text{ MPa}$ tot de volgende k-waarden.

op klei geeft $k_{\text{totaal}} = 0,06 \text{ N/mm}^3$

op zand geeft $k_{\text{totaal}} = 0,17 \text{ N/mm}^3$

4.4.2. FAA

Ook de FAA geeft nomogrammen waarmee de k-waarde op de fundering kan worden bepaald [FAA, 1995]. De FAA geeft drie van dergelijke nomogrammen, en wel voor een slecht gegradeerde ongebonden fundering, een goed gegradeerde ongebonden fundering en een gebonden fundering.

De fosforslakken zoals die in de waterbouw worden toegepast zullen door hun licht gebonden karakter een grotere effect hebben dan ongebonden materiaal. Duidelijk zal zijn dat er echter geen sprake is van een volwaardige gestabiliseerde fundering.

De k-waarden zoals die volgens de FAA gelden zijn de volgende:

FAA, als goed gegradeerd ongebonden materiaal, zie bijlage 6

op klei geeft $k_{\text{totaal}} = 0,06 \text{ N/mm}^3$
 op zand geeft $k_{\text{totaal}} = 0,11 + \text{N/mm}^3$

FAA, als gebonden materiaal, zie bijlage 7

op klei geeft $k_{\text{totaal}} = 0,085 \text{ N/mm}^3$
 op zand geeft $k_{\text{totaal}} = 0,12 + \text{N/mm}^3$

Hieruit is voor de licht gebonden fosforslakkenfundering de volgende waarden afgeleid:

op klei geeft $k_{\text{totaal}} = 0,07 \text{ N/mm}^3$
 op zand geeft $k_{\text{totaal}} = 0,115 + \text{N/mm}^3$

4.5. Aanbeveling

Er zijn twee bronnen geraadpleegd. Voor wat betreft de k -waarde van de fosforslakken fundering op klei zijn beide bronnen in overeenstemming, een k -waarde van $0,06 \text{ N/mm}^3$ is hier reëel.

De bronnen lijken elkaar tegen te spreken voor wat betreft de k -waarde van fosforslakken op zand. Bestudering van de gebruikte nomogrammen geeft aan dat deze tegenspraak echter zeer beperkt is.

Extrapolatie binnen nomogrammen moet zoveel mogelijk worden voorkomen. De FAA nomogrammen hebben als hoogste waarde voor k -ondergrond $0,081 \text{ N/mm}^3$, zand met een k -ondergrond van $0,1 \text{ N/mm}^3$ is dus niet opgenomen in de FAA nomogrammen. Het nomogram van de TU Delft geeft bij een k -ondergrond van $0,081 \text{ N/mm}^3$ een k op de fundering van $0,13 \text{ N/mm}^3$. Deze waarde ligt zeer dicht bij de door de FAA aangegeven waarde van $0,115 \text{ N/mm}^3$, waarmee het verschil tussen beide bronnen gering blijkt.

Voorgesteld wordt gebruik te maken van het TU-Delft nomogram, bijlage 5:

Fosforslakken op klei geeft $k_{\text{totaal}} = 0,06 \text{ N/mm}^3$ (60 MPa/m)

Fosforslakken op zand geeft $k_{\text{totaal}} = 0,17 \text{ N/mm}^3$ (170 MPa/m)

5. BEREKENINGEN MET GOLFKLAP

Naast de in de vorige hoofdstukken beschreven parameters zijn in GOLFKLAP de volgende waarden aangehouden:

- Taludhelling: 1:6. Dit is een conservatieve aanname. Een steiler talud levert een grotere stootfactor op. Gekozen is voor een taludhelling 1:6 omdat bij een flauwer talud de golfklappen teveel zouden worden gespreid op een verticaal gemeten strook van 0,5 meter. Dit zou resulteren in (te) gunstige berekeningsresultaten.
- Ligging voorland: 1 m – N.A.P. Er is ervoor gekozen het voorland onder N.A.P. te leggen. In het programma worden alle golven die het brekercriterium ($0,6 \times \text{waterdiepte}$) overschrijden geminimaliseerd tot de maximaal mogelijke golfhoogte.
- Laagdikte: 0,06 m

Het programma golfklap berekent een minersom. Deze is als volgt gedefinieerd:

$$\frac{\text{optredend aantal belastingen}}{\text{maximaal toelaatbaar aantal belastingen}}$$

Als de minersom kleiner is dan 1 betekent dit dat de optredende buigspanning in het asfalt kleiner blijft dan de bezwijkspanning en dat de bekleding dus niet zal bezwijken. In tabel 5.1 zijn de optredende minersommen voor verschillende golfhoogten en beddingsconstanten gegeven.

