

Pomp Accumulatie Centrale IJsselmeer



Bijlagen fase 1
"Bekkendijken"

Pomp Accumulatie Centrale Ijsselmeer

BIJLAGEN
FASE 1

BEKKENDUKEN



door :

- PAC - projectgroep**
- Rijkswaterstaat
-  - **Hollandsche Beton Groep NV**
-  - **Ballast Nedam Groep NV**
- Raadg. Ing. Bur. Lievense

voor :

**Nederlandse
Energie
Ontwikkelings
Maatschappij**



De rapportage van de Pomp Accumulatie Centrale IJsselmeer studie fase 1 waarvan deze deelrapportage onderdeel vormt kwam tot stand in opdracht van de Nederlandse Energie Ontwikkelings Maatschappij B.V. (NEOM) onder verantwoordelijkheid van, behalve de NEOM, de PAC-Projectgroep, waarin participeren:

- Rijkswaterstaat
- Hollandsche Beton Groep N.V.
- Ballast Nedam Groep N.V.
- Raadgevend Ingenieurs Bureau Lieveense B.V.

en waaraan tevens hebben medegewerkt:

- N.V. Samenwerkende Electriciteits Productiebedrijven SEP
- Rijksdienst voor de IJsselmeer Polders
- Zanen Verstoep N.V.
- Bitumarin B.V.
- N.V. Tot Keuring van Electrotechnische Materialen KEMA
- Laboratorium voor Grondmechanica
- Waterloopkundig Laboratorium
- Technische Hogeschool
Afdeling der Civiele Techniek
Laboratorium voor Vloeistofmechanica
- Fundamentum B.V.



BIJLAGEN
FASE 1
BEKKENDIJKEN

Bijlage 1		Overzicht van de voor deze nota relevante PAC2-stukken
Bijlage 2	PAC2-T-336	Locaties bekken IJsselmeer d.d. 01-09-'85
Bijlage 3	PAC2-T-206	PAC-dijken noord- en zuidlocaties met ballast, varianten D, E, F, G en H
Bijlage 4	PAC2-T-207	PAC-dijken, noord- en zuidlocaties, bemalen, varianten D, E, F, G en H
Bijlage 5	PAC2-T-208	PAC-dijken, profielen K zuid bemalen, bekken 24/16
Bijlage 6	PAC2-T-209	PAC-dijken, details 1 t/m 4 voor noordelijke locaties en voor dijken in zuidelijke locaties met grondverbetering
Bijlage 7	PAC2-T-218	PAC-dijken, details 5 t/m 9, voor noordelijke locaties bemalen en geballast
Bijlage 8	PAC2-T-219	PAC-dijken, details 10 t/m 15, voor zuidelijke locaties, dijken op grondverbetering geballast en bemalen
Bijlage 9	PAC2-T-220	PAC-dijken, details 16 t/m 19, voor zuidelijke locaties, dijken op Holoceen
Bijlage 10	PAC2-T-221	PAC-dijken, alternatief kist op dijk, bekken 40/26,5 noord
Bijlage 11	PAC2-T-222	PAC-dijken, alternatief kist op dijk, bekken 24/16 noord
Bijlage 12	PAC2-T-229	PAC-dijken, alternatief kist op dijk, details 20 en 21.
Bijlage 13	PAC2-T-239	Schetsen voor 50 en 60 m bekkendijken
Bijlage 14	PAC2-T-266	50 m bekkendijk met details
Bijlage 15	PAC2-T-240	PAC-bekkens 50/40 en 60/50 kruinelementen in gewapende grond
Bijlage 16	PAC2-T-308	Alternatieve dijkconstructies met gewapende grond
Bijlage 17	PAC2-N-309	Bekkendijkconstructies met behulp van terre armee
Bijlage 18	PAC2-M-108	Hogere PAC-bekkens freatische lijnen en kwelverlies
Bijlage 19	PAC2-N-207	Zettingen hoge varianten op holoceen
Bijlage 20	PAC2-N-298	Structural reliability analyses (concept)



Bijlage 21	PAC2-N-267	Risico-analyse dijk met kruinelement
Bijlage 22		Ontwerpregels (structural reliability) dijken met kruinelement
Bijlage 23	PAC2-N-284	Filterontwerp (concept)
Bijlage 24	PAC2-N-304	Deformatieberekeningen met behulp van eindige elementenmethode
Bijlage 25	PAC2-N-316	Aansluitingenproblematiek
Bijlage 26	PAC2-N-311	Gedrag bitumineuze (afdichtings)materialen onder vorstomstandigheden
Bijlage 27	PAC2-N-277	IJsproblematiek
Bijlage 28	PAC2-N-295	Windgolven en windopzet



A L G E M E E N

Bijlage 1

KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-M-026		Een veiligheidsnorm voor PAC.	28-11-1984
PAC2-M-053	M.A. Viergever	Locatiekeuze aan de hand van de bodemopbouw.	19-12-1984
PAC2-R-083	LGM	Ontwerp uitvoering ringdijken Energiebekken IJsselmeergebied.	08-01-1985
PAC2-M-094	J.M. van Westen	Locatiekeuze PAC in IJsselmeer.	11-01-1985
PAC2-N-124	Kevelam	Locatiekeuze bekken.	29-01-1985
PAC2-V-145	Beaufort	Grondverbetering. Het effect c.q. de noodzaak van de toepassing van grondverbetering onder de bekende PAC-locatie.	07-02-1985
PAC2-V-148	Boon	Notitie betreffende afdichting dijken PAC.	18-02-1985
PAC2-N-161	Kossen	Globale omschrijving en kostenramingen van aanpassingen t.g.v. peilfluctuaties op het IJsselmeer door PAC.	
PAC2-N-166	Kevelam	Aanpak risico-analyse.	27-02-1985
PAC2-N-165	Beaufort	Randvoorwaarden.	27-02-1985
PAC2-T-167	v. Schaik	Locatie bekken IJsselmeer d.d. 27-02-1985. Zuid: klein (2 x) + middel, Noord: klein + groot.	27-02-1985
PAC2-N-201	Beaufort	Compartimenteringsdijk PAC	05-03-1985
PAC2-M-205	Kevelam	Veiligheid	18-03-1985
PAC2-N-243	Hamer	Inventarisatie ijsbelastingen	09-04-1985
PAC2-N-244	Roos	Doorlatendheid asfaltbeton	09-04-1985
PAC2-N-245	Denneman	Muskusrat e.d.	25-03-1985
PAC2-N-249	Kossen	Peilfluctuaties in het IJsselmeer	april-1985
PAC2-N-250	Altink	Zandwinning IJsselmeer deel 2	12-04-1985



A L G E M E E N

KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-N-272	Hebbink	Problemen met ijzer- en zwavelafzettingen bij filters	14-05-1985
PAC2-N-277	Hamer	IJsproblematiek	15-05-1985
PAC2-N-284	Beaufort	Filterontwerp PAC-project	30-05-1985
PAC2-N-293	Spaargaren	Leegzetten van het bekken	20-05-1985

KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-T-169	Takx	Geologische profielen zuidelijk gedeelte IJsselmeer.	28-02-1985
PAC2-T-170	Takx	Geologische profielen zuidelijk gedeelte IJsselmeer.	28-02-1985
PAC2-T-171	Takx	Geologische profielen zuidelijk gedeelte IJsselmeer.	28-02-1985
PAC2-T-172	Takx	Geologische profielen noordelijk gedeelte IJsselmeer.	28-02-1985
PAC2-M-273	Kamphuis/Vergeer	Beperkt grondmechanisch onderzoek IJsselmeer	08-05-1985
PAC2-B-274	Kossen	Zandwinning op het Markermeer	14-05-1985



V A R I A N T E N

KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-M-027	Lievensse B.V.	Ontwerpgegevens basisvarianten PAC-IJsselmeer.	28-11-1984
PAC2-M-032	Beaufort	Bekendijken, aandachtspunten t.b.v. plan van aanpak.	28-11-1984
PAC2-M-105	G.A. Beaufort	Bekendijken, aanpak, ontwerp (concept).	16-01-1985
PAC2-M-128	Beaufort/Kevelam	Alternatieven.	04-02-1985
PAC2-M-129	Horden	Alternatieve "dijk"-constructies.	04-02-1985
PAC2-M-153	Beaufort	3 PAC dijkschetsontwerpen 13/2 - 15/2.	19-03-1985
PAC2-M-157	Beaufort	Selectie voorkeursvarianten PAC-dijken uit PAC2-M-105.	20-02-1985
PAC2-N-159	Horden	Alternatieve dijkconstructies; stand van zaken 26-02-1985.	25-02-1985
PAC2-N-210	Altink	Keuze voorkeursvarianten.	17-03-1985

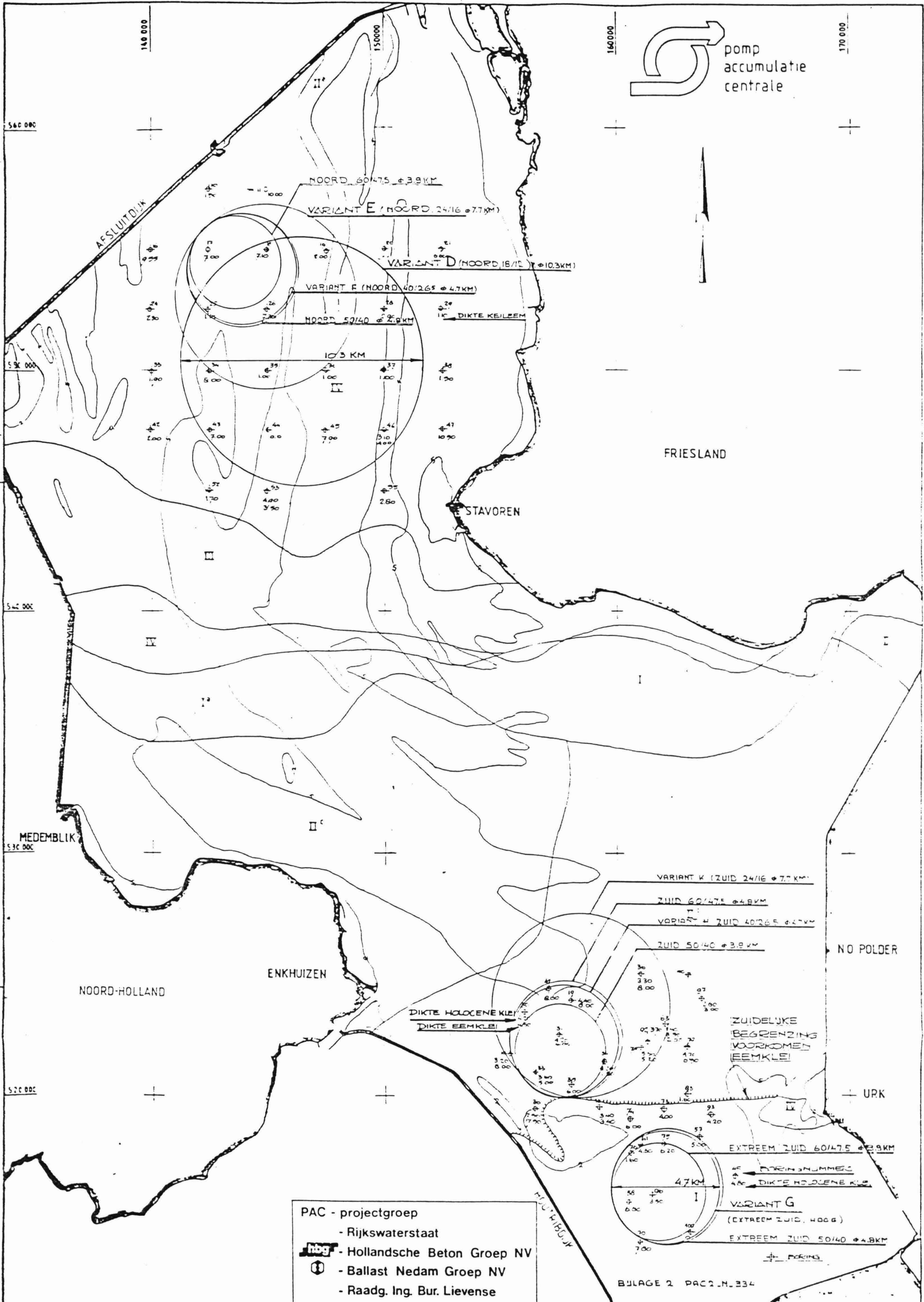
KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-M-108	J.C. v.d. Burg	Grondwaterstromingsberekeningen PAC - IJsselmeerlocatie.	08-01-1985
PAC2-M-109	J.H. Swart G. Vergeer W. Dekker	Stabiliteitsberekeningen PAC - IJsselmeerlocatie.	15-01-1985
PAC2-M-133	Viergever	Zettingen van dijken.	05-02-1985
PAC2-V-149	Vergeer	Samenvatting van ontwerpregels betreffende piping (zandmeevoerende welvorming).	20-02-1985
PAC2-V-150	Viergever	Consolidatieberekening.	15-02-1985
PAC2-V-151	v.d. Burg	Kwelberekening bij gedeeltelijke bekkenbodemafdichting en standverbetering bij PAC-IJsselmeer.	15-02-1985
PAC2-M-156	Hamer, Vergeer Viergever, Kamphuis	Stabiliteit dijken (concept d.d. 11-02-85)	19-02-1985
PAC2-N-158	Barends	Kwel veroorzaakt door 'n Polder of Spaarbekken LGM.	juli 1982
PAC2-N-160	v.d. Burg	Kwelberekeningen.	
PAC2-N-211	Hamer	Stromingspatroon in het bekken tijdens het pompen.	13-03-1985
PAC2-N-224	Beerda	Windgolven.	21-03-1985
PAC2-N-225	v.d. Burg	Bepaling freatische lijn in de dijk voor PAC-IJsselmeer.	21-03-1985
PAC2-N-228	Kamphuis	Deformatie dijktaalud.	
PAC2-M-253		Kwelmeting in het spaarbekken "De Gijster", Gemeente Werken Rotterdam	juli 1980
PAC2-N-267	Horden	Risico-analyse dijk met kruinelement	01-05-1985
PAC2-N-282	Kamphuis	Hydraulische fracturing	21-05-1985
PAC2-N-295	Beerda	Windgolven en windopzet	04-06-1985



B E R E K E N I N G E N

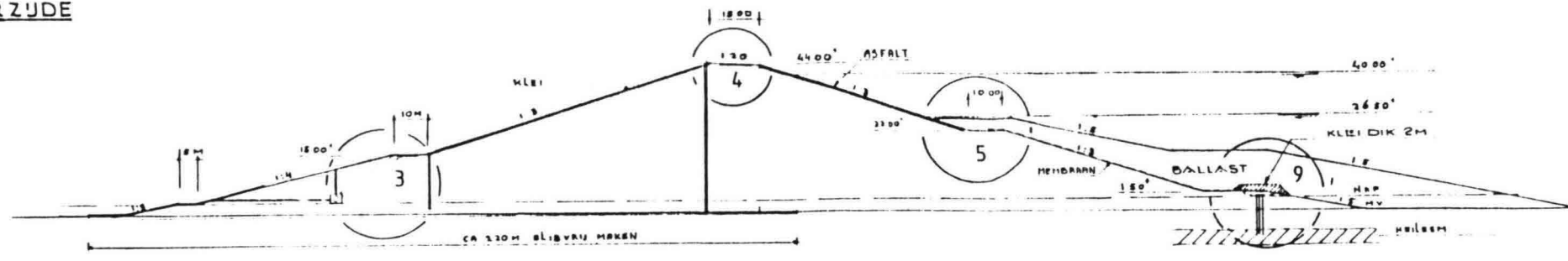
KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-N-297	Beaufort	Ontwerpprincipes bekken taludbekledingen indien op "leegzetten bekken" gerekend moet worden	14-05-1985
PAC2-N-298	Kevelam	Structural Reliability Analysis	

KENMERK	AUTEUR	OMSCHRIJVING	DATUM
PAC2-V-216	Beaufort	Uitgebreid verslag senioren-PAC-overleg van 4 en 11 maart 1985 (zie tevens PAC2-V-189).	15-03-1985
PAC2-V-232	Beaufort	Aantekeningen gesprekken met dhr. Laumans op 7 en 8 maart 1985.	20-02-1985
PAC2-V-191	Altink	Verslag: conferentie "Failures in Earthworks"	06-03-1985
PAC2-B-237	Laumans	Brief naar aanleiding van gesprekken damontwerpen	01-04-1985
PAC2-V-238	Viergever	Gesprek met L.G.M. d.d. 01-04-1985 over deformatie	02-04-1985
PAC2-V-248	Beaufort	Besprekingsverslag Gemeente Werken Rotterdam	11-04-1985
PAC2-B-265	Laumans	Comment on the structural plan of the Pumped Storage Reservoir	28-03-1985

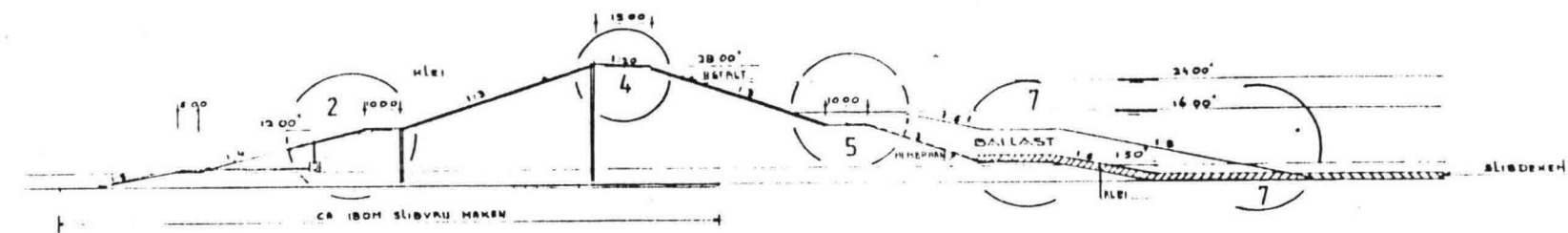


USSELMEERZUDE

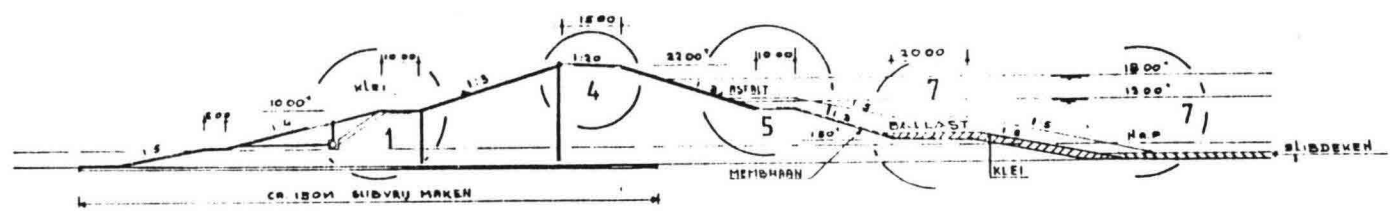
BEKKENZUDE



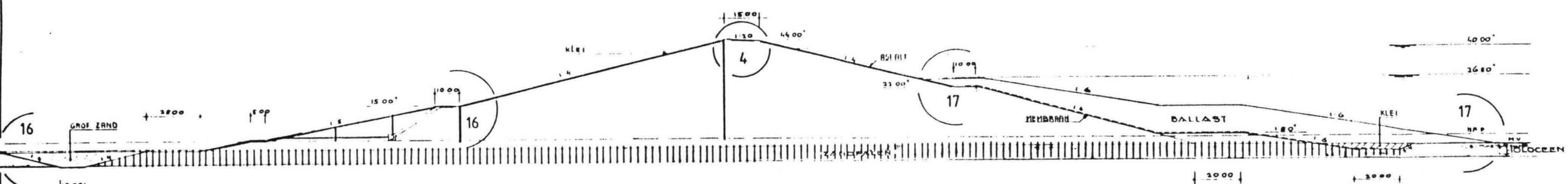
VARIANT Fc (HOORD. HOOG 40/26^s)



VARIANT Ea (HOORD. MIDDEN 24/16)



VARIANT Da (HOORD. LANG 18/12)

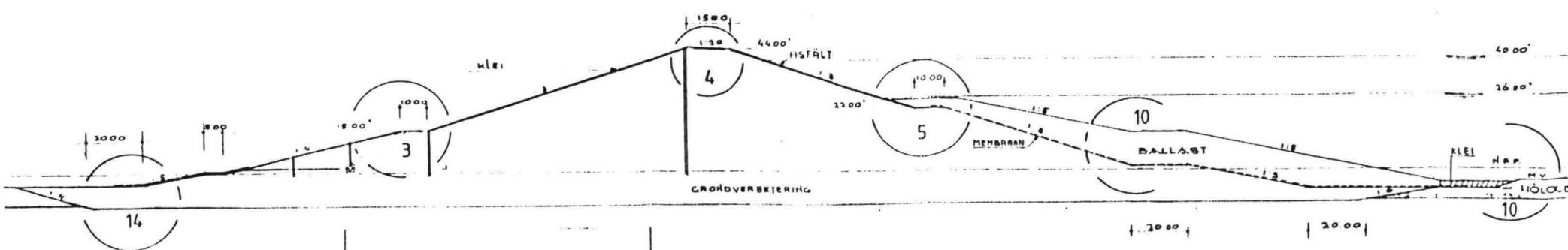


VARIANT G1a (EXTREEM ZUID HOOG 40/26^s)
TEVENS VARIANT H1a (ZUID HOOG 40/26^s)

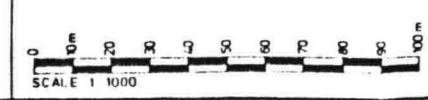
- PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
- hbg - Hollandse Beton Groep NV
- ① - Ballast Nedam Groep NV
- Raadg. Ing. Bur. Lieveens

VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTEN ZIE TEK PAC2-T-200
VOOR PAC DIJKEN BEHALEN (ZONDER BALLAST) ZIE TEK PAC2-T-207
VOOR DETAILS 1T/M4 ZIE TEK PAC2-T-208
5T/M9 ZIE TEK PAC2-T-218
10T/M15 ZIE TEK PAC2-T-219
16T/M19 ZIE TEK PAC2-T-220

BULAGE 3 PAC2.N.273
BULAGE 3 PAC2.N.334



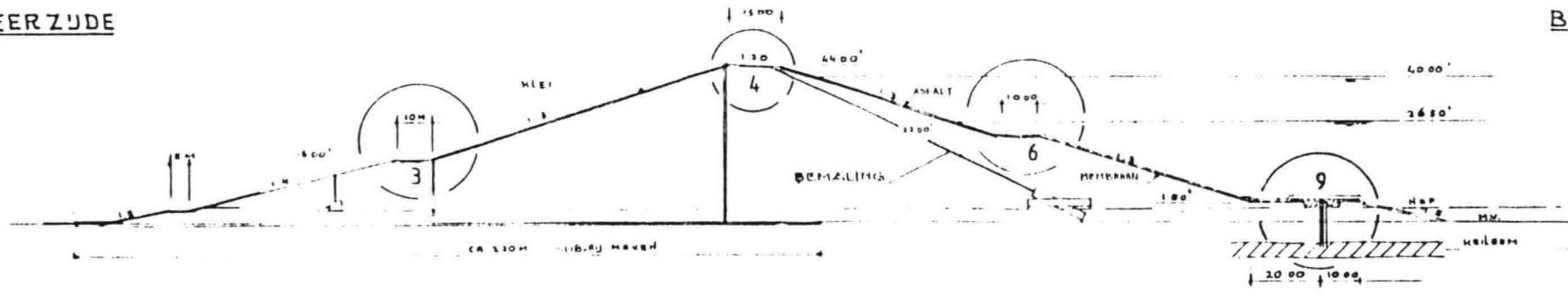
VARIANT G2a (EXTREEM ZUID HOOG 40/26^s)
TEVENS VARIANT H2a (ZUID HOOG 40/26^s)



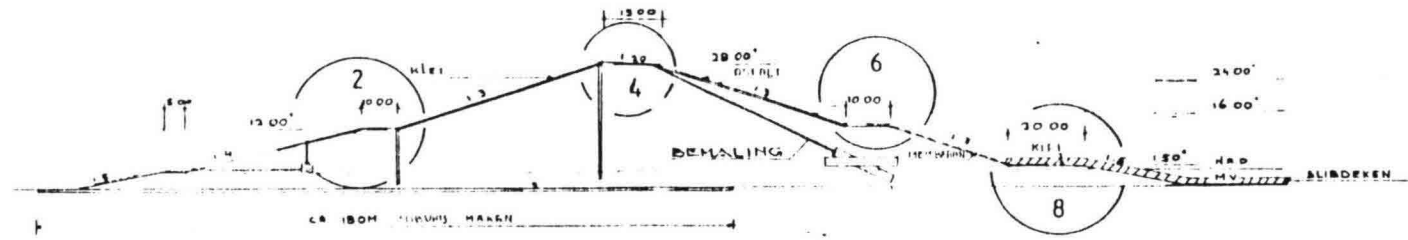
c			
b			
a	1.9.85		
	Datum	Rev	
Onderswerp			
PAC: DIJKEN NOORD EN ZUID LOCATIES MET BALLAST VARIANTEN D,E,F,G EN H			
PAC		Pomp Accumulatie Centrale	
Form	A1	Schaal: 1:1000	
Tek nr	PAC2.T.206	Datum: 25.9.85	
		Rev	A

USSELMEERZUDE

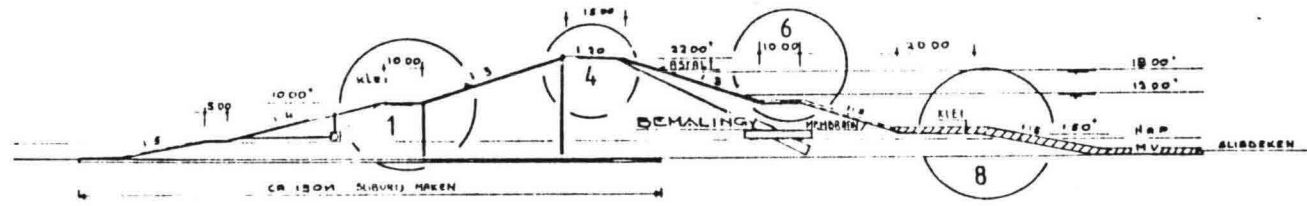
BEKKENZUDE



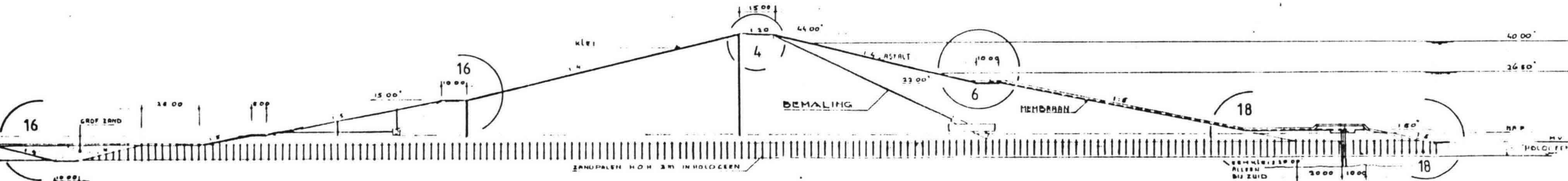
VARIANT Fd (HOORD. HOOG 40/26)



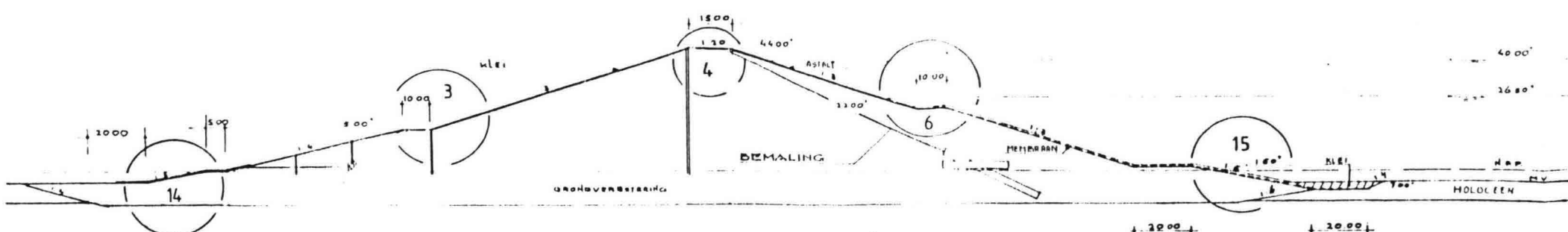
VARIANT Eb (HOORD. MIDDE 24/16)



VARIANT Db (HOORD. LAAG 18/12)



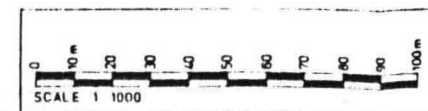
VARIANT G1d (EXTREM ZUID 40/26), ZONDER EEMKLEI
TEVENS VARIANT H1d (ZUID 40/26), MET EEMKLEI



VARIANT G2b (EXTREM ZUID 40/26)
TEVENS VARIANT H2b (ZUID 40/26)

PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lievegoed

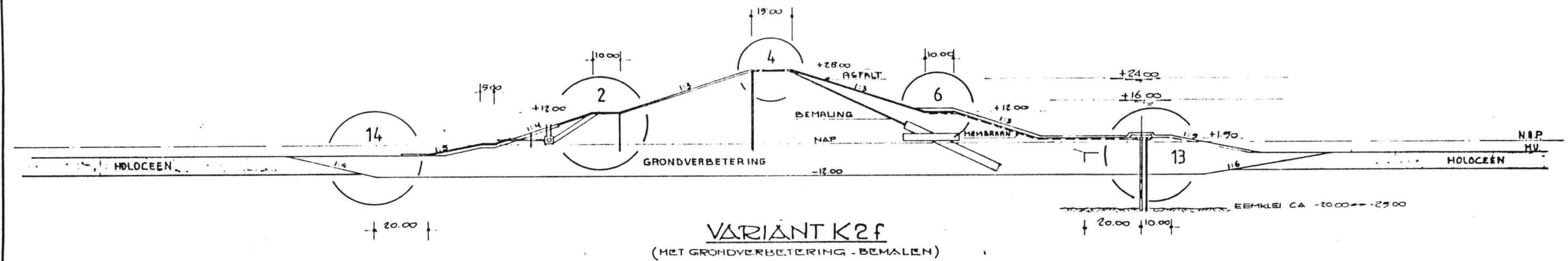
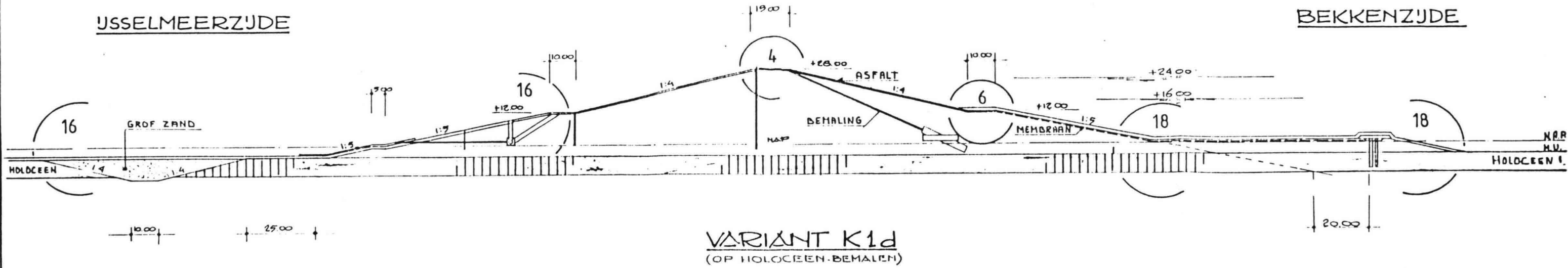
VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTEN ZIE TEK. PAC2-T-200
 VOOR PAC DIJKEN MET BALLAST (NIET BEMALEN) -
 ZIE TEK. PAC2-T-206
 VOOR DETAILS: 1 T/M 4 ZIE TEK. PAC2-T-208
 6 T/M 8 ZIE TEK. PAC2-T-210
 10 T/M 15 ZIE TEK. PAC2-T-212
 16 T/M 18 ZIE TEK. PAC2-T-214
 BIJLAGE 4 PAC2.M.213
 BIJLAGE 4 PAC2.M.334



c		
b		
a	1:1000	
P.A.C. DIJKEN NOORD EN ZUIDLOCATIE BEMALEN VARIANTEN D,E,F,G EN H		
Pump Accumulatie Centrale		A1 PAC2.T.207

USSELMEERZIJDE

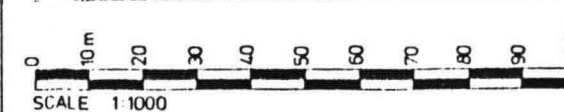
BEKKENZIJDE




VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTEN ZIE TEK. PAC2-T-200
 VOOR PAC DIJKEN TYPE D,E,F,G EN H ZIE TEK. PAC2-T-206 EN 207
 VOOR DETAILS 1T/M4 ZIE TEK PAC2-T-209
 5T/M9 ZIE TEK PAC2-T-218
 10 T/M15 ZIE TEK PAC2-T-219
 16 T/M19 ZIE TEK PAC2-T-220

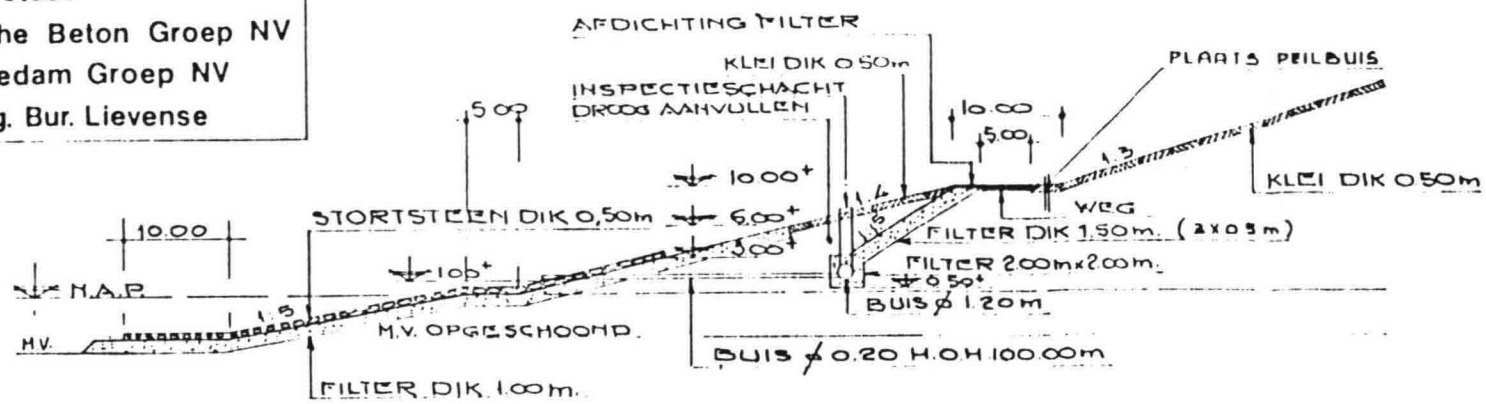
BIJLAGE 5 PAC2.N.223
 BIJLAGE 5 PAC2.N.334

PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense

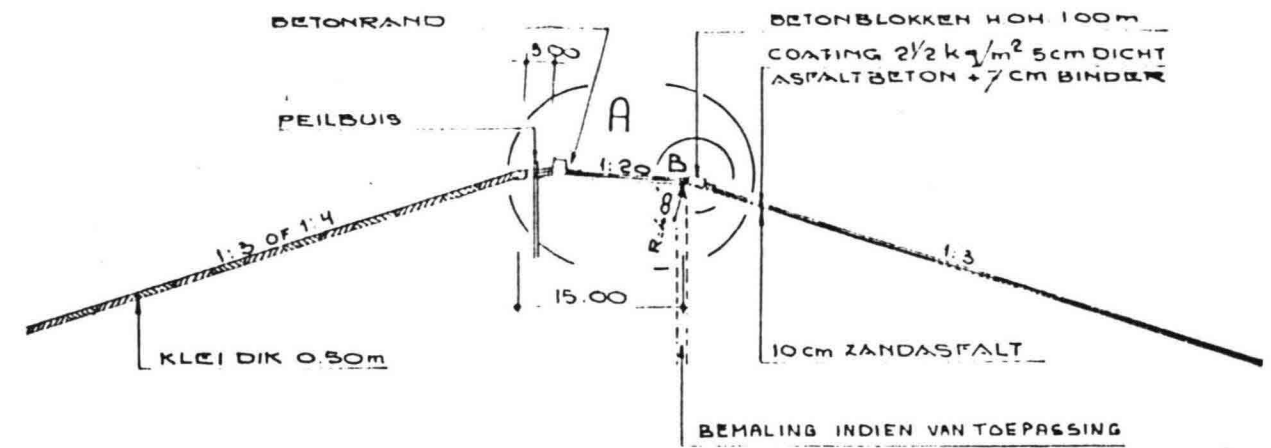


c		
b		
a	1.9.85	
	Datum	Rev.
Onderwerp: PAC, DIJKEN, PROFIELEN K ZUID BEMALEN BEKKEN 24/16		
 Pomp Accumulatie Centrale	Form:	Schaal: 1:1000
	A2	Oet: W.H.H.S Datum: 29-03-87
	Ges:	Datum:
	Tek nr. PAC2.T.208	Rev. A

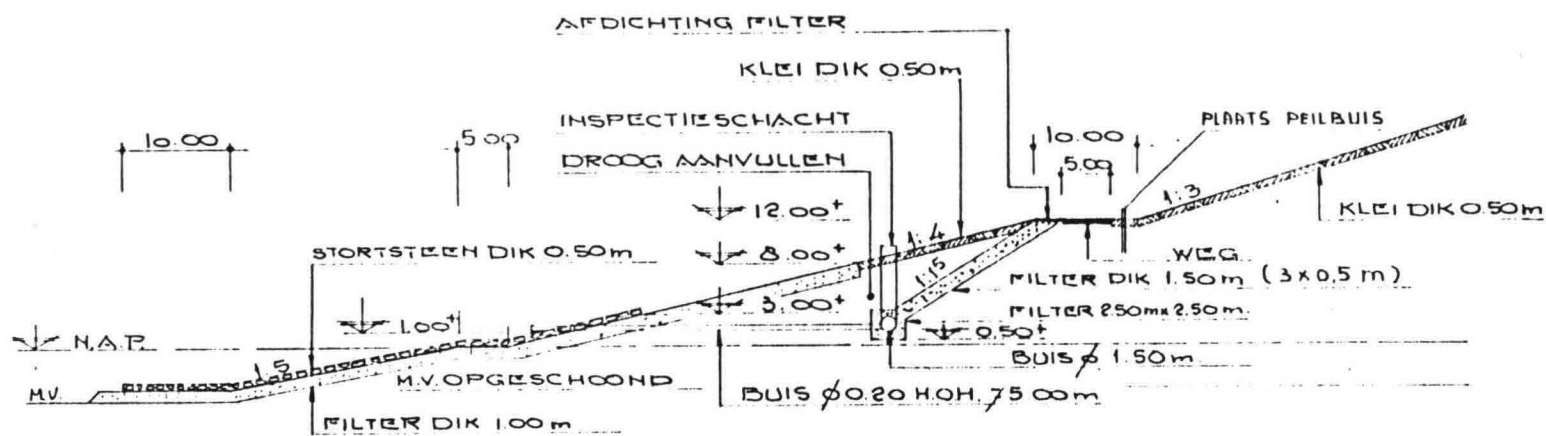
PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 hbg - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense



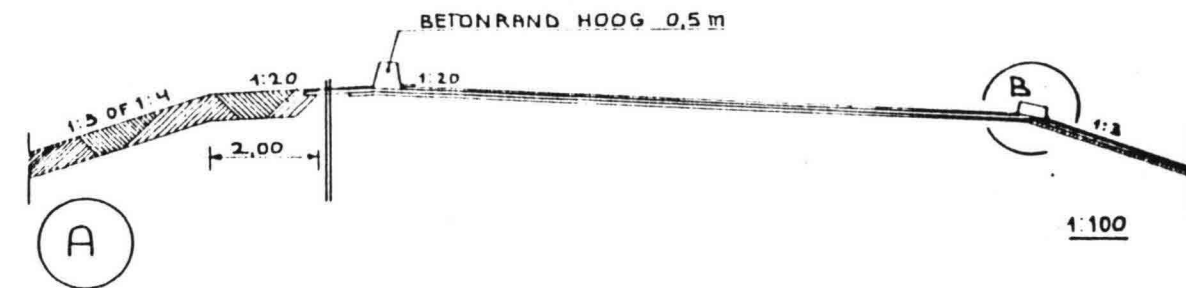
DETAIL.1 (VOOR BEKKENTYPE 18/12 m)



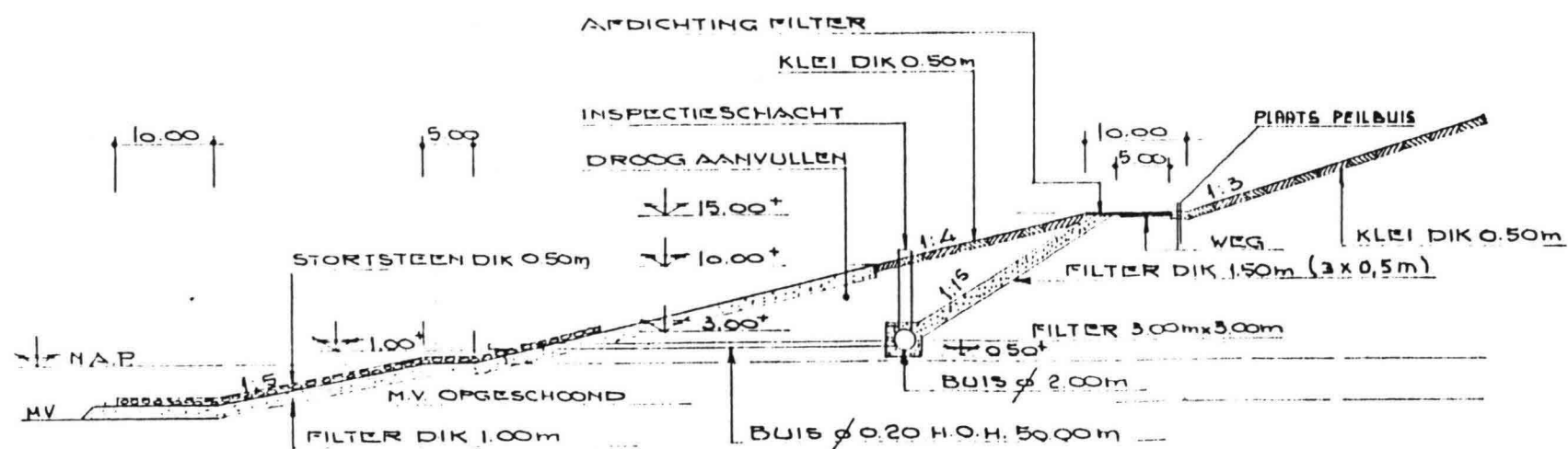
DETAIL.4 (ALLE VARIANTEN)



DETAIL.2 (VOOR BEKKENTYPE 24/16 m)