Tabel 5.1: bepaalde minersommen

H_s	T_g	ondergrond	
		klei ($k=60 \text{ MPa/m}$)	zand ($k=170 \text{ MPa/m}$)
1	3,5	1,0E-03	2,3E-04
2	4,9	0,01	1,4E-03
3	6,1	0,04	2,7E-03
4,1	7,1	0,10	4,5E-03

6. CONCLUSIES

Met het computermodel GOLFKLAP zijn berekeningen uitgevoerd om de wegen op de bermen van de dijken langs de Westerschelde te toetsen op veiligheid.

Uit een analyse van het verloop van de stilwaterlijn blijkt dat de berm slechts een korte periode (circa 3,2 uur) wordt belast door golfklappen.

De sterkteparameters van het grindasfaltbeton zijn niet exact bekend. Op basis van gegevens van waterbouwkundige mengsels waarop enkele correcties zijn uitgevoerd is een conservatie inschatting gemaakt van de sterkteparameters.

Het grindasfaltbeton is aangelegd op een fundering van hoogovenslakken. Op basis van gegevens uit de literatuur is een inschatting gemaakt van de beddingsconstante van de fundering en de ondergrond.

Met het computermodel GOLFKLAP zijn berekeningen uitgevoerd voor verschillende optredende golfhoogten in de Westerschelde. Uit de resultaten van de berekeningen blijkt de sterkte van de beschouwde asfaltwegen goed. De gevonden minersom is maximaal 0,1.

7. LITERATUURLIJST

[DWW, 1998]

Handleiding Wegenbouw – Ontwerp Verhardingen, Rijks-
waterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, december 1998.

[Den Heijer, 1996]

Den Heijer, F., Globale indicatie van het waterstandsverloop
onder maatgevende omstandigheden, W-DWW-96-014, Dienst
Weg- en Waterbouwkunde, Delft, februari 1996.

[Houben, 1994]

Houben, L.J.M., Structural Design of Pavements, Part IV
Design of Concrete Pavements, Delft University of
Technology, May 1994

[FAA, 1995]

Federal Aviation Administration, Advisory Circular 150/5320-
6D, Airport Pavement Design and Evaluation, 7/7/95.

[Pelt&Hooykaas, 1998]

Productinformatie Fosforslakken, Pelt & Hooykaas, januari
1998.

[TAW, 1984]

Leidraad voor de Toepassing van Asfalt in de Waterbouw,
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen,
Staatsuitgeverij, Den Haag, 1984.

[TAW, 1999]

Leidraad Toetsen op Veiligheid, Technische Adviescommissie
voor de Waterkeringen, Dienst Weg- en Waterbouwkunde,
Delft, augustus 1999.

[TCRAND, 1996]

Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen,
RIKZ – RIZA - DWW, Delft, september 1996

**BIJLAGE 1: TABEL MET K-WAARDEN VOLGENS
[HOUBEN, 1994]**

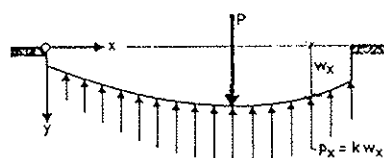


Figure 2. Definition of the 'modulus of substructure reaction' k .

In principal the modulus of substructure reaction has to be determined in situ by means of a plate bearing test, where the plate diameter and the magnitude of the load have to be in accordance with the stress conditions, actually present below the concrete top layer. A plate diameter of 760 mm (30 inch) is preferable because of the great load spreading in the stiff concrete top layer. In practice, however, mostly a plate diameter of 300 mm (12 inch) is used, because in this case the required load magnitude is much less. The modulus of substructure reaction for a 760 mm plate diameter then can be estimated by means of the following empirical relationship:

$$k_{760} = 0.4 k_{300} \quad (2)$$

For reasons of costs, plate bearing tests are not always done. Then the modulus of substructure reaction has to be determined in an indirect way, with an increasing possibility of inaccuracy.

Table 3 gives an indication of the value of the modulus of subgrade reaction k_0 . For a certain subgrade that k_0 -value should be chosen that represents the bearing capacity for the actual moisture content, degree of compaction and grading.

subgrade	k_0 (N/mm ³)
well graded gravel and gravel/sand-mixtures, hardly any fine material	0.08 - 0.13
badly graded gravel, hardly any fine material	0.08 - 0.13
gravel/sand/clay-mixtures	0.05 - 0.13
well graded sand and sand with gravel, hardly any fine material	0.05 - 0.10
badly graded sand, hardly any fine material	0.04 - 0.10
sand/clay-mixtures	0.03 - 0.08
very fine sand, sand with loam	0.03 - 0.05
vast clay	0.01 - 0.03
weak clay and peat	0.00 - 0.01

Table 3. Rough k_0 -values for various types of subgrade.