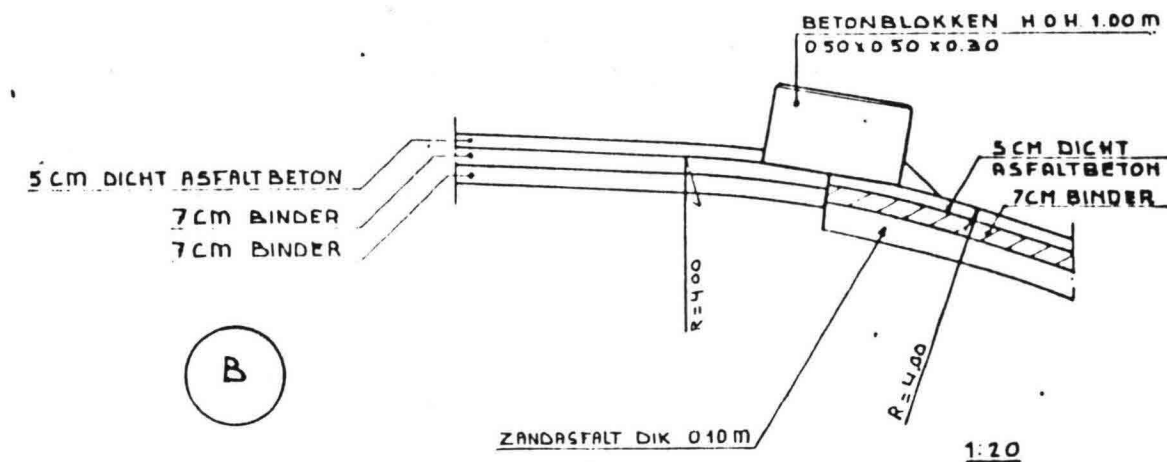


A



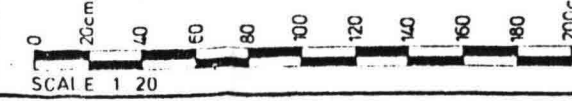
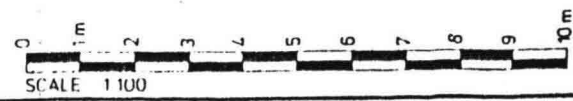
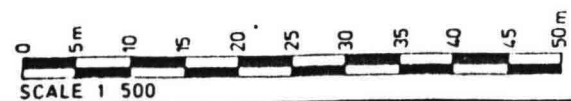
DETAIL.3 (VOOR BEKKENTYPE 40/26 m)

VOOR SITUATIE PAC BEKKENS ZIE TEK. PAC2-T-200
 VOOR PROF. PAC DIJKEN ZIE TEK. PAC2-T-206, 207 EN 208
 VOOR DETAILS 5T/M9 ZIE TEK. PAC2-T-219
 10T/M15 ZIE TEK. PAC2-T-219
 16T/M19 ZIE TEK. PAC2-T-220

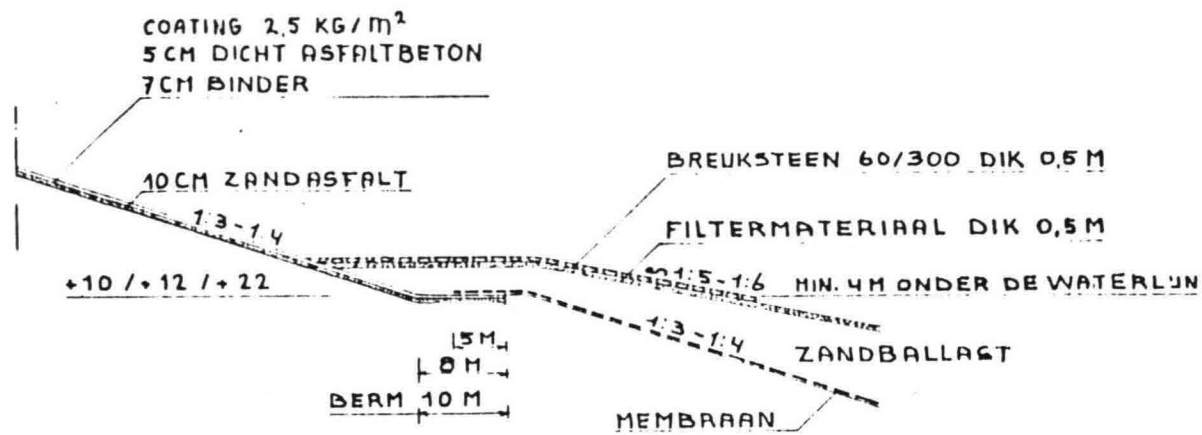


B

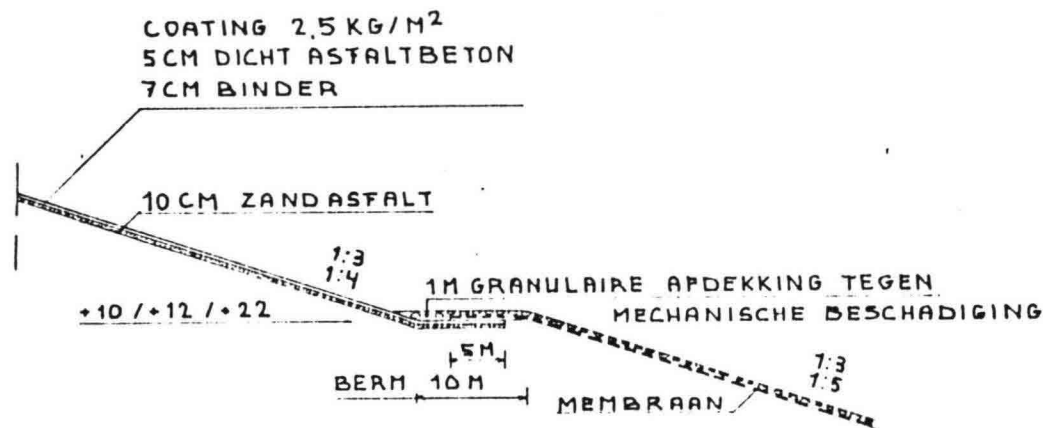
B'JLAGE 6 PAC2.N.223
 B'JLAGE 6 PAC2.N.334



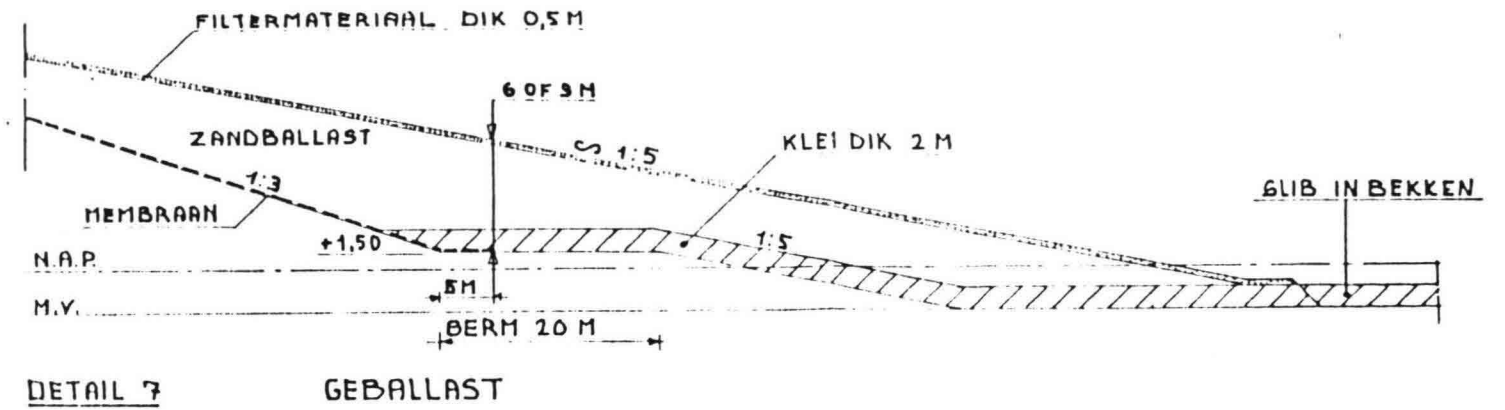
c		
b		
a	1-9-85	DETAIL 4
	Datum	Rev.
Onderwerp: PAC DIJKEN DETAILS VOOR NOORDELIJKE LOCATIES EN VOOR DIJKEN IN ZUIDELIJKE LOCATIES MET GRONDVERBETERING DETAILS 1,2,3 EN 4		
 Pomp Accumulatie Centrale	Form	Schaal: 1:500 - 1:100 - 1:20
	A2	Get.: J.Pr. Datum: 29-3-85
	Get.:	Datum:
	Tek. nr. PAC.2.T. 209	Rev A



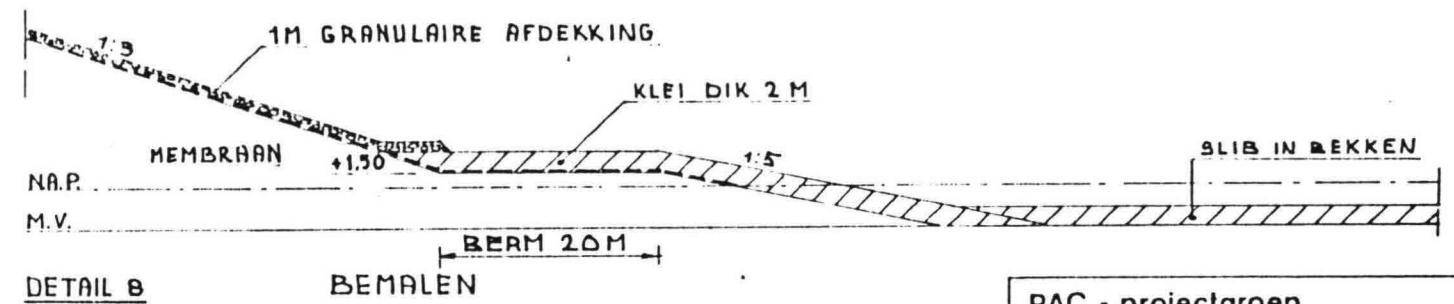
DETAIL 5 GEBALLAST, ALLE GEBALLASTE VARIANTEN



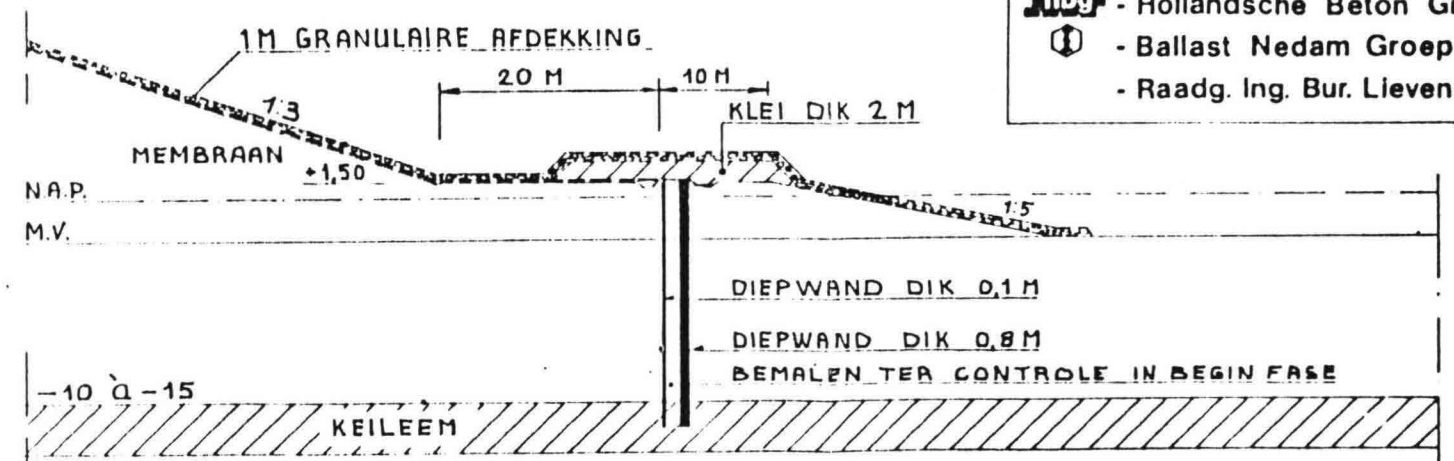
DETAIL 6 BEMALEN, ALLE BEMALEN VARIANTEN



DETAIL 7 GEBALLAST



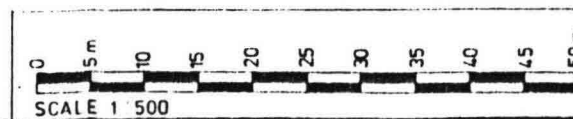
DETAIL 8 BEMALEN



DETAIL 9 BEMALEN

- PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense

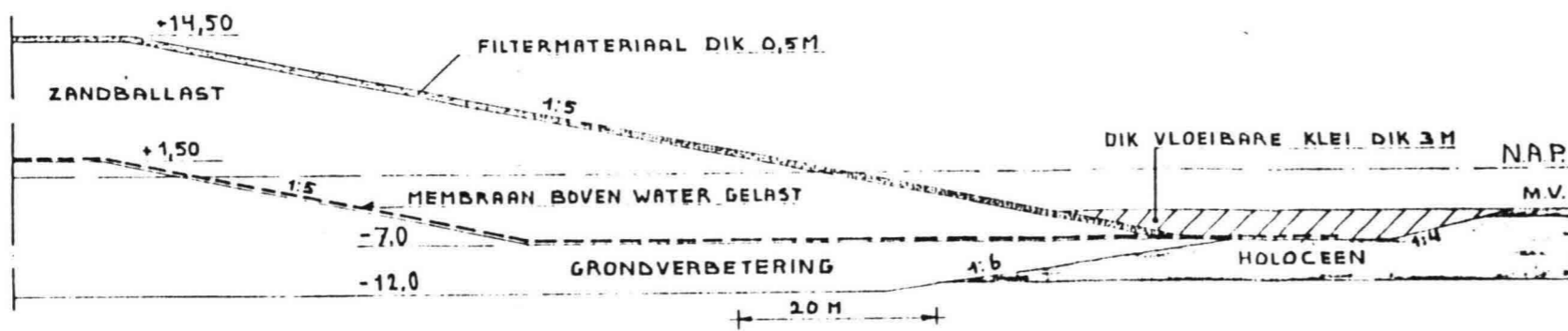
VOOR SITUATIE PAC BEKKENS ZIE TEK PAC2-T-200
 VOOR PROF. PAC DIJKEN ZIE TEK. PAC2-T-206, 207 EN 208
 VOOR DETAILS 1T/M4 ZIE TEK. PAC2-T-209
 10T/M15 ZIE TEK. PAC2-T-219
 16T/M19 ZIE TEK. PAC2-T-220



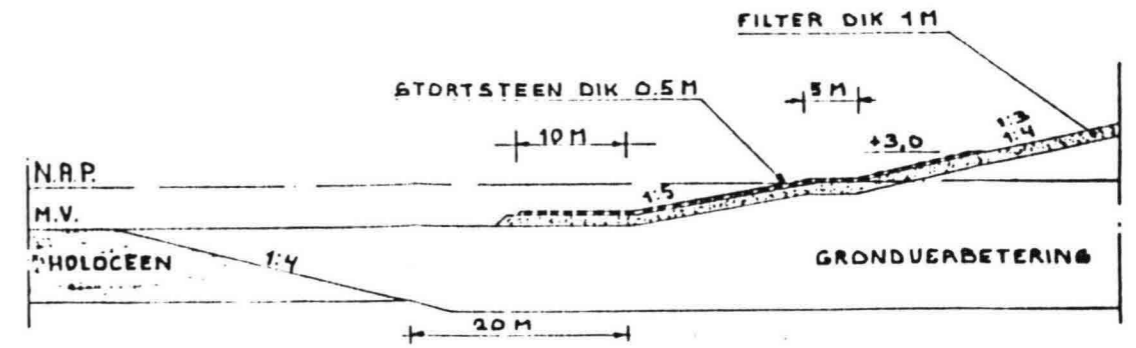
BIJLAGE 7 PAC2.N.223
 BIJLAGE 7 PAC2.N.334

c	
b	
a	1.9.85
Datum	Rev.
Onderwerp:	PAC. DIJKEN. DETAILS VOOR NOORDELIJKE LOCATIES GEBALLAST EN BEMALEN DETAILS 5, 6, 7, 8 EN 9
Form.	Schaal: 1:500
A2	Get: Datum: 29-5-85
Tek nr. PAC2-T-218	Rev. A

Pomp Accumulatie Centrale



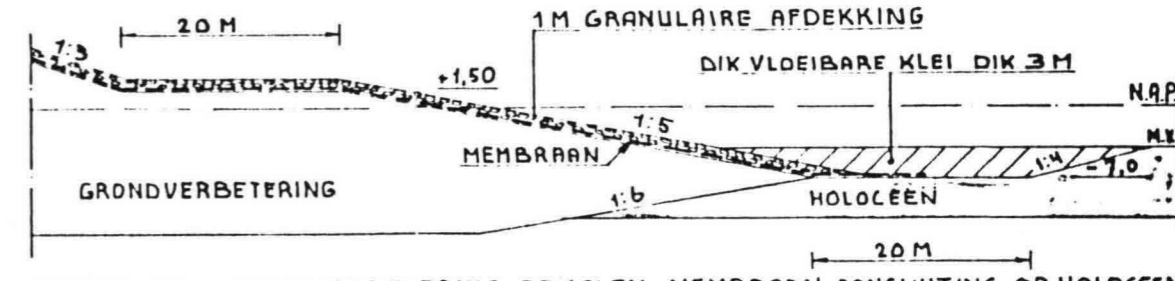
DETAIL 10 GRONDVERBETERING, GEBALLAST, MEMBRAAN AANSLUITING OP HOLOCEEN



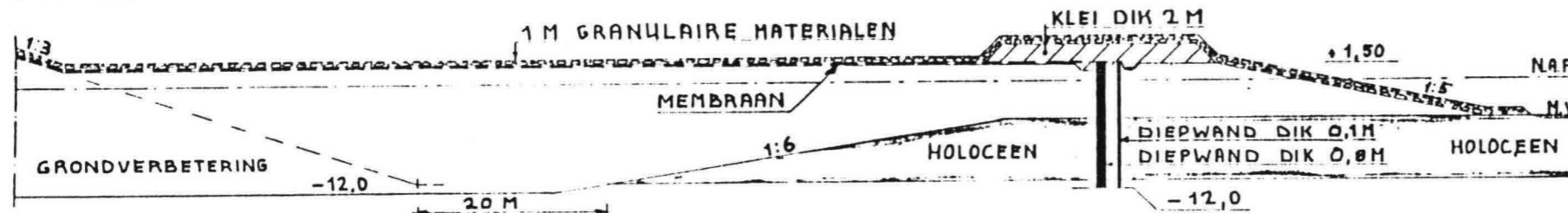
DETAIL 14 GRONDVERBETERING AANSLUITING IJSSELMEEERZIJDE



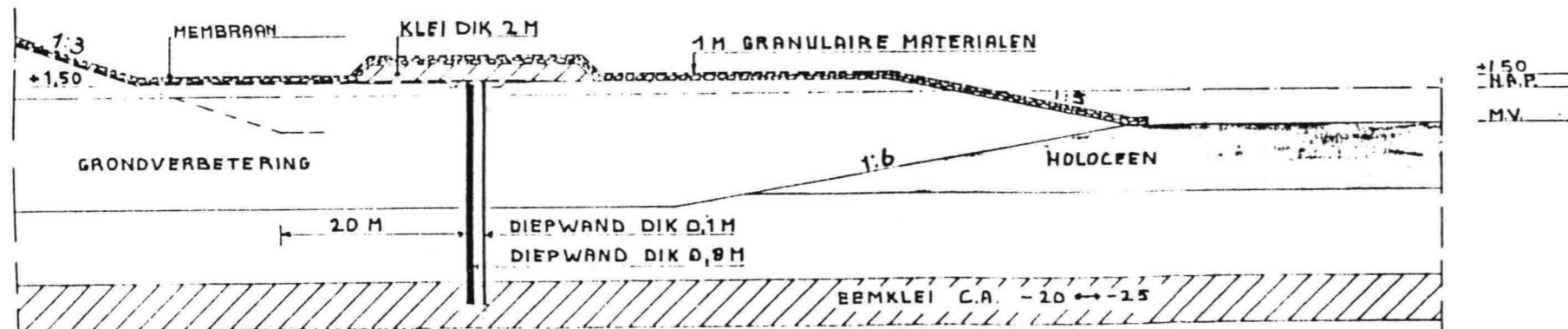
DETAIL 11 GRONDVERBETERING, BEMALEN, MEMBRAAN AANSLUITING ONDER AAN HOLOCEEN



DETAIL 15 GRONDVERBETERING, BEMALEN, MEMBRAAN AANSLUITING OP HOLOCEEN



DETAIL 12 GRONDVERBETERING, BEMALEN, DIEPWAND IN HOLOCEEN

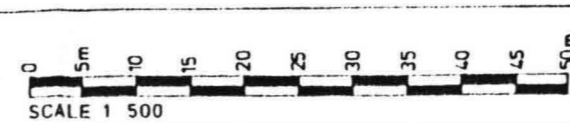


DETAIL 13 GRONDVERBETERING, BEMALEN, DIEPWAND IN EEMKLEI

- PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 hbg - Hollandsche Beton Groep NV
 ① - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lievense

VOOR SITUATIE PAC BEKKENS ZIE TEK. PAC 2-T-200
 VOOR PROFIELEN PAC DIJKEN ZIETEK. PAC 2-T-206, 207 EN 208
 VOOR DETAILS 1 T/M 4 ZIE TEK. PAC 2-T-209
 5 T/M 9 ZIE TEK. PAC 2-T-219
 16 T/M 19 ZIE TEK. PAC 2-T-220

BULAGE 8 PAC 2.N.223
 BULAGE 8 PAC 2.N.334

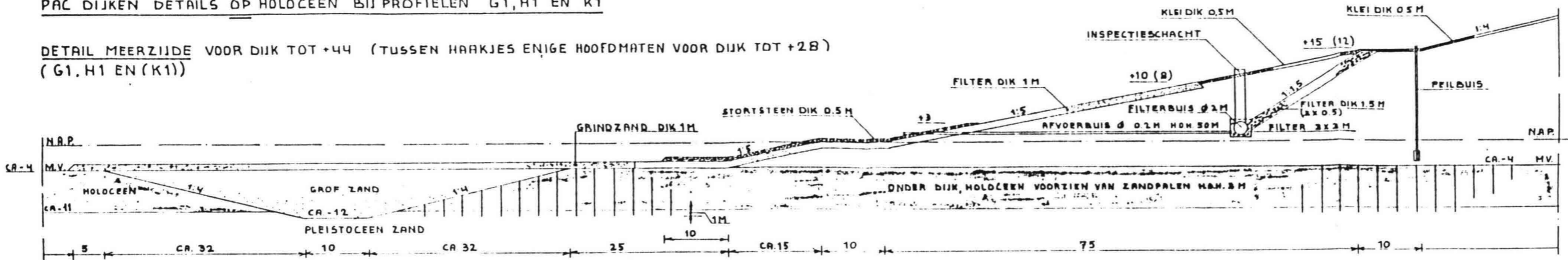


c	
b	
a	1.9.85 DETAIL 13
Datum	Rev.
Onderwerp:	PAC DIJKEN DETAILS VOOR ZUIDELIJKE LOCATIES DIJKEN OP GRONDVERBETERING GEBALLAST EN BEMALEN DETAILS 10,11,12,13,14 EN 15
Form	Schaal: 1:500
	Get: <i>AB</i> Datum: 29-3-85
Tek. nr.	Get: Datum:
	PAC 2-T-219 Rev. A

PAC Pomp Accumulatie Centrale

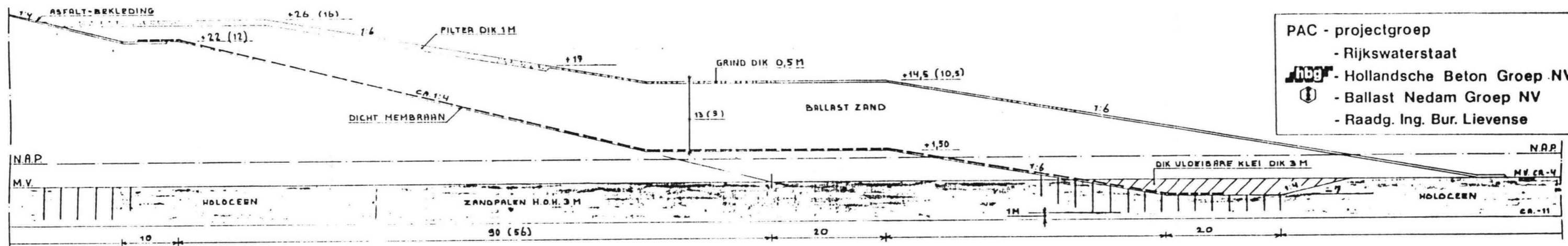
PAC DIJKEN DETAILS OP HOLOCEEN BIJ PROFIELEN G1, H1 EN K1

DETAIL MEERZIJDE VOOR DIJK TOT +44 (TUSSEN HAARKJES ENIGE HOOFDMATEN VOOR DIJK TOT +28)
(G1, H1 EN (K1))



DETAIL 16

DETAIL BEKKENZIJDE VOOR DIJK TOT +44 (TUSSEN HAARKJES VOOR DIJK TOT +28) MET BALLAST, MEMBRAAN HORIZONTAAL OP HOLOCEEN (G1a, H1a EN (K1a))



DETAIL 17

- PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
 - hbg** - Hollandse Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lievens

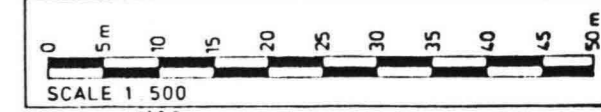
DETAIL BEKKENZIJDE VOOR DIJK TOT +44 - DIJK TOT +28 BEMALLEN MET DIEPWAND



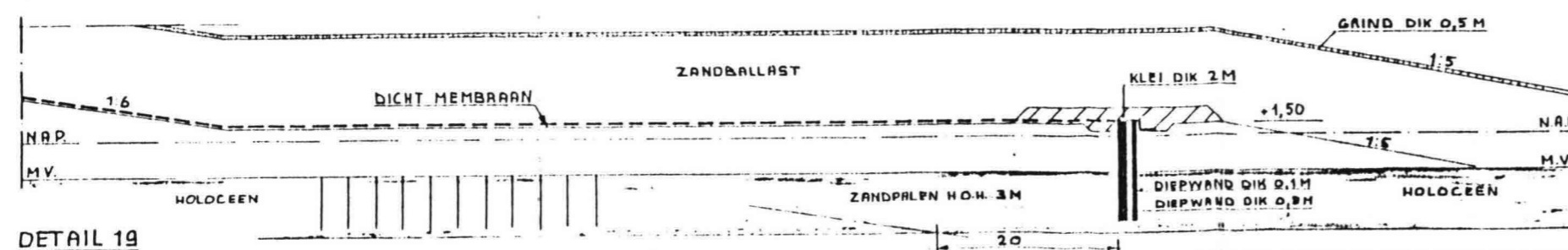
DETAIL 18

VOOR SITUATIE PAC BEKKENS ZIE TEK. PAC2-T-200
VOOR PROF. PAC DIJKEN ZIE TEK. PAC2-T-206, 207 EN 208
VOOR DETAILS 1 T/M 4 ZIE TEK. PAC2-T-209
5 T/M 9 ZIE TEK. PAC2-T-218
10 T/M 15 ZIE TEK. PAC2-T-219

BULAGE 9 PAC2.N.223
BULAGE 9 PAC2.N.334

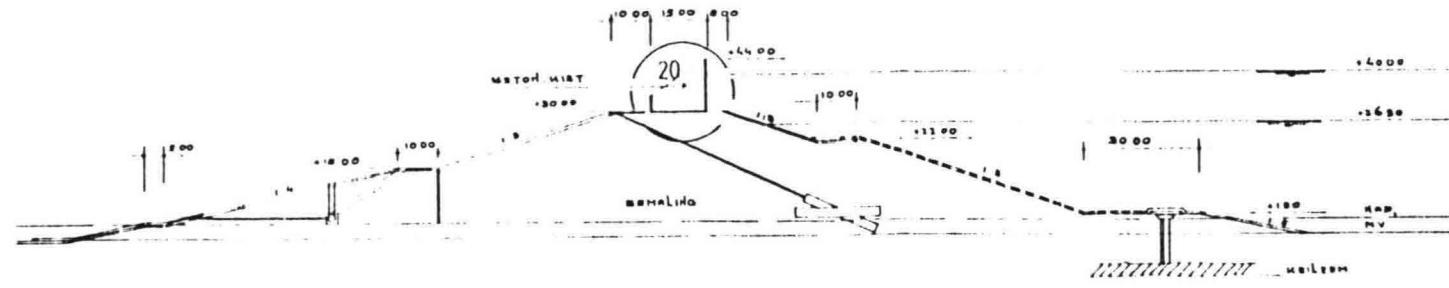


DETAIL BEKKENZIJDE VOOR DIJK TOT +44 - DIJK TOT +28 GEBALLAST MET DIEPWAND

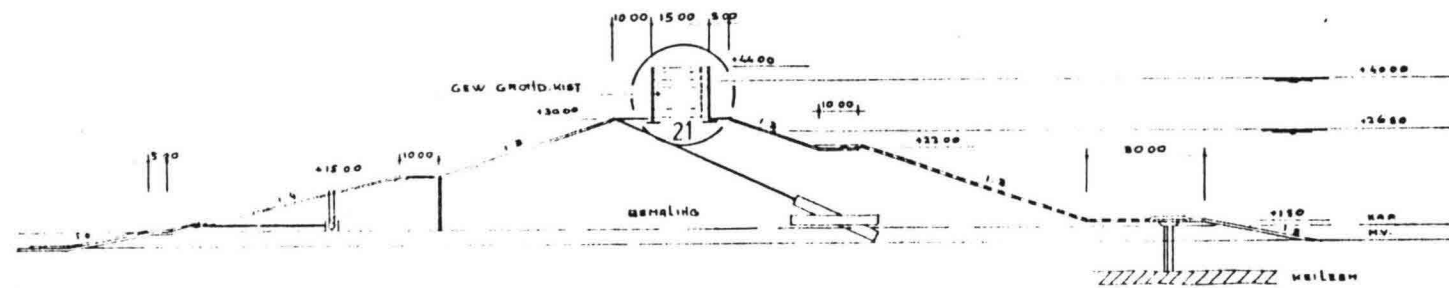


DETAIL 19

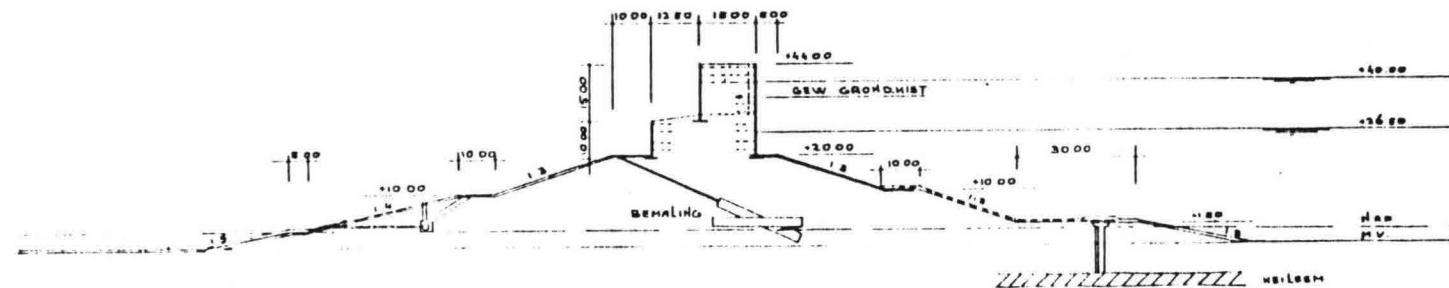
c		
b		
a	1.9.85	
Datum	Rev.	
Onderwerp: PAC DIJKEN DETAILS VOOR ZUIDELIJKE LOCATIES DIJKEN OP HOLOCEEN DETAILS 16, 17, 18 EN 19		
PAC Pomp Accumulatie Centrale	Form.	Schaal: 1:500
	A2	Get: <i>sqv</i> Datum: 29-3-85
	Gez.	Datum:
	Tek nr. PAC2-T-220	Rev. A



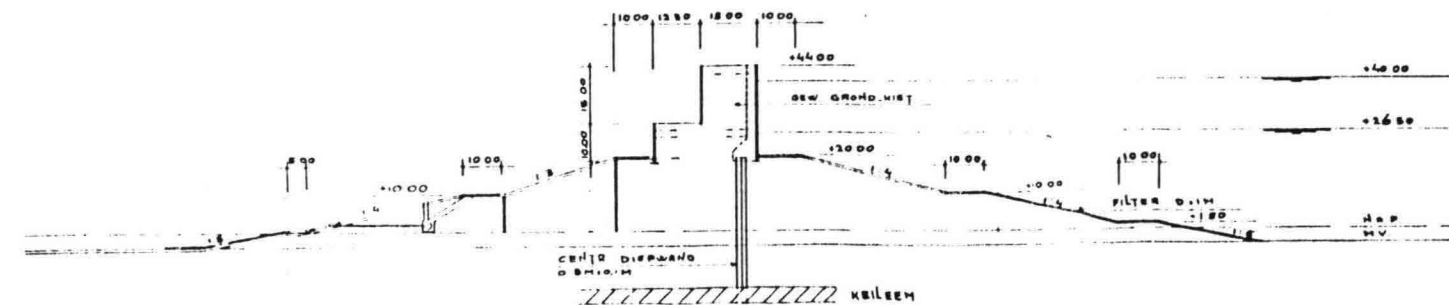
VARIANT F₁ / ALTERNATIEF 1
DUKDETAILS CONFORM VARIANT F₁



VARIANT F₁ / ALTERNATIEF 2
DUKDETAILS CONFORM VARIANT F₁



VARIANT F₁ / ALTERNATIEF 3
DUKDETAILS CONFORM VARIANT F₁

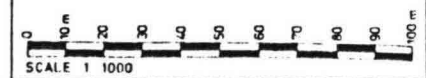


VARIANT F₁ / ALTERNATIEF 4
DUKDETAILS USSELMEERZUDE CONFORM VARIANT F₁

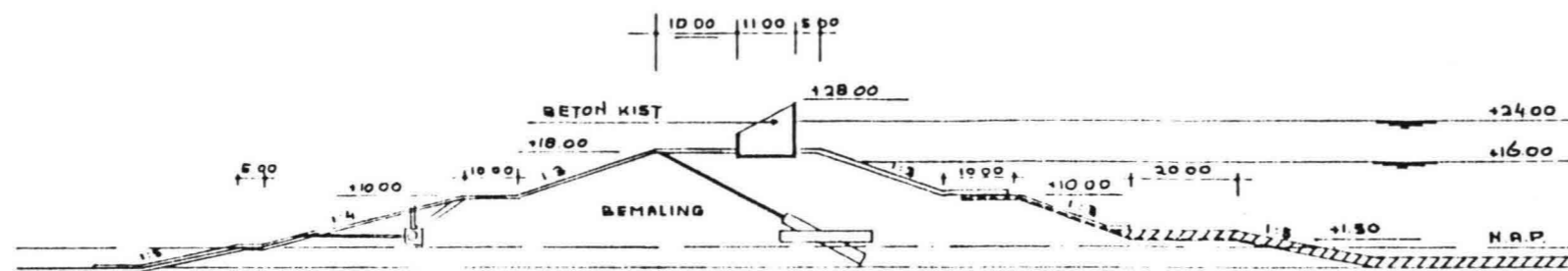
OPMERKINGEN
VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTEN ZIE TEK PAC1-T-100
VOOR AANSLUITDETAILS KIST OP DIJK ZIE TEK PAC1-T-118
VOOR DIJKVARIANT F₁ ZIE TEK PAC1-T-107

BIJLAGE 10 PAC2.N.213
BIJLAGE 10 PAC2.N.334

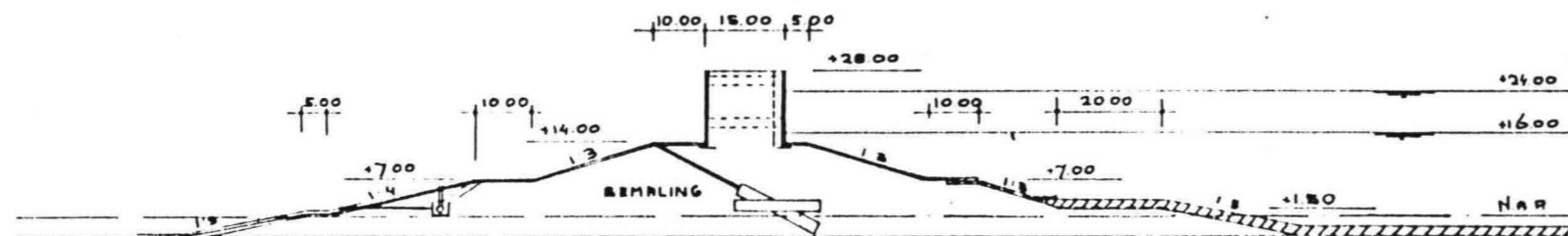
PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
hbc - Hollandsche Beton Groep NV
- Ballast Nedam Groep NV
- Raadg. Ing. Bur. Lieveense



c			
b			
a	I.S.B.S.	Datum	Rev
Onderschrift PAC DIJKEN / ALTERNATIEF KIST OP DIJK BEKKEN 40/26,5 HOORDELIJKE LOCATIE			
Pump Accumulatie Centrale		Form A1	Schaal 1:1000 Ontw. e. J. van der Burgh Ontw. Datum Rev. A
Tax nr PAC-T-118			

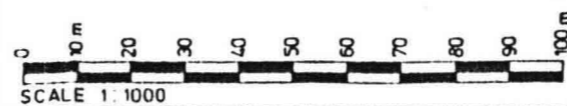


VARIANT E_b ALTERNATIEF 1
DIJKDETAILS CONFORM VARIANT E_b



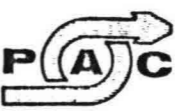
VARIANT E_b ALTERNATIEF 2
DIJKDETAILS CONFORM VARIANT E_b

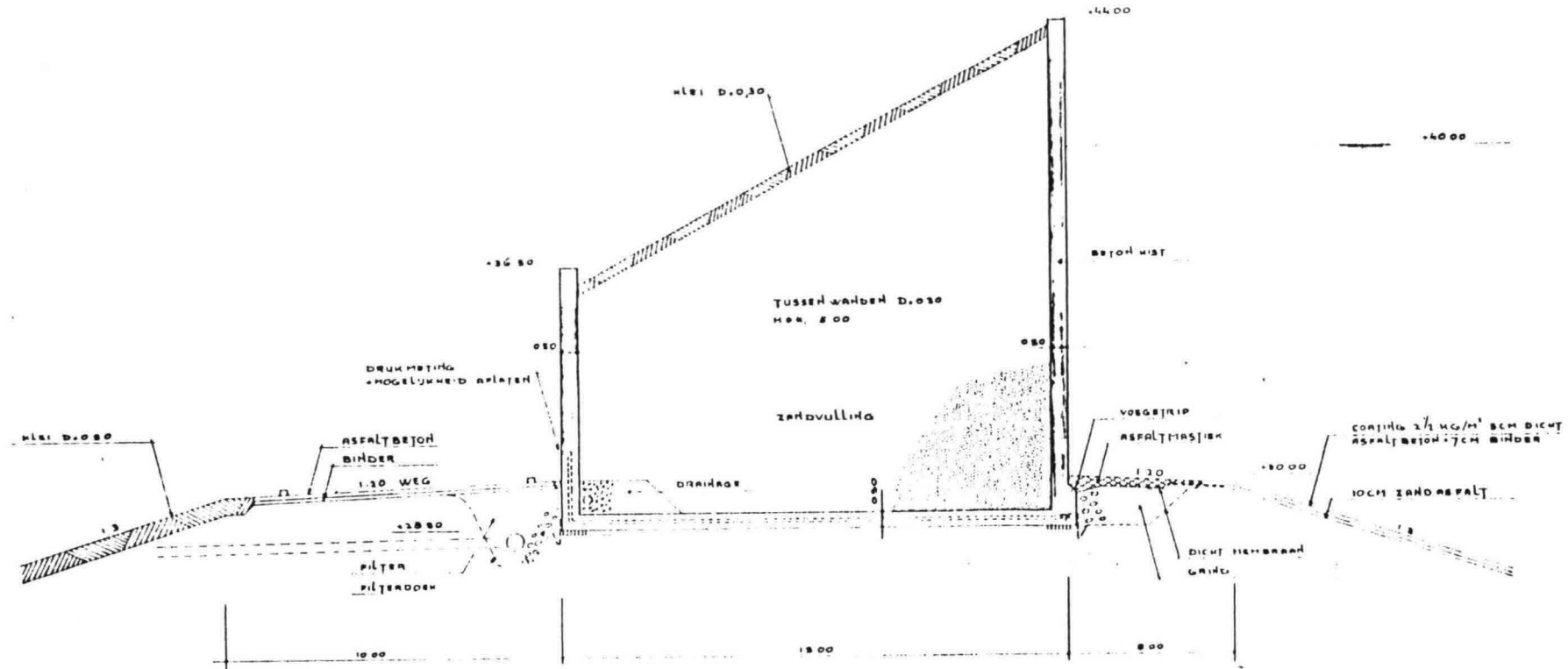
PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense



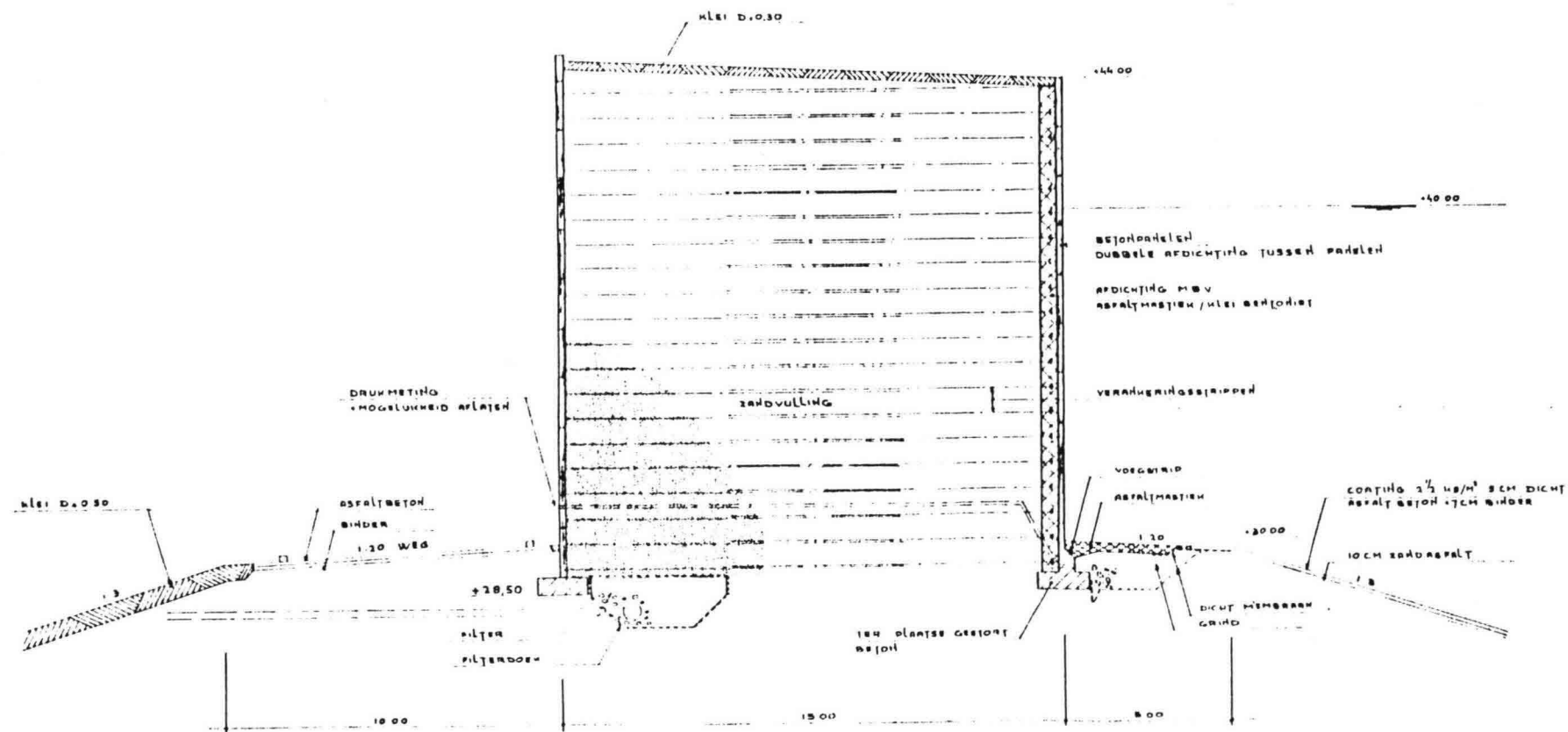
OPMERKINGEN
 VOOR AANSLUITDETAILS KIST OP DIJK ZIE TEK. PAC2-T-219
 VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTEN ZIE TEK. PAC2-T-200
 VOOR DIJKVARIANT E_b ZIE TEK. PAC2-T-207