BIJLAGE 2: TABEL MET K-WAARDEN VOLGENS [FAA, 1995]

Bijlage 2

TABLE 2-3. Soil Characteristics Pertinent to Pavement Foundations

Major Divisions (1)	Letter (2)	Name (4)	Value as Base		Potential Frost Action (7)	Compressi- bility and Expansion (8)	Drainage Characteristics (9)	Compaction Equipment (10)	Unit Dry Weight (pcf) (11)	Field CBR (12)	Subgrade Modulus <i>k</i> (pci) (13)
			Value as Foundation When Not Subject to Frost Action (5)	Directly under Wearing Surface (6)							
Gravel and gravelly soils	GW	Gravel or sandy gravel, well graded	Excellent	Good	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment, steel-wheeled roller	125-140	60-80	300 or more
	GP	Gravel or sandy gravel, poorly graded	Good to excellent	Poor to fair	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment, steel-wheeled roller	120-130	35-60	300 or more
	GU	Gravel or sandy gravel, uniformly graded	Good	Poor	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment, steel-wheeled roller	115-125	25-50	300 or more
	GM	Silty gravel or silty sandy gravel	Good to excellent	Fair to good	Slight to medium	Very slight	Fair to poor	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller, close control of moisture	130-145	40-80	300 or more
	GC	Clayey gravel or clayey sandy gravel	Good	Poor	Slight to medium	Slight	Poor to practi- cally impervious	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	120-140	20-40	200-300
Coarse- grained soils	SW	Sand or gravelly sand, well graded	Good	Poor	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment	110-130	20-40	200-300
	SP	Sand or gravelly sand, poorly graded	Fair to good	Poor to not suitable	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment	105-120	15-25	200-300
	SU	Sand or gravelly sand, uniformly graded	Fair to good	Not suitable	None to very slight	Almost none	Excellent	Crawler-type tractor, rubber-tired equipment	100-115	10-20	200-300
	SM	Silty sand or silty gravelly sand	Good	Poor	Slight to high	Very slight	Fair to poor	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller, close control of moisture	120-135	20-40	200-300
	SC	Clayey sand or clayey gravelly sand	Fair to good	Not suitable	Slight to high	Slight to medium	Poor to practi- cally impervious	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	105-130	10-20	200-300
Fine- grained Soils	ML	Silts, sandy silts, gravelly silts, or diatomaceous soils	Fair to good	Not suitable	Medium to very high	Slight to medium	Fair to poor	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller, close control of moisture	100-125	5-15	100-200
	CL	Lean clays, sandy clays, or gravelly clays	Fair to good	Not suitable	Medium to high	Medium	Practically impervious	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	100-125	5-15	100-200
	OL	Organic silts or lean organic clays	Poor	Not suitable	Medium to high	Medium to high	Poor	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	90-105	4-8	100-200
	MI	Micaceous clays or diatomaceous soils	Poor	Not suitable	Medium to very high	High	Fair to poor	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	80-100	4-8	100-200
	CH	Fat clays	Poor to very poor	Not suitable	Medium	High	Practically impervious	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	90-110	3-5	50-100
Peat and other fibrous organic soils	OH	Fat organic clays	Poor to very poor	Not suitable	Medium	High	Practically impervious	Rubber-tired equipment, sheepsfoot roller	80-105	3-5	50-100
	Pe	Peat, humus and other	Not suitable	Not suitable	Slight	Very high	Fair to poor	Compaction not practical			

BIJLAGE 3: TABEL MET E-MODULI VOLGENS [DWW, 1998]

In tabel 5.1 zijn de eerder besproken soorten funderingen weergegeven, met voor elke soort fundering de in deze handleiding behandelde materialen.

Tabel 5.1 Overzicht van de in deze handleiding behandelde funderingsmaterialen per soort fundering

Soort fundering	Materialen
Ongebonden steen of steenachtig materiaal	Lavasteen Metselwerkgranulaat
Lichtgebonden steenachtige materialen	Hydraulisch menggranulaat Menggranulaat Betongranulaat Hoogovenslakkenmengsel Fosforslakkenmengsel
Cementgebonden materialen	(Teerhoudend) Asfaltgranulaatcement type 1 (Teerhoudend) Asfaltgranulaatcement type 2 Teerhoudend asfaltgranulaatemulsiecement Freesasfaltgranulaatcement Zandcement

5.2.1 Constructieve bijdrage

De constructieve bijdrage van een funderingsmateriaal verschilt per materiaal. Zo wordt aan ongebonden materialen een gemiddelde stijfheidsmodulus toegekend van 150 MPa. Deze stijfheidsmodulus is derhalve nauwelijks hoger dan die van 'zand in zandbed' [1]. De toepassing van ongebonden funderingsmaterialen vindt dan ook meestal niet plaats vanuit constructief maar vanuit functioneel oogpunt. De stijfheidsmodulus van 150 MPa mag overigens uitsluitend worden toegepast bij lagen tot een dikte van 300 mm. Bij lagen dikker dan 300 mm mag alleen voor de bovenste 250 mm worden gerekend met een stijfheidsmodulus van 150 MPa. Voor de resterende dikte moet worden gerekend met een stijfheidsmodulus van 100 MPa.

De lichtgebonden steenachtige materialen hebben een duidelijk hogere stijfheidsmodulus dan 'zand in zandbed'. Deze stijfheidsmodulus verschilt per materiaal en is bepaald met behulp van laboratorium- en praktijkonderzoek. In tabel 5.2 is voor een aantal lichtgebonden funderingsmaterialen de rekenwaarde voor de stijfheidsmodulus weergegeven [2].

De in tabel 5.2 weergegeven stijfheidsmoduli kunnen worden gehanteerd voor funderingslagen tot een dikte van 300 mm. Voor dickere lagen worden de aangegeven waarden uitsluitend voor de bovenste 250 mm gebruikt. Voor de resterende dikte wordt geadviseerd om een stijfheidsmodulus te hanteren van 150 MPa.

Door de constructieve bijdrage van een fundering kan een besparing worden bereikt op de dikte van de bitumineuze verhardingsconstructie. De grootte van deze zogenaamde asfaltdikte-reductie is afhankelijk van het toegepaste funderingsmateriaal, de gekozen laagdikte en de stijfheidsmodulus van de ondergrond. In tabel 5.3 zijn de asfaltdikte-reducties weergegeven voor een aantal representatieve situaties.

Tabel 5.2 Stijfheidsmodulus van lichtgebonden funderingsmaterialen

Materiaal	E-modulus
Menggranulaat	400 MPa
Hydraulisch menggranulaat	600 MPa ¹
Betonggranulaat	600 MPa
Hoogovenslakkenmengsel	1000 MPa
Fosforslakkenmengsel	1000 MPa

1 Deze waarde kan voorlopig worden aangehouden. De in de weg te behalen waarde zal worden vastgesteld aan de hand van metingen aan proefvakken

Bij gebruik van de in deze handleiding opgenomen ontwerpkaarten, die zijn afgeleid voor zuiver bitumineuze constructies, kan de ontwerper de in tabel 5.3 gegeven asfaltdikte-reducties toepassen om de verkregen asfaltdikten (geldig voor geheel bitumineuze constructies) benaderenderwijze te corrigeren voor toepassing van een fundering. Bij gebruik van de in § 5.4.3 genoemde computerprogramma's wordt de constructieve bijdrage automatisch in rekening gebracht.

Voor gebonden funderingsmaterialen kan, vanwege de hoge stijfheid van deze materialen en het daarbij behorende gedrag, niet met de in tabel 5.3 weergegeven asfaltdikte-reducties worden gewerkt. Funderingen van (teerhoudend) asfaltgranulaatcement en freesasfaltgranulaatcement worden voorlopig verdisconteerd als besparing op de dikte van de onderlagen, waarbij een equivalentiefactor van 2,5 wordt aangehouden. Deze equivalentiefactor geeft aan dat de geadviseerde laagdikte van 250 mm asfaltgranulaatcement constructief overeenkomt met 100 mm asfalt. Voor zandcementfunderingen is een afzonderlijke berekeningsmethode beschikbaar. Deze methode is beschreven in de handleiding van de SAG-VNC [3] voor het dimensioneren van asfaltverhardingen met een zandcementfundering. Voor nadere informatie over deze methode wordt naar de genoemde publicatie verwezen.

Bij toepassing van een fundering dient een minimale waarde te worden aangehouden voor de laagdikte van de asfaltconstructie. Deze minimale laagdikte, de asfaltdekking, is bedoeld om de kans op scheurdoorslag vanuit de fundering te beperken. In tabel 5.4 is deze asfaltdekking weergegeven voor verschillende funderingsmaterialen. Bij het toepassen van asfaltdikte-reducties moet deze minimale asfaltdekking in acht worden genomen.

5.2.2 Laagdikten funderingen

In tabel 5.3 is een aantal dikten voor de funderingslaag weergegeven. Hierbij geldt een laagdikte van 200 mm als minimumwaarde, die voor ongebonden materialen, betongranulaat en (hydraulisch) menggranulaat slechts mag worden toegepast voor

Tabel 5.3 Asfaltdikte-reducties in mm voor verschillende funderingsmaterialen

Funderingsmateriaal	Dikte (mm)	Gemiddelde E-modulus van de ondergrond		
		50 MPa	100 MPa	150 MPa
Ongebonden steen of steenachtig materiaal	200 ⁽¹⁾	-	10	0
	250	-	10	0
	300	-	10	0
	400	20	-	-
Menggranulaat	200 ⁽¹⁾	-	35	30
	250	-	35	30
	300	-	40	35
	400	60	-	-
Hydraulisch menggranulaat	200 ⁽¹⁾	-	55	50
	250	-	55	50
	300	-	60	55
	400	90	-	-
Betongranulaat	200 ⁽¹⁾	-	55	50
	250	-	55	50
	300	-	60	55
	400	90	-	-
Hoogovenslakkenmengsel Fosforslakkenmengsel	200	-	85	80
	250	-	95	90
	300	-	105	95
	400	130	-	-
Cementgebonden funderingsmaterialen	Zie toelichting in de tekst			