BIJLAGE II PAC2.N.223
 BIJLAGE II PAC2.N.334

c		
b		
a	1.9.85	
	Datum	Rev.
Onderwerp: PAC DIJKEN / ALTERNATIEF KIST OP DIJK BEKKEN 24/16 NOORDELIJKE LOCATIE		
 Pomp Accumulatie Centrale	Form:	Schaal: 1:1000
	A	Get: c de Geer Datum: 10-3-1985
	Get:	Datum:
	Tek nr. PAC 2_T_222	Rev. A



DETAIL 20 BETONWIST OP DIJK
BEKKEN 40/16⁵ DIJKHOOGTE +30.00



DETAIL 21 GEWAPENDE GRONDWIST OP DIJK
BEKKEN 40/16⁵ DIJKHOOGTE +30.00

PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
- Hollandsche Beton Groep NV
- Ballast Nedam Groep NV
- Raadg. Ing. Bur. Lieveise

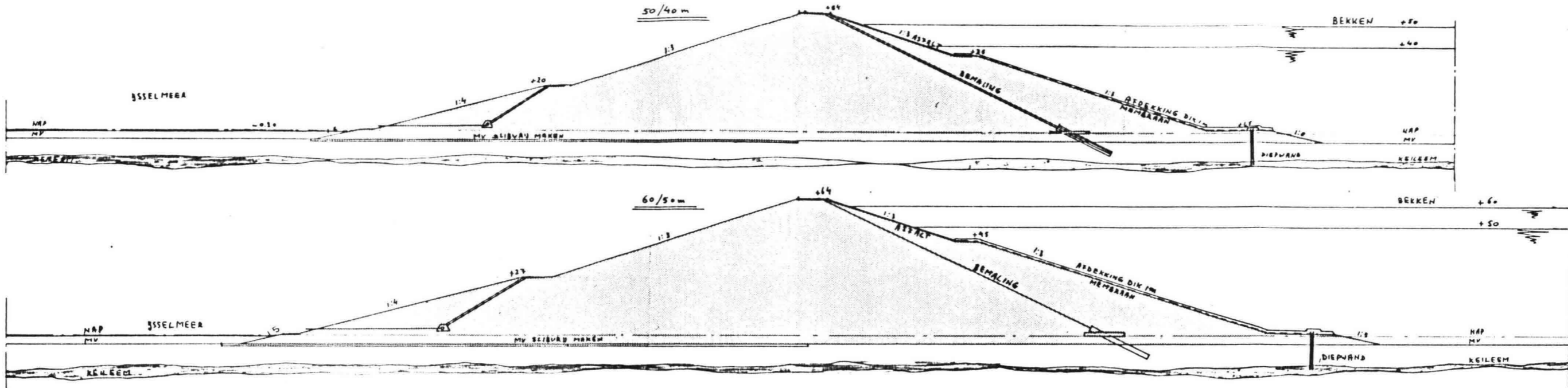
SCALE 1:10

OPMERKINGEN
VOOR SITUATIE BEKKENVARIANTIEN ZIE TEK PAC1-T-100
VOOR PROFIELEN PAC DIJKEN ZIE TEK PAC1-T-111 EN 113

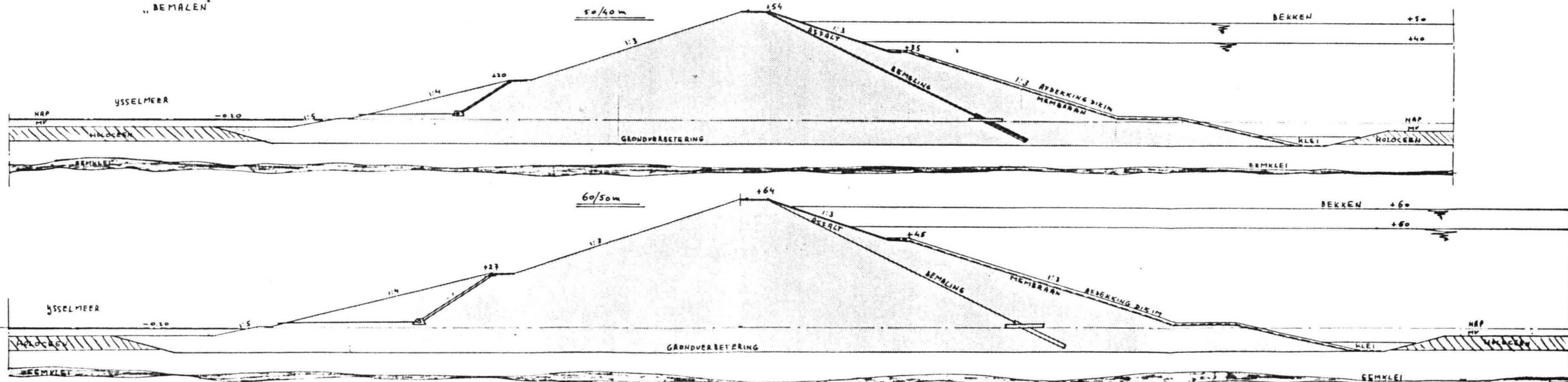
BULAGE 12 PAC2.N.213
BULAGE 12 PAC2.N.334

C			
B			
A	1.9.85		
Datum	Rev		
Onderwerp	PAC DIJKEN / ALTERNATIEF WIST OP DIJK DETAILS 20,21		
PAC	Pomp Accumulatie Centrale	Form	Schaal: 1:100
		A1	Get. C. de Waard Datum 05.05.85
Tek. nr. PAC2.T.229		Rev	A

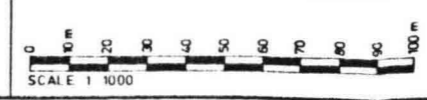
NOORD LOCATIE
"BEMALEN"



ZUID LOCATIE
"BEMALEN"



PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
HBB - Nederlandsche Beton Groep NV
① - Ballast Nedam Groep NV
- Raadg. Ing. Bur. Lieveense

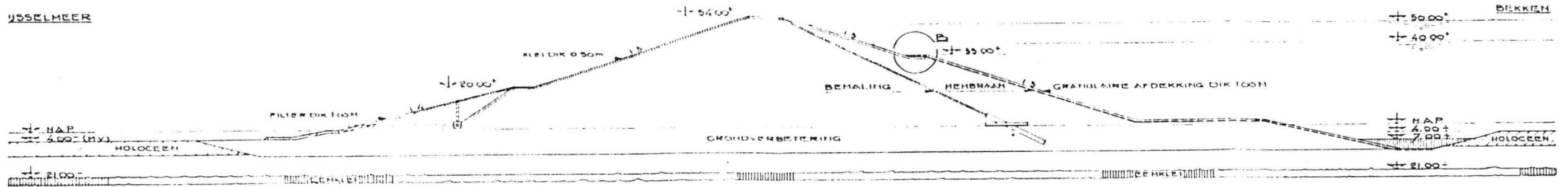


BIJLAGE 1 BIJ PAC 2 N. 200 EN BIJLAGE 13 BIJ PAC 2 N. 234

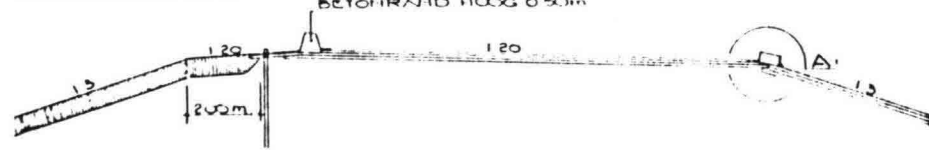
C	
B	
B	1.9.85
Datum	Rev
Onderwerp	PAC BEKKEN DIJKEN 50/40M EN 60/475M VAR NOORD.VAR ZUID (PRINCIPE SCHETS)
Form	Schets 1:1000
A1	Ont. G.A.B. Datum 3-4-85
Tek nr	PAC2-T-239
Rev	A

ZUID LOCATIE (1:1000)
"BEMALEN"

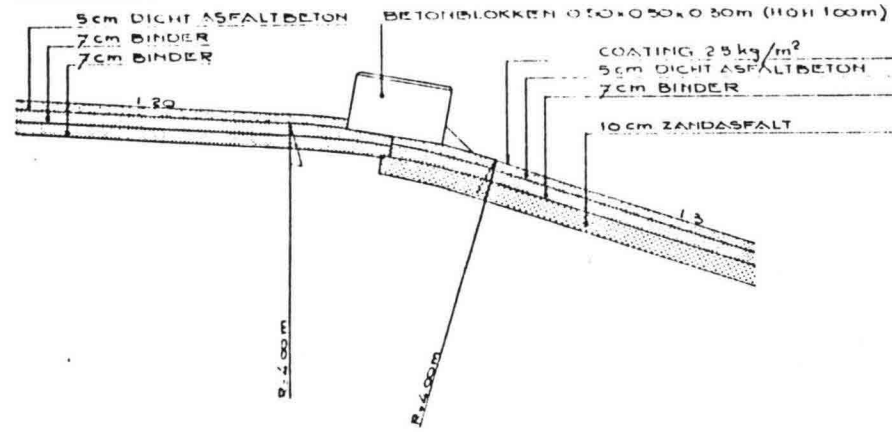
USSELMEER



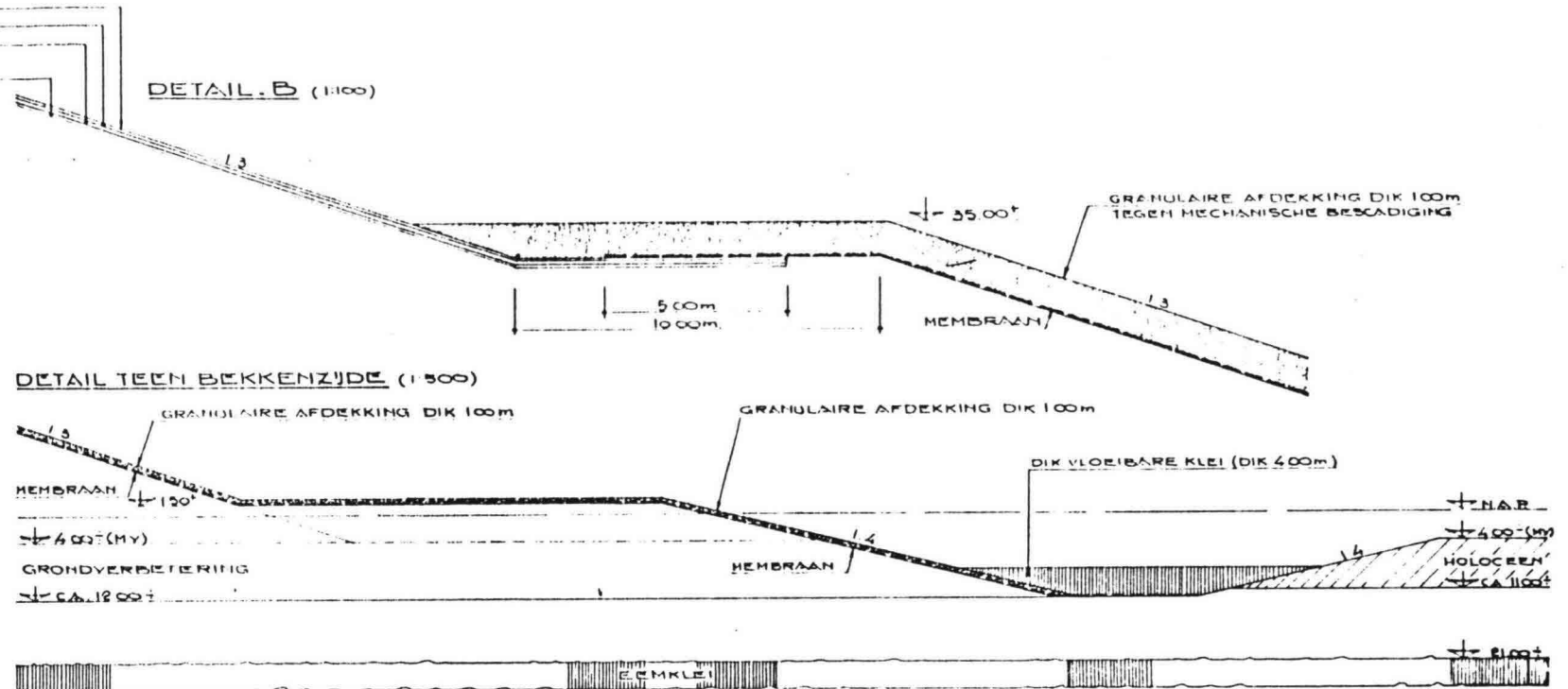
DETAIL KRUIJ (1:100)



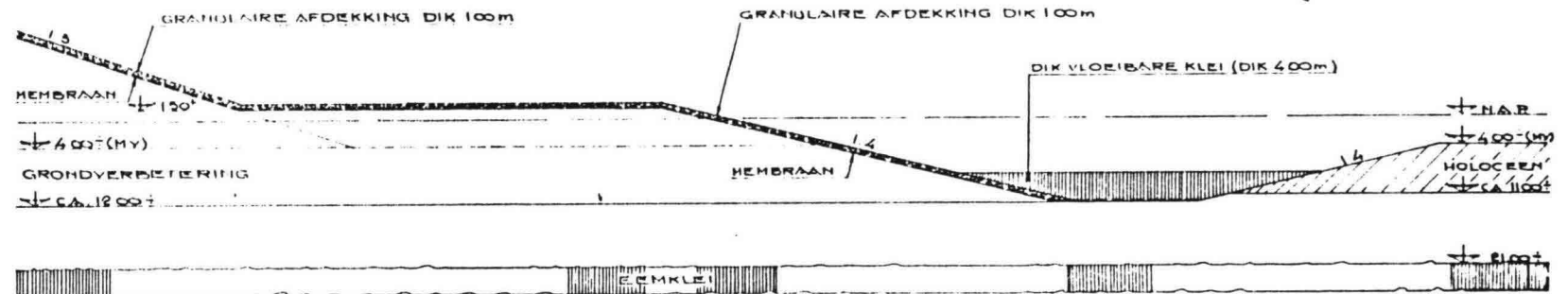
DETAIL A (1:20)



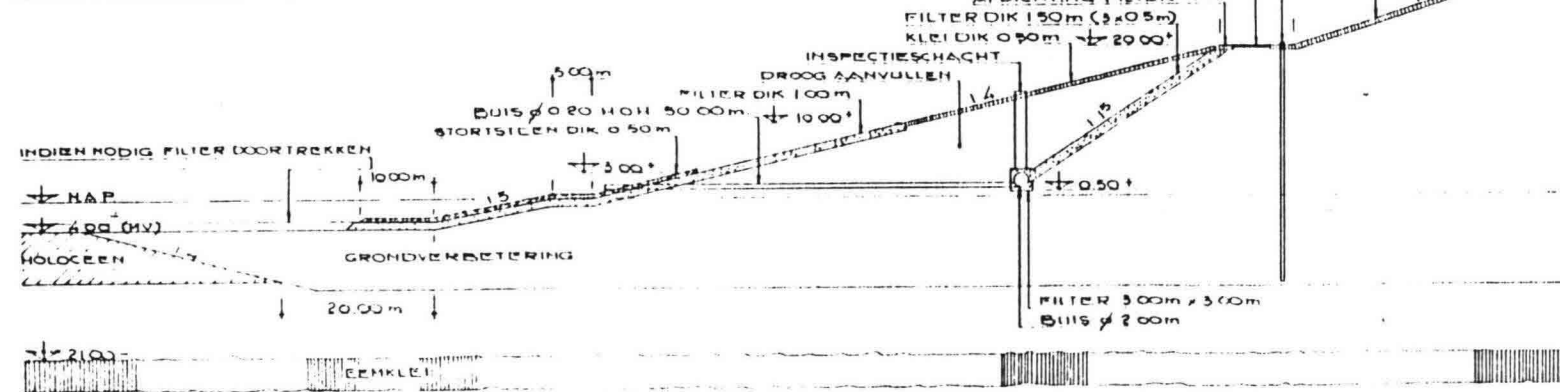
DETAIL B (1:100)



DETAIL TEEN BEKKENZIJDE (1:500)



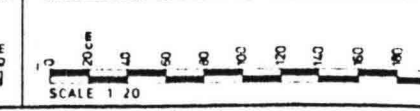
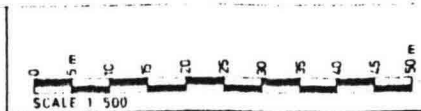
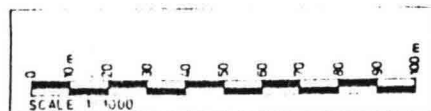
DETAIL TEEN USSELMEERZIJDE (1:500)



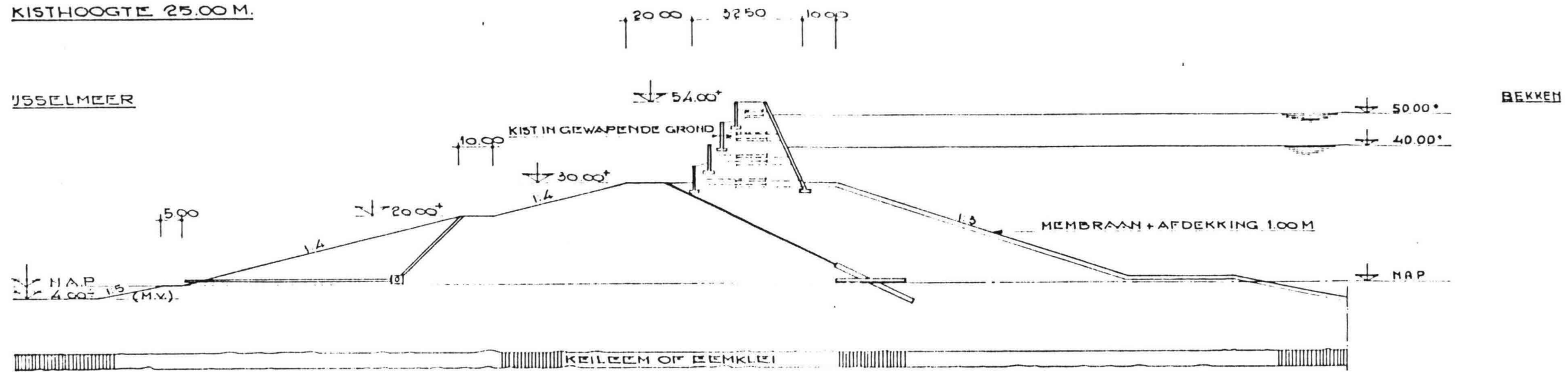
BIJLAGE 2 BIJ PAC 2-N-306 EN BIJLAGE 4 BIJ PAC 2-N-334

PAC - projectgroep
- Rijkswaterstaat
- Hollandsche Beton Groep NV
- Ballast Nedam Groep NV
- Raadg. Ing. Bur. Lieveense

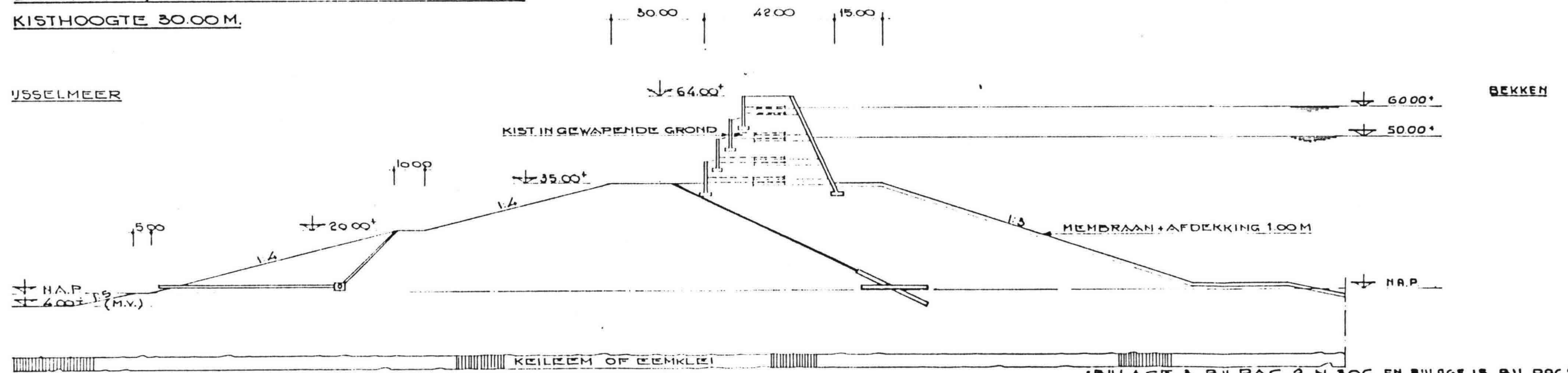
C		
B		
A	1.9.85	DETAIL A
	Datum	Rev
Onderschrift		
PAC DIJK VOORKEURSVARIANT d.d. 1.4.85		
GEEXTRAPOLEERD NAAR 50m WATERSTAND		
STAND VAN ONTWERP DETAILS EVENEENS L435		
PAC	Pomp Accumulatie Centrale	Form
		A1
Schaal: 1:1000, 1:500, 1:100, 1:20		Datum
Tek. nr. PAC 2-T.266		Rev. A



BEKKEN 50/40 M. ALTERNATIEF KIST OP DIJK
KISTHOOGTE 25.00 M.



BEKKEN 60/50 M. ALTERNATIEF KIST OP DIJK
KISTHOOGTE 30.00 M.

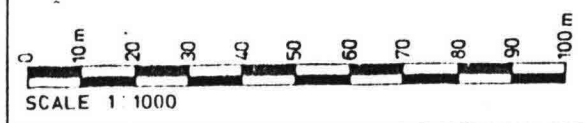


BIJLAGE 5 BIJ PAC 2.M.306 EN BIJLAGE 15 BIJ PAC 2.M.334
 VOOR DIJKDETAILS ZIE TEKENING NR: PAC 2.T.261

PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense

c		
b	1.9.85	
a	25.4.85	DEZE TEKENING VERVANGT VOORLOPIGE SCHETS D.D. 3.4.85
	Datum	Rev

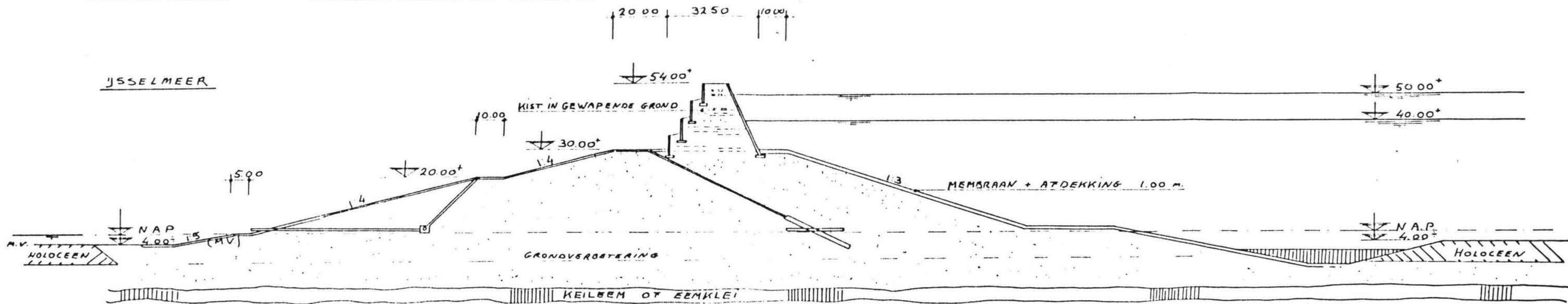
Onderwerp: PAC BEKKENS 50/40 M. EN 60/50 M.
 DIJKEN MET KRUIELEMENTEN VAN GEWAPENDE GROND



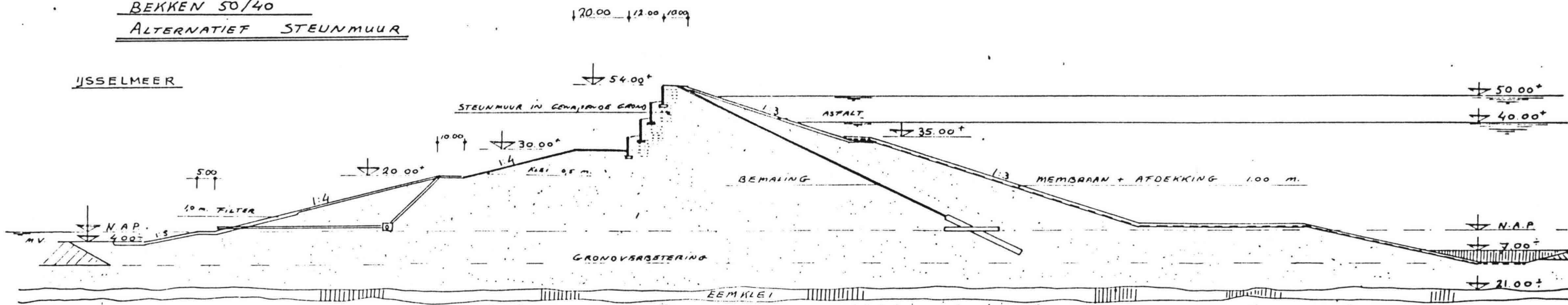
Pomp Accumulatie Centrale

Form.	Schaal: 1:1000
A2	Get: J.Pr. Datum: 25.4.85
	Get: Datum:
Tek nr: PAC 2.T.240	Rev B

BEKKEN 50/40 M ALTERNATIEF KRUINELEMENT.



BEKKEN 50/40 ALTERNATIEF STEUNMUUR

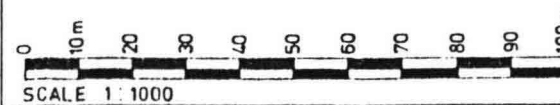


BIJLAGE 4 BIJ PAC. 2. N. 306 EN BIJLAGE 16 BIJ PAC. 2. N. 334

PAC - projectgroep
 - Rijkswaterstaat
 - Hollandsche Beton Groep NV
 - Ballast Nedam Groep NV
 - Raadg. Ing. Bur. Lieveense

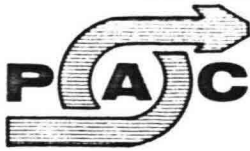
c	
b	
a	1.9.85
Datum	Rev

Onderwerp: PAC. BEKKEN 50/40 M.
 ALTERNATIEVE DIJKONSTRUKTIES
 IN GEWAPENDE GROND



PAC Pomp
 Accumulatie
 Centrale

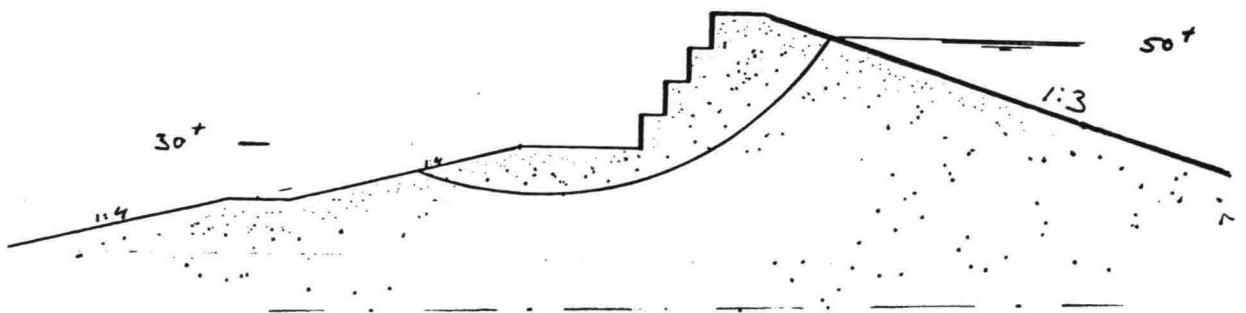
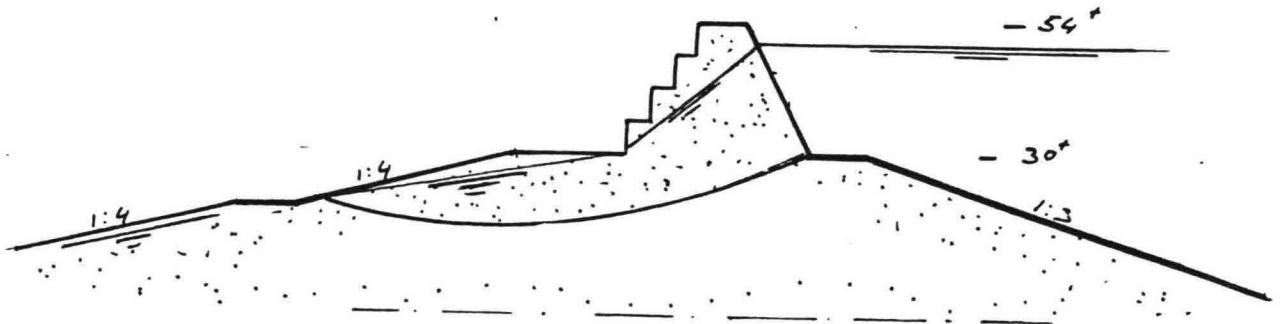
Form.	Schaal: 1:1000
A2	Get: H.B. Datum: 18.6.85
	Get: Datum:
Tek nr.	PAC. 2. T. 308 Rev. A



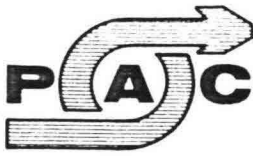
BIJLAGE 17 bij
PAC2-N-334

BEKKEN DIJK KONSTRUKTIES
MET BEHULP VAN
TERRE ARMÉE®

50/40 PAC BEKKEN ZUIDRIJK IJSSEMEER



PACHUIS
H. BEERDA



INHOUD

<u>1</u>	<u>INLEIDING</u>	-	3
<u>2</u>	<u>SAMENVATTING</u>	-	5
<u>3</u>	<u>TERRE ARMÉE</u>	-	7
<u>4</u>	<u>RANDVOORWAARDEN</u>	-	10
	4-1 - UITWENDIGE BELASTINGEN		
	4-2 - GRONDMECHANISCHE PARAMETER		
	4-3 - LICGING FREATISCHE LIJN		
<u>5</u>	<u>STABILITEIT</u>	-	14
<u>6</u>	<u>KOSTEN EN MATERIAALVERBRUIK</u>	-	20
<u>7</u>	<u>AANBEVELINGEN</u>	-	22

LITERATUUR

1

INLEIDING

EEN TYPE WATERKERENDE KONSTRUKTIE WELKE NA EEN EERSTE TOETSING AAN DE KRITERIA M.B.T. ECONOMIE EN STABILITEIT, ALS EEN MOGELIJK ALTERNATIEF VOOR EEN Z.G.N. "TRADITIONELE DIJK" IS OVERGEBLEVEN, IS DIE VOLGENS HET SYSTEEM VAN GEWAPENDE GROND OF WSC "TERRE ARMÉE"

HET TERRE ARMÉE SYSTEEM BEÏNVLOEFT DE KRACHTSWERKING IN EEN GRONDMASSIEF DUSDANIG DAT B.V. STEILERE TALUS TOEGEPAST KUNNEN WORDEN. DE VOORDELEN WELKE DIT KAN HEBBEN ZIJN;

- MATERIAAL BESPARING (= ZAND)
- KOSTEN BESPARING
- VERMINDERING RUIMTE BESLAG

VOOR EEN PAC-BEHUEN IS OORSPRONKELIJK DE MOGELIJKE KOSTENBESPARING DE VOORNAAMSTE DRIJFVEER GEWOEST VOOR NADERE STUDIE, ECHTER GAANDERWEG MAAKTE OOK DE GERINGERE MOBILITEIT ZAND, HET TERRE ARMÉE-SYSTEEM ZEER INTERESSANT.

DE GROOTSTE ^{KOSTEN} BESPARINGEN KUNNEN BEREIKT WORDEN MET EEN KRUIELEMENT ("KIST") VAN TERRE ARMÉE, GEPLAATST OP EEN TRADITIONELE DIJK.

Bij DEZE KONSTRUKTIEVORM WROET ECHTER DE MOEILIJKHEDS GRAAD VAN AFSLUITINGEN EN AFDICHTINGEN VERHOOGD TOT EEN DUSDANIG NIVO, DAT NU NOE NIET MET ZEKERHEID GESTELD KAN WORDEN DAT DEZE UITGEVOERD KUNNEN WORDEN MET DE GEWENSTE BETROUNBAARHEID. DIT LAATSTE EVENTUEEL ZONDER DAT OIT HET GEHANTDEERDE PRIJSNIVO IN RUIME MATE Overschrijft.

EEN MOEGELIJKHEID OM HET AFDICHTINGS- EN AANSLUITINGS PROBLEEM TE BEPERKEN IS EEN GEMENCDE VORM WAARBY DE WATER-KEERENDE ZIJDE TRADITIONEEL WROET UITGEVOERD; TERWILKE TALUDS EN EEN ASPHALT-DICHTING. DE IJSSEL MEERZIJDE, DE "DROCE" KANT DUS, WROET DAARBENTEGEN STEIL OPGEZET GEBRUIK MAKENDE VAN TERRE ARMEE

DEZE NOTITIE MAAKT DE TUSSEN BALANS OP M.B.T. DE HUIDIGE STAND VAN ZAKEN BETREFFENDE DEZE BEIDE MOEGELIJKHEIDEN, ALSMEDE EEN INDICATIEVE VERGELIJKING VAN PRIJS EN ZANDHUBUSCHIED.

2

SAMENVATTING

HET GEBRUIK VAN GEWAPENDE GROND OF TERRE ARMÉE IN DE BEKKEN DIJKEN LEIDT TOT AANZIENLIJKE BESPARINGEN OP DE TOTALE MATERIAAL HOEFSELHEID, VOORNAMELIJK ZAND.

AANGEZIEN TEVENS EEN KOSTENBESPARING TE VERWACHTEN IS, VERDIENT HET AANBEVELING DE VOORLOPIGE ONTWERPEN VERDER MEE TE NEMEN IN DE STUDIE EN NADEUR UIT TE WERKEN.

DEZE VOORLOPIGE ONTWERPEN BETREFFEN EEN TWEETAAL KONSTRUKTIES IN GEWAPENDE GROND; EEN MET EEN KRUIELEMENT (KISTOORN) VAN 24 m. HOOGTE, EN EEN MET EEN TRADITIONEEL BELOOP AAN DE BEKKENZIJDE EN EEN TERRE ARMÉE STEUNMUUR AAN DE IJSSCHERMEZIJDE. ZIE TEKENING PAC 2-T-300

Bij dit laatste ontwerp is het belangrijkste probleem van het kruielement, de aansluitingen en afvoering, omzeild. Daarentegen zijn de te bereiken besparingen en minder.

Ten opzichte van een traditionele dijk zijn deze besparingen respectievelijk:

	KOSTEN	ZAND
KRUIELEMENT	8 %	37,5 %
T.A. STEUNMUUR	5 %	22

BOVENSTAANDE GETALLEN GELDEN VOOR EEN TERRE-ARMÉE KONSTWERK VAN 24 m HOOGTE WELKE HOOGTE VOLGDE UIT EEN KOSTENBEGROTING ALS DE MEEST ECONOMISCHE.

OPGEMERKT DIENST TE WORDEN DAT BIJ DE PRIJSVORMING, DE DOOR DE LEVERANCIER (FUNDAMENTUM) GEHANTEERDE RICHTPRIJZEN VOOR WERKEN VAN NORMALE GROOTTE, ZIJN GEBRUIKT. WELLICHT IS NOG EEN PRIJSREDUCTIE, GEZIEN DE GROOTTE VAN HET PAC-PROJECT, MOGELIJK

DE VEILIGHEID VAN DEZE DIJKKONSTRUKTIES
TEN AANZIEN VAN : AFSCHUIVEN, KANTELLEN,
FUNDERINGS DRUKKEN EN STERKTE VAN DE
KONSTRUKTIE ONDERZOEKEN IS VOLGENS DE
GEHANTEERDE DETERMINISTISCHE METHODE
RUIMSCHOOTS VOLDOENDE.

STABILITEITSVERLIES TEN GEVOLGE VAN
GLYVLAKKEN HEEFT EEN GROTERE KANS
VAN OPTREDEN, MAAR LIGT GLOBAAL IN
DEZELFDE ORDE ALS VOOR EEN TRADITIONELE
DIJK

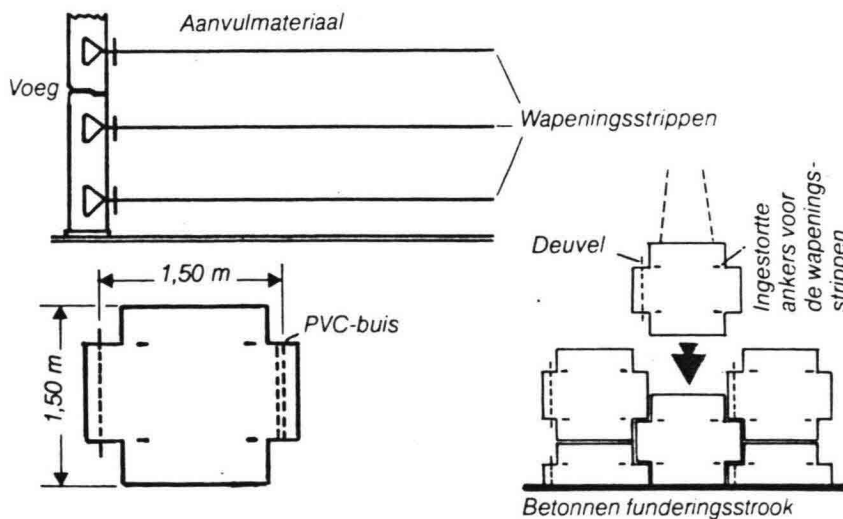
EEN BEKNOPTE RISICOANALYSE VOOR DEZE KONSTRUKTIES
IS ONDER VOORBEREIDING, EN EEN EERSTE
AANZET HIERTOE IS AL GEGEVEN IN PAC-2-
N-267 - RISICOANALYSE DIJK MET KRUIV-
ELEMENT.

3

TERRE ARMÉE[®]

TERRE ARMÉE, OF IN HET NEDERLANDS VERTAALD GEWAPENDE GROND, BESTAAT UIT GROND WAARIN STAAL WAPENINGSSTRIPPEN ZIJN AANGEBRACHT.

DOOR DE WRIJVINGSWEESTAND TUSSEN DE GROND, IN HET ALGEMEEN EEN LOS-KORRELIG COHESIELOOS MATERIAAL (B.V. ZAND) EN DE STAAL STRIPPEN, WORDT HET GRONDMECHANISCH GEORAG VAN HET GEWEL STERK BEINVLOED.



Bij BECASTING VAN HET TERRE ARMÉE - MASSIEF, ZOWEL DOOR IN- ALS UITWENDIGE KRACHTEN WORDEN DE STRIPPEN OP TREK BEAST. HET GEVOLG HIERVAN IS DAT HET TERRE ARMÉE - MASSIEF ZICH GEORAGT ALS EEN EEN COHESIEF MATERIAAL MET EEN GROTE HOEK VAN INWENDIGE WRIJVING.

HET TERRE ARMÉE MASSIEF WOROT AAN EEN OF TWEE ZIJDEN BECAUSO DOOR BEN BEKLEINING BESTAANDE UIT PREFAB. BESTONNEN ELEMEN TEN OF PANELEN.

AAN DEZE PANELEN ZIJN MET BOUTEN DE STALEN VERANKERINGSTRIPPEN BEVESTIGD.

DE HORIZONTALLE KRACHT WELKE OP DE PANELEN WERKT IS KLEINER, DAN ZOU VOLGEN UIT DE "NORMALE" GEMAAKTADE REEELS VOOR HET AANVULMATERIAAL, DIT TEN GEVOLGE VAN DE ALLESOS GENOEMDE SCHIJNBARE COHESIE.

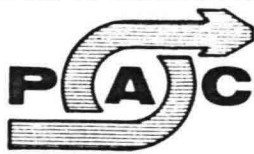
DE GEREDEUWERDE HORIZONTALLE KRACHT OP DE PANELEN WORDT VIA DE STRIPPEN OVERGEBRACHT NAAR, EN VERANKERD IN HET GROND MASSIEF BUITEN DE ACTIEVE ZONE.

DE VERANKERINGSTRIPPEN WORDEN AANGEBRACHT IN EEN STAMMEN VAN $0,75 \times 0,75$ m². TUSSEN 2 LAGEN STRIPPEN WORDT HET ZAND LAAGSCHIJS AANGEBRACHT EN VERDICHT (PER 0,375 m)

TEN AANZIEN VAN CORROSIE VAN DE STALEN STRIPPEN IS DE NODIGE REPARATIE VERRICHT.

IN HET ALGEMEEN WORDT HET CORROSIE-VERLIES ONDERVANCEN DOOR EEN OVERDIJTE, DAN WEL DOOR HET THERMISCH VERZINDEN VAN HET MATERIAAL OF EEN COMBINATIE VAN BEIDEN.

SPECIALE COATINGEN ZIJN VOORALSNOE NIET ECONOMISCH AANTREKKELIJK GEBIENEN. KONTROLE OP DE CORROSIE SLECHTIG GEBEUREN IN-SITU D.M.V. INGEBOUWDE KONTROLESTRIPPEN



DE DIKTE VAN DE BETONNEN PANDION
VARIËRT AFHANKELIJK VAN DE GROND-
DRUKKEN TUSSEN 0,14 EN 0,26 m.

ZETTINGS VERSCHILLEN VAN 1:100 KUNNEN
DOOR TOEPASSING VAN FLEXIBELE VOEGVULLING
OPGENOMEN WORDEN.

GEWAPENDE GROND IS TOT OP 150 CM
HOOFDZAKELIJK TOEGEPAST IN GRONDHERENDE
KONSTRUKTIES ZOALS B.V. KEERMURUS EN
LANDHOUDEN, WAARBIJ HERENDE HOOGTEN
VAN 40 M. GEMIDDELD ZIJN.

KONSTRUKTIES WAARBIJ TEVENS
WATER GEHEERD DIENST TE WORDEN ZIJN
MINDER TOEGEPAST, AL ZIJN VOORNAAMLIJK
UIT DE VERBODEN STATEN TOCH ENIGS
VOORBEELDEN BEHOUD

- AUSTIN WOODHOLLOW DAM H = 10 (m)
(BENEDENSTROOMSE ZIJDE)
- JAMESVILLE DAM H = 14,6 (m)
(HERSTEL)
- LANES SHERBURNE (VERHOOGDE
D.M.V. KRUISELEMENT VAN H = 7,3 (m))
- TAYLOR DRAN DAM H = 22,6 (m)

DAAR DEZE VOORBEELDEN UITERMATE INTER-
RESSANT ZIJN I.H.B. M.D.T. AFDICHTING EN
DETAILERING, ZIJN VIA DE VERTEGEN-
WOORDIGER IN NEDERLAND NAARTE GEVEN
OM TRENT DEZE RANKE VAAED.

4

RANDVOORWAARDEN

ALS BELANGRIJKSTE RANDVOORWAARDEN ZIJN
AAN TE MERKEN:

- 1 - UITWENDIGE BELASTINGEN
- 2 - GRONDMECHANISCHE PARAMETERS
- 3 - LIGGING FREATISCHE LIJN

DE "OPGELEGDE" RANDVOORWAARDE M.B.T.
FAALKANS VAN DE KONSTRUKTIE WURDT
HIER NIET BESCHOUWD.