- (1) Uitsluitend bij een belasting van minder dan 60 equivalente standaardlasten per werkdag per rijrichting
- Niet aanbevolen

Tabel 5.4 Minimumwaarden voor de asfaltdekking

Fundering	Minimale asfaltdekking
Ongebonden steen of steenachtig materiaal	120 mm
Lichtgebonden steenachtige materialen	120 mm
(Teerhoudend) Asfaltgranulaatcement	120 mm (VK 2,3) 140 mm (VK 4)
Freesasfaltgranulaatcement	120 mm (VK 2,3) 140 mm (VK 4)
Zandcement	130 mm (VK 2,3) 150 mm (VK 4)

BIJLAGE 4: PRODUCTOMSCHRIJVING FOSFORSLAKKEN [PELT&HOOPYKAAS]

Fosforslakkenmengsel

Productomschrijving en herkomst

Fosforslakkenmengsel is een mengsel van gebroken fosforslak, gegranuleerde hoogovenslak en/of LD-slak, welke afkomstig is uit de productie van Pelt & Hooykaas-Vlissingen BV. Fosforslak komt vrij als een steenachtig bijproduct bij de electrothermische ontsluiting van fosfor uit fosfaaterts. De productie hiervan vindt plaats bij Thermphos BV te Vlissingen. Het gehele proces wordt gestuurd op de slaksamenstelling. De vloeibare slak, met een temperatuur van ca. 1.500° C, wordt op een gedefinieerde gecontroleerde wijze afgekoeld.

Toepassingsgebied

Fosforslakkenmengsel is een lichtgebonden steenfunderingsmateriaal voor asfalt-, beton- en elementenverhardingen.

Producttechnische aspecten

Fosforslakkenmengsel wordt geproduceerd in de graderingen 0/20 en 0/40 mm.

Relevante specificaties zijn:

Proctordichtheid (E.P.D.) ¹	ca. 2.100 kg/m ³
Vochtgehalte	ca. 4%
Verbrijzelingsfactor	ca. 0,75
IJzer- en vochtbestendigheid	goed
C.B.R. -waarde (0 dag)	≥ 50%
CBR toename ^{28 dagen} /0 dag	≥ 125%

¹ volgens KOAC rapport V 9703270307 dd 03-09-97

Fosforslakkenmengsel voldoet aan de eisen voor verhardingslagen van steenmengsel, zoals opgenomen in de Standaard RAW Bepalingen 1995.

Mechanische eigenschappen

Door de hydraulische eigenschappen van een Fosforslakkenmengsel ontstaat na verdichting een fundering met een geleidelijk toenemend draagvermogen. Zodoende worden aslasten beter naar de

ondergrond verspreid. Dit draagvermogen kan bepaald worden door deflectiemetingen. De gemiddelde stijfheidsmodulus van Fosforslakkenmengsel bedraagt ca. 1.000 MPa. Met behulp van b.v. het rekenprogramma ASCON van de RWS-DWW kunnen reducties in asfaltdikte bepaald worden tussen verschillende funderingsmaterialen.

Steenmengsel	Laagdikte	Asfaltdikte-reductie
Menggranulaat	250 mm	35 mm
Betongranulaat	250 mm	55 mm
FS-mengsel	250 mm	95 mm

(E-modulus ondergrond = 100 MPa)

Voor het verkrijgen van een groot draagvermogen en het tegengaan van vervormingen is een goede verdichting (dynamisch en statisch) van het Fosforslakkenmengsel van groot belang.

Milieutechnische aspecten

Fosforslakkenmengsel is een Nederlandse secundaire bouwstof. De toepassing levert een bijdrage aan de besparing van primaire grondstoffen. Getoetst aan de vigerende regelgeving voldoet Fosforslakkenmengsel aan alle criteria, welke gelden voor een categorie 1 bouwstof (vrij toepasbaar).

Daarnaast is een Fosforslakkenmengsel ook in de 2^e levensfase volledig herbruikbaar.

Informatie

Voor nader advies of voor de toezending van uitgebreide rapporten verzoeken wij u contact op te nemen met onze afdeling Weg- en Waterbouw.

telefoon: 010-4285111

**BIJLAGE 5: NOMOGRAM TER BEPALING VAN DE K-
WAARDE VAN DE ONDERGROND VOLGENS [HOUBEN,
1994]**

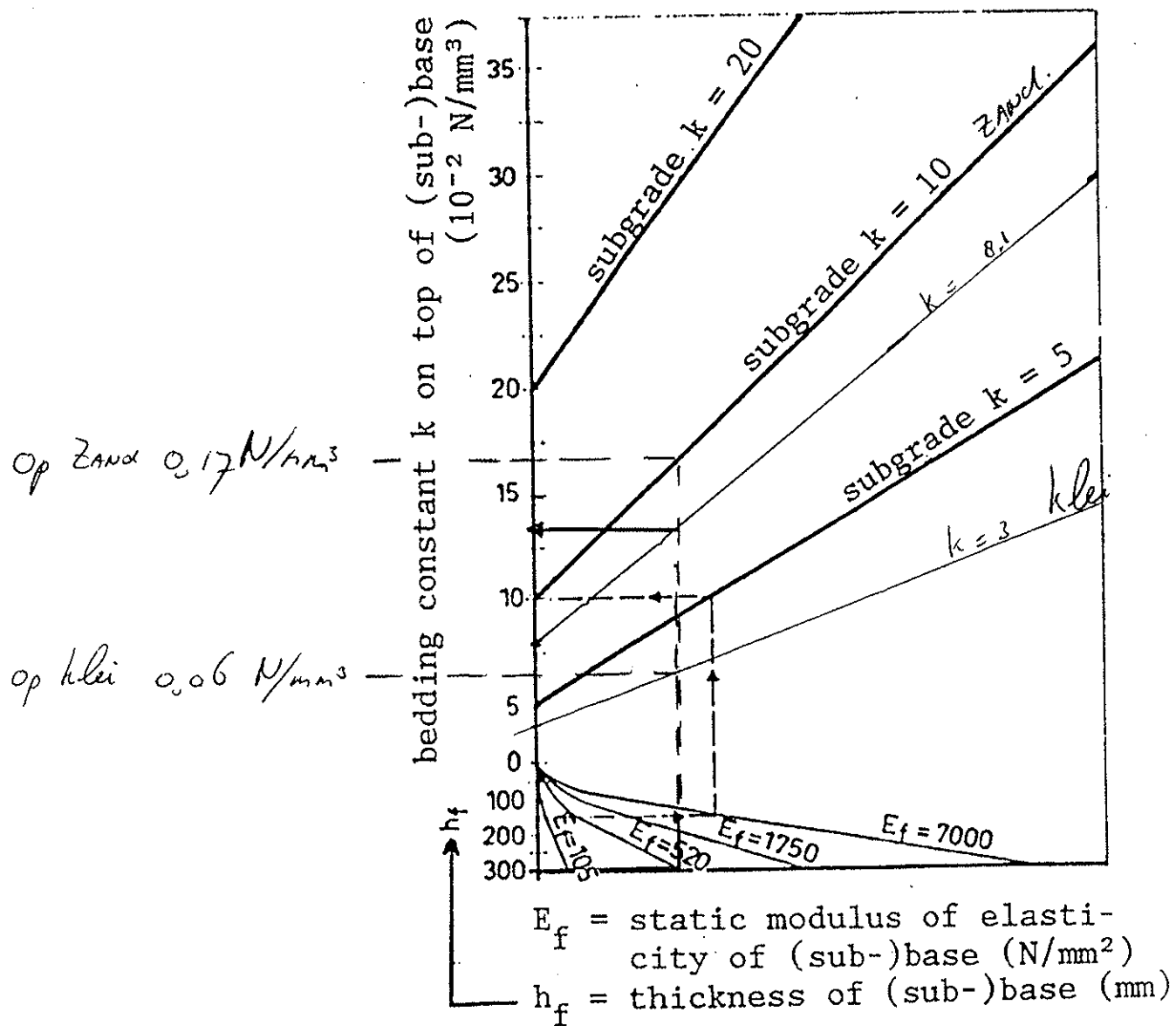


Figure 4. Nomograph for the determination of the k -value of (sub-)base layer (1).

**BIJLAGE 6: NOMOGRAM TER BEPALING VAN DE K-
WAARDE VAN DE ONDERGROND VOOR EEN
ONGEBONDEN FUNDERING VOLGENS [FAA, 1995]**