DIT ZAL GEBUREN IN DE NOG IN
VOORBEREIDING ZIJNDE NOTITIS HIEROVER.

4.1 UITWENDIGE BELASTINGEN

ALS MAATGEVENDE UITWENDIGE BELASTINGEN
ZIJN ENKEL HYDRAULISCHE KRACHTEN
MEEGENOMEN IN DE BEREKENINGEN;

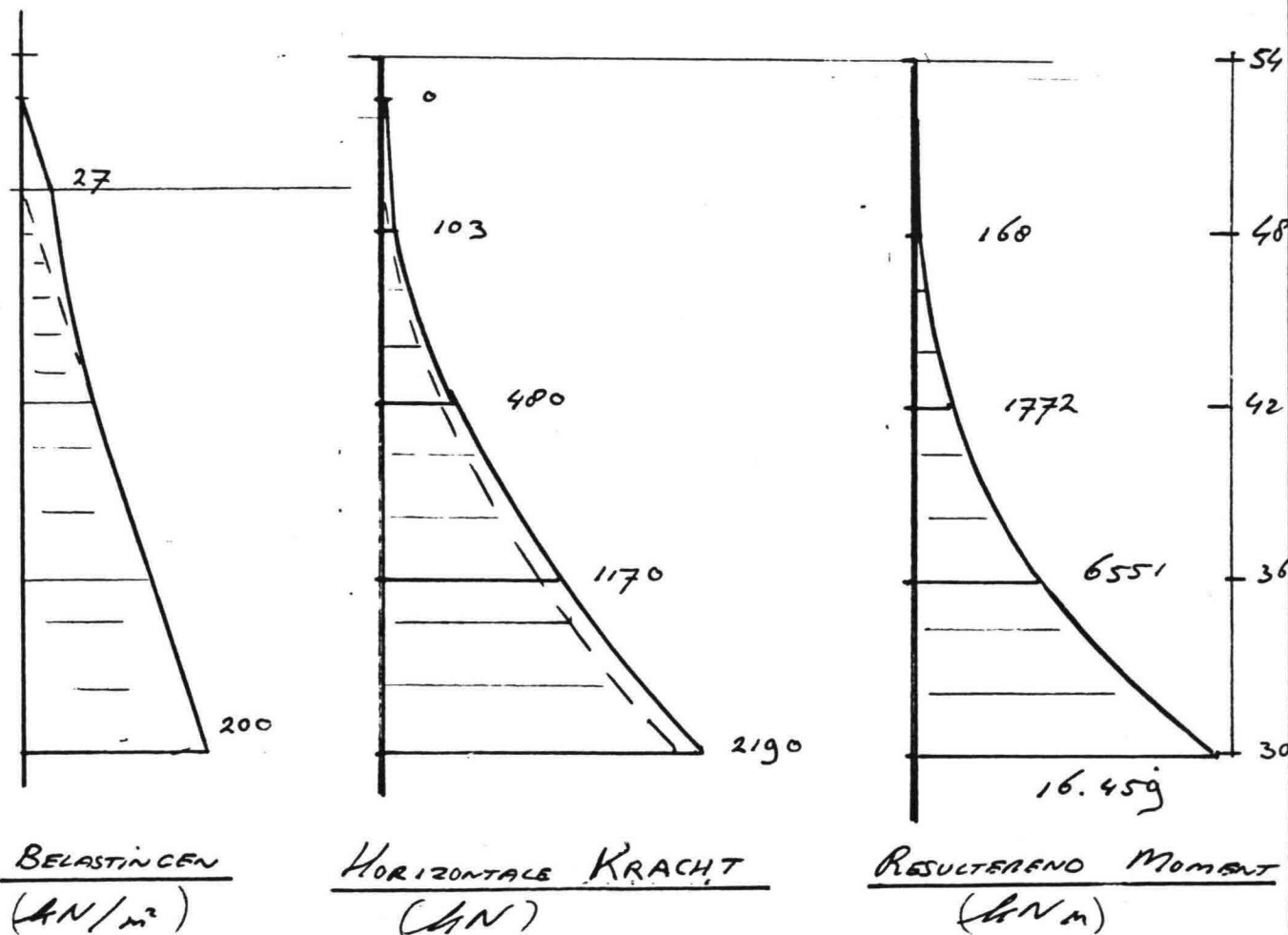
- DE HYDROSTATISCHE WATERDRUK T.G.V.
EEN BEHAARSTAND VAN 50"
- DE MET DE DIEPTTE AFNEMENDE
WATERDRUKKEN BEHOORENDE BY
EEN STAANDE GOLF VAN 5,4

Bij dit laatste is uitgegaan van
EEN VERTICALE OF NADEBIDE VERTICALE
WAND, WAARDOOR EEN INDIVIDUELE GOLF-H_s
VAN 2,70 m, BEHOORENDE BY EEN STORM MET
H_s = 1,50 m VOLLEDIG WURDT GEBEFLECTEERD

ZOALS ONDER TUSSEN IS GEBLISSEN UIT DE
NOTITIS M.B.T. WINDCOLLEN (PAC-2-N-295)
KAN DE H_s ZOWEL LAGER ALS HIGER
ZIJN, AFHANGEND VAN LOCATIE EN WIND-
RICHTING. DE VERSCHILLEN IN EINDUITKOMST
ZIJN ECHTER NIET DUSOANIG, DAT DIT
NOODZAANT TOT EEN VOLLEDIGE NIEUWE
BEREKENING VOOR DEZE FASE VAN HET
ONTWERP

MAATGEVENDE GOLF- EN IJSBELASTINGEN
ZULLEN NIET SIMULTAAN OPTREDEN
HETGEEN VOORLOPIG HET NIET MEENEMEN
VAN IJS BELASTINGEN RECHTVAARDIG.

MET BOVENSTAAND SAMENGEVAT LEVERT DE
VOLGENDE BELASTINGEN OP :
(HYDROSTATISCHE - EN GOLF BELASTINGEN)



HET ZAL DUIDELIJK ZIJN MET BOVENSTAAND
IS UITGEWRAKT VOOR EEN (NAGENOE) VERTICALE
WAND.

Bij DE HET OPLOSSING * DIENEN DAN TEvens
DE VERTICALE KRACHTEN EN DE DAAVIT
VOLGENDE MOMENTEN BESCHOUWD TE WORDEN.

* (WATERVEREND OPPERVLAK IS HELLEND, OVS VERT. KRACHT)

VOOR EEN WAND VAN 1 HORIZONTAL
OP 2 VERTICAAL WURDEN DEZE
RESPECTIEVELIJK $\frac{1}{2}$ EN $\frac{1}{4}$ VAN DE
HORIZONTAL KRACHTEN EN MOMENTEN.

4.2 GRONDMECHANISCHE PARAMETERS

DE ONDERSTAANDE GRONDMECHANISCHE
PARAMETERS ZIJN GEBRUIKT VOOR DE
ORIENTEERENDE BEREKENINGEN:

ZAND in DIJKLICHAAM (\neq TERRE ARMÉE)

$$\left[\begin{array}{l} - \gamma_{\text{DRUOC}} = 16 \text{ kN/m}^3 \\ - \gamma_{\text{NAT}} = 20 \text{ kN/m}^3 \\ - \phi = 33^\circ \\ - c = 0 \end{array} \right.$$

(ANALOG TRADITIONEEL DIJKONTWERP)

TERRE ARMÉE

$$\left[\begin{array}{l} - \gamma_{\text{DRUOC}} = 18 \text{ kN/m}^3 \\ - \gamma_{\text{NAT}} = 21 \text{ kN/m}^3 \\ - \phi = 36^\circ \\ - c = 60 \text{ kN/m}^2 \end{array} \right.$$

LIT[4]

DE "SCHIJNBARE" COHESIE IN HET
TERRE ARMÉE MASSIEF WORDT VERROOR-
ZAANT DOOR DE KRACHTSWERKING VAN
DE WAPENINGS STRIPPEN.

4-3 LIGGING FREATISCHE LIJN

MET BETREKKING TOT DEZS VOOR DE
 STABILITEIT VAN GROOT BELANG ZIJNDE
 RANDVOORWAARDE ZIJN DOOR I v/o BURC
 EEN GROOT AANTAL BEBENINGEN
 GEMAAKT.

EEN SELECTIE HIERUIT IS GEBRUIKT BIJ
 DE STABILITEITS BEBENINGEN EN IS
 TER ILLUSTRATIE BIJGEVOEGD.

POPULAIR GEZEGD IS DE CONCLUSIE DAT
 ONDER NORMALE OMSTANDIGHEDEN, D. Z.
 DE AFDICHTING FUNCTIONAAR BEHOORLIJK,
 MET VOOR DE STABILITEIT VAN HET
 TERRE ARMÉE[©]-MASSIEF VAN BELANG ZIJNDE
 DEEL VAN DE OJK, DROOG IS.

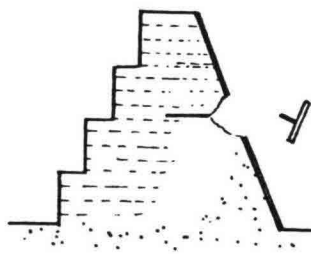
VERWEZEN WRODT NAAR DE NOTITIE
 PAC 2 - N - 312 - " BEPALING KWELVERLIES
 EN LIGGING FREATISCHE LIJN IN EEN
 DIJKPROFIEL VOOR EEN 50 M BEKKEN
 IN HET IJSSELMEEER BIJ EEN GEWAPENDE
 GROND KISTOAM ALS KRUINELEMENT

5

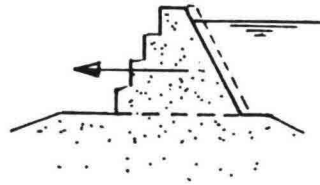
STABILITEIT

Bij DE STABILITEITSBEREKENINGEN VAN TERRE ARMÉE KONSTRUKTIES IS ONDERSCHIED GEMAAKT IN DE VOLGENDE GRENS TOESTANDEN ;

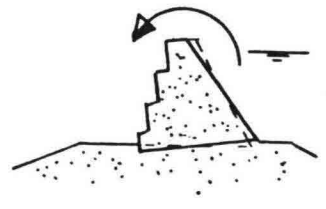
- A) STERKTE INDIVIDUELE ONDERDELEN
- B) HORIZONTALAAR AFSCHUIVEN (KISTOAM)
- C) WANTELEN (KISTOAM)
- D) RESULTANTE KRACHTEN DOOR WERN (KISTAM)
- E) FUNDERING DRUKKEN (BRINCH WANSEN) (KISTAM)
- F) GLIJVLAKKEN



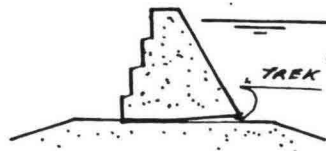
A) STERKTE ONDERDELEN



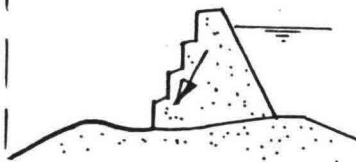
B) AFSCHUIVEN



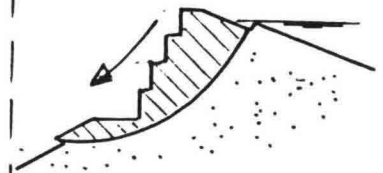
C) WANTELEN



D) TREK IN FUNDAMENT



E) FUNDERINGS DRUKKEN



F) GLIJVLAKKEN

VAN DEZE GRENSTOESTANDEN IS UIT DE
BEREKENINGEN GELEKEN DAT KANTLEN (C)
EN NEGATIEVE TUNDRINGS DRUKKEN (D) VOOR
HET VOORLOPIGE ONTWERP VERDER BUITEN
BESCHOUWING GELEVEN KUNNEN WORDEN.
DE VEILIGHEDEN OP DEZE MECHANISMEN IS
N.L. ZEER GROOT ($\gg 3$).

DE RESTERENDE GRENSTOESTANDEN WRODEN
HIERONDER BEKNOPT BESPROKEN.

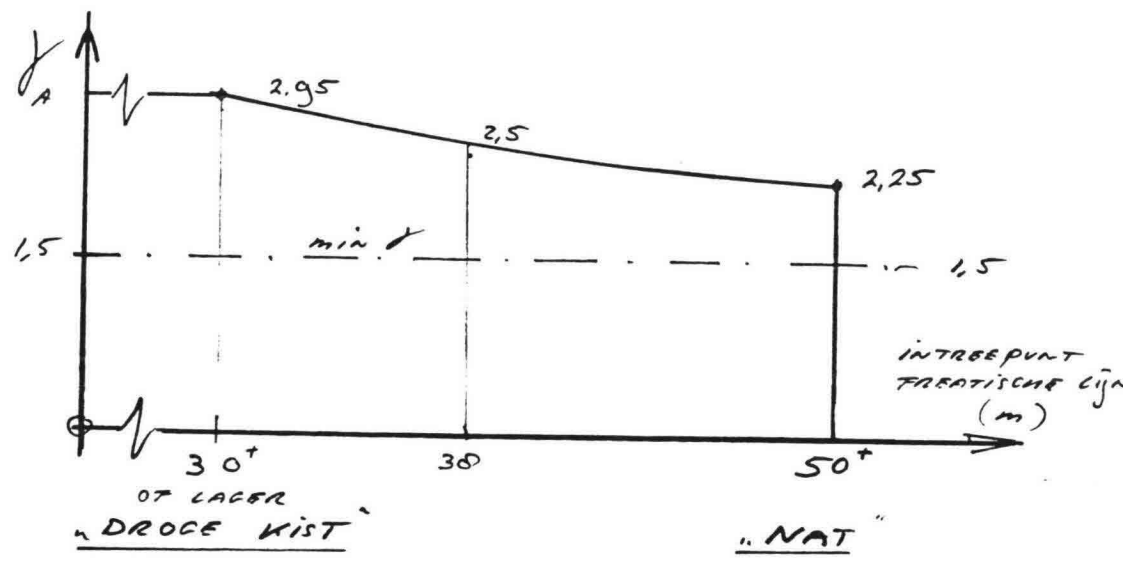
VOOR HET GEMENGDE TYPE DAM, MET DE
TERRE ARMÉE STEUNMUUR AAN IJSEEMERZIJDE
ZIJN ENKEL DE STERKTE V/O INDIVIDUELE
ELEMENTEN EN GELVAKKEN VAN BELANG.

A) STERKTE INDIVIDUELE ONDERDELEN

- BETONNEN PANELEN - GEDIMENSIONEERD VOLGENS
DE GANGBARE VOORSCHRIFTEN, EN MET
DE DAAR MEE CORRESPONDERENDE VEILIGHEIDS-
COEFFICIENTEN.
 - VERANKERINGS STRIPPEN - TEN ANZIEN VAN
DE STERKTE KAN HET ZELFDE GESTELD
WORDEN ALS BOVEN, ECHTER MET
DIENVERSTANDE DAT BIJ DE STERKTE -
BEREKENING UITGEGAAN VAN DE RESTERENDE
DIKTE VAN DE STRIP NA 100 JAAR;
4 mm CORROSIE OP EEN OORSPRONKELIJKE
STRIPDIKTE VAN 8 mm.
(STAAL FE 366 - THERMISCH VERZINKT)
- DE LENGTE VAN DE GERIBDELE
STRIPPEN HEEFT EEN VEILIGHEIDSFACOR
VAN 1,5.

B] HORIZONTALAAL AFSCHUIVEN

DE VEILIGHEIDSMARGE TEN AANZIEN VAN HORIZONTALAAL AFSCHUIVEN HANGT IN ENIGE MATE AF VAN DE LIGGING VAN DE FREATISCHE LIJN, ZIE ONDERSTAANDE GRAFIEK;



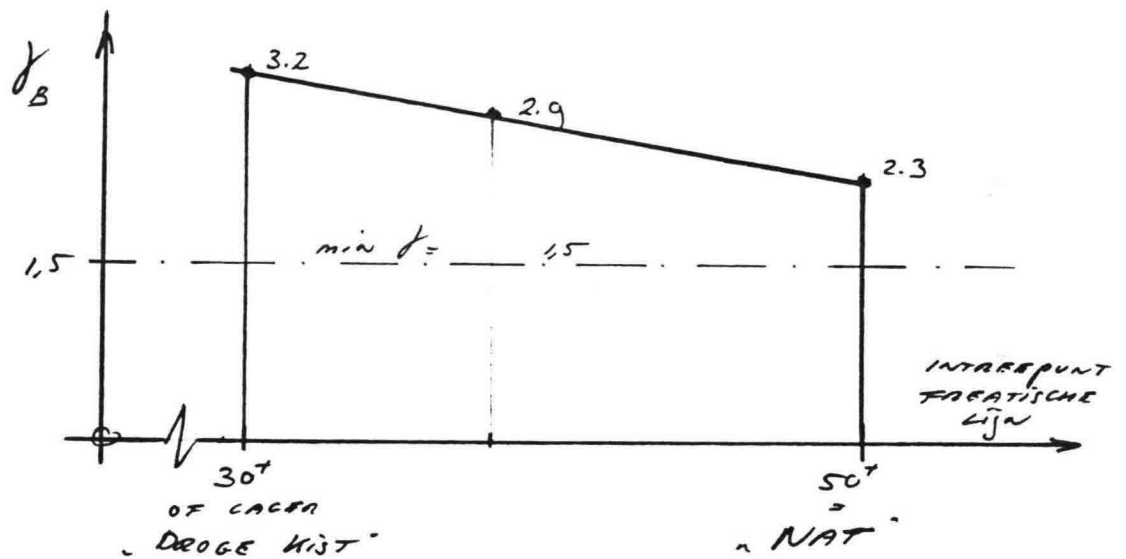
VEILIGHEIDSCOEFFICIENT γ_A - AFSCHUIVEN
AFHANGELIJK VAN FREATISCHE LIJN

WIERUIT BLIJKT DAT ONDER "NORMALE" BEDRIJFS OMSTANDIGHEDEN DE HISTOAM EEN VEILIGHEID TEGEN AFSCHUIVEN BEFIT VAN $\gamma = 2,95$. SLECHTS IN HET GEVAL VAN ZEER GROTE BESCHADIGINGEN IN DE AFDICHTING (m^3/m) ZAL DE VEILIGHEID TOT 2,5 OF LAGER ZAKKEN MAAR STEEDS RUIMSCHOOTS BOVEN DE 1,5 BLIJVEN.

C] EN D] NIET VAN BELANG

E] TOELAATBARE FUNDERINGS DRUKKEN
(z.g.n. BRINCH HANSON)

ANALOGG MET HET VERSCHIJNSEL HORIZONTALAAR
AFSCHUIVEN HANET DE VEILIGHEIDSMARGE
TUSSEN MAXIMAAL OPTREDENDE FUNDERINGS-
DRUK EN DE TOELAATBARE FUNDERINGS
DRUKKEN AF VAN DE LICHTJE VAN
DE FREATISCHE LIJN ;



— VEILIGHEIDSCOEFFICIENT f_B — BRINCH HANSON
AFHANGIG VAN FREATISCHE LIJN

(OPM. ; BEREKENINGEN MET $\phi = 30^\circ$, ECHTER
WBC MET VLAKE ONDERGROND
≈ COMPENSEREND)

F/ GLIJVLAKKEN

ZOWEL VOOR DE KRUIELEMMENT OPLOSSING ALS VOOR DE TERRE ARMÉE STEUNMUUR - OPLOSSING ZIJN GLIJVLAKBEREKENINGEN UITGEVERD

DE HIERBIJ BEREKENDE SITUATIES ZIJN DE BEIDE EXTREME SITUATIES; 1 - FREATISCHE LIJN LIGT LAAG (INTREEPUNT NAP 25⁺ OF LAZER EN IS DAN VAN GEEN INVLOED MEER OP DE STABILITEIT, OF 2°: DE FREATISCHE LIJN LIGT ERG HOOG.

BIJ DIT LAATSTE GEVAL IS ALS INTREEPUNT VAN DE FREATISCHE LIJN AANGEHOUDEN, NAP + 50 m.

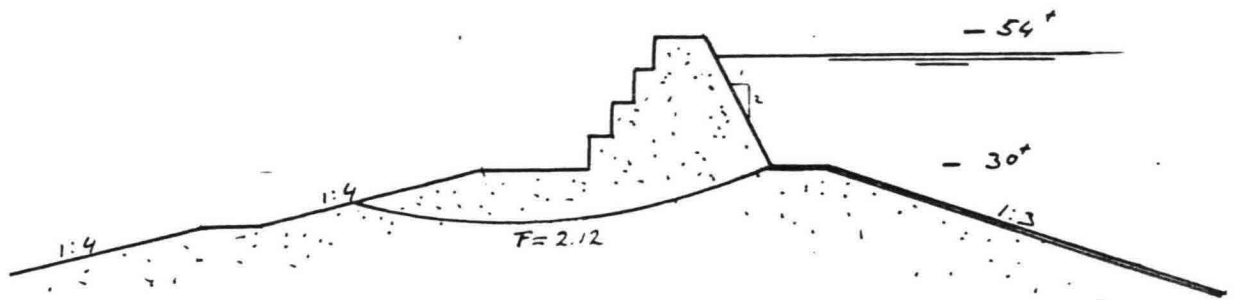
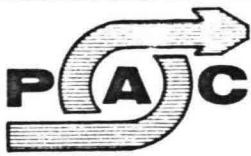
DE VOLGENDE STABILITEITSFACTOREN ZIJN HIERBIJ GEVONDEN;

INTREEPUNT FREATISCHE LIJN	LAAG ($< 25^+$)	HOOG (50^+)
KRUIELEMMENT	2,12	1,27
STEUNMUUR	$\pm 2,0$ 1,71*	1,45 1,19*

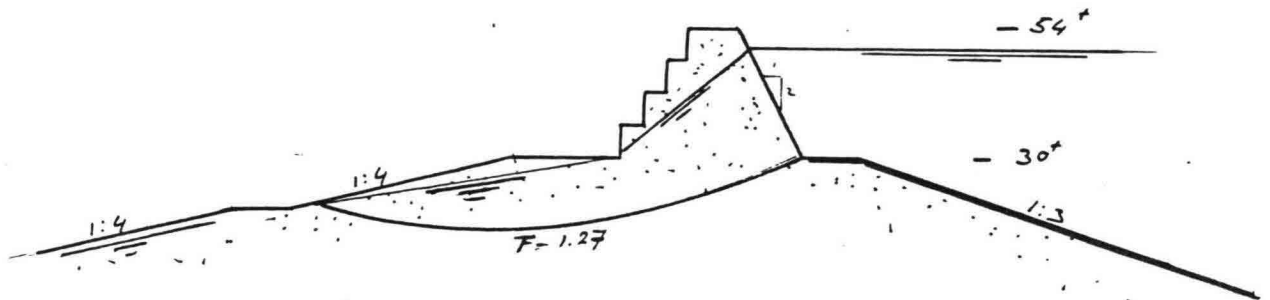
* DE MET EEN * AANGEVUIDE STABILITEITSFACTOREN GELOFEN INDIEN DE SCHIJNBARE COHESIE T.G.V. WAPENING BUITEN BESCHOUWING IS GELETEN.

OP DE FIGUREN OP DE VOLGENDE BLZ. ZIJN DE GLIJCIRKELS MET DE KLEINSTE STABILITEITSFACTOREN WEERGEGEVEN.

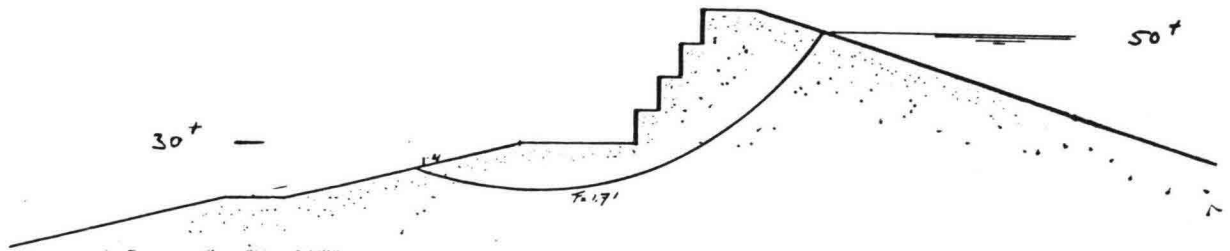
DE STABILITEITSFACTOREN LIGGEN IN DE ZELFDE ORDE ALS DIE VAN EEN TRADITIONELE DIJK



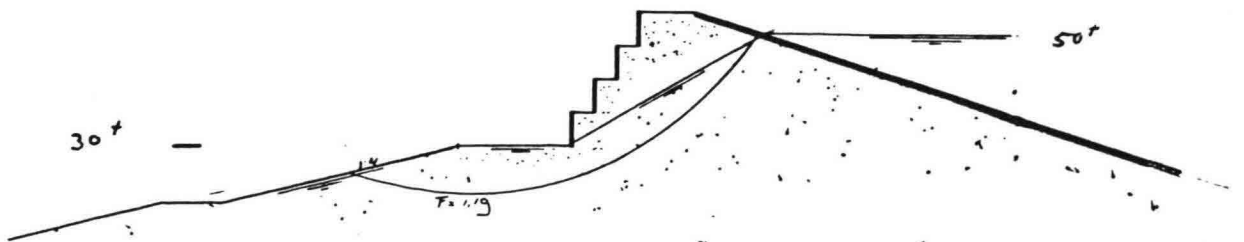
A] KRUIVELEMENT DROOG $F \approx 2.1$



B] KRUIVELEMENT NAT $F \approx 1.3$



C] STEUNMUUR DROOG $F \approx 1.7$ (ZONDER COHESIE - MET; $F \approx 2.0$)



D] STEUNMUUR NAT $F \approx 1.2$ (ZONDER COHESIE MET: $F \approx 1.5$)

6 KOSTEN EN MATERIAAL GEBRUIK

OP BASIS VAN DE VOORLOPIGE ONTWERPEN ZOALS WEERGEGEVEN OP DE BIJGEVOEGDE TEKENING PAC 2 - ... , IS EEN KOSTEN BEGRITING GEMAAKT EN EEN OPTIMALISATIE VERRICHT.

HIERUIT VOLGDE EEN OPTIMALE HOOGTE H VAN DE TERRÉ ARMÉE KONSTRUKTIE VAN CA. 24 m.

(ZIE DE FIGUREN OP DE VOLGENDE BLZ.)

DE GERAAMDE KOSTENBESPARINGEN ZIJN HIERBIJ 8 EN 5,5 % RESPECTIEVELIJK VOOR DE KISTOAM EN HET GEMIDDE TYPE.

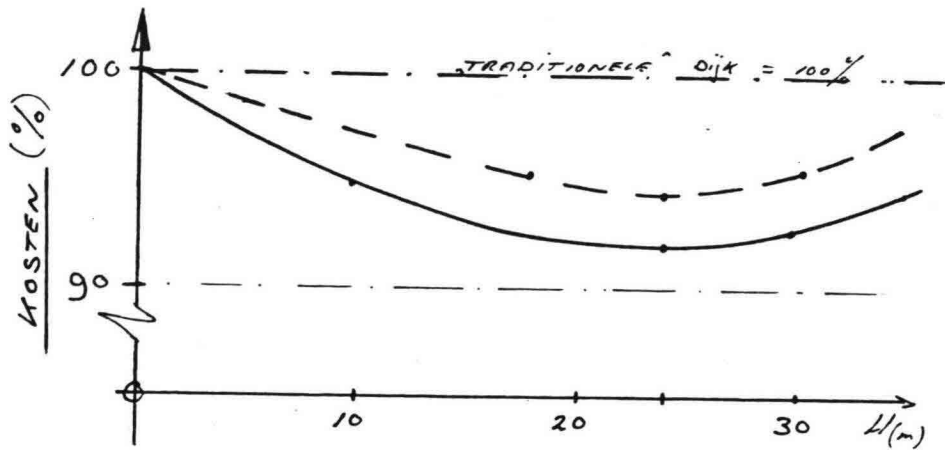
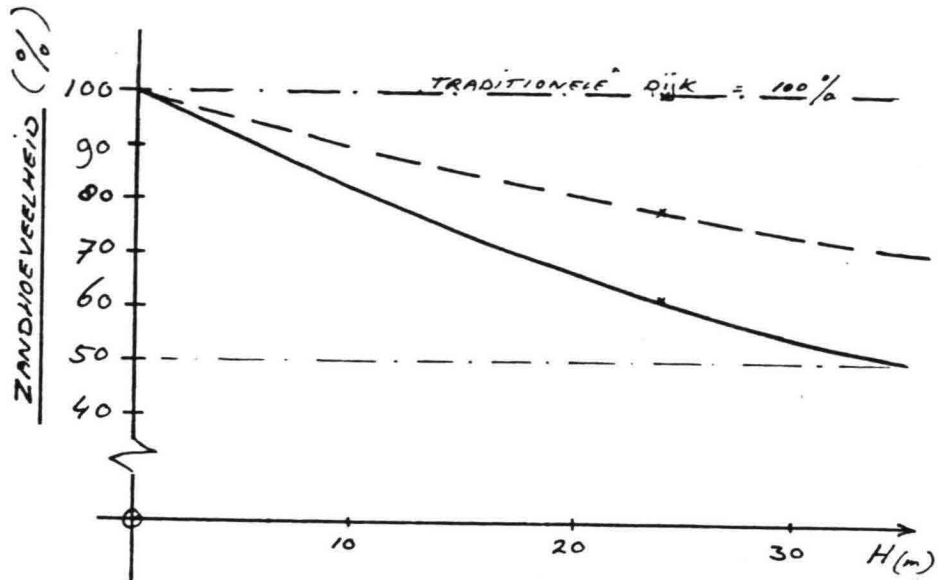
BOVEN GENOEMDE PERCENTAGES ZIJN GECOEN VOOR EEN ZUIDELIJK JESSELMER LOCATIE, EN VALLEN VOOR EEN NOORDLIJKE LOCATIE CIRCA 1,5 TOT 2 MAAR 20 HOOG UIT.

DIT LAASTE KOMT VANWEGE DE HOGERE ZANDPRIJS VOOR HET NOORDEN.

DE BESPARINGEN OP ZAND ZIJN AANZIENLIJK GROTER, ZOALS OOK DUIDELIJK SCIJT UIT DE FIGUUR, RESP. 37,5% EN 22% BIJ $H=24$ m.

GENOEMDE PERCENTAGES KUNNEN TEN GEVOLGE VAN EEN NADERE UITWERKING ENIGZINS WIJZIGEN.

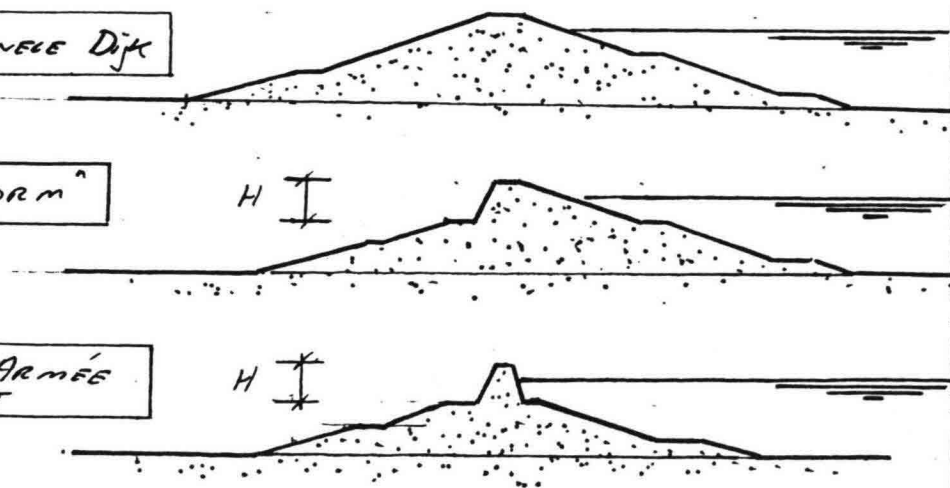
VERGELIJKING TERRE ARMÉE DIJKEN MET EEN
TRADITIONELE DIJK - KOSTEN EN ZANDVOLUME



TRADITIONELE DIJK

MENG VORM

TERRE ARMÉE
MIST



7

AANBEVELINGEN

UIT HET VOORGAANDE BLIJFT OUIDBLIJK DAT HET GEBRUIK VAN HET TERRE ARMÉE-SYSTEEM IN DE BEHOEVENEN BESPAARINGEN OP KAN LEVEREN, ZOWEL IN GELD ALS IN ZAND.

AANGEZIEN ER ECHTER NOG ENKELE BELANGRIJKE VRAAGSTUKKEN ONVOLEGENDE OPGELOST ZIJN VEROIENT HET DE AANBEVELING DE STUDIE HIEROMTRENT VOOR TE ZETTEN. HIERBIJ WUROT DAN VOORAL GEDACHT AAN DE AFDICHTINGEN EN AANSLUITINGEN BIJ EEN KRUIJNEMENT.

VOOR EEN VERVOLGSTUDIE, EN T.B.V. DE DETAILERING, ZIJN TEVENS ZETTINGSBEREKENINGEN EN ENKELE AANVULLENDE SERIEË GELYKBAARBEREKENINGEN STERK AAN TE BEVELEN.

BLIJKT UIT AANVULLENDE BEREKENINGEN EN RISICO ANALYSE DAT EEN VERGROTING VAN DE STABILITEIT NOODZAKELIJK IS, DAN ZIJN DAARVOOR ENKELE MOGELIJKHEDEN;

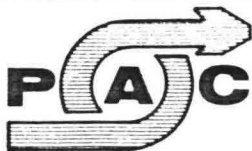
- WIJZIGING GEOMETRIE (TALLOS, BERM BREEDTE)
- VEROICHTING
- WAPENING (GEOGRIDS)

EEN NADERE UITWERKING VAN DEZE MOGELIJKHEDEN VEROIENT I.V.M. OPTIMALISATIE IN EEN VOLGENDE STUDIEFASE BENSCHS AANBEVELING.

EEN RISICO ANALYSE VAN DIT TYPE WATER-HERENDE KONSTRUKTIE IS REEKS ONDER VOORBEREIDING.

LITERATUUR

- 1 - ALTERNATIEF ONTWERP VOOR EEN WATERWERKING
VAN EEN ENERGIE SPAARBANKEN
C. V. BLADEREN (AFSTUURVERSLAG)
- 2 - KUNSTWERKEN IN GEWAPENDE GROND
LAB. CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
- 3 - TERRE ARMÉE NU OOK IN NEDERLAND
H.L. JANSSEN - P. SCHUUTS
OTAR 1984 - 0
- 4 - TERRE ARMÉE NADEB BEMOENEN
H.L. JANSSEN - V.D. ELZEN - LUPPENS
CEMENT 1983 - 7
- 5 - EARTH REINFORCED DAMS
CIVIL ENGINEERING OCTOBER 1983



Bijlagen

bij bijlage 17.

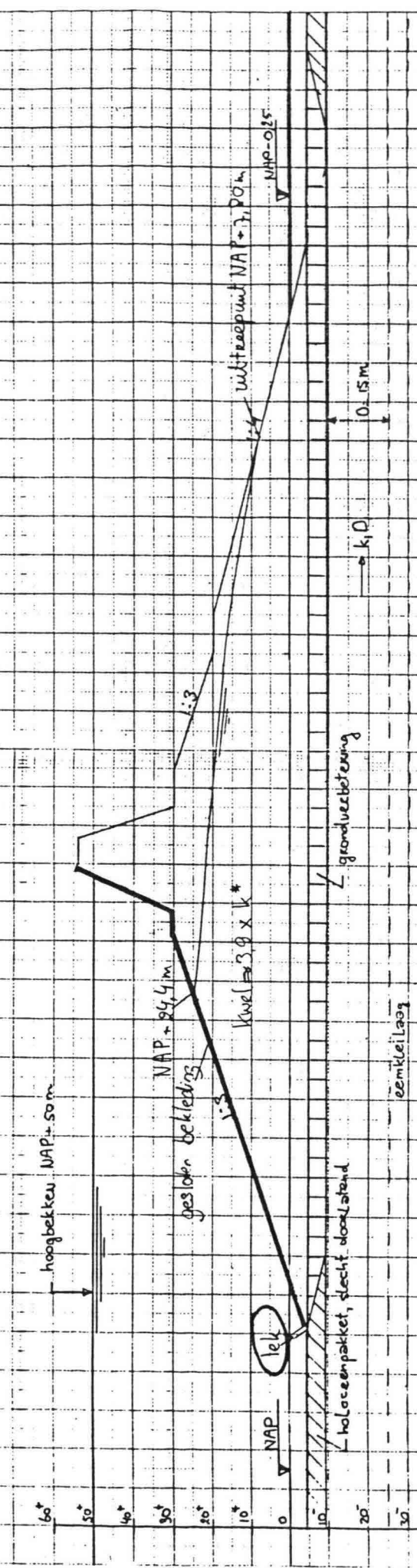
EEN SELECTIE UIT HET GROTE
AANTAL BEREKENINGEN BETR. LIGGING
FREATISCHE LIJN.

Bijlage 35

PAC+ BEKKEN NAP+50 m

Elektrisch analoog - metingen

- **Grondverbetering** onder dijk, anisotroop, $k_u = 0,1 \text{ Kh}$
- Talud bekenzijde gesloten, rechter I lek op NAP-4 m, breedte 1 m.
- Talud IJsselmeerrijde open.
- Geen drainage.



60
50
40
30
20
10
0
NAP
10
20
30

0
70
150
200
250
300

Kweldebiet $Q = 1,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{day}$ by $k = 35 \text{ m/day}$ $dz = 17,3 \text{ cm/day}$

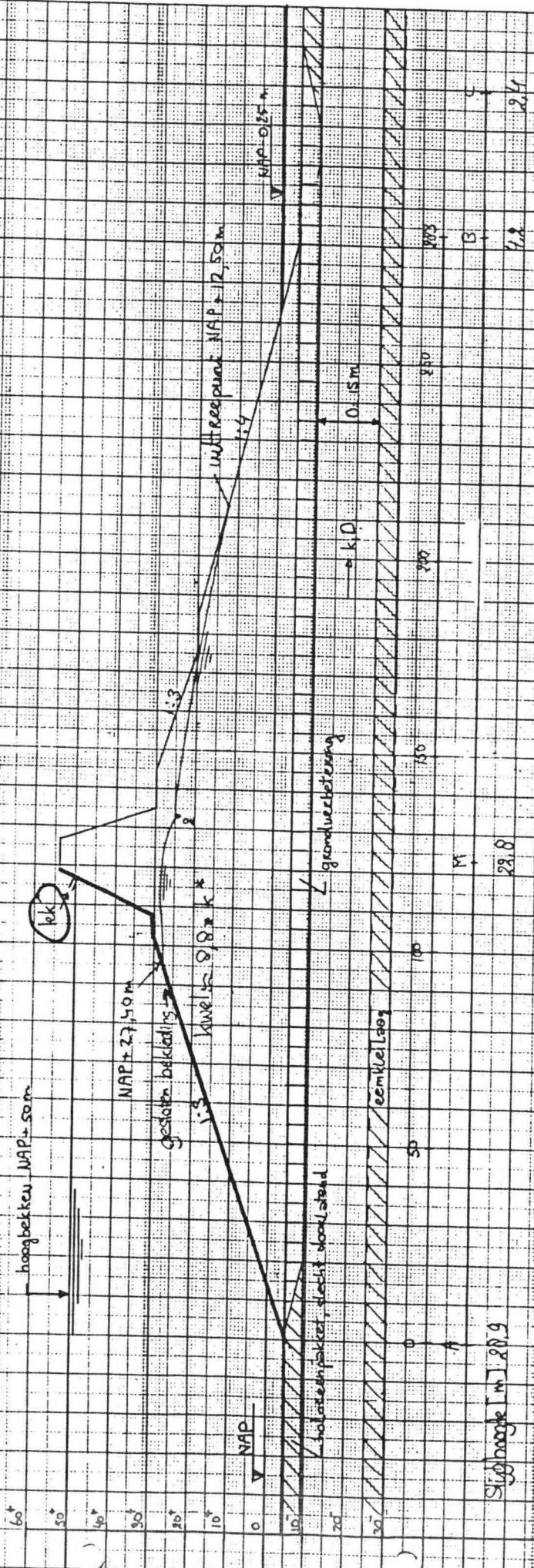
* k waarde dijk > k-waarde klD-Laag

PAC-BEKKEN NAP+50 m

Bijlage 15

Elektrisch analoog - metingen

- Grondverbettering onder dijk, anisotropie $k_v \approx 0,1 k_h$
- Talud bekkenzijde gestoten; echter 1 l.k.: - breedte 0,5 m breed
- peil NAP+50 m
- Talud / sedmezijde open
- Drainage op plaats 2; NAP+25,50 m



Kweldebuut
Opvang drain

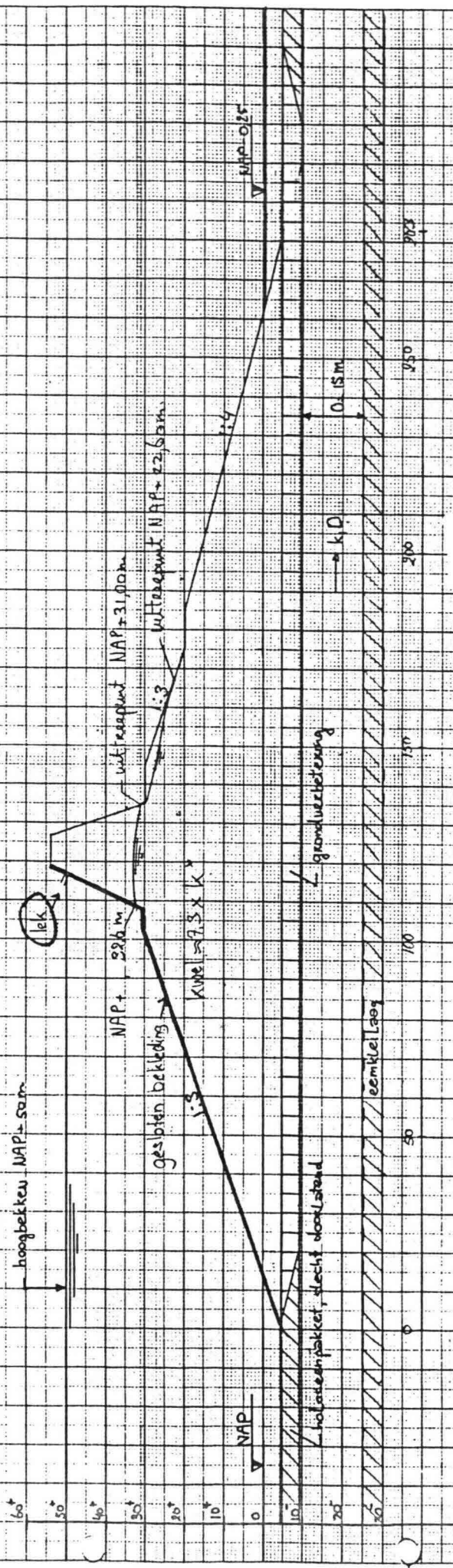
$Q = 4,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ bij $k(\text{dijk}) = 35 \text{ m}/\text{dag}$; $d_z = 25,6 \text{ cm}/\text{dag}$
 $q = 1,85 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ bij $k(\text{dijk}) = 35 \text{ m}/\text{dag}$; (= 41,7% van totaal kwel)

* k-waarde dijk > k-waarde KD-laag

PAC + BEKKEN NAP + 50 m

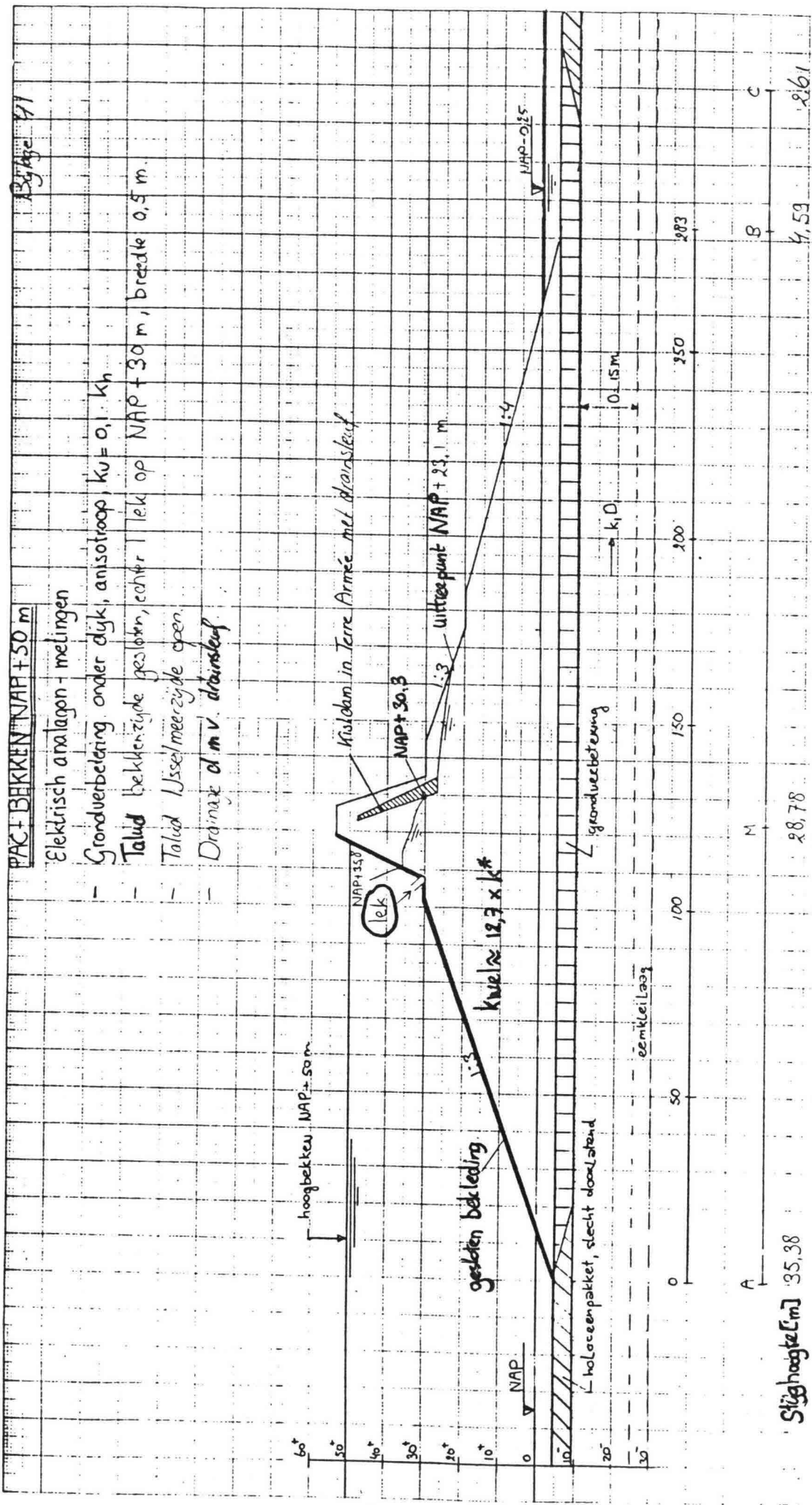
Elektrisch analoog - metingen

- Grondverbetering onder dijk
- Talud bekransende gesloten, echter 1 lek: - breedte 0,5 m.
- pol NAP + 50 m.
- Talud veldmarkende open
- Geen drainage ingekant



$Q = 371 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ bij $k(\text{dijk}) = 35 \text{ m}/\text{dag}$ $d_z = 21,5 \text{ cm}/\text{dag}$

* K-waarde dijk > K-waarde KD laag



PAC+ BEKKEN NAP+50 m

Elektrisch analoog - metingen

- Grondverbetering onder dijk, anisotroop, $k_v = 0,1 \cdot k_h$
- Talud bekkenszijde gesloten, echter 1 lek op NAP+30 m, breedte 0,5 m.
- Talud IJsselmeerszijde open
- Drainage d.m.v. drainsleuf

hoogbekken NAP+50 m

NAP+30

Kuisdam in Terre Armee met drainsleuf

NAP+30,3

uitlooppunt NAP+23,1 m

$k_{w,leak} \approx 19,7 \times k^*$

NAP

holceenpakket, slecht doorlatend

eemkleilaag

grondverbetering

k.D.

10,15 m

1:4

1:3

Stijg hoogte [m] 35,38

M

28,78

B

4,59

C

2,61

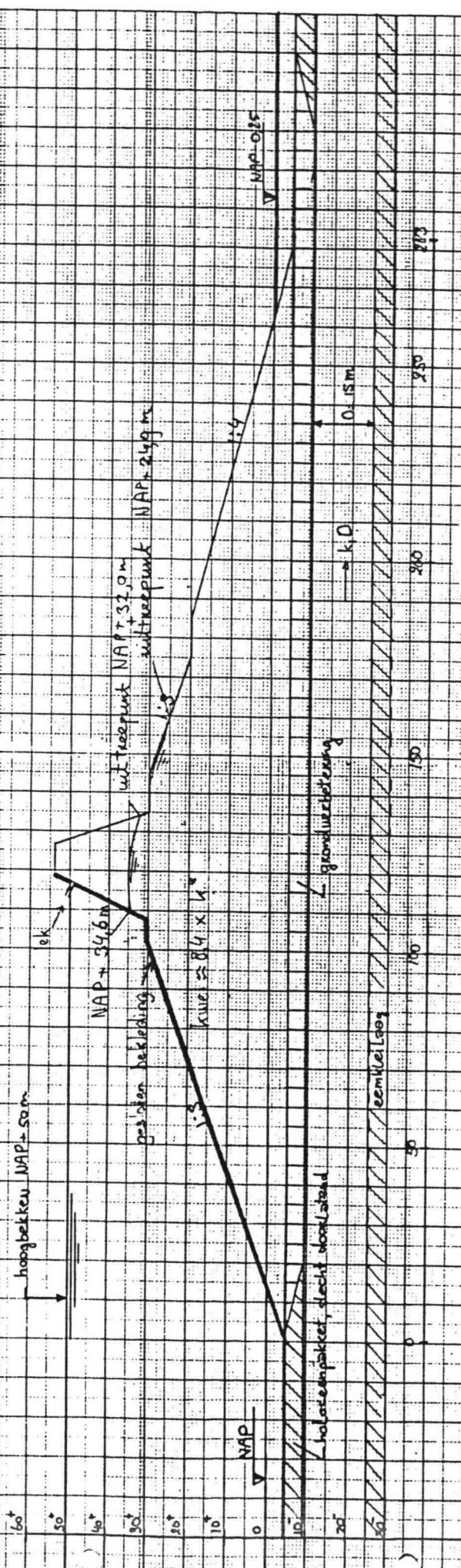
kwelgebied $Q = 6,42 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ bij $k = 35 \text{ m}/\text{dag}$; $d/2 = 38,6 \text{ cm}/\text{dag}$
 opening drainsleuf = $2,32 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ bij $k = 35 \text{ m}/\text{dag}$ bij $k = 35 \text{ m}/\text{dag}$ (36% t.o.v. totale kwel)

* k-waarde dijk > k-waarde k.D.-laag

PAC+ BEKKEN NAP+50 m

Elektrisch analoog - metingen

- Grondverbetering onder dijk; anisotrop, $k_v = 0,1 k_h$
- Talud bekkenzijde gesloten; cotten | lek :- breedte 1 m
- peil NAP +50 m
- Talud Vossemeerszijde open
- Geen drainage toegepast



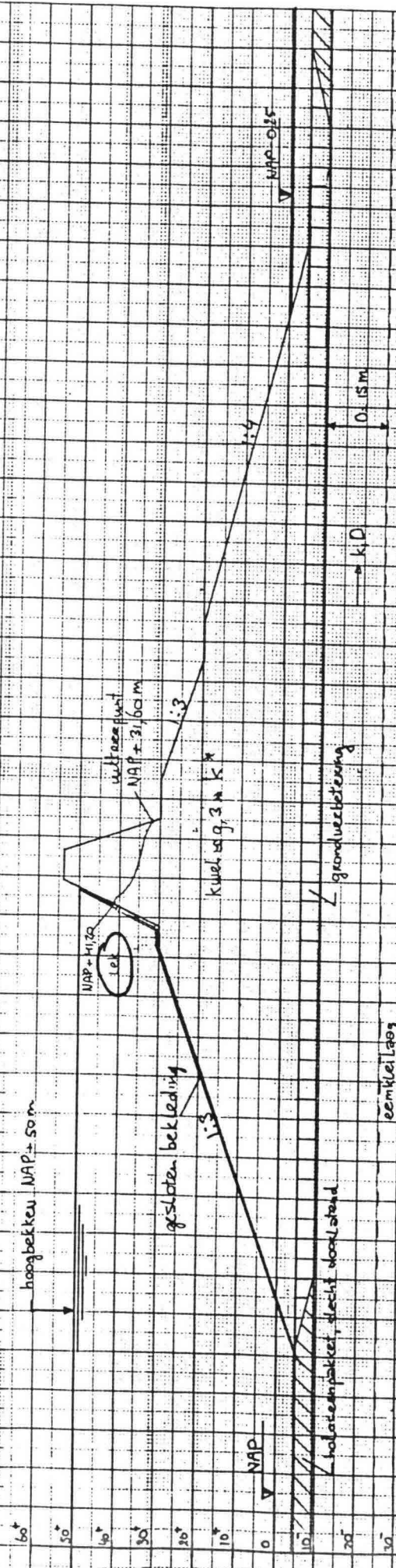
KW-afdebiet $Q = 4,24 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ by $k(\text{dijk}) = 35 \text{ m}/\text{dag}$ $dk = 24,4 \text{ m}/\text{dag}$

* k-waarde dijk > k-waarde zand

PAC-BEKKEN NAP + 50 m

Elektrisch armlagen - melingen

- grondverbetering onder dijk, onisotroop, $k_v = 0,1 \text{ l/s}$
- talud betkenzijde gestoten, echter 1 lek op NAP + 40 m, breedte 0,5 m
- geen drainage

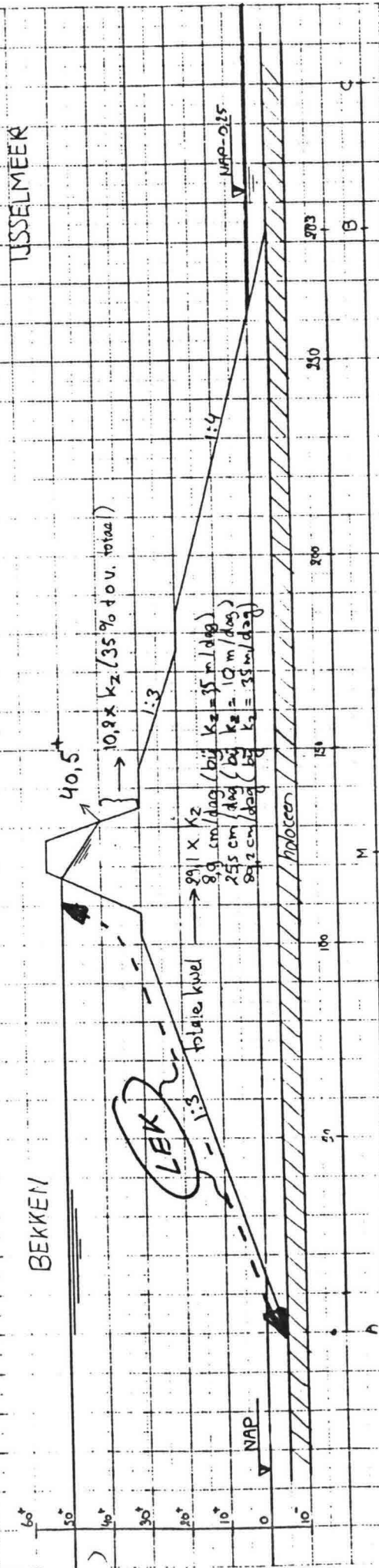


kweldebiet = 4,70.106 m³/dag bij $k_{dijk} = 35 \text{ m/dag}$ $d = 27,1 \text{ cm/dag}$

* k-dijk > k-waarde k10-laag

PAC+BEKKEN NAP+50 m

- Elektrisch amlagon - metingen
- Talud bekkenzijde open
- Onderlatend veronderstelde holocene laag
- Stijl talud Ysselmeerszijde open
- Geen drainage toegepast



Stijghoogte [M]

opim getide talud aan Ysselmeerszijde is kwelafvoerlaak.



PAC, DPG2

ing. J.C. van der Burg, ing. F. Bannenberg

22-04-'85 en 14-06-'85

Hogere PAC-bekken 60 m⁺ en 50 m⁺ op het
IJsselmeer
Kwilverlies en freatische lijnen1. Samenvatting

In de afgelopen PAC-studieperiode zijn kwilverlies- en freatische lijn-berekeningen voor een 24m⁺ bekken (diameter 8 km) en een 40 m⁺ bekken (diameter 4,7 km) uitgevoerd.

Omdat de turbines hun hoogste rendement bij het hoogst mogelijke waterniveau hebben bestaat de kans dat in het kader van de kostenoptimalisering een hoger bekken dan 40 m⁺ tot de mogelijkheden behoort.

Uitgaande van de vroegere berekeningen van het 40 m⁺ bekken zijn globale berekeningen van het kwilverlies en de freatische lijn voor een "nieuw" 40 m⁺ bekken, met andere straal, een 50 m⁺ en een 60 m⁺ bekken uitgevoerd. Deze globale berekeningen gelden voor een dijk met open bekledingen en zonder een grondverbetering.

In een later stadium zijn alleen voor de zuidelijke locaties met en zonder een eemkleilaag, een aantal metingen met behulp van een elektrisch analogon toegevoegd. Deze analogonmetingen waren ruimer van opzet, waarbij de ongunstigste grondparameters werden gecombineerd en zijn in tegenstelling tot de globale berekeningen zowel met als zonder een grondverbetering uitgevoerd.

Uitgangspunten voor wat betreft de bekkengeometriën zijn:

	diameter	straal	omtrek	oppervlakte
"Nieuwe" 40 m ⁺ bekken	6 km	3 km	18,9 km	28,3.10 ⁶ m ²
50 m ⁺ bekken	4,7 km	2,35 km	14,75 km	17,35.10 ⁶ m ²
60 m ⁺ bekken	3,8 km	1,9 km	11,9 km	11,34.10 ⁶ m ²

Andere uitgangspunten zijn:

- kruinhoogte van de dijk 4 m boven het aangegeven waterpeil;
- taluds 1 : 3 aan beide zijden;
- open taluds (of grote lekken) als ongunstigste situatie.

2. Bepaling van de kwelverliezen

2.1 Globale berekeningen met een analytische formule

Uitgegaan werd van de kwelverliescijfers zoals die berekend zijn voor het ("oude") 40 m⁺ bekken (R = 2,3 km); zie hiervoor blz. 57 van de DPG2 1 April Nota: "Presentatie Voorkeursvarianten".

Kwelverlies zonder geotechnische maatregelen uit notitie PAC2-M-108 bij taluds 1:3 voor hoog bekken 40 m ⁺ , straal 2,3 km			
met holocene klei/veenlaag (zuidelijke locatie)		zonder holocene klei/veenlaag (noordelijke locatie)	
met eemklei laag	zonder eemklei	met keileem laag	zonder keileem
3 - 21 cm/dag	3 - 23 cm/dag	3 - 33 cm/dag	9 - 88 cm/dag

Opm.:

Spreiding in de kwelverliescijfers geven de invloed van de grondparameters weer. Deze zijn tot nu toe onvoldoende nauwkeurig bekend en vereisen nader grondonderzoek.

De "nieuwe" kwelverliezen van het 40 m⁺ en de hogere 50 m⁺ en 60 m⁺ bekkens werden globaal berekend met de op blz. 57 van de 1 April nota genoemde formule:

$$F_b \cdot d = C \cdot H \cdot 2\pi \sqrt{\frac{F_b}{\pi}} \quad (1)$$

waarbij F_b = oppervlakte van het bekken in m²
 d = kwelverlies op het bekken in m/dag
 C = een constante in m/dag
 H = verval tussen bekken- en IJsselmeerstand in m.

Berekend werden de volgende kwelverliescijfers:

		Met holocene klei/ veenlaag (zuidelijke locatie)		Zonder holocene klei/ veenlaag (noordelijke locatie)		
		met eem- kleilaag	zonder eemklei	met kei- leemlaag	zonder keileem	
Bekken:	bekken- straal R in km					
"oud" bekken	40 m ⁺	2,3 km	3-21 cm/dg	3-23 cm/dg	3-33 cm/dg	9- 88 cm/d
"nieuw bekken	40 m ⁺	3 km	2-15 cm/dg	2-17 cm/dg	2-26 cm/dg	7- 70 cm/d
bekken	50 m ⁺	2,35 km	4-26 cm/dg	4-28 cm/dg	4-40 cm/dg	11-108 cm/d
bekken	60 m ⁺	1,9 km	5-38 cm/dg	5-42 cm/dg	5-57 cm/dg	16-151 cm/d

Opm.:

Invloeden van geotechnische maatregelen, zoals grondverbeteringen en drainages zijn in deze berekeningen niet betrokken en kunnen ongunstiger kwelverliezen in de orde van een factor 2 à 3 (zie o.a. bij de analogonmetingen) opleveren.

2.2 Metingen met behulp van een electricch analogon

Voor de zuidelijke locatie zijn metingen in een electricch analogon uitgevoerd zowel met als zonder een grondverbetering. Dit is gedaan voor het geval met een eemkleilaag (geval A) als zonder een eemkleilaag (geval B). In de analogonmetingen zijn diverse grondparameters ingevoerd, waaronder de ongunstigst mogelijke combinaties van grondconstanten en grondverbeteringskwaliteitparameters.

De resultaten van de metingen zowel kwelverliezen als hoogte van freatische lijnen zijn vermeld op de bijlagen 1 t/m 10.

Worden, voor het geval zonder grondverbetering en met een eemkleilaag, de uit paragraaf 2.1 globaal berekende waarden van de kwelverliezen vergeleken met de in een electricch analogon gemeten waarden dan is de overeenkomst goed te noemen (de verschillen bedragen maximaal 10%). Vergelijk hieronder in totaal de maximale waarden uit overeenkomstige berekening en analogonmeting:

	Zuidelijke locatie met eemkleilaag zonder grondverbetering		
Bekken	straal bekken (R)	berekende max. waarde dz (cm/dg)	gemeten max. waarde dz (cm/dg)
"oud" bekken 40 m ⁺	2300 m	21	21,6
"nieuw bekken 40 m ⁺	3000 m	15	16,5
bekken 50 m ⁺	2300 m	26	28,7
bekken 60 m ⁺	1900 m	38	42,3

Bij de meest ongunstige combinaties van grondconstanten en grondverbeteringskwaliteit kunnen de kwelverliezen beduidend groter worden dan de in paragraaf 2.1 globaal berekende waarden. Dit is aangegeven op de bijlagen 3 t/m 8. Maximale kwelverliezen van 90 cm/dag bij een 50 m⁺ bekken en 126 cm/dag bij een 60 m⁺ bekken in geval zonder een eemkleilaag worden dan berekend (zie bijlage 4 en 7).

Alleen diepe kwel

De aparte bijdrage van alleen de diepe kwel (dus zonder dijkskwel) in het totale kwelcijfer kan apart worden berekend. Deze kwel geldt tevens als enige kwel in het geval dat de dijkbekleding en de aansluitingen "potdicht" mogen worden verondersteld (hiervan wordt voorshands niet uitgegaan).

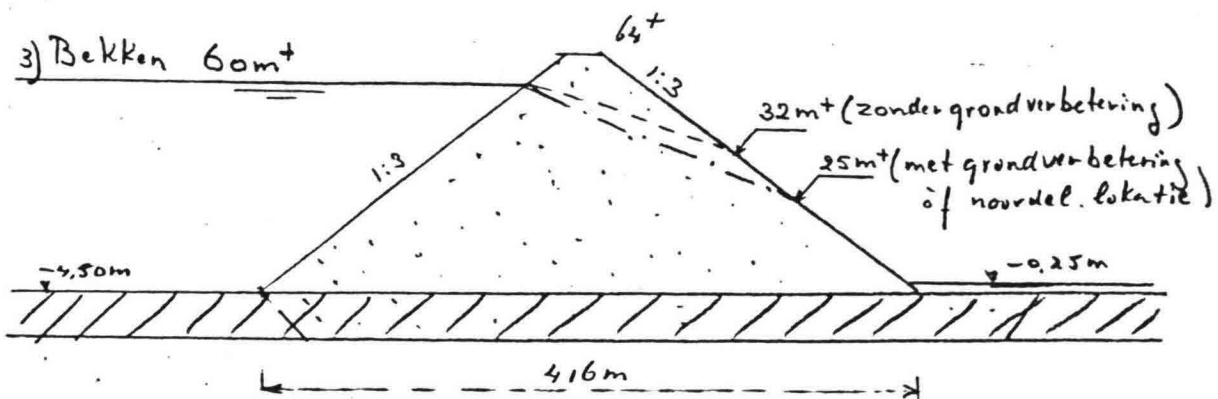
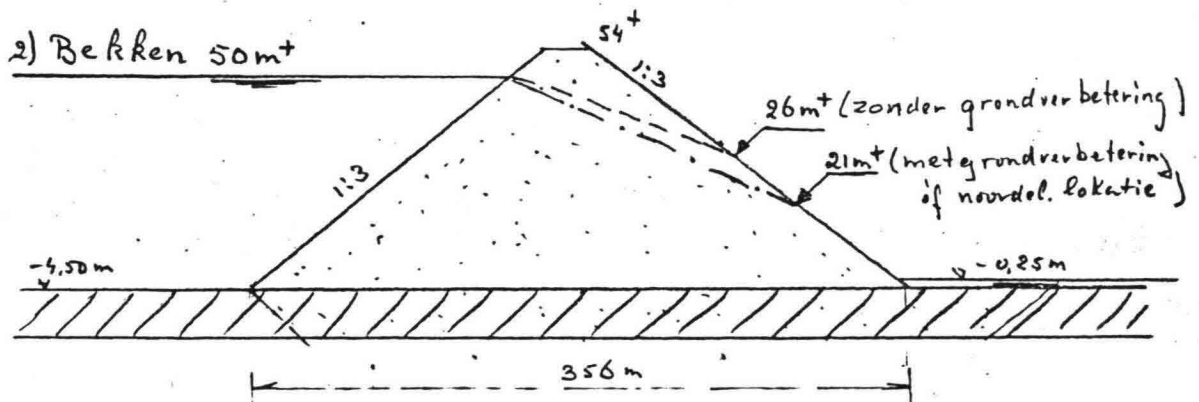
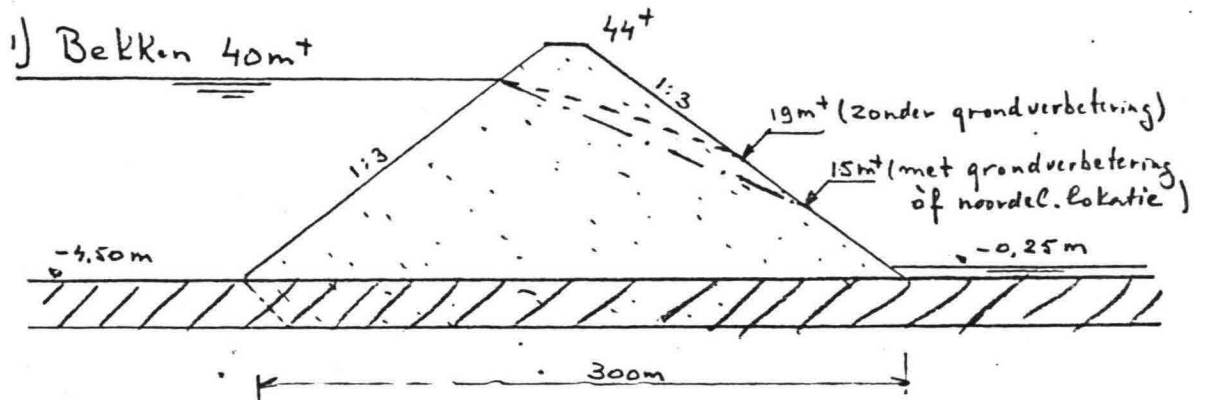
In de appendix C van notitie DDWT 85.207 d.d. 8 januari 1985 is de bijdrage van alleen de diepe kwel voor het hoogbekken NAP + 40 m, R = 2300 m nader uitgewerkt. Voor de situatie, waarbij onder en/of achter het dijklichaam geen geotechnische maatregelen genomen worden, zijn de stijghoogten onder de holocene klei-veenlaag op verschillende plaatsen onder- en achter het bekken berekend: zie in bovengenoemde notitie tabel 5, blz. 19.

Om een indruk te krijgen wat (mathematisch gezien) de hoeveelheid diepe kwel bedraagt in vergelijking tot het hoogbekken NAP + 40 m, R = 2300 m zijn voor het hoogbekken NAP + 40 m, R = 3000 m, en de hoge bekkens NAP + 50 m en NAP + 60 m soortgelijke berekeningen uitgevoerd. De resultaten staan vermeld in bijlage 9 en 10. Let wel, dit zijn alleen de diepe kwelcijfers; daarbij moeten nog de kwel door de (open) dijk zelf worden bijgeteld en geven dan de totale kwelcijfers weer.

3. Bepaling van de hoogte van de freatische lijn in de dijk met behulp van een electrisch analogon bij open takluds en bij een gesloten talud aan bekkenzijde met daarin een lek.

In een vroeger stadium is voor een dijk van een hoogbekken NAP + 40 m de freatische lijn in de dijk reeds bepaald middels een weerstandsnetwerk. Voor een dijk met aan weerszijde open taluds, helling 1 : 3, zijn de uittreepunten voor de situatie, waarbij onder de dijk al dan niet een grondverbetering wordt toegepast, bepaald op resp. NAP + 15 m en NAP + 19 m (zie bijlage 1). Voorts zijn in een later stadium middels een electrisch analogon, vervaardigd uit teledeltospapier, freatische lijnen en kwelverliezen, in geval van lekken op verschillende hoogten in de dijk, bepaald (zie bijlage 2).

Uit de bovengenoemde bijlagen zijn alleen de hoogst gevonden freatische lijnen (bij open taluds) met en zonder grondverbetering samengevat in onderstaande figuren:



4. Conclusies en opmerkingen

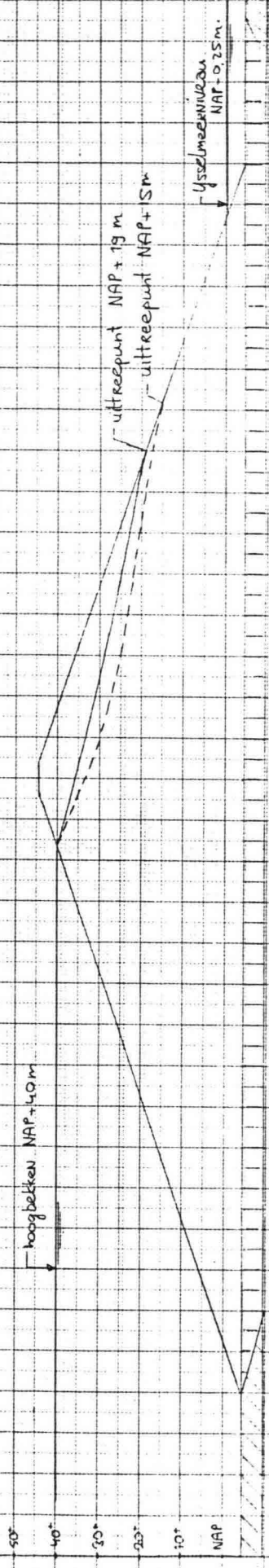
Uit de resultaten van de analogonmetingen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- indien er een goed drainerende (isotrope) grondverbetering wordt toegepast, is er in geval van de aanwezigheid van een eemkleilaag (gevallen A), ten opzichte van de situatie waarin geen grondverbetering wordt toegepast, een toename van het kwelverlies van circa 35% te verwachten.
Ontbreekt de eemkleilaag (gevallen B) dan zal bij een dergelijke isotrope grondverbetering het kwelverlies een factor 3 groter kunnen worden; zie hiervoor de bijlagen 4 en 7: kwelverlies maximaal 90 cm/dag voor een 50 m⁺ bekken en 126 cm/dag voor een 60 m⁺ bekken.
- uitgaande van een ongunstigst mogelijk lek (breedte 1 m) d.w.z. ter plaatse van de hoogste waterstand dan blijkt uit de metingen het kwelverlies 60 à 70% te zijn van het kwelverlies dat opgetreden zou zijn bij een volledig open talud aan bekkenszijde.
Voor lager geplaatste lekken zijn de kwelverliezen kleiner; zie hiervoor de bijlagen 2, 5 en 8.
- In de gevallen waarin het lek is aangenomen ter hoogte van de hoogste waterstanden in het bekken geven de metingen waarschijnlijk te ongunstige resultaten. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat er in werkelijkheid onder deze lekken onverzadigde grondwaterstroming optreedt, terwijl in de analogonmetingen alleen verzadigde stroming kan worden aangenomen. Een nader gestart fundamenteel onderzoek zal hierover later meer uitslag moeten bieden. Dit geldt tevens voor een op te starten fundamenteel onderzoek naar invloeden van zeer nauwe spleten, scheuren e.d., die momenteel in het analogonmodel niet op de juiste modelschaal in te voeren zijn.
- Bij de metingen naar de kwelverliezen is uitgegaan van extreme combinaties van grondconstanten (k-waarden e.d.) en randvoorwaarden. Een en ander maakt het waarschijnlijk dat vooral de kwelverliezen (en in mindere mate de hoogte van de freatische lijn) aanmerkelijk gunstiger kunnen zijn indien de grondgegevens nauwkeuriger bekend zijn.

PAC-Ysselmees, Zuidelijke locatie: hoogbetken NAP+40 m R_o 3000 m

- volledig open landschap
- ondoorstroomt veronderstelde laag bij één grondverbetering
- klei (grondverbetering) = 100 m²/dag
- grondcontanten bij grondverbetering:
 - $Q = 100 \text{ m}^2/\text{dag}$
 - $c = 333 \text{ dagen}$
 - $\lambda = 180 \text{ m}$
 - k -waarde grondverbetering = k -waarde dijk
 - k -waarde dijk = 35 m/dag

— theoretische lijn bij geen grondverbetering
 - - - theoretische lijn bij grondverbetering



Kwiel bij R_o dijk = 35 m/dag (grof, schoon zand)

$Q = 4,66 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$
 $Q = 6,33 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$

Q en dz , uitgedrukt in k

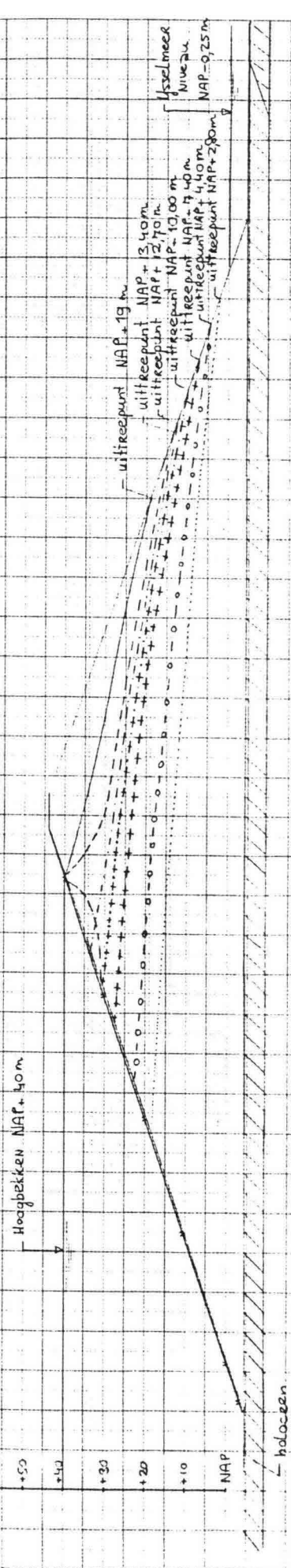
$Q = 1,33 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$
 $Q = 1,81 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$

$dz = 0,471 \text{ k cm/dag}$
 $dz = 0,640 \text{ k cm/dag}$

NAC IJsselmeer Zuidelijke Locatie Hoogbekken NAP + 40 m Rondbekken R₂ 300 m

Bepaling freatische lijn in de dijk indien dichte bekkenbekleding een lek van 1 m breedte bestaat
 - ondoordringend veranderstijde holocene laag

- freatische lijn bij geheel open talud
- - - - freatische lijn bij lek op NAP + 40 m
- · - · - freatische lijn bij lek op NAP + 30 m
- + · + · freatische lijn bij lek op NAP + 20 m
- + + + + freatische lijn bij lek op NAP + 10 m
- o - o - o freatische lijn bij lek op NAP
- freatische lijn bij lek op NAP - 4,50 m



Distance [m]	Q [m³/day]	k [cm/day]	dz [cm]	Q [m³/day]	k [cm/day]	dz [cm]	Q [m³/day]	k [cm/day]	dz [cm]
0	102225	0,065 * k	102225	35710	0,357	102225	35710	0,357	102225
50	74912	0,285 * k	74912	26210	0,262	74912	26210	0,262	74912
100	52522	0,250 * k	52522	24710	0,247	52522	24710	0,247	52522
150	42080	0,220 * k	42080	21710	0,217	42080	21710	0,217	42080
200	32822	0,186 * k	32822	18410	0,184	32822	18410	0,184	32822
250	25893	0,136 * k	25893	13410	0,134	25893	13410	0,134	25893
300	20907	0,102 * k	20907	10110	0,101	20907	10110	0,101	20907

by k = 35 m/day (graf. schaalzand):
 Q = 35710 m³/day, dz = 12,6 cm/day
 Q = 26210 m³/day, dz = 9,3 cm/day
 Q = 24710 m³/day, dz = 9,0 cm/day
 Q = 21710 m³/day, dz = 7,4 cm/day
 Q = 18410 m³/day, dz = 6,5 cm/day
 Q = 13410 m³/day, dz = 3,8 cm/day
 Q = 10110 m³/day, dz = 3,6 cm/day

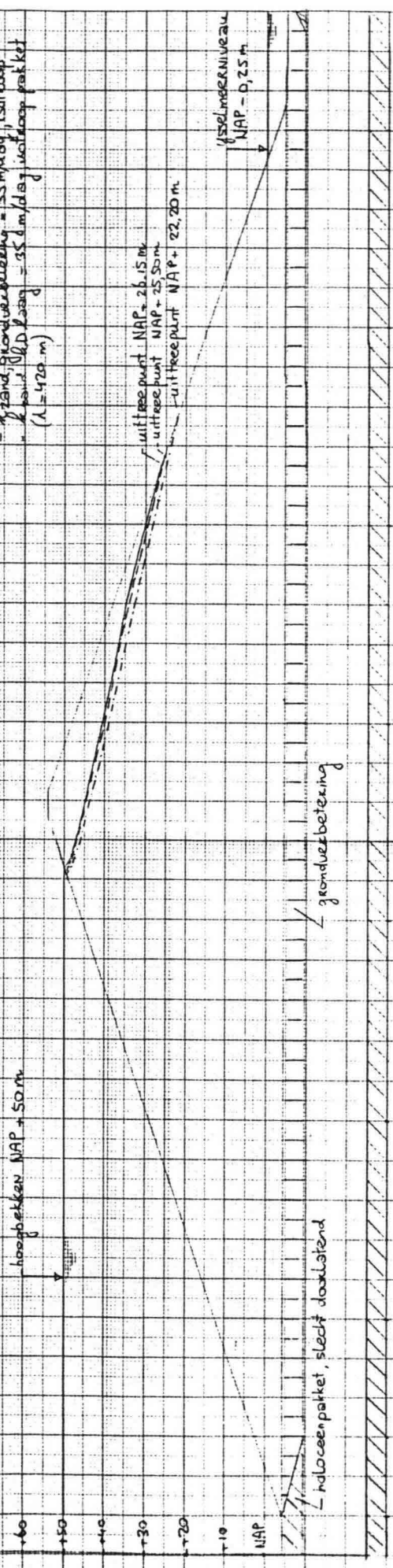
Bijlage 3

PAC IJsselmeer Zuidelijke Locatie: Hoopbetken NAP + 50m Randbetken R = 2200m

Bepaling freatische lijn in de dyk indien aan weerszijde open talud

- eenzijdige laag op NAP - 75m aanruizing
- KD = 100 m/dag bij $\lambda = 180$ m
- KD = 505 m/dag bij $\lambda = 420$ m
- C = 333,3 dagen
- k-waarde dyk = 85 m/dag

- freatische lijn indien geen grondverbetering
k-zand, KD laag = 6,67 m/dag ($\lambda = 180$ m)
- freatische lijn bij grondverbetering en gep. KD laag
horizontaal k = k-zand, KD laag = 6,67 m/dag
verticaal k = 0,1 k-zand KD laag = 9,67 m/dag
grondoppervl. grondverbetering = grondoppervl. KD laag
($\lambda = 180$ m)
- freatische lijn bij grondverbetering
k-zand, grondverbetering = 35 m/dag, uitloop
k-zand, KD laag = 35 m/dag, uitloop pakket
($\lambda = 420$ m)



indien k(dyk) = 35 m/dag
groot schoon zand ρ

$$Q = 4,97 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$Q = 5,19 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$Q = 6,77 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$$

2 m dz. uitgedrukt in k

$$Q = 1,42 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$Q = 1,48 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$$

$$Q = 1,93 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$$

mits $k_{\text{zand}} = \text{constant}$
 $k_{\text{zand}} = k_{\text{zand}}$

$$dH = 28,7 \text{ cm/dag}$$

$$dH = 29,0 \text{ cm/dag}$$

$$dH = 29,0 \text{ cm/dag}$$

$$dH = 9,82 \text{ k cm/dag}$$

$$dH = 9,87 \text{ k cm/dag}$$

$$dH = 1,114 \text{ k cm/dag}$$

$$k_{\text{zand}} = 6,67 \text{ m/dag}$$

$$k_{\text{zand}} = 9,67 \text{ m/dag}$$

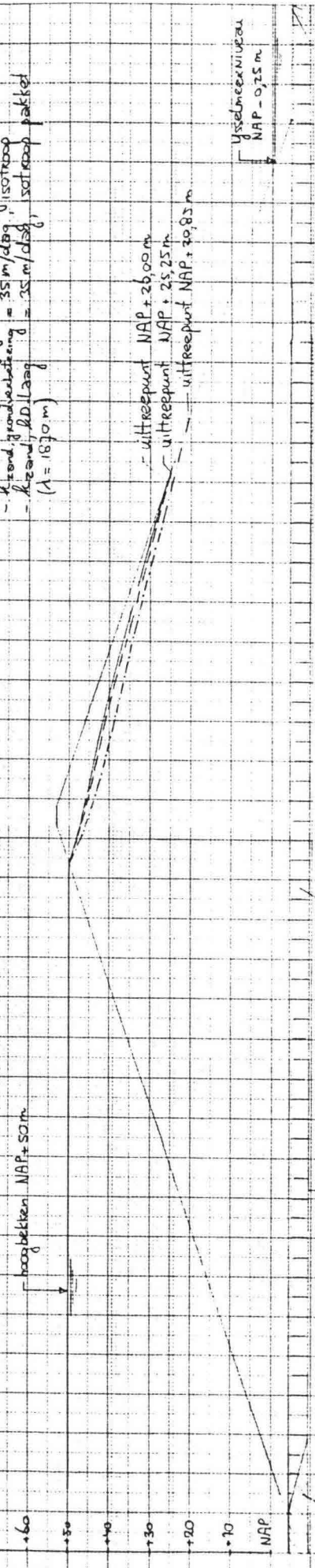
$$k_{\text{zand}} = 35 \text{ m/dag}$$

PAC Ysselmere, zuidelijke lokale hoogbeteken NAP + 50 m. Rondbeteken R = 2300 m

Bepaling freatische lijn in de dijk inlijen aan westzijde open lands

- zandlaag niet aanwezig
- $\lambda = 500$ dagen
- $hD = 4000 \text{ m}^2/\text{dag}$ bij $\lambda = 10000 \text{ m}$
- $hD = 1000 \text{ m}^2/\text{dag}$ bij $\lambda = 1870 \text{ m}$
- k-waarde dijk = 35 m/dag

- freatische lijn indien geen grondverbetering
 $k_{zand}, kD_{zand} = 10 \text{ m/dag}$ ($\lambda = 1000 \text{ m}$)
- freatische lijn bij grondverbetering en geg. KD-Laag
 horizontaal $k = k_{zand}, kD_{zand} = 10 \text{ m/dag}$
 verticaal $k = 0, k_{zand}, kD_{zand} = 1 \text{ m/dag}$
 grondoppervl. grondverbetering = grondoppervl. KD-Laag
 ($\lambda = 1000 \text{ m}$)
- freatische lijn bij grondverbetering
 $k_{zand}, kD_{zand} = 35 \text{ m/dag}$, isotroop
 $k_{zand}, kD_{zand} = 35 \text{ m/dag}$, sat. roep pakket
 ($\lambda = 1870 \text{ m}$)



hydrocenaakiet, slecht doorklatend

grondverbetering

indien hD -dijk $k = 35 \text{ m/dag}$
(geof. schoon zand)

$Q = 5,22 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$
 $Q = 5,56 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$
 $Q = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$

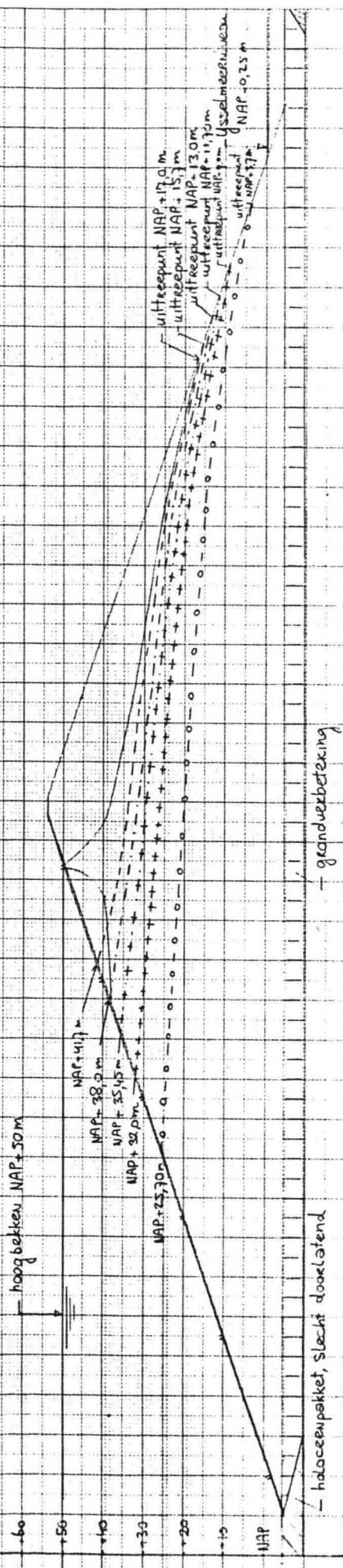
Q en dz , uitgedrukt in k
mits k_{zand} = constant

$dz = 9,80 \cdot k \text{ cm/dag}$, k in m/dag
 $dz = 9,97 \cdot k \text{ cm/dag}$, k in m/dag
 $dz = 2,57 \cdot k \text{ cm/dag}$, k in m/dag

PAC IJsselmeer zuidelijke oever: Hoogbetekken NAP + 50 m. Rondbetekken R = 2300 m.