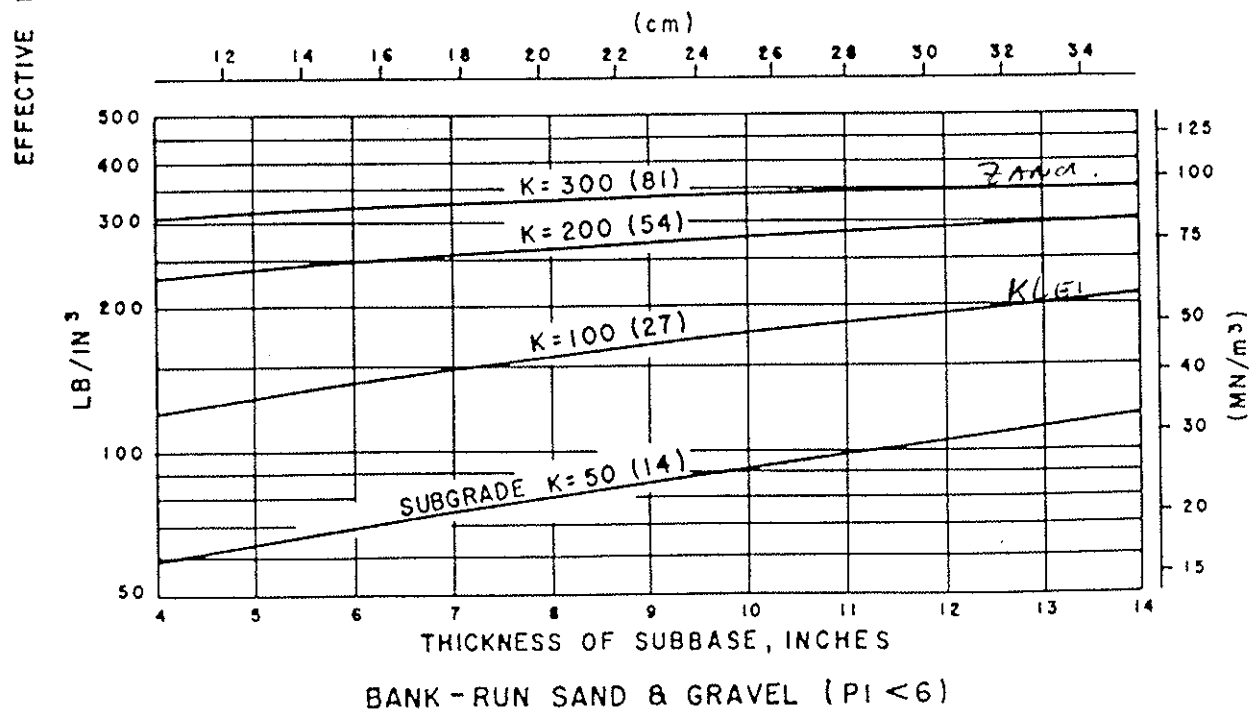
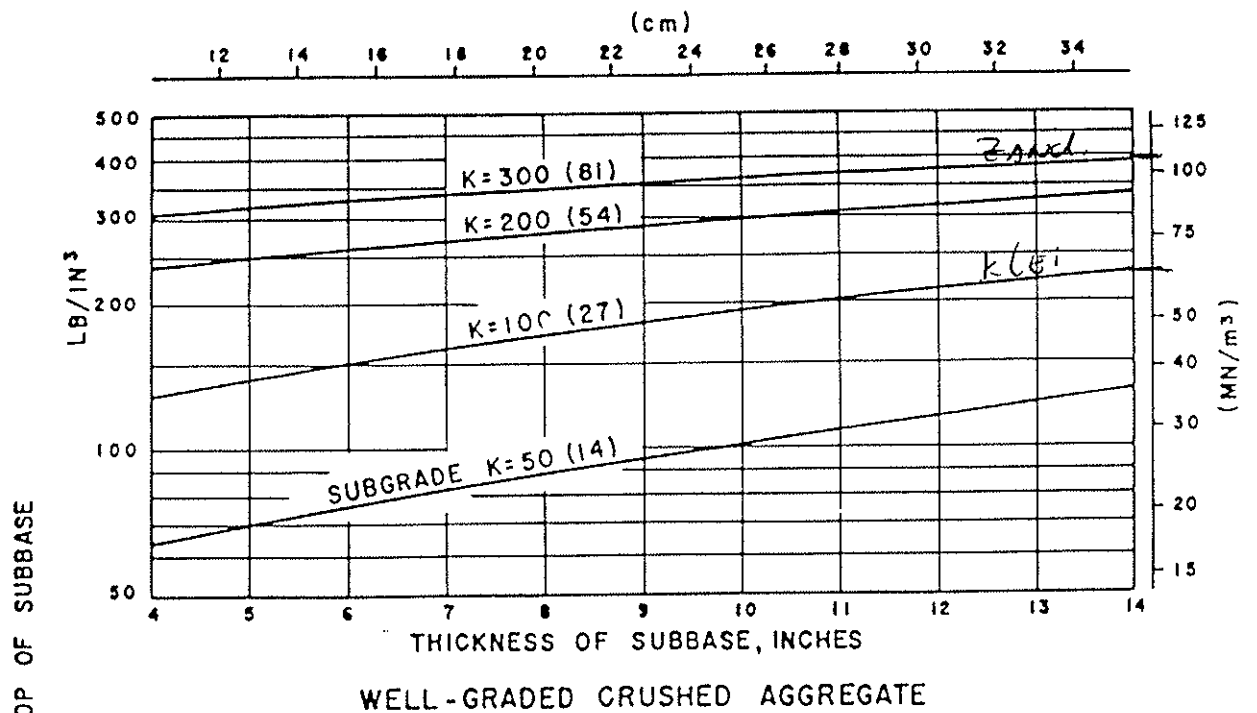