Bepaling freatische lijn in de dijk in den dichte betekenbetekking een lek van 1 m bevat

- freatische lijn bij lek op NAP + 50 m
- - - freatische lijn bij lek op NAP + 40 m
- - - freatische lijn bij lek op NAP + 30 m
- * * * freatische lijn bij lek op NAP + 20 m
- + + + freatische lijn bij lek op NAP + 10 m
- o - o - freatische lijn bij lek op NAP + 1,00 m



Leak Elevation (NAP)	Flow Rate (Q) [m³/dag]	Hydraulic Conductivity (k) [cm/dag]	Thickness (dz) [cm]
50	102688	0,618	350
41.7	93520	0,575	300
38.2	81918	0,529	250
35.15	70200	0,471	200
30.0	65660	0,395	150
1.00	41145	0,284	100
1.00	35910	0,216	50
1.00	33410	0,201	0
1.00	31010	0,185	0
1.00	27410	0,16	0
1.00	23010	0,15	0
1.00	1,65	0,106	0

indien k(dijk) = 3,5 m/dag (grafschaanzand)

Opdracht 6

PAC IJsselmeer, zuidelijke locatie: Hoopbeekten NAP + 60 m Rondbeekten R = 1900 m

Beplanning: fixatie lijn in de dijk indien aan weerszijde open talud

— eemkleilagen aanwezig op NAP - 22 m

— KD = 100 m²/dag bij $\lambda = 180$ m

— KD = 525 m²/dag bij $\lambda = 480$ m

— C = 333 s daag²

— Kwaadde dijk = 35 m/dag

— fixatie lijn indien geen grondverbetering
 Kzand = 6,57 m/dag ($\lambda = 180$ m)
 — fixatie lijn bij grondverbetering bij geg. KD laag
 horizontaal K = Kzand KD laag = 6,57 m/dag
 verticaal K = 0,1 Kzand, KD laag = 0,657 m/dag
 grondopbouw grondverbetering = grondopbouw KD laag
 ($\lambda = 180$ m)

— fixatie lijn bij grondverbetering
 — Kzand, grondverbetering = 35 m/dag
 — Kzand KD laag = 35 m/dag, isotroop pakket
 ($\lambda = 420$ m)

Hoopbeekten NAP + 60 m



holocene pakket, slecht doorlatend

grondverbetering

indien $K(dijk) = 35$ m/dag
 (geef, schoon zand)

— $Q = 4,8 \cdot 10^6$ m³/dag; dz = 42,3 cm/dag
 — $Q = 4,98 \cdot 10^6$ m³/dag; dz = 43,9 cm/dag
 — $Q = 6,51 \cdot 10^6$ m³/dag; dz = 57,4 cm/dag

— Q en dz uitgedrukt in k, mits $K(dijk) = \text{constant}$

— $Q = 1,37 \cdot 10^5$ k m/dag; dz = 1,209 k cm/dag; k in m/dag
 — $Q = 1,42 \cdot 10^5$ k m/dag; dz = 1,254 k cm/dag; k in m/dag
 — $Q = 1,86 \cdot 10^5$ k m/dag; dz = 1,64 k cm/dag; k in m/dag

416

PAC Ysselmeer, zuidelijke loslaten hoogbeteken NAP + 60m Randbeteken R = 900m

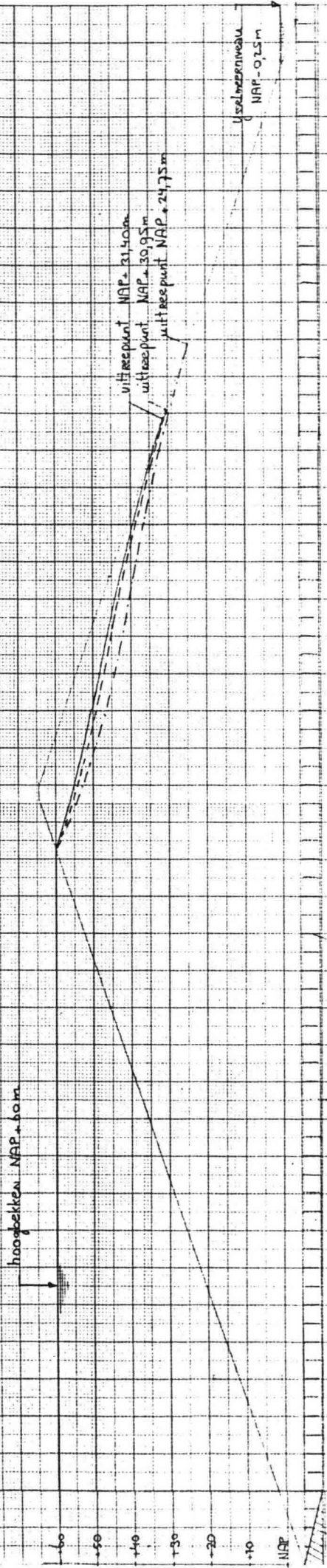
Bepaling theoretische lijn in de tijd indien aan weerszijde open taluds

- eenkleilaag niet aanwezig
- $kD = 2000 \text{ m}^2/\text{dag}$ bij $\lambda = 1000\text{m}$
- $kD = 7000 \text{ m}^2/\text{dag}$ bij $\lambda = 1870\text{m}$
- $c = 500 \text{ dagen}$
- k waarde dijf = $35 \text{ m}/\text{dag}$

theoretische lijn indien geen grondwaterbetring
 k zand (KD laag) = $70 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($\lambda = 1000\text{m}$)

theoretische lijn bij grondwaterbetring: bij geg. KD laag:
 horizontaal: $k = k_{\text{zand}} \cdot KD_{\text{laag}} = 10 \text{ m}^2/\text{dag}$
 verticaal: $k = 0,9 \cdot k_{\text{zand}} \cdot KD_{\text{laag}} = 1 \text{ m}^2/\text{dag}$
 grondoppervl. grondwaterbetring = grondoppervl. KD laag
 ($\lambda = 1000\text{m}$)

theoretische lijn bij grondwaterbetring:
 k zand, grondwaterbetring = $35 \text{ m}/\text{dag}$
 k zand, KD laag = $35 \text{ m}^2/\text{dag}$ (schotloop pakket)
 ($\lambda = 1870\text{m}$)



Indo een pakket, slecht doordringend

grondwaterbetring

$D = 200 \text{ m}$

Indien $k(\text{dijf}) = 35 \text{ m}/\text{dag}$ (gof. schoon zand)

- $Q = 5,04 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 44,4 \text{ cm}/\text{dag}$
- $Q = 5,18 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 45,7 \text{ cm}/\text{dag}$
- $Q = 14,25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 126 \text{ cm}/\text{dag}$

Oer-de, uitgedrukt in k (mits $k_{\text{zand}} = 70 \text{ m}^2/\text{dag}$; constant)

- $Q = 1,44 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 1,26 \text{ g}/\text{cm}/\text{dag}$ $f = 1 \text{ m}/\text{dag}$
- $Q = 1,48 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 1,30 \text{ g}/\text{cm}/\text{dag}$ $f = 1 \text{ m}/\text{dag}$
- $Q = 4,07 \cdot 10^5 \text{ m}^3/\text{dag}$ $dh = 3,60 \text{ g}/\text{cm}/\text{dag}$ $f = 1 \text{ m}/\text{dag}$

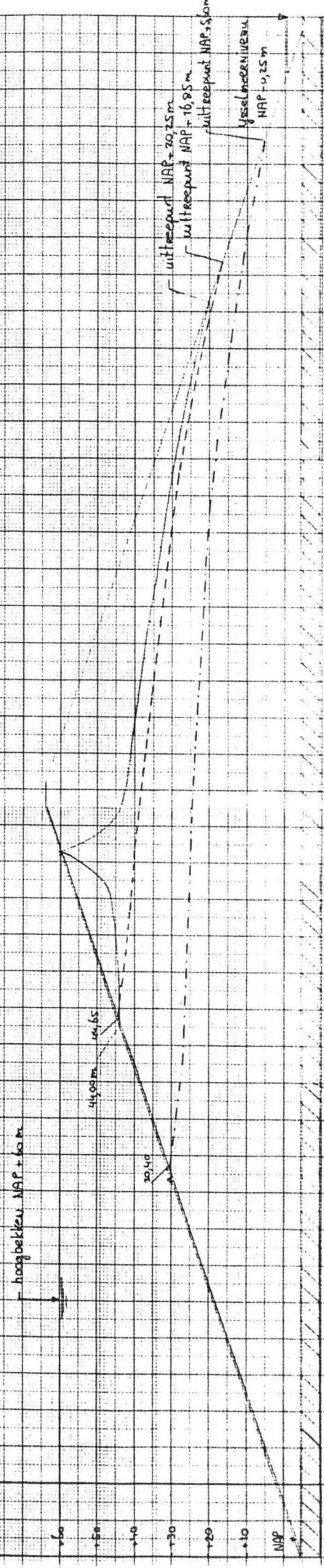
Bijlage B

PAC fysische en zandlaag voor de berekening van de waterdruk in de bekken. $R = 1900 \text{ m}$

Bepaling fysische lijn in de dikte in de bekken berekening van lek van 100 m hoogte naar

- ondoordringend veronderstelde holocene laag

- fysische lijn bij lek op NAP + 59,50 m
 - fysische lijn bij lek op NAP + 30 m
 - fysische lijn bij lek op NAP - 55 m



holocene, slecht doordringend (onbreekbaar aangenomen)

Distance (m)	Flow Rate (m³/dag)	Flow Rate (cm³/dag)	Flow Rate (m³/dag)
0	$Q = 96950 \times k$	$q_{1L} = 0,767 \times k$	$Q = 3,04 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$
100	$Q = 46810 \times k$	$q_{2L} = 0,678 \times k$	$Q = 2,69 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$
516	$Q = 37250 \times k$	$q_{3L} = 0,328 \times k$	$Q = 1,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$

indien $k(\text{dijk}) = 35 \text{ m/dag}$ (groot, schoon zand)
 $Q = 3,04 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $q_{1L} = 26,8 \text{ cm/dag}$
 $Q = 2,69 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $q_{2L} = 23,7 \text{ cm/dag}$
 $Q = 1,30 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{dag}$ $q_{3L} = 11,5 \text{ cm/dag}$

Tabel 5 : Berekening van diepe kwel en stijghoogten onder de holocene klei/veenlaag.
 Afmetingen bekken 16,5 km², cirkelvormig met straal R=2300m, bij Hoog bekken 40m+.

1 Berekening diepe kwel Hoog bekken										
Berekening	eem-kleilaag	verval H in M	λ waarde (m)	KD m ² /dag	C1 dgn	C2 dgn	R/λ	kwel Q m ³ /dag	daling Δz cm/dag	
A 1	Met	40	180	100	500	1000	12,8	0,158 * 10 ⁶	0,98	
2	met	40	390	150	1500	3000	5,9	0,112 * 10 ⁶	0,68	
3	met	40	850	300	5000	5000	2,7	0,094 * 10 ⁶	0,57	
B 4	zonder	40	1000	2000	500	-	2,3	0,530 * 10 ⁶	3,21	
5	zonder	40	2300	3500	1500	-	1,0	0,301 * 10 ⁶	1,83	
6	zonder	40	6125	7500	5000	-	0,38	0,120 * 10 ⁶	0,73	

2 Berekening grondwaterstijghoogten																	
Stijghoogten φ onder het holocene klei/veenpakket tov NAP																	
Berekening	onder het bekken op x=...m						midden ring dijk x=0	buiten het bekken op x=...m									
	-2300	-1500	-1000	-500	-200	-100		100	200	500	1000	1500	2300	3000	4000	5000	7000
A 1	40,00	40,00	39,92	38,71	33,31	28,43	20,00	11,57	6,69	1,29	0,08	0	0				
2	39,95	39,58	38,48	34,50	28,07	24,55	20,00	15,45	11,93	5,50	1,51	0,42	0,05				
3	33,53	32,07	29,34	24,41	19,87	18,04	15,99	13,97	12,21	8,21	4,30	2,31	0,98	0,72			
B 4	31,26	29,81	27,17	22,62	18,63	17,03	15,28	13,56	12,04	8,47	4,77	2,72	1,16	0,62	0,46		
5	15,99	15,25	14,02	12,14	10,67	10,13	9,55	8,97	8,44	7,05	5,27	3,98	2,57	1,78	0,87	0,64	0,24
6	4,62	4,47	4,22	3,85	3,57	3,47	3,36	3,25	3,15	2,87	2,48	2,16	1,75	1,47	1,16	0,92	0,60

Berekening van diepe kwel & stijghoogten onder holocene klei/veenlaag

Hoogbekken NAP +40 m
 R = 3000 m
 opp = 28275 km²

1. Berekening diepe kwel hoogbekken NAP + 40 m

Berekening	eem-kleilaag	verval H [m]	λ waarde [m]	KD [m ² /dag]	C1 [dagen]	C2 [dagen]	R/λ	kwel Q [m ³ /dag]	daling Δz φ [cm/dag]
A1	met	40,25	180	100	500	1000	16,66	210750	0,745
A2	met	40,25	390	150	1500	3000	7,69	146300	0,517
A3	met	40,25	850	300	5000	5000	3,53	129400	0,458
B4	zonder	40,25	1000	2000	500	-	3,00	722700	2,556
B5	zonder	40,25	2300	3500	1500	-	1,30	446500	1,579
B6	zonder	40,25	6125	7500	5000	-	0,49	195200	0,690

2. Berekening grondwaterstijghoogten φ onder holocene klei-veenpakket tov NAP

Berekening Stijghoogten onder bekken op x=...m (0 m = midden ringdijk) tov NAP

Model	-3000	-1500	-1000	-500	-200	-100	0	100	200	500	1000	1500
A1	40,00	40,00	39,92	38,71	33,31	28,43	19,88	11,70	6,38	1,03	-0,17	-0,25
A2	39,95	39,57	38,48	34,42	27,95	24,43	19,88	15,32	11,80	5,33	1,30	0,18
A3	33,53	32,07	31,01	25,79	21,04	19,08	16,91	14,77	12,91	8,61	4,37	2,17
B4	35,15	32,01	28,95	24,05	19,84	18,17	16,33	14,52	12,92	9,11	5,08	2,21
B5	20,57	18,45	16,72	14,39	12,68	12,05	11,38	10,73	10,12	8,49	6,37	4,80
B6	6,47	5,97	5,57	5,06	4,77	4,57	4,43	4,30	4,17	3,81	3,29	2,86

Berekening van diepe kwel & stijghoogten onder holocene klei-veenlaag

Hoogbekker NAP + 50 m
 $R = 2300 \text{ m}$
 $opp = 16,5 \text{ km}^2$

1. Berekening diepe kwel hoogbetken NAP + 50 m

Berekening	zaamkelaag	verval H [m]	l waarde [m]	KD [m ² /dag]	c ₁ [dagen]	c ₂ [dagen]	R/l	kwel Q [m ³ /dag]	daling Δh/d [cm/dag]
A1	met	50,25	180	100	500	1000	12,47	201700	1,222
A2	met	50,25	390	150	1500	3000	5,90	139650	0,846
A3	met	50,25	850	300	5000	5000	2,71	120550	0,731
B4	zonder	50,25	1000	2000	500	-	2,30	665600	4,034
B5	zonder	50,25	2300	3500	1500	-	1,00	375900	2,278
B6	zonder	50,25	6125	7500	5000	-	0,38	150300	0,911

2. Berekening grondwaterstijghoogten cl onder holocene klei-veenpakket tov NAP

Berekening Stijghoogte onder belken op x = ... m (0 m = midden ringdijk) tov NAP

Model	-2300	-1500	-1000	-500	-200	-100	0	100	200	500	1000	1500
A1	59,90	43,49	41,70	48,44	41,73	35,58	24,88	14,17	1,31	-0,15	-0,24	-0,25
A2	47,73	49,70	47,77	43,03	34,90	30,56	24,88	19,19	14,79	6,72	1,68	+0,29
A3	42,21	42,38	36,94	30,69	24,93	22,56	19,92	17,33	15,08	9,97	5,00	2,48
B4	37,72	37,19	33,87	28,16	23,15	21,14	18,94	16,77	14,87	10,37	5,72	3,14
B5	19,75	18,83	17,29	14,94	13,11	12,43	11,71	10,99	10,32	8,58	6,36	4,74
B6	5,55	5,36	5,05	4,58	4,23	4,10	3,97	3,83	3,71	3,35	2,86	2,46

Berekening van diepe kwel & stijghoogten onder holocene klei-veenlaag

Hoogbekker NAP + 60 m
 $R = 1900 \text{ m}$
 $opp = 11,34 \text{ km}^2$

1. Berekening diepe kwel hoogbetken NAP + 60 m

Berekening	zaamkelaag	verval H [m]	l waarde [m]	KD [m ² /dag]	c ₁ [dagen]	c ₂ [dagen]	R/l	kwel Q [m ³ /dag]	daling Δh/d [cm/dag]
A1	met	60,25	180	100	500	1000	10,55	199800	1,762
A2	met	60,25	390	150	1500	3000	4,87	137000	1,208
A3	met	60,25	850	300	5000	5000	2,24	115400	1,020
B4	zonder	60,25	1000	2000	500	-	1,90	632000	5,58
B5	zonder	60,25	2300	3500	1500	-	0,83	333260	2,94
B6	zonder	60,25	6125	7500	5000	-	0,31	126170	1,112

2. Berekening grondwaterstijghoogten cl onder holocene klei-veenpakket tov NAP

Berekening Stijghoogte onder belken op x = ... m (0 m = midden ringdijk) tov NAP

Model	-1900	-1500	-1000	-500	-200	-100	0	100	200	500	1000	1500
A1	60,00	59,99	59,88	58,13	50,08	42,72	29,88	17,03	9,67	1,62	-0,13	-0,25
A2	59,77	59,36	57,68	51,64	41,96	36,69	29,88	23,06	17,79	8,11	+0,39	-0,02
A3	46,11	45,33	41,94	34,97	28,34	25,59	22,53	19,53	16,94	11,10	5,52	2,72
B4	41,72	40,08	37,83	31,61	25,93	23,64	21,11	18,63	16,46	11,39	6,22	3,39
B5	19,17	18,80	17,59	15,30	13,40	12,68	11,90	11,14	10,43	8,60	6,31	4,67
B6	5,02	4,96	4,72	4,30	3,95	3,82	3,69	3,55	3,42	3,07	2,60	2,21

Zettingen bij een extra hoge dijk op Holoceen

laagdikte Holoceen	7 m		6 m		5 m	
zandpakket op het Holoceen	0 m	2 m	0 m	2 m	0 m	2 m
zettingen v.d. kruin. dijkhoogte :						
44 m	3,99 m	3,13 m	3,45 m	2,60 m	2,91 m	2,24 m
54 m	4,18 m	3,35 m	3,62 m	2,87 m	3,05 m	2,38 m
64 m	4,34 m	3,50 m	3,76 m	3,00 m	3,16 m	2,49 m
zettingen half- weg het talud. dijkhoogte :						
44 m	3,29 m	2,44 m	2,87 m	2,14 m	2,42 m	1,77 m
54 m	3,46 m	2,65 m	3,02 m	2,28 m	2,56 m	1,91 m
64 m	3,61 m	2,81 m	3,14 m	2,42 m	2,66 m	2,01 m

De zettingen zijn uitsluitend de zettingen als gevolg van de aanleg van de dijk na 30 jaar.

De zettingen als gevolg van het bekken zijn hierin niet inbegrepen (halfweg het talud).



Bijlage 20 bij PAC2-N-334

MACROSTABILITEIT

BEKKENDIJK

- STRUCTURAL RELIABILITY -

PAC2-N-298

juni 1985

D.J. Kevelam



MACROSTABILITEIT BEKKENDIJK

Inhoud

- I. Inleiding
 - I.1 Doel
 - I.2 Normstelling
- II. Systembenadering
 - II.1 Elementen
 - II.2 Parameters
- III. Glijvlakberekeningen
 - III.1 Uitgangspunten
 - III.2 Veiligheidscoëfficiënten
 - III.3 Relatie faalkans/veiligheidscoëfficiënt
- IV. Kansfunctie freatische lijn
 - IV.1 Ligging freatische lijn
 - IV.2 Relatie doorlatendheid asfalt/holle ruimte
percentage
 - IV.3 Uitgangspunten/aannames
 - IV.4 Berekeningsmethode
 - IV.5 Berekeningsresultaten
- V. Berekening totale faalkans
 - V.1 Methode
 - V.2 Berekeningsresultaten
- VI. Conclusies en Aanbevelingen
 - VI.1 Hoek van inwendige wrijving
 - VI.2 Aanbevelingen

Appendix:

Faalkans in relatie tot taludhelling

I. INLEIDING

I.1 Doel

Het doel van deze notitie is om inzicht te krijgen in de veiligheid (faalkans) met betrekking tot de macrostabiliteit van de bekkendijk. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het 54⁺ m bekkenvariant in het IJsselmeer.

Getracht wordt de invloed van onderscheiden parameters op het "falen" na te gaan en daardoor aan te geven welke eisen aan onderdelen van het dijklichaam gesteld moeten worden. In eerste instantie gaat het dus om het "genereren" van ontwerpisen, uitgaande van een gegeven veiligheidsnorm.

Een belangrijk verschil met het traditioneel ontwerpen, is het berekenen van elk onderdeel op zich, en het dimensioneren met veiligheidscoëfficiënten, is dat de dijkdoorsnede als een systeem wordt beschouwd, waarbij de onderdelen, of elementen, in hun onderlinge samenhang de "sterkte", en daarmee de veiligheid bepalen.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van probabilistische ontwerpmethoden. Naast de gemiddelde of karakteristieke waarden van de parameters is hierbij de statistische spreiding in die parameters van wezenlijk belang.

Noodgedwongen wordt in deze notitie gewerkt met schattingen voor zowel de gemiddelde waarden als de spreiding van de parameters. De uitkomsten en conclusies van de berekeningen moeten dan ook voorzichtig worden gehanteerd.

I.2 Normstelling

Uitgegaan wordt dat de macrostabiliteit van het buitentalud (droge zijde) maatgevend is. Het binnentalud staat immers onder invloed van de waterkolom in het bekken.

Macrostabiliteit van het buitentalud kan geanalyseerd worden met behulp van een glijcirkelanalyse.

Uit de hoofdfoutenboom (zie PAC2-N-223) is de maximaal toelaatbare faalkans van het beschouwde hoofdgrensstoestand "GLIJVLAKKEN" af te leiden.

Deze faalkans ligt in de orde 10^{-8} à 10^{-7} .

II. SYSTEEMBENADERING

II.1 Elementen

In het algemeen kunnen in de bekkendijkdoorsnede een viertal constructieve hoofdelementen worden onderkend, te weten: (zie ook PAC2-N-223)

- < het stabiliteitselement
- < drainageelementen
- < beschermingselementen
- < afdichtingselementen.

In deze notitie wordt de onderlinge samenhang tussen het stabiliteits- en het afdichtingselement geanalyseerd. Voor wat betreft het drainageelement wordt ervan uitgegaan dat deze aanwezig is en ook werkt.

De beschermingselementen worden buiten beschouwing gelaten omdat deze alleen een indirecte invloed op de macrostabiliteit hebben.

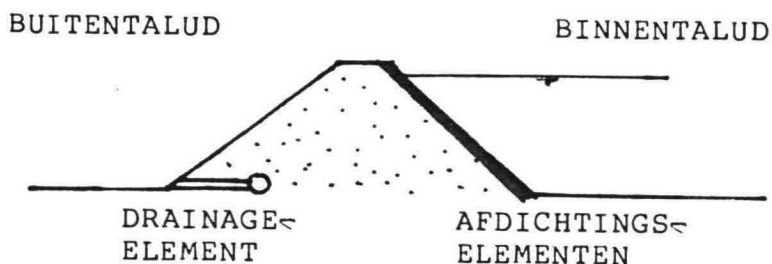


Fig. II.1 ELEMENTEN

Centraal staat in de beschouwing het stabiliteitselement. Deze staat is in wezen bepalend voor de veiligheid van het gehele systeem. Het falen heeft in principe direct een doorbraak tot gevolg.

De macrostabiliteit wordt in deze notitie modelmatig beschreven door het faalmechanisme "GLIJVLAK", ten eerste omdat dit rekenkundig relatief goed toegankelijk is, en ten tweede omdat deze methode een redelijk inzicht in de macrostabiliteit geeft.

Andere faalmechanisme's, zoals zettingsvloeiingen en piping blijven dus buiten beschouwing. Uiteraard zullen deze in de tweede fase nader onderzocht worden.

Zoals reeds vermeld zal de samenhang tussen het stabiliteitselement en het afdichtingselement worden onderzocht.

Dit is gedaan, omdat in de eerste verkennende berekeningen (PAC2-N-223) is gebleken dat de ligging van de freatische lijn in het dijklichaam één van de bepalende factoren voor de macrostabiliteit van de bekkendijk is. De kwaliteit van het afdichtingselement is hiervoor belangrijk.

Opgemerkt wordt hier dat geen rekening wordt gehouden met scheurvorming en beschadigingen van het afdichtingselement. Tevens blijft ten aanzien van de afdichting de gehele aansluitproblematiek met "harde" constructieelementen zoals turbinebehuizingen e.d. buiten beschouwing. Ter rechtvaardiging hiervan is dat bovengenoemde problematiek een meer lokaal karakter draagt. Hiervoor zal een meer gedetailleerde beschouwing moeten worden opgezet.

In de volgende paragraaf zullen de parameters die van invloed zijn op het beschouwde systeem worden beschreven.

II.2 Parameters

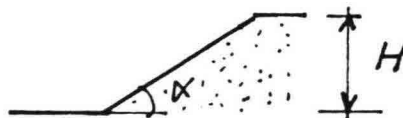
Er zijn drie factoren te onderscheiden, die van invloed zijn op de macrostabiliteit van het buitentalud:

- 1) de geometrie van de dijkdoorsnede
- 2) de ligging van de freatische lijn in de dijkdoorsnede
- 3) de grondmechanische eigenschappen van het zand en de eventuele laagbouw.

- 1) De geometrie wordt gekarakteriseerd door:

< de dijkhoogte H

< de taludhelling α



Bij "gebroken" taluds kan als een over de hoogte gemiddelde taludhelling worden beschouwd.

- 2) De ligging van de freatische lijn in de dijkdoorsnede wordt bepaald door:

< drainageelementen

In de berekeningen wordt er van uitgegaan dat de drainage werkt. Hiermee ligt het uittreepunt van de freatische lijn vast.

Een van de hoofdredenen voor het toepassen van deze drainage is overigens een macrostabiliteitsoverweging. Door de drainage wordt namelijk het buitentalud voor een groot gedeelte droog gehouden, wat gunstig is voor de macrostabiliteit.

< Kwaliteit van de bekleding

De kwaliteit van een asfaltbekleding ten aanzien van de doorlatendheid hangt af van de doorlatendheid (k_{\leftarrow} waarde) van het mengsel en de dikte van de bekleding.

Verder is er een verband tussen de doorlatendheid van het mengsel en het holle ruimtepercentage (HR). Dit verband is niet algemeen, maar hangt af van de specifieke mengsamenstelling.

Gekozen is om dit holle ruimtepercentage en de dikte van de bekleding als kwaliteitsparameter ten aanzien van de doorlatendheid te hanteren, omdat deze vaak als bestekeisen worden opgenomen. Het moge duidelijk zijn dat bovengestane beschouwing alleen geldig is, indien geen scheuren e.d. in de asfaltbekleding aanwezig zijn. De gevolgen van scheurvorming en beschadigingen zullen apart beschouwd worden.

< geohydrologische eigenschappen zandlichaam

Een derde factor, die de ligging van de freatische lijn in de dijkdoorsnede bepaald is de doorlatendheid (k_{\leftarrow} waarde) van het dijklichaam zelf.

In principe is deze k_{\leftarrow} waarde weer afhankelijk van de opbouw van het korrelskelet (de zeefkromme), het slibpercentage en de verdichting van het zandlichaam. In de berekeningen wordt de k_{\leftarrow} waarde als parameter gehanteerd.

< De ligging van de freatische lijn is verder nog afhankelijk van de geometrie van het dijklichaam. De invloed van een variërende geometrie op de ligging van de freatische lijn is niet in de beschouwingen meegenomen.



SCHEMATISATIE FREATISCHE LIJN

3) Grondmechanische eigenschappen van het zand.

Deze eigenschappen worden beschreven door:

- < volumieke massa droog : γ_d [KN/M³]
- < volumieke massa nat : γ_n [KN/M³]
- < hoek van inwendige wrijving : φ [graden]
- < de cohesie : c [KN/M²]

In onderstaande tabel worden de parameters met eventuele afhankelijkheid weergegeven.

PARAMETER	SYMB.	DIM.	AFHANKELIJK VAN:
dijkhoogte taludhelling	H α	[m] [gr]	< <
hoogte uittreepunt hoogte intreepunt	HU HI	[m] [m]	drainage K _{BEKL.} , D _{BEKL.} , K _{ZAND.} (geometrie)
doorlatendheid dikte bekleding holle ruimte %	K _{BEKL.} D _{BEKL.} HR	[m/s] [m] [%]	holle ruimte % (HR) (mengselsamenstelling) < <
doorlatendheid vol. massa droog vol. massa nat hoek van inw. wrijving cohesie	K _{ZAND.} γ_d γ_n φ c	[m/s] [KN/m ₃] [KN/m ₃] [gr] [KN/m ₂]	< < < < <

Tabel I L1. Beschouwde parameters macrostabiliteit

III. GLIJVLAKBEREKENINGEN

III.1 Uitgangspunt voor de berekeningen is de geometrie van de 54⁺ m bekkenvariant (zie figuur III.1). De buitentaludhelling is gemiddeld 1:3,5.

Aangenomen is een homogeen opgebouwd zandlichaam met de volgende gemiddelde waarden voor de grondparameters:

< volumieke massa droog	: $\gamma_d = 16$ KN/m ³
< volumieke massa net	: $\gamma_n = 20$ KN/m ³
< hoek van inwendige wrijving	: $\varphi = 33^\circ$

De freatische lijn wordt als een rechte lijn geschematiseerd, en vastgelegd door de hoogte van het uittreepunt HU en het intreepunt HI.

Om de invloed van de taludhelling op het systeem na te gaan zijn de berekeningen ook doorgevoerd bij een gemiddelde taludhelling 1;3.

Derhalve:

I : gemiddelde taludhelling 1:3

II: gemiddelde taludhelling 1:3,5 (54⁺ variant)

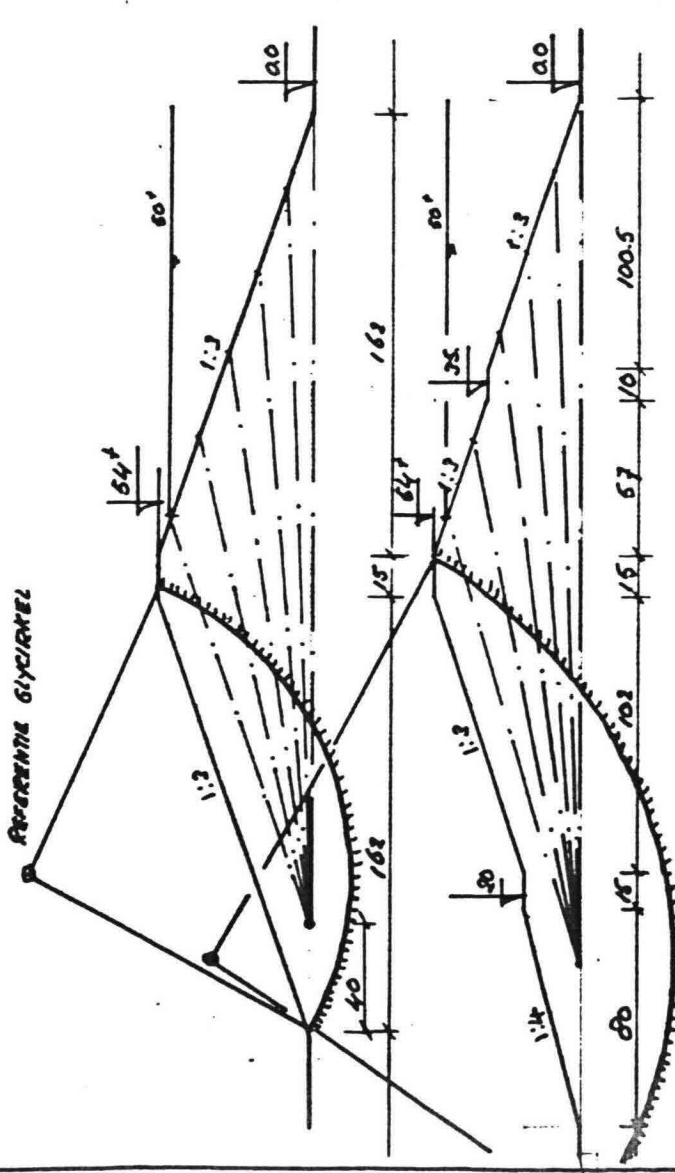
III.2 Veiligheidscoëfficiënten

Om de invloed van de ligging van de freatische lijn te kwantificeren zijn bij verschillende liggingen glijcirkelberekeningen uitgevoerd. De hoogte van het intreepunt HI is tussen NAP en 50⁺ m gevarieerd (de maximale waterstand in het bekken), met tussenstappen van 10 m.

De berekeningen zijn uitgevoerd met het numeriek model FELPROB. Opgemerkt wordt dat telkens, voor de verschillende intreepunten, met eenzelfde glijcirkelgeometrie is gewerkt. Dit is de maatgevende glijcirkel onder de conditie dat de freatische lijn op NAP niveau ligt.

Het 'vasthouden' van de glijcirkelgeometrie is in wezen niet correct, omdat bij hogere freatische lijnen andere glijcirkels maatgevend worden. Er is een tendens dat bij steeds diepere glijcirkels de veiligheidscoëfficiënt afneemt. De reden dat hier geen rekening mee is gehouden is omdat door die diepere glijcirkels de diepere ondergrond wordt doorsneden.

Hierbij kan men dan niet meer uitgaan van een homogeen zandpakket. Een tweede tendens is dat de veiligheidscoëfficiënt bij diepere glijcirkels welliswaar afneemt, maar niet in hoge mate. De orde van grootte van de veiligheidscoëfficiënt blijft gehandhaafd. Uiteraard zal hier, nadat grondonderzoek is gepleegd, nader naar worden gekeken. Een overzicht van de resultaten van de berekeningen wordt in onderstaande tabel en in figuur III.1 gegeven.



I point	V.C.	BETA		FAALMANS	BETA		FAALMANS
		AMM.	AMM.		AMM.	AMM.	
6	620	1.39	2.25	1.3 10 ⁻³	2.96	1.5 10 ⁻⁷	
5	400	1.68	3.23	1.5 10 ⁻⁴	4.27	1.8 10 ⁻⁶	
4	300	1.85	3.64	1.3 10 ⁻⁴	4.85	1.9 10 ⁻⁷	
3	200	1.95	3.91	1.6 10 ⁻³	5.14	1.2 10 ⁻⁷	
2	100	2.02	3.97	3.1 10 ⁻³	5.33		
1	00	2.06	4.10	2.2 10 ⁻³	5.43		

6	600	1.55			2.76	1.0 10 ⁻⁴
5	400	1.84			4.07	1.0 10 ⁻⁶
4	300	2.03			5.36	0.6 10 ⁻⁷
3	200	2.15			6.64	0.1 10 ⁻⁷
2	100	2.23			5.08	0.6 10 ⁻⁸
1	00	2.29			1.93	0.5 10 ⁻⁸

FIG. III.1.
 VERBAND ISSING FREATISCHE LYN - VERLIEDEHS FACTOR MACROSTABILITEIT.

INTREEPUNT		GEOMETRIE I 1 : 3 veiligheids- coëfficiënt	GEOMETRIE II 1 : 3,9 veiligheids- coëfficiënt
1	NAP	2.06	2.29
2	10 ⁺	2.02	2.23
3	20 ⁺	1.95	2.15
4	30 ⁺	1.85	2.03
5	40 ⁺	1.68	1.84
6	50 ⁺	1.39	1.55

Tabel III.1. Verband veiligheidscoëfficiënt/intreepunt
freatische lijn

Deterministisch gezien zouden deze uitkomsten als voldoende veilig worden beschouwd. Opgemerkt wordt dat in deze berekeningen met een gemiddelde waarde van φ wordt gewerkt. Bij deterministische beschouwingen gaat men vaak uit van een meer pessimistischer waarde voor φ (te beschouwen als karakteristieke waarde).
In de volgende paragraaf zal de relatie tussen faalkans en veiligheidscoëfficiënt worden onderzocht.

III.3 Relatie faalkans/veiligheidscoëfficiënt

Aangenomen wordt dat het stabiliteitslichaam faalt wanneer de veiligheidscoëfficiënt kleiner dan 1 is. Dit is weer te geven in een betrouwbaarheidsfunctie Z

$$Z = F < 1$$

De faalkans wordt hiermee: FAALKANS = P (Z < 0)

In deze eerste probabilistische berekeningen wordt alleen de faalkans in relatie tot de hoek van inwendige wrijving beschouwd. De hoek van inwendige wrijving is een stochastische variabele met een normale verdeling, gekarakteriseerd door

$$\begin{aligned} \text{gemiddelde van } \varphi & : \bar{\varphi} = 33^\circ \\ \text{standaardafw. } \varphi & : \sigma_\varphi \end{aligned}$$

Uitgangspunt is de MEAN-VALUE-APPROACH.

Er geldt: $Z = F < 1$ $Z = F(\varphi) < 1$
 de standaardafwijking van Z wordt:

$$\sigma_Z^2 = \left[\frac{\partial Z}{\partial F} \cdot \frac{\partial F}{\partial \varphi} * \sigma_\varphi \right]^2 \quad ; \quad \frac{\partial Z}{\partial F} = 1$$

dus:
$$\sigma_Z = \frac{\partial F}{\partial \varphi} * \sigma_\varphi$$

met invoering van: variatiecoëfficiënt: $V_\varphi = \frac{\sigma_\varphi}{\bar{\varphi}}$
 : betrouwbaarheidsindex: $\beta = \frac{\bar{Z}}{\sigma_Z}$

$$\beta = \frac{\bar{F}-1}{\bar{F}} * \frac{\bar{F}}{\frac{\partial F}{\partial \varphi} / \bar{\varphi}} * \frac{1}{V_\varphi} \quad \text{-----} \quad (1)$$

$\frac{\partial F}{\partial \varphi} / \bar{\varphi}$ is numeriek te benaderen als $\frac{\Delta F}{\Delta \varphi} / \bar{\varphi}$

Uit de genormeerde tabel voor de normale verdeling is P (Z < 0) als functie van β af te lezen. Bovenstaand rekenschema is opgenomen in het numerieke glijvlak model (FELPROB). In wezen is dit anders dan een gevoeligheidsanalyse naar de hoek van inwendige wrijving.

Voor een homogeen zandlichaam, zonder freatische lijn, is af te leiden:

$$F = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}$$

de minimale stabiliteitsfactor, is in feite gebaseerd op de microstabiliteit van een zandkorrel op een talud. Met behulp van deze formule wordt:

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = \frac{1}{\tan \alpha} [1 + \tan^2 \varphi]$$

invullen in (1) levert:

$$\beta = \frac{\bar{F}-1}{\bar{F}} * \frac{\tan \bar{\varphi}}{[1 + \tan^2 \bar{\varphi}] \cdot \bar{\varphi}} \frac{1}{V_\varphi} \quad \text{-----} \quad (2)$$

Met behulp van dit analytisch verband is dus rechtstreeks de faalkans als functie van de veiligheidscoëfficiënt en de gemiddelde waarde van φ te bepalen.

De relatie met de gemiddelde taludhelling komt tot uitdrukking in de grootte van de veiligheidscoëfficiënt, wat numeriek wordt bepaald.

In fig. III.2. wordt een overzicht van het analytische verband gepresenteerd voor een gemiddelde waarde van $\varphi = 33^\circ$.

Hieruit blijkt de grote invloed van de spreiding in φ op de faalkans.

De vraag is nu of het analytisch afgeleid verband (2) ook geldig is voor situatie, waarbij zich wel een freatische lijn in het zandlichaam bevindt.

Dit is door middel van numerieke en analytische berekeningen nagegaan: formule (1) en (2) blijken nagenoeg dezelfde uitkomsten te geven. Het blijkt dus dat formule (2) te gebruiken is voor een homogeen zandlichaam, ongeacht de ligging van de freatische lijn. Uiteraard geldt deze conclusie alleen voor de invloed van de hoek van inwendige wrijving.

Ter illustratie een vergelijking van de uitkomsten: voor $V\varphi = 7,5 \%$, $\bar{\varphi} = 33^\circ$:

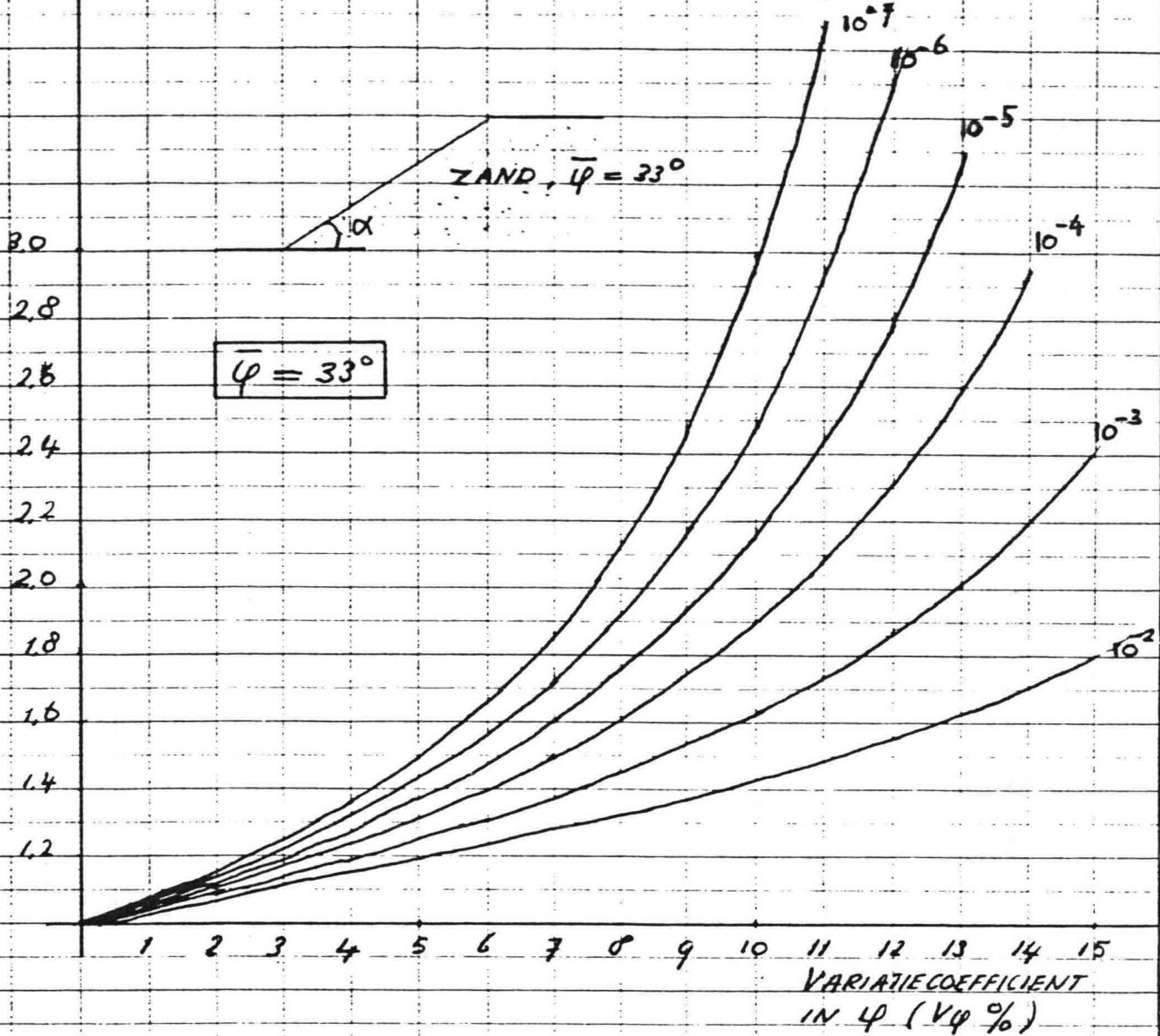
Veiligheidscoëfficiënt	(1) Numeriek	(2) Analytisch	Verskil
2,285	5,86	5,93	+ 0,007
2,226	5,75	5,81	+ 0,06
2,147	5,67	5,64	- 0,03
2,034	5,29	5,36	+ 0,07
1,839	4,76	4,81	+ 0,05
1,552	3,72	3,75	+ 0,03

III.4 Resultaten

De resultaten van de glijvlakberekeningen zijn samengevat in fig. III.3. Niet in de figuur opgenomen is de invloed van een hoger uittreepunt van de freatische lijn. Deze ontstaat wanneer de drainage faalt, bijvoorbeeld door dichtslibbing.

4.0 STABILITEITSFACTOR

$$F = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha}$$



HET VERBAND TUSSEN DE STABILITEITSFACTOR F EN DE VARIATIECOEFFICIENT IN φ (V_φ %) ALS FUNCTIE VAN DE FAALKANS (GELDIG VOOR DROOG TALUD, BESTAAND UIT ZAND ZONDER COHESIE)

BETROUWBAARHEIDSFUNCTIE: $Z = F - 1 = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} - 1$

$$\beta = \frac{F - 1}{F} \frac{\tan \bar{\varphi}}{(1 + \tan^2 \bar{\varphi}) \bar{\varphi}} \cdot \frac{1}{V_\varphi}$$

FAALKANS = $N(-\beta)$: (UIT TABEL VAN DE NORMALE VERDELING)

$$V_\varphi \equiv \frac{\sigma_\varphi}{\bar{\varphi}} \cdot 100\%$$

σ_φ = STANDAARDAFKWYKING IN φ

$\bar{\varphi}$ = GEMIDDELTE WAARDE VAN φ

FIG III.2

Uitgangspunt is geometrie II (54⁺ variant)

Er zijn twee situaties berekend:

- (1) intreepunt 50⁺; uittreepunt 20⁺
- (2) intreepunt 90⁺; uittreepunt 10⁺

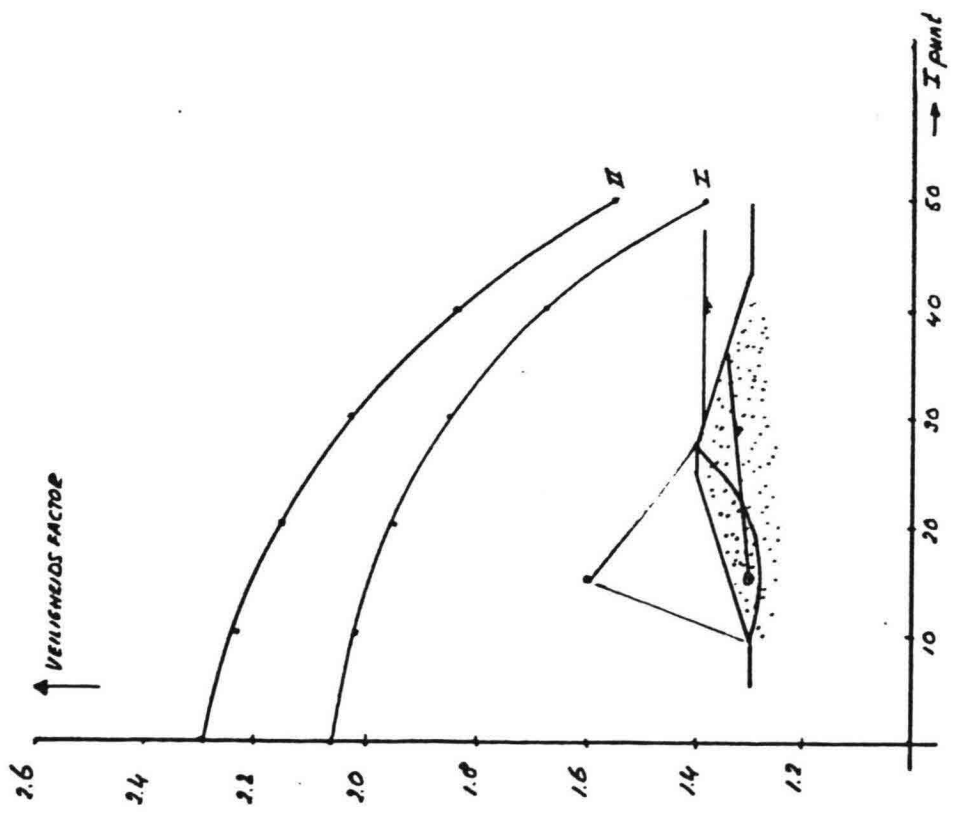
Voor (1) wordt de veiligheidscoëfficiënt: 1,34.
Deze was 1,55

Voor (2) wordt de veiligheidscoëfficiënt: 1,77.
Deze was 2,03.

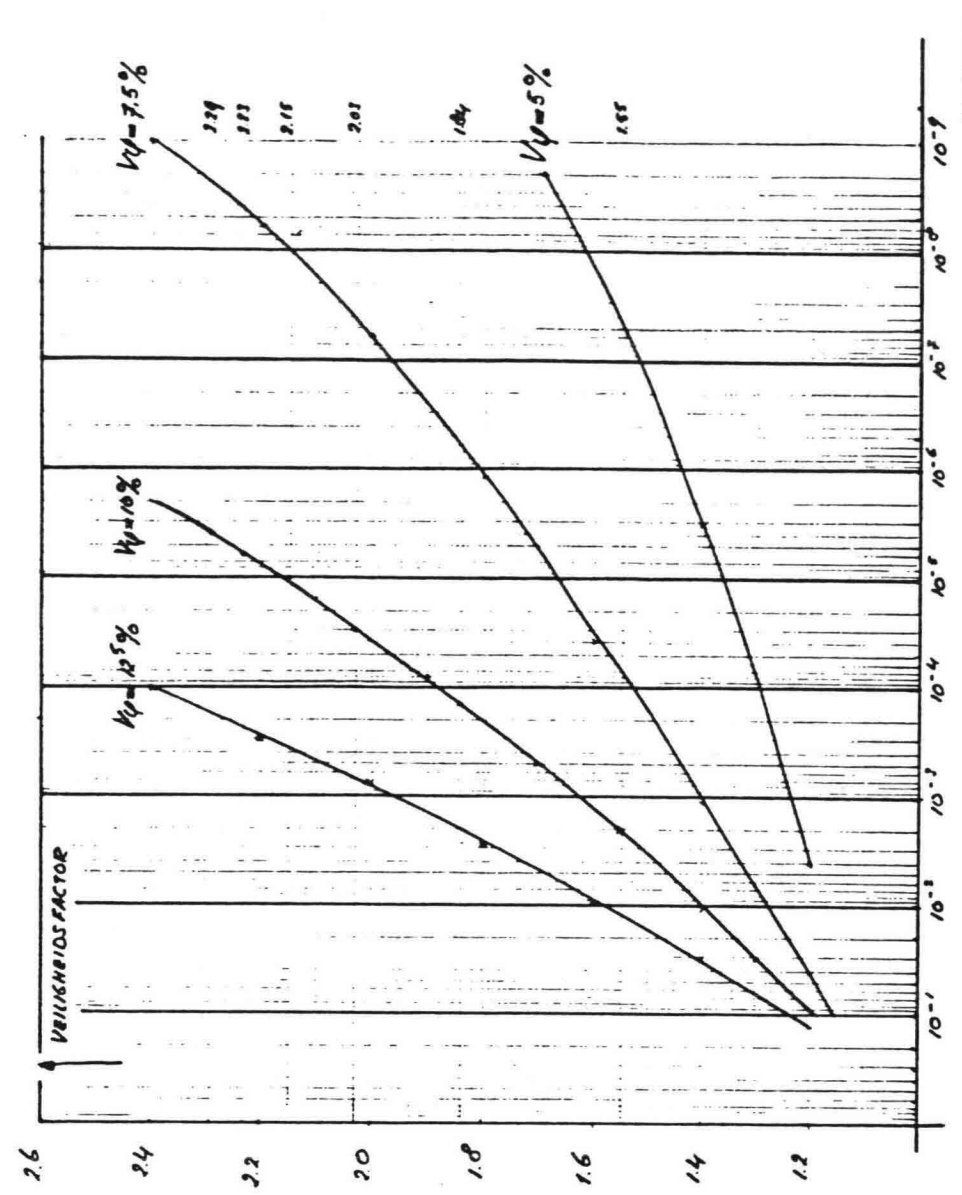
De invloed van het hogere uittreepunt is duidelijk. Wanneer we, ter illustratie, uitgaan van een variatiecoëfficiënt $V_{\psi} = .$ worden de faalkansen:

SITUATIE	V.C.	FAALKANS	V.C.	FAALKANS
(1)	1,34	0,2 10 ⁻²	1,55	0,6 10 ⁻⁴
(2)	1,77	0,1 10 ⁻⁵	2,03	0,6 10 ⁻⁷

Door het toepassen van een drainage is globaal een 40 maal grotere veiligheid te realiseren.



VERBAAND VEILIGHEIDSFACTOR / FAALKANS ALS FUNCTIE VAN DE SPREIDING IN DE HOEK VAN INWELDIGE WREYING
FAALKANS: MEAN VALUE BEWANDERING



VERBAAND LIGGING FREATISCHE LYN / VEILIGHEIDSFACTOR / DAKSTABILITEIT
 $\bar{\sigma} = 23^0$
 $d_H = 16 \text{ KN/M}^2$
 $d_n = 20 \text{ KN/M}^2$

- I: TALDMELLING 1:3 (YSSELMEERTYDE)
- II: BEHEUVRANT 54⁺ (1:3.95)

FIG. III.3.

IV. KANSFUNCTIE FREATISCHE LIJN

IV.1 Ligging freatische lijn

Om inzicht te krijgen in de kansfunctie van de ligging van de freatische lijn in de dijkdoorsneden is een simulatie-model ontwikkeld. In dit model zijn de belangrijkste parameters opgenomen die van invloed zijn op deze ligging.

De ligging van de freatische lijn wordt alleen gekarakteriseerd door de hoogte van het intreepunt ten opzichte van NAP aan het bekkenzijdetalud.

Deze hoogte (HI) wordt voornamelijk bepaald door de verhouding van de doorlatendheden van het zandlichaam en de bekleding.

Door v.d. Burg is voor verschillende verhoudingen deze ligging bepaald (PAC2-N-...). Dit is gedaan voor een bekledingsdikte van 0,20 m.

In fig. IV.1. is dit verband uiteengezet. Het is mogelijk om met behulp van dit verband uit te gaan van een willekeurige bekledingsdikte door een 'gemodificeerd' K_{BEKL} te hanteren. Dan is als volgt te bepalen:

$$\frac{K_{BEKL}^*}{20} = \frac{K_{BEKL}}{D_{BEKL}}$$

$$K_{BEKL}^* = (20/D_{BEKL}) \cdot K_{BEKL}$$

Het totaal debiet door de bekleding blijft hiermee constant ten opzichte van de berekende situatie.

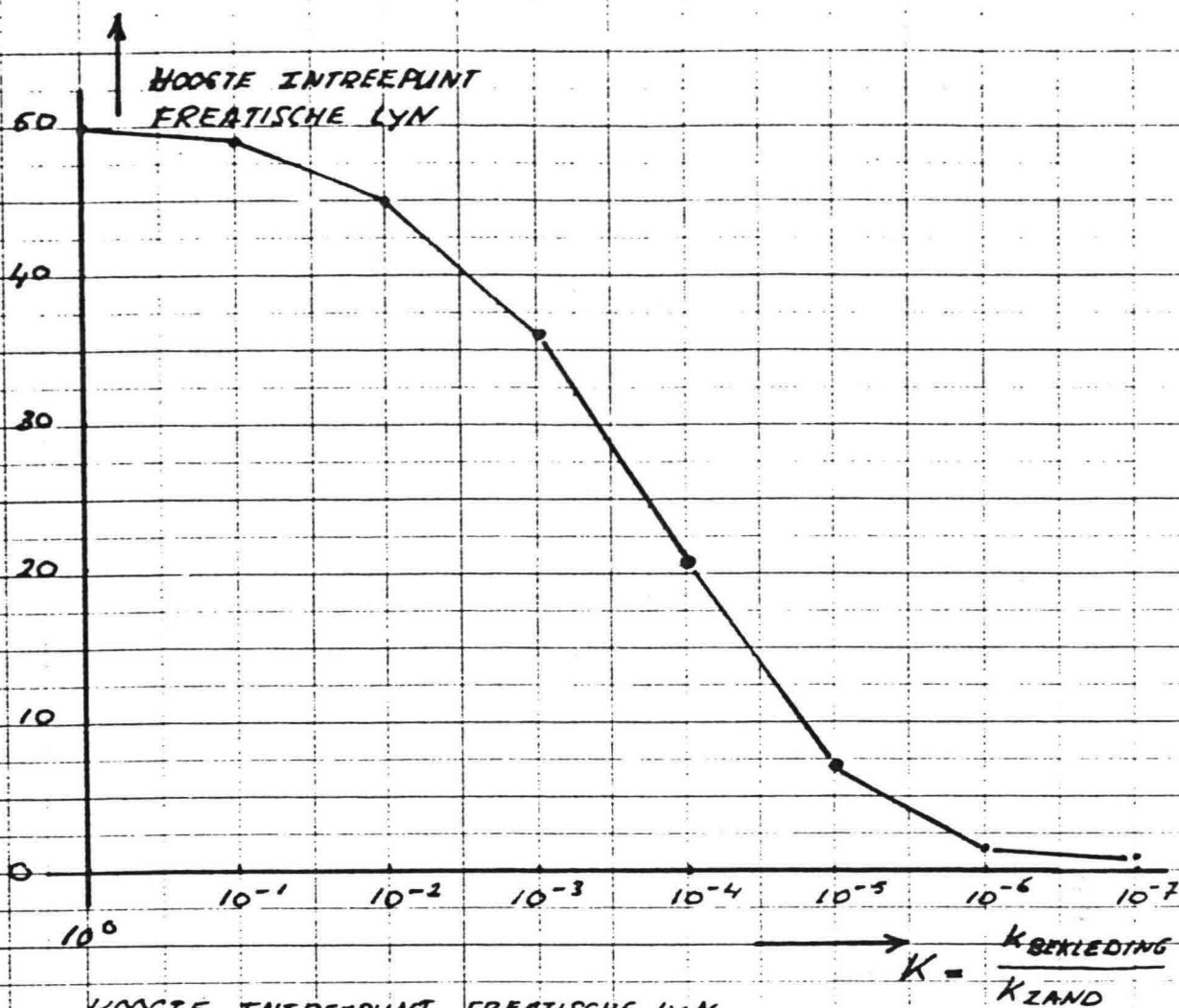
Hiermee is het effect van de bekledingsdikte op de hoogte van het intreepunt te bepalen. Bij een constante K_{BEKL}^* zal bij toenemende dikte HI lager komen te liggen.

IV.2 Relatie doorlatendheid asfalt/holle ruimte percentage

Over het directe verband tussen waterdoorlatendheidscoëfficiënt, K , en het holle ruimte percentage is o.a. gepubliceerd door KASAHARA e.a. (PAC2-V-263). Dit verband is in principe mengselafhankelijk.

Het asfaltbeton met een samenstelling zoals toegepast bij de waterdichte bekleding of kerndichting bij dammen en reservoirs wordt al voldoende (technisch) waterdicht beschouwd als de k -waarde van het materiaal lager is dan

$$1 \times 10^{-9} \text{ à } 1 \times 10^{-10} \text{ m/s}$$



HOOGTE INTREEPUNT FREATISCHE LYN
ALS FUNCTIE VAN K .
BEKKENVARIANT 54⁺

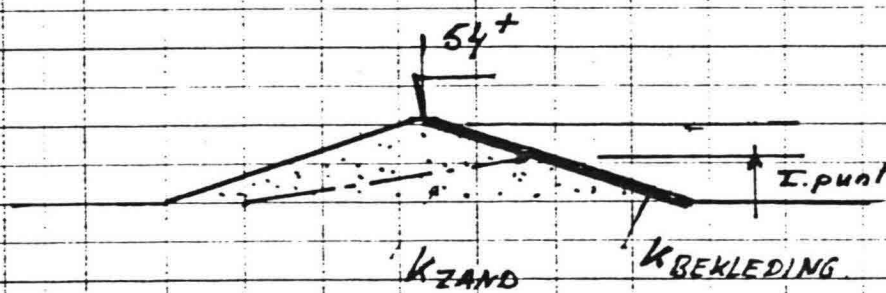


FIG. IV. 1.

Algemeen wordt aangenomen dat om deze lage waterdoorlatendheidscoëfficiënten te realiseren het holle ruimtepercentage in het verdichte asfaltbeton lager moet zijn dan 3 - 4% (v/v).

Deze regel geldt voor zogenaamde mortelrijke mengsels, dat wil zeggen met een relatief hoog bitumen-vulstof percentage toegepast bij hoge waterdrukken (circa 50 MWK en meer).

De krommen van KASMARA voldoet redelijk aan voornoemde regel (zie fig. IV.2). De kromme zal daarom in de berekeningen worden toegepast.

IV.3 Uitgangspunten/aannames

Voor de berekeningen zijn voor de gemiddelde waarde, alsmede voor de spreiding aannames gedaan. Omdat vooral informatie omtrent de statistische eigenschappen van de parameters ontbreekt zijn de berekeningen voor verschillende variatiecoëfficiënten uitgevoerd om de gevoeligheid hiervan op de totale faalkans na te gaan.

Doorlatendheid zandlichaam

Gemiddelde k -waarde: 10^{-4} m/s.

Aangenomen is een normale verdeling van de machtscoëfficiënt, met een standaardafwijking van .5.

* Dit betekent een kans van 95 % dat de k -waarde tussen de 10^{-3} tot 10^{-5} ligt. In de berekeningen is deze standaardafwijking niet gevarieerd.

Dikte bekleding

De gemiddelde waarde van de dikte van de bekleding is gevarieerd tussen 0,10 en 0,20 m. Aangenomen is een normale verdeling met een variatiecoëfficiënt van 10 %.

Deze variatiecoëfficiënt is voor al de gevallen constant gehouden.

Holle ruimte percentage

Het holle ruimte percentage is in de berekeningen gevarieerd tussen 3 % en 4 %. Aangenomen is weer een normale verdeling. De variatiecoëfficiënt is echter gevarieerd tussen 5 % en 12,5 %.

De aanname dat de parameters allen een normale verdeling bezitten is (nog) niet hard te maken. Hier is gekozen voor die normale verdeling omdat deze zich relatief gemakkelijker laat beschrijven (met twee parameters).

* In feite volgt de k -waarde dus een log-normale verdeling.

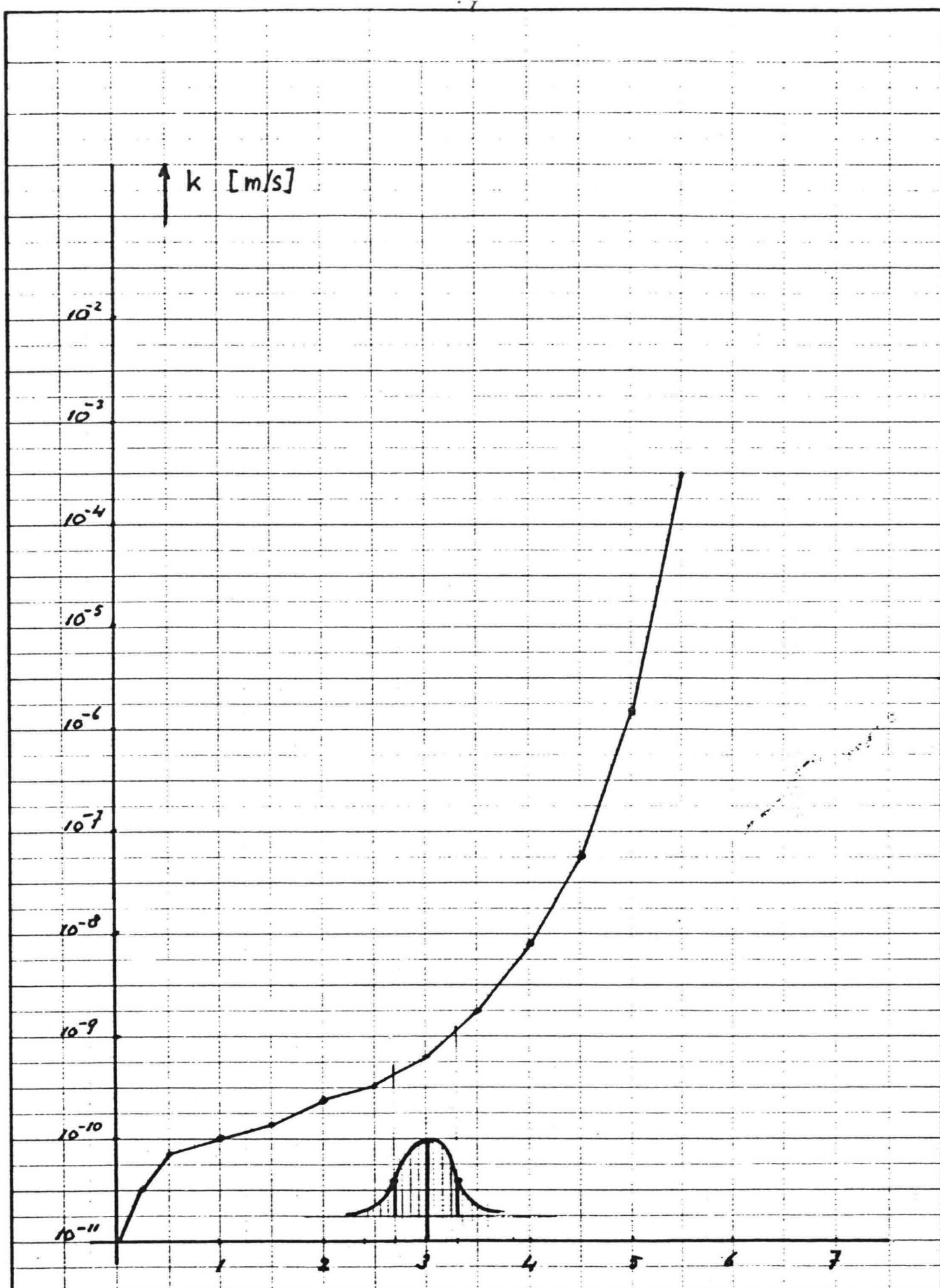


FIG II.2 VERBAND HOLLE-RUIMTE PERCENTAGE K-WAARDE ASFALT (VOLGENS KASAHARA ET AL.)

IV.4 Berekeningsmethode

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van een simulatiemodel op basis van de Monte Carlo-methode. Het model is gevoed met de in paragraaf IV.2 en IV.3 beschreven verbanden. Hiermee is het mogelijk om voor een willekeurige waarde van de drie parameters (kzand, dikte, bekleding, holle ruimtepercentage) de hoogte van het intreepunt te bepalen.

In het model (programma MONCA) worden de berekeningen met behulp van een randomgenerator uitgevoerd.

Gelet op de kansdichtheidfunctie van de drie parameters (hier normale verdelingen) worden 'toevallige' waarden van die drie parameters getrokken. Hiermee wordt een 'toevallige' waarde voor het intreepunt van de freatische lijn berekend.

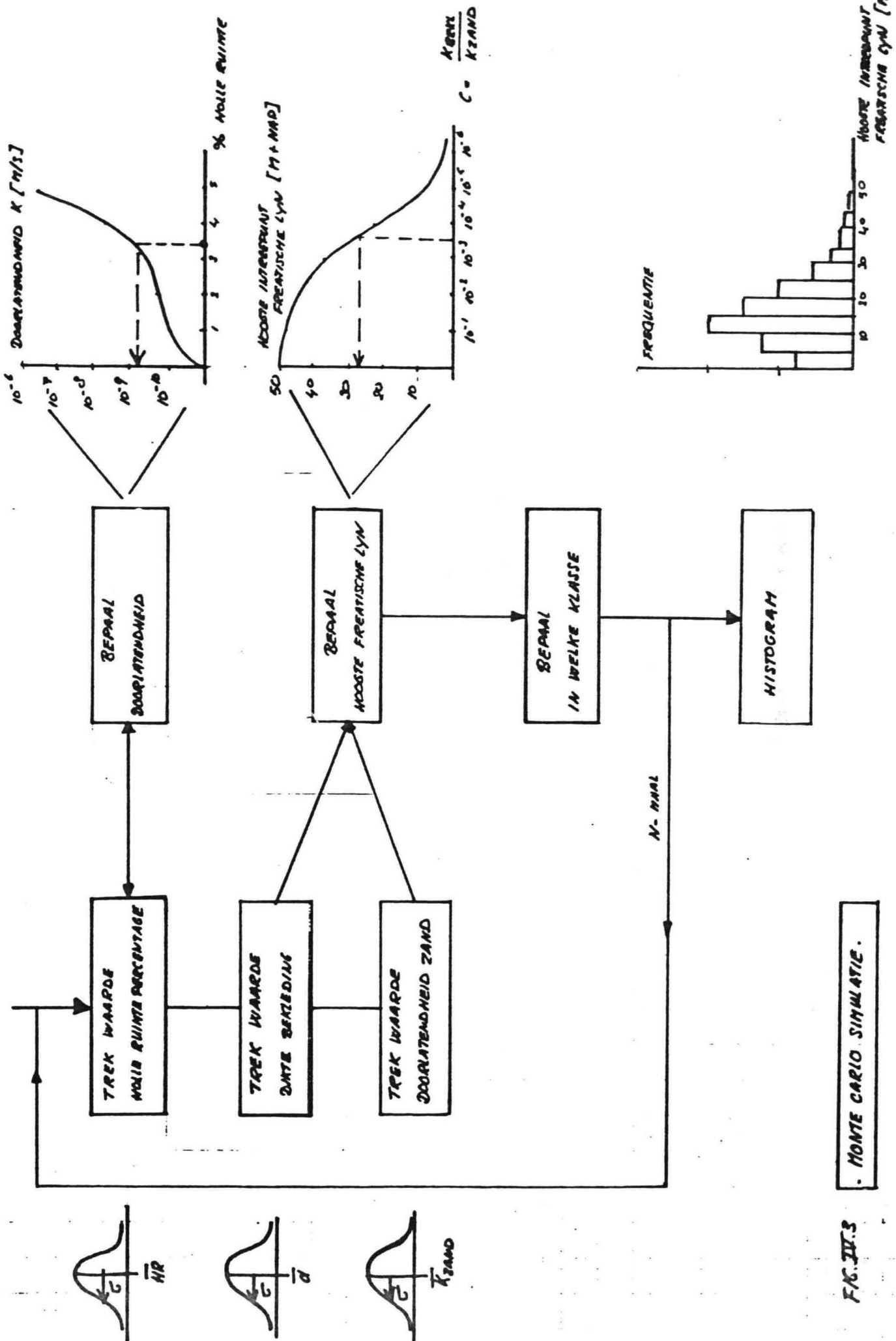
De Monte Carlo-methode nu is niets anders dan de berekeningen een groot aantal maal herhalen. De gevonden waarden van HI kunnen dan in een histogram worden vervat. Dit histogram is de kansfunctie voor de ligging van het intreepunt. In figuur IV.3 is het proces schematisch weergegeven. Het nadeel van deze methode is het groot aantal vereiste berekeningen.

Bij kleine kansen, bijv. 10^{-4} , moet de berekening in principe als minimaal 10.000 maal worden doorgevoerd om een waarneming in het beschouwde kansgebied te realiseren. Omwille van de statistische betrouwbaarheid is zelfs een veelvoud van berekeningen nodig (30.000 à 40.000).

Om de benodigde rekenhoeveelheid (rekeningtijd) in te perken is een andere benadering gekozen. Op basis van het histogram wordt namelijk een kansdichtheidsfunctie bepaald. De extremen zijn dan met behulp van de (analytische) kansdichtheidsfunctie te berekenen.

In deze notitie is de kansdichtheidsfunctie bepaald door middel van de methode de kleinste quadraten (curvefitting).

Voor de eerste schatting van de kansdichtheidsfunctie kan gebruik gemaakt worden van bijvoorbeeld waarschijnlijkheidspapier. Hiermee wordt gebruik gemaakt van de eigenschap van de normale verdeling: wanneer op deze waarschijnlijkheidspapier wordt uitgezet, vormen de 'kansen' een rechte lijn. Het resultaat van de exercitie is een benaderende analytische beschrijving van de kansdichtheidsfunctie van de hoogte van het intreepunt van de freatische lijn.



MONTE CARLO SIMULATIE.

FK.III.3

IV.5 Berekeningsresultaten

De berekeningen zijn uitgevoerd met de volgende parameters:

PARAMETER	GEMIDDELDE WAARDE	VARIATIE COEFFICIENT	OPM.
DOORLATENDHEID ZAND K [m/s]	10^{-4} (constant)	12,5% (constant)	variantcoeff. van de macht
DIKTE BEKLEDING D [M]	0,10/0,15/ 0,20 (variabel)	10% (constant)	
HOLLE RUIMTE PERCENTAGE HR [%]	3/3,5/4 % (variabel)	5 - 12,5% (variabel)	

TABEL IV.1. PARAMETERS

Invloed gemiddelde waarde holle ruimte percentage

Uitgangspunten: $D_{BEKL} = 0,10$ $V_D = 10\%$
 $HR = 3/3,5/4\%$ $V_{HR} = 10\%$

De gemiddelde waarde van het holle ruimte percentage op de ligging van het intreepunt is groot door het sterk niet-lineaire verband tussen HR en K_{BEKL} . In het model wordt in feite voor HR = 4% en, maar in mindere mate, voor HR = 3,5% een op het eerste gezicht ontoelaatbare kansfunctie voor HR gevonden. Met andere woorden de kans is vrij groot dat onder de aangenomen waarden van de parameters een hoge freatische lijn wordt gerealiseerd (zie fig. IV.4, en blz. 21, 22 en 23). Daarom is besloten en voor de verdere berekeningen uit te gaan van HR% = gemiddeld = 3%. Gelet op ervaringen van Bitamurin (zie PAC2-N-263) lijkt dit ook een reële waarde.

MONTE CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

GEMIDDELTE HOLLE RUIMTE-PERCENTAGE: 3
STANDAARDAFWIJKING:3
VERDELINGS TYPE :(N = NORMAAL; LN = LOGNORMAAL) .N

GEMIDDELTE DIKTE ASFALBEKLEDING: 10
STANDAARDAFWIJKING: 1

GEMIDDELTE DOORLATENDHEID ZAND:-4
STANDAARDAFWIJKING:-5

AANTAL SIMULATIES: 1000

KLASSEN FREQUENTIE PERC.ONDERS.

1	0.00	2.50	30	3.000
2	2.50	5.00	138	17.600
3	5.00	7.50	201	43.700
4	7.50	10.00	134	57.100
5	10.00	12.50	120	69.100
6	12.50	15.00	100	79.100
7	15.00	17.50	01	87.200
8	17.50	20.00	63	93.500
9	20.00	22.50	31	96.600
10	22.50	25.00	15	98.100
11	25.00	27.50	10	99.100
12	27.50	30.00	6	99.700
13	30.00	32.50	2	99.900
14	32.50	35.00	1	100.000
15	35.00	37.50	0	100.000
16	37.50	40.00	0	100.000
17	40.00	42.50	0	100.000
18	42.50	45.00	0	100.000
19	45.00	47.50	0	100.000
20	47.50	50.00	0	100.000

GEMIDDELTE WAARDE :..... 10.13086
STANDAARDAFWIJKING :..... 5.858049

MONTE-CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

GEMIDDELTE HOLLE RUIMTE-PERCENTAGE: 3.5
STANDAARDAFWIJKING:35
VERDELINGS TYPE :(N = NORMAAL; LN = LOGNORMAAL) .N

GEMIDDELTE DIKTE ASFALBEKLEDING: 10
STANDAARDAFWIJKING: 1

GEMIDDELTE DOORLATENDHEID ZAND:-4
STANDAARDAFWIJKING:-.5

AANTAL SIMULATIES: 5000

KLASSEN FREQUENTIE PERC.ONDERS.

1	0.00	2.50	51	1.020
2	2.50	5.00	234	5.700
3	5.00	7.50	622	18.140
4	7.50	10.00	437	26.880
5	10.00	12.50	526	37.400
6	12.50	15.00	541	48.220
7	15.00	17.50	548	59.180
8	17.50	20.00	498	69.140
9	20.00	22.50	449	78.120
10	22.50	25.00	351	85.140
11	25.00	27.50	252	90.180
12	27.50	30.00	177	93.720
13	30.00	32.50	119	96.100
14	32.50	35.00	77	97.640
15	35.00	37.50	60	98.840
16	37.50	40.00	42	99.680
17	40.00	42.50	8	99.840
18	42.50	45.00	5	99.940
19	45.00	47.50	3	100.000
20	47.50	50.00	0	100.000

GEMIDDELTE WAARDE :..... 16.13693
STANDAARDAFWIJKING :..... 8.279986

MONTE-CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

GEMIDDELTE HOLLE RUIMTE-PERCENTAGE: 4
STANDAARDAFWIJKING:4
VERDELINGS TYPE :(N = NORMAAL; LN = LOGNORMAAL) .N

GEMIDDELTE DIKTE ASFALBEKLEDING: 10
STANDAARDAFWIJKING: 1

GEMIDDELTE DOORLATENDHEID ZAND:-4
STANDAARDAFWIJKING:-.5

AANTAL SIMULATIES: 5000

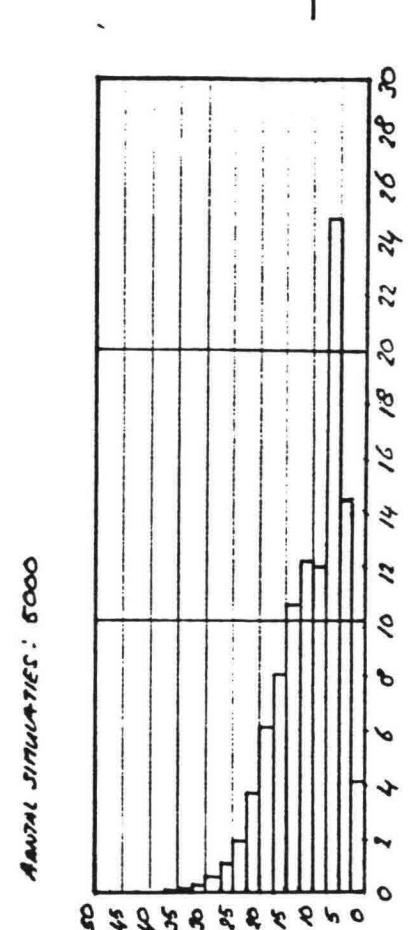
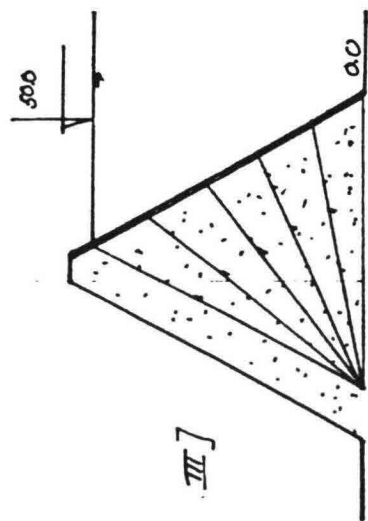
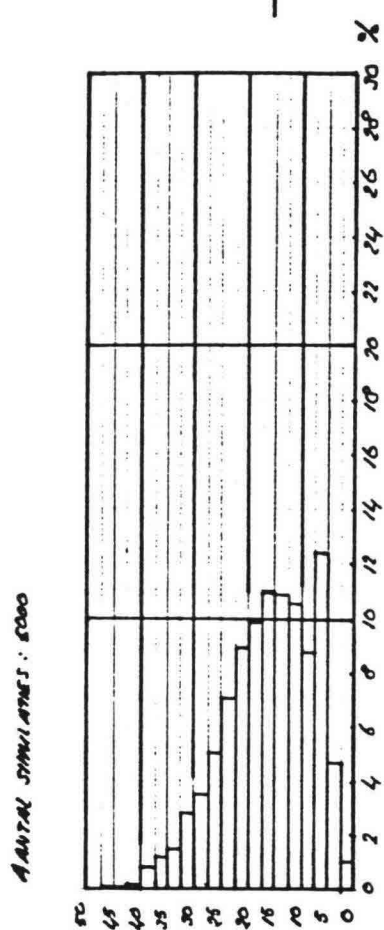
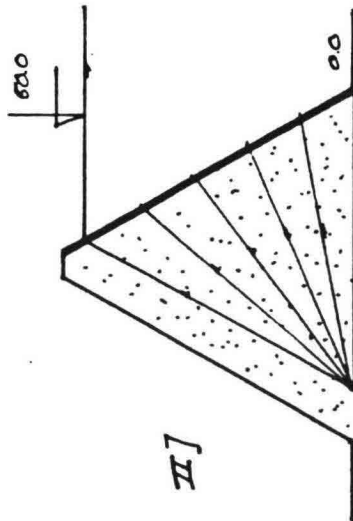
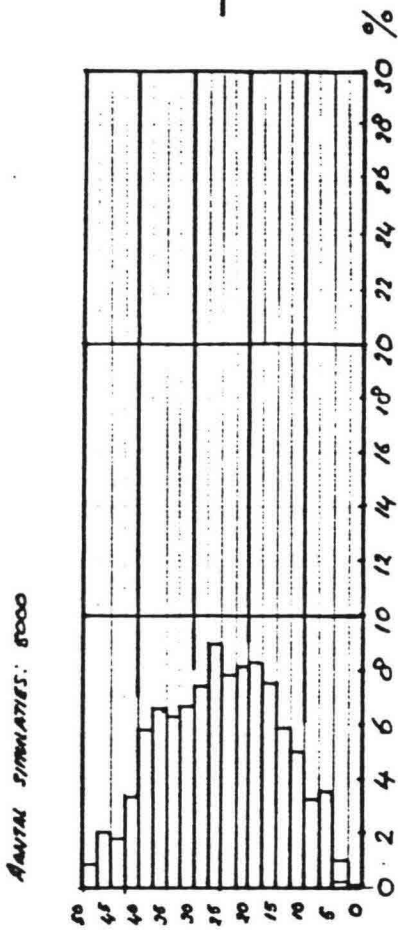
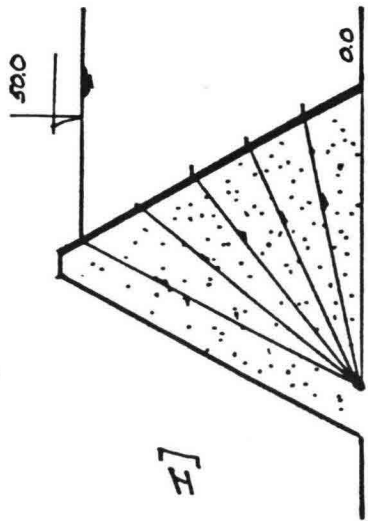
KLASSEN FREQUENTIE PERC.ONDERS.

1	0.00	2.50	5	0.100
2	2.50	5.00	52	1.140
3	5.00	7.50	176	4.660
4	7.50	10.00	161	7.880
5	10.00	12.50	248	12.840
6	12.50	15.00	290	18.540
7	15.00	17.50	376	26.160
8	17.50	20.00	411	34.380
9	20.00	22.50	404	42.460
10	22.50	25.00	393	50.320
11	25.00	27.50	448	59.260
12	27.50	30.00	371	66.700
13	30.00	32.50	331	73.320
14	32.50	35.00	315	79.620
15	35.00	37.50	332	86.260
16	37.50	40.00	288	92.020
17	40.00	42.50	167	95.360
18	42.50	45.00	89	97.140
19	45.00	47.50	99	99.120
20	47.50	50.00	42	99.960

GEMIDDELTE WAARDE :..... 25.06649
STANDAARDAFWIJKING :..... 10.46547

BENTENURIANT 54⁺

KANSLIJNTIES HOOGTE INTRIEPUNT FREATISCHE LYD.



Invoerd Variatiecoëfficiënt Holle ruimte percentage

Aangenomen waarden: $\bar{H}R = 3\%$

$D_{BEKL} = 0,10 \text{ m. } V_D = 10\%$

Een toenemende variatiecoëfficiënt van de holle ruimte percentage heeft een toename in de spreiding van de ligging van HI tot gevolg. Omdat in de berekeningen de gemiddelde waarden van de parameter niet wordt gevarieerd, wordt een nagenoeg constant rekenkundig gemiddelde voor HI gevonden. Niet-lineaire effecten en het eindig aantal simulaties hebben tot gevolg dat de gemiddelde waarden niet exact overeenkomen.

De gevonden histogrammen laten een asymetrische kansfunctie van HI zien. Deze zijn dan ook niet zonder meer met de normale verdeling te benaderen.

De kansfuncties zijn uitgezet op waarschijnlijkheidspapier. In het algemeen blijkt dat vanaf de 50%-waarde van de gevonden punten redelijk door een rechte lijn benaderd kunnen worden. (zie figuren IV.5, 6 en 7)

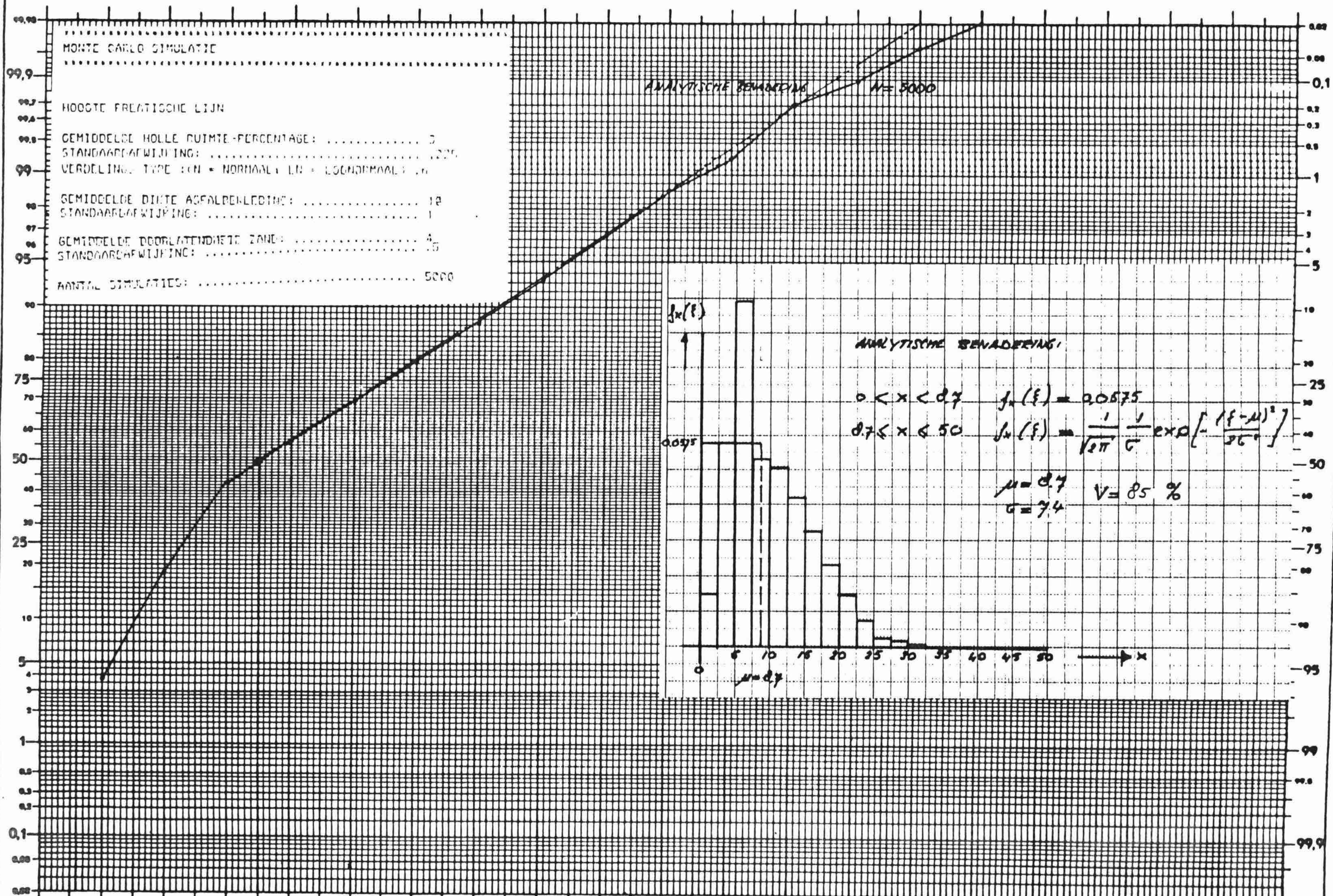
Gekozen is om vanaf de 50%-grens (d.w.z. dat 50% van de gevonden waarden kleiner zijn) de kansfunctie te benaderen door een normale verdeling. Beneden de 50%-grens wordt een uniforme verdeling toegepast.