FIGURE 2-4. EFFECT OF SUBBASE ON MODULUS OF SUBGRADE REACTION

$$1 \text{ MN/m}^3 = 0.001 \text{ N/mm}^2$$

$$77170781 \text{ N/m}^3 = 0.77170781 \text{ MN/m}^3$$

**BIJLAGE 7: NOMOGRAM TER BEPALING VAN DE K-
WAARDE VAN DE ONDERGROND VOOR EEN GEBONDEN
FUNDERING VOLGENS [FAA, 1995]**

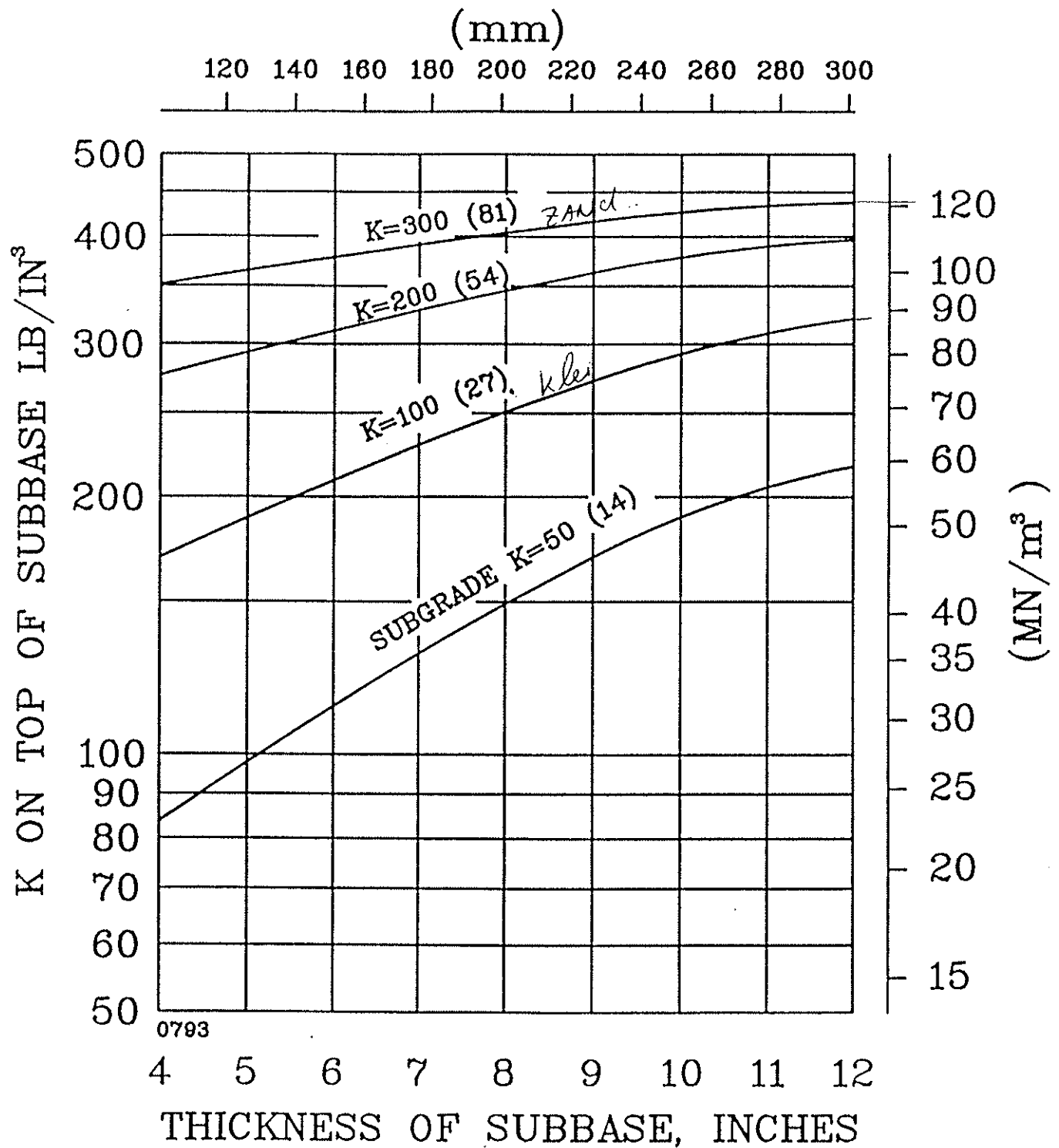


FIGURE 3-16 EFFECT OF STABILIZED SUBBASE ON SUBGRADE MODULUS