De verdelingen zijn zodanig gekozen, dat de totale kans (het oppervlak van de kansfunctie) gelijk aan een (1) is. De parameter van de normale verdeling (gemiddelde en standaardafwijking) zijn bepaald door middel van een curvefittingprocedure (programma PARAFM).

Een overzicht van de zo gevonden kansdichtheidsfuncties wordt in tabel IV.2 gegeven:

OPM.:

Het verschil tussen kansfunctie en kansdichtheidsfunctie is dat in het eerste geval een discrete functie (histogram) en in het tweede geval een analytische functie wordt gehanteerd.



MONTE CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

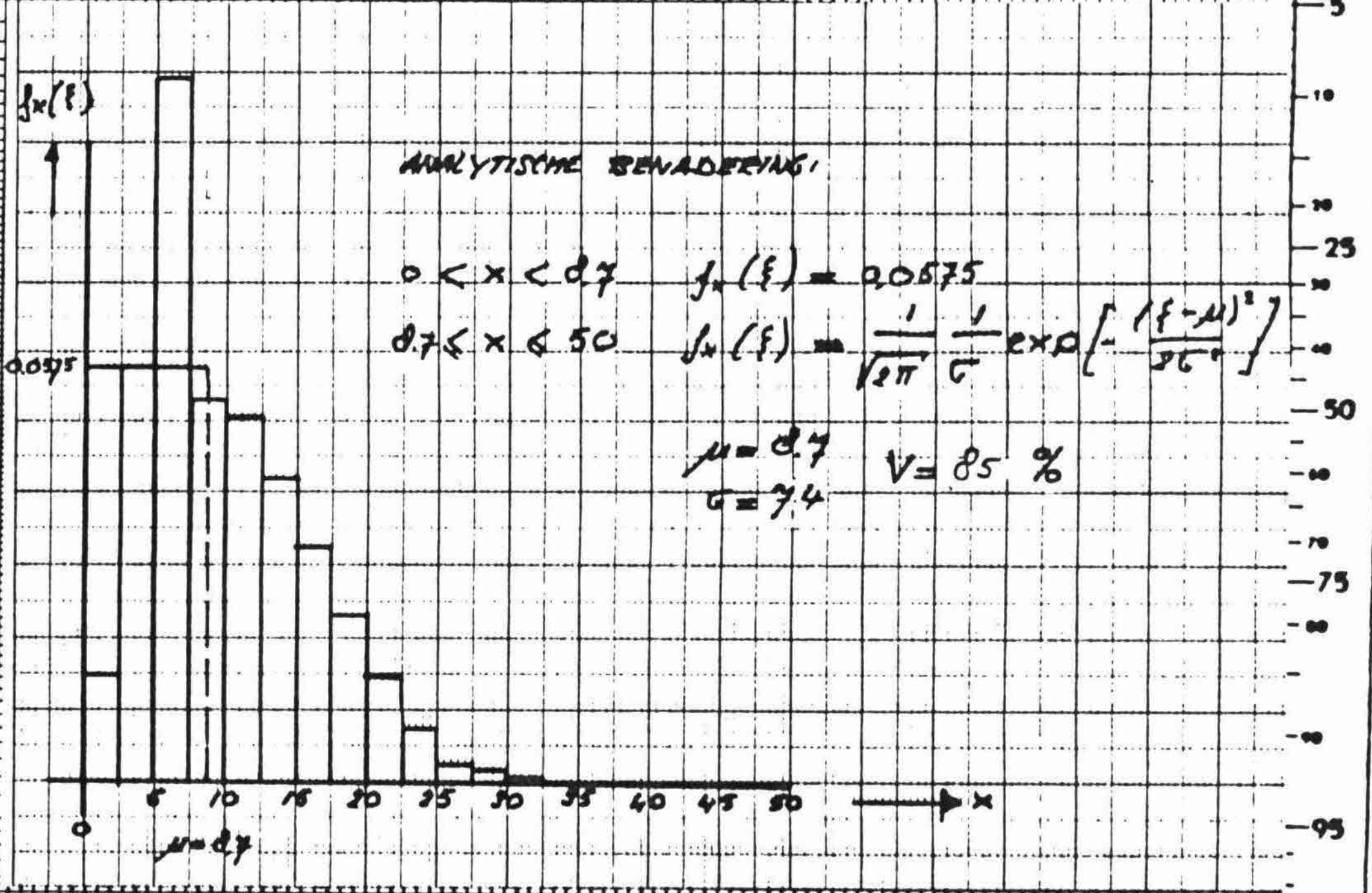
GEMIDDELDI HOLLI RUMTE-PERCENTAGE: 3
 STANDAARDAFWIJFING: 225
 VERDELINGSTYPI: LN = NORMAAL, LN = LOGNORMAAL, LN

GEMIDDELDI DIKTE ASFALDBEKLEDING: 18
 STANDAARDAFWIJFING: 1

GEMIDDELDI DOORLATTENDIETI ZONDI: 4
 STANDAARDAFWIJFING: 15

AANTAL SIMULATIES: 5000

ANALYTISCHE BENADERING N=5000



ANALYTISCHE BENADERING:

$0 < x < 8.7 \quad f_x(x) = 0.0575$

$8.7 \leq x < 50 \quad f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$

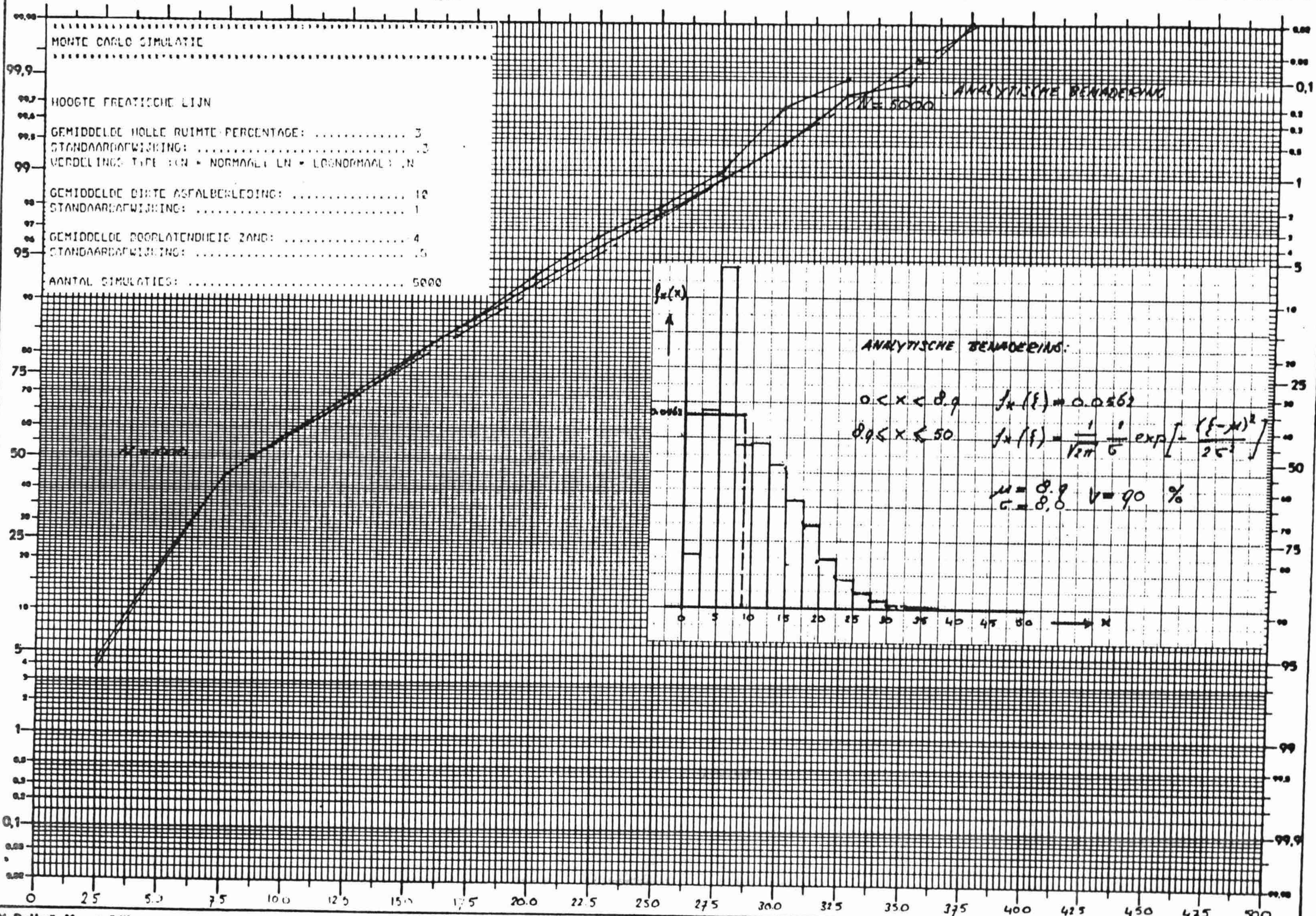
$\mu = 8.7 \quad V = 85\%$
 $\sigma = 7.4$

$f_x(x)$

0.0575

$\mu = 8.7$

x



MONTE CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

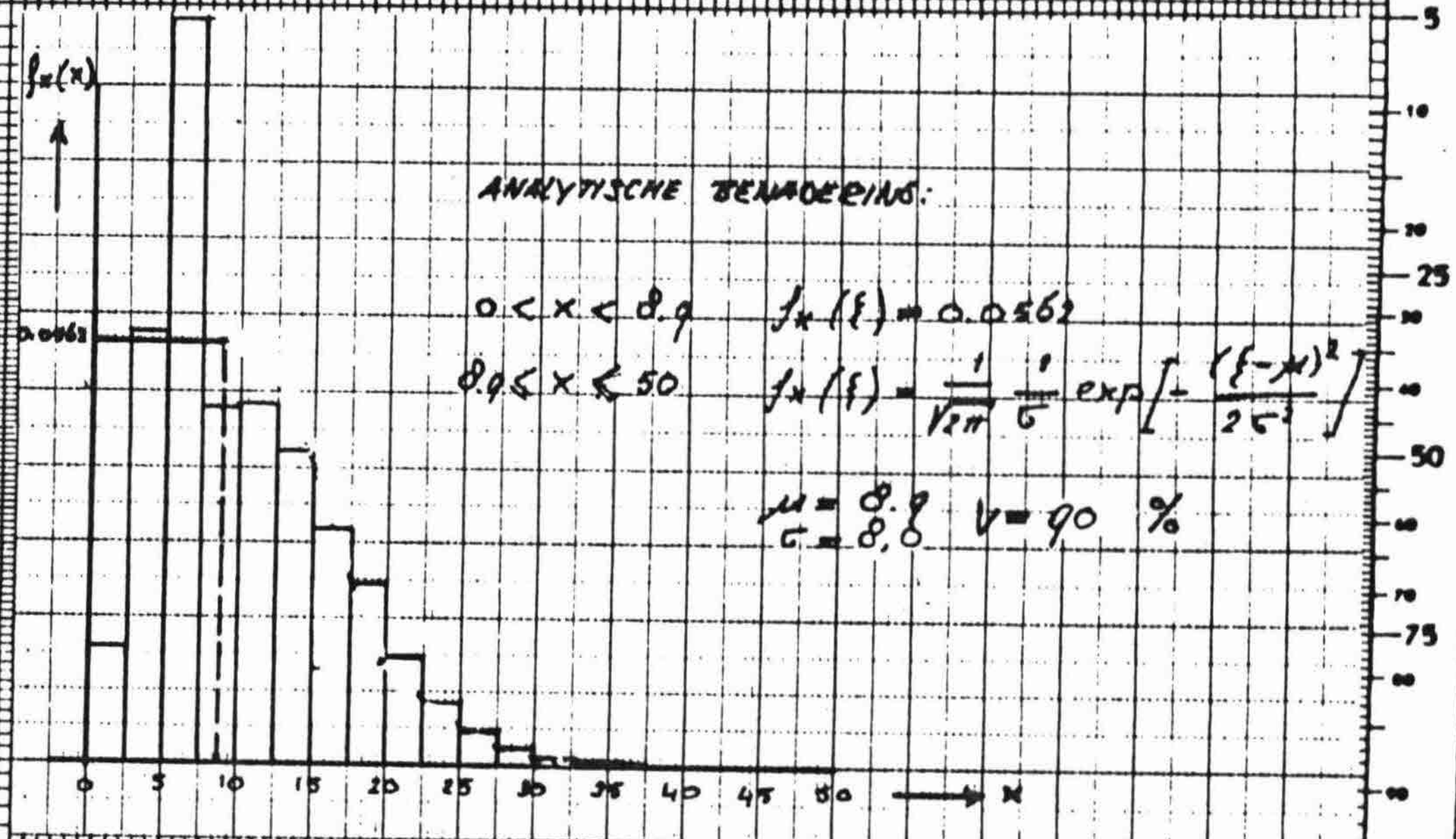
GEMIDDELTE HOLLE RUIMTE PERCENTAGE: 3
 STANDAARDAFWIJKING: 3

VERDELINGS TYPE: LN = NORMAAL LN = LOGNORMAAL LN

GEMIDDELTE DICHTE ASFALBERLEIDING: 10
 STANDAARDAFWIJKING: 1

GEMIDDELTE DOORLATENDHEID ZAND: 4
 STANDAARDAFWIJKING: 5

AANTAL SIMULATIES: 5000

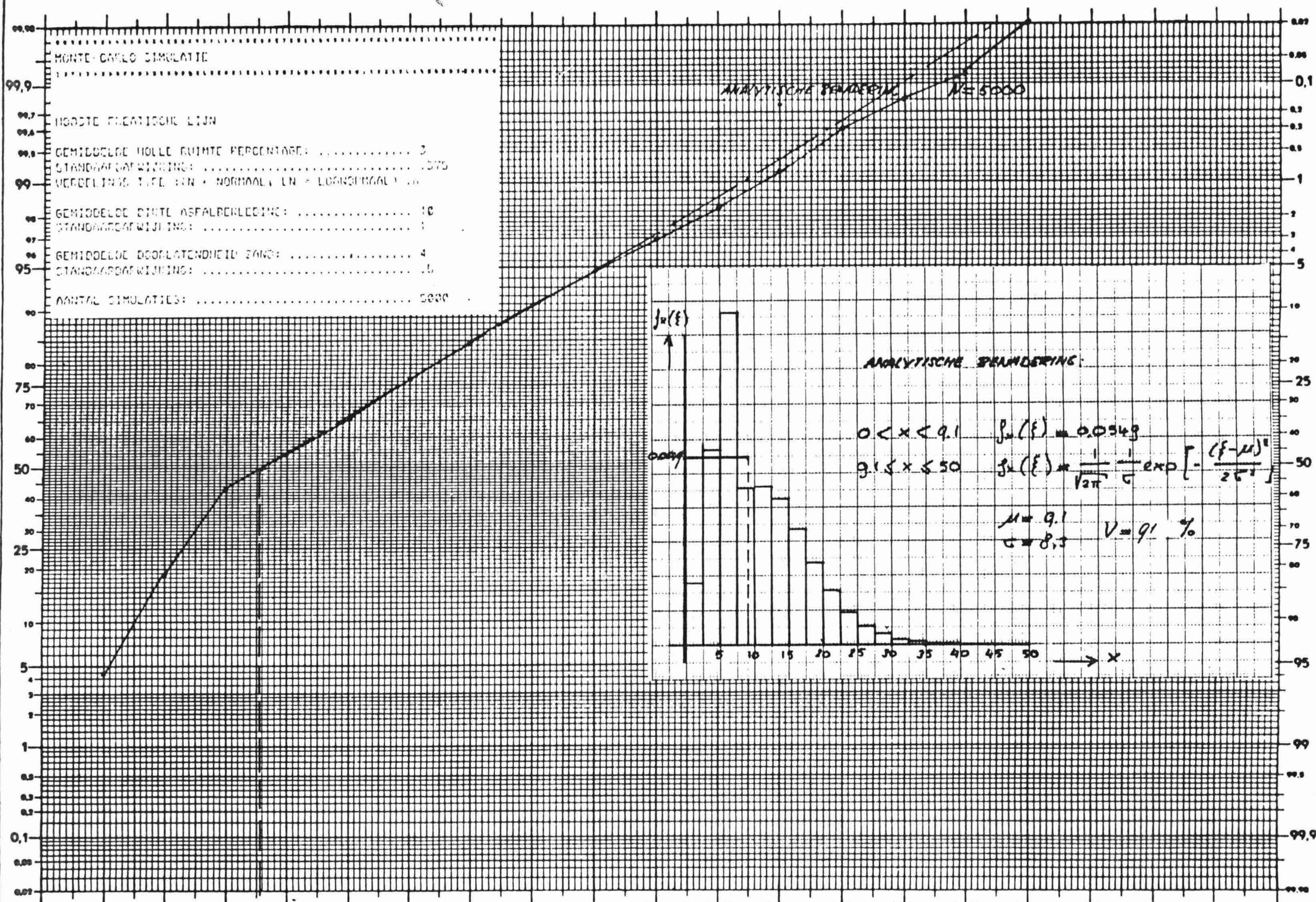


ANALYTISCHE BENADERING:

$0 < x < 8.9$ $f_x(x) = 0.0562$

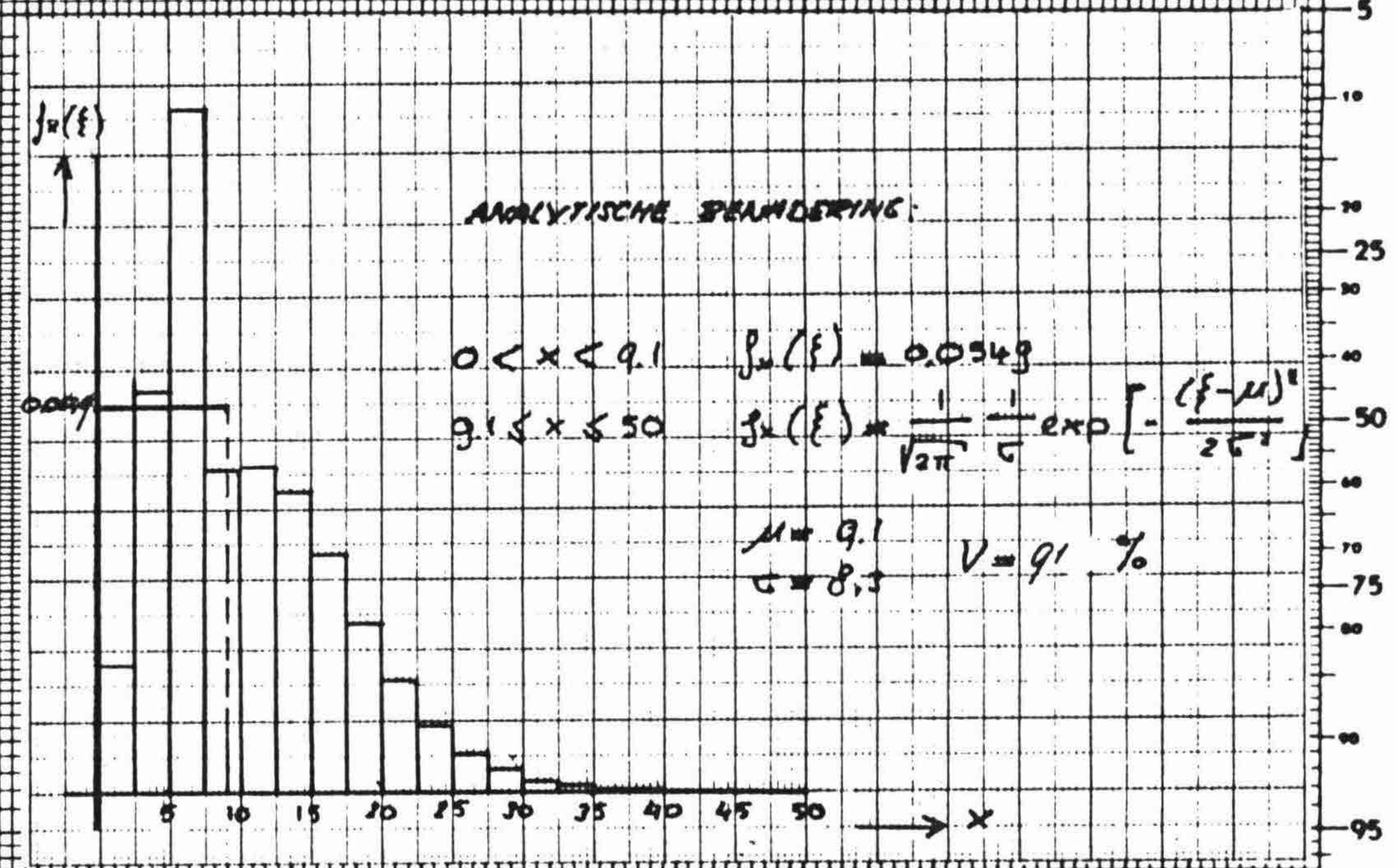
$8.9 \leq x \leq 50$ $f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$

$\mu = 8.9$ $\sigma = 8.8$ $V = 90\%$



MONTE-CARLO SIMULATIE
 HOOGTE FLEETIJSCH LIJN
 GEMIDDELTE HOLLE RUIJTE PERCENTAGE: 3
 STANDAARDAFWIJING: 1000
 VERDELINGSTYPEN: BINOMIAAL, LN = LOGNORMAAL, LN
 GEMIDDELTE DUNTE ASFALBERLEGING: 10
 STANDAARDAFWIJING: 1
 GEMIDDELTE DOORLATENDHEID SAND: 4
 STANDAARDAFWIJING: 10
 AANTAL SIMULATIES: 5000

ANALYTISCHE BEWAARDING N=5000



VARIATIECOEFF. HOLLE RUIJTHE%	BENADERING (1) uniforme verdeling (2) normale verdeling
7,5%	(1) $0 < x < 0,7 \quad f_x(f) = 0,0575$ (2) $0,75 \leq x \leq 50 \quad \mu = 0,7 \quad \sigma = 7,4$
10%	(1) $0 < x < 0,9 \quad f_x(f) = 0,0562$ (2) $0,95 \leq x \leq 50 \quad \mu = 0,9 \quad \sigma = 0,0$
12,5%	(1) $0 < x < 9,1 \quad f_x(f) = 0,0549$ (2) $9,1 \leq x \leq 50 \quad \mu = 9,1 \quad \sigma = 0,3$

Tabel IV.2. kansdichtheidsfuncties

(1) normale verdeling:
$$f_x(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(f-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Invloed dikte bekleding

Aangenomen waarden: HR = 3%

$V_{HR} = 10\%$

$D_{BFXL} = 0,15, 0,20 \text{ m}$ $V_D = 10\%$

Een toenemende bekledingsdikte heeft een lager gemiddelde waarde van HI ten gevolge.

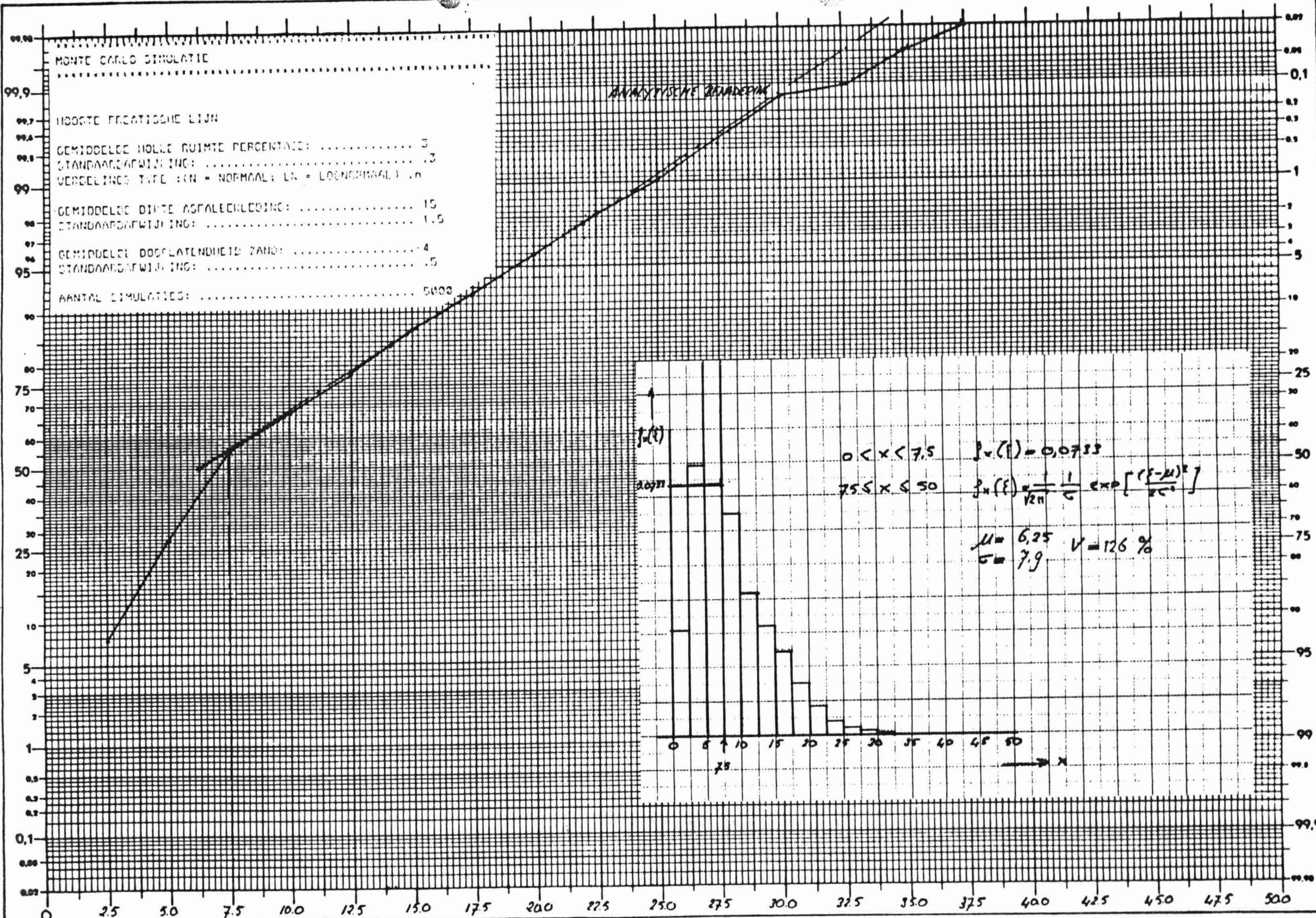
De kansfuncties zijn weer benaderd door een gedeelte uniforme en normale verdeling: (zie fig. IV.8 en IV.9)

De resultaten zijn samengevat in onderstaende tabel:

DIKTE BEKLEDING	BENADERING	
	(1) UNIFORME VERDELING	(2) NORMALE VERDELING
0.10 m	(1) $0 < x < 0.9$	$f_x(x) = 0.0562$ (2) $0.9 \leq x \leq 50$ $\mu = 0.9$ $\sigma = 0.0$
0.15 m	(1) $0 < x < 7.5$	$f_x(x) = 0.0733$ (2) $7.5 \leq x \leq 50$ $\mu = 6.25$ $\sigma = 7.9$
0.20 m.	(1) $0 < x < 7.5$	$f_x(x) = 0.0052$ (2) $7.5 \leq x \leq 50$ $\mu = 5.0$ $\sigma = 7.7$

Tabel IV.3. Kansdichtheidsfuncties

(1) normale verdeling: $f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$



MONTE CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREQUENTIE LIJN

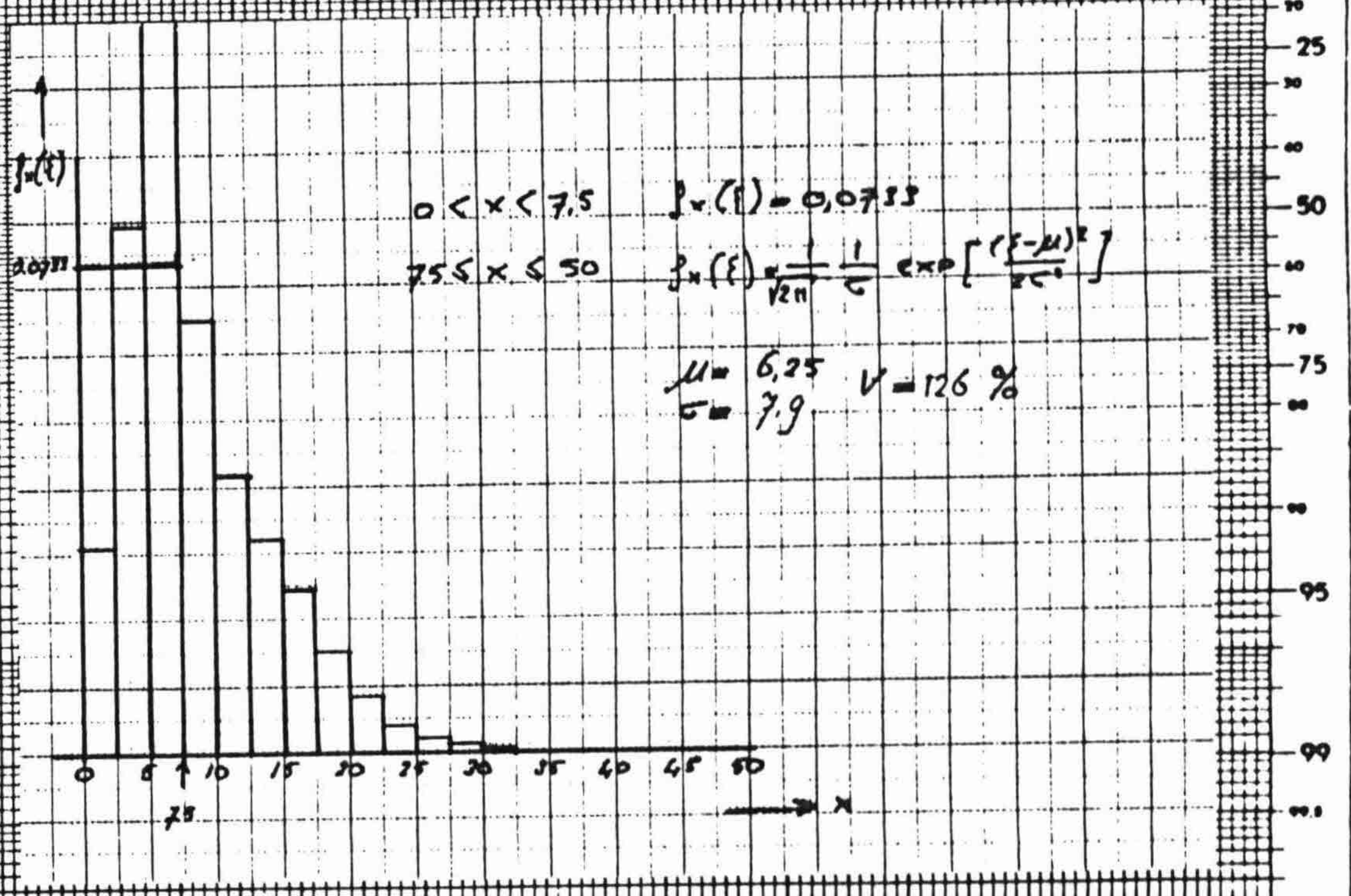
GEMIDDELBEDER HOLE RUIMTE PERCENTAGES: 3
 STANDAARDAFWIJING: 1.3
 VERDELINGSTYPEN: (N = NORMAAL; LN = LOGNORMAAL) LN

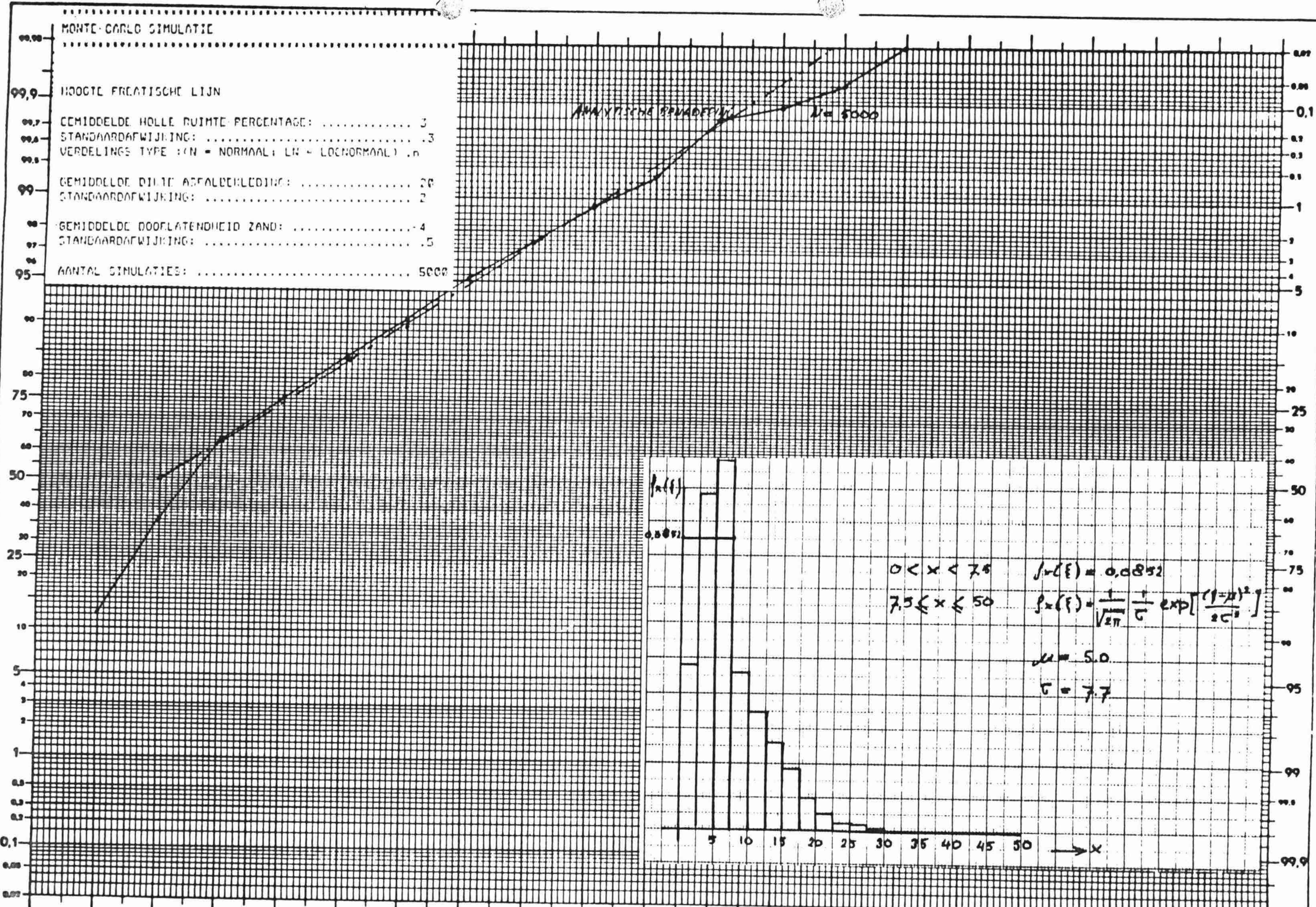
GEMIDDELBEDER Dikte ASFALDEKLEEDING: 15
 STANDAARDAFWIJING: 1.5

GEMIDDELBEDER DOORLATENDICHTIGHEID ZAND: 4
 STANDAARDAFWIJING: 1.5

AANTAL SIMULATIES: 5000

ANALYTISE BEWAARDING





MONTE-CARLO SIMULATIE

HOOGTE FREATISCHE LIJN

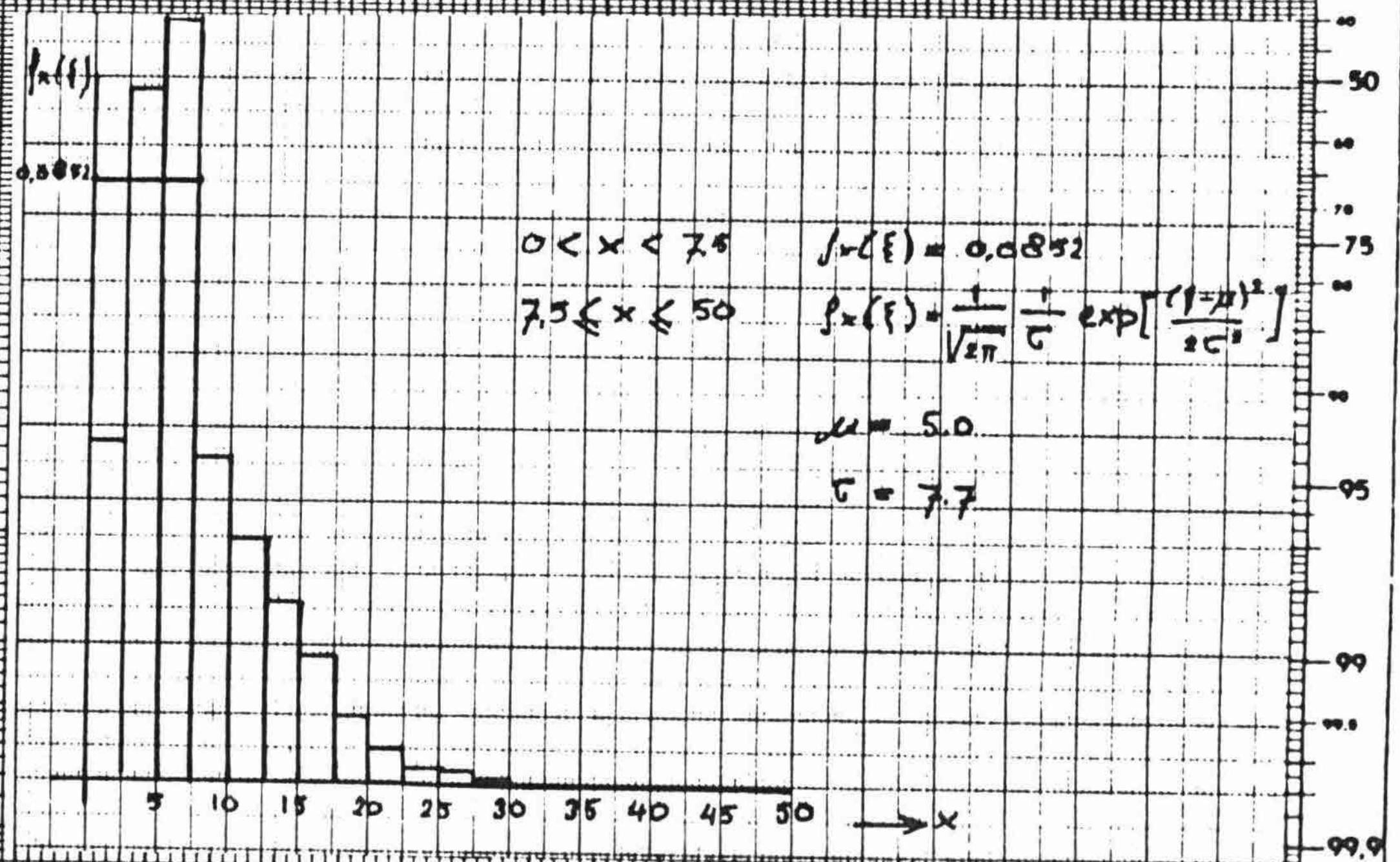
GEMIDDELTE HOLLE RUIMTE-PERCENTAGE: 3
 STANDAARDAFWIJKING: 3
 VERDELINGS TYPE : (N = NORMAAL; LN = LOGNORMAAL) .n

GEMIDDELTE DILTE AEFALBERKLEIDING: 20
 STANDAARDAFWIJKING: 2

GEMIDDELTE DOORLATENDHEID ZAND: 4
 STANDAARDAFWIJKING: 5

AANTAL SIMULATIES: 5000

ANALYTISCHE BERADEERING
 N = 5000



$0 < x < 7.5$ $f_x(x) = 0.0852$
 $7.5 \leq x \leq 50$ $f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$
 $\mu = 5.0$
 $\sigma = 7.7$

V. BEREKENING TOTALE FAALKANS

V.1. Methode

Gevonden is de faalkans ten aanzien van macrostabiliteit als functie van de ligging van de freatische lijn en de variatiecoëfficiënt in de hoek van inwendige wrijving (Hoofdstuk III).

In hoofdstuk IV is de kansfunctie voor de ligging van het intreepunt HI van de freatische lijn bepaald.

De totale faalkans met betrekking tot de macrostabiliteit wordt als volgt berekend:

$$P_r \{ \text{FALEN} \} = \int_0^{HI_{\text{MAX}}} P_r \{ \text{GLIJVLAK/HI} \} * P(HI) \cdot dHI \quad (1)$$

waarin:

$P_r \{ \text{GLIJVLAK/HI} \}$ de conditionele faalkans als functie van de ligging van de freatische lijn, gekarakteriseerd door het intreepunt HI.

$P_r \{ HI \}$ de kansfunctie van de ligging van het intreepunt van de freatische lijn.

Bovenstaand integraal kan numeriek worden benaderd door de som:

$$P_r \{ \text{FALEN} \} = \sum P_r \{ \text{GLIJVLAK/HI} \} * P \{ HI - \frac{1}{2} \Delta HI < HI < HI + \frac{1}{2} \Delta HI \} * \Delta HI$$

Voor dHI is 2.50 m gekozen.

De totale integraal wordt dan door 20 stappen benaderd.

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van een computerprogramma (TOTPTOB). Het verband tussen de veiligheidscoëfficiënt en de freatische lijn is in coördinaten ingevoerd. De faalkans wordt analytisch bepaald met de in paragraaf III.3 beschreven formule. Een voorbeeld van de uitvoer is op blz afgedrukt.

 TOTPROB

TOTALE FAALKANS MACRO-STABILITEIT .

BEREKENING IIN
 PHI (GEMIDDELD): 33
 STANDAARDAFWIJKING: 3.3

***** LIGGING FREATISCHE LIJN *****

UNIFORME VERDELING: $0 < X < 6.90$
 $f(x) = 0.0562$

NORMALE VERDELING: $8.90 < X < 50$
 GEM. WAARDE = 8.699999
 STAND. AFWIJING = 8

KLASSE	FAALKANS	KANS	FAALKANS*KANS	
0.00	2.50	0.42E-05	0.14E+00	0.59E-06
2.50	5.00	0.46E-05	0.14E+00	0.66E-06
5.00	7.50	0.52E-05	0.14E+00	0.73E-06
7.50	10.00	0.58E-05	0.13E+00	0.77E-06
10.00	12.50	0.66E-05	0.12E+00	0.79E-06
12.50	15.00	0.76E-05	0.10E+00	0.79E-06
15.00	17.50	0.88E-05	0.62E-01	0.72E-06
17.50	20.00	0.10E-04	0.59E-01	0.60E-06
20.00	22.50	0.12E-04	0.30E-01	0.47E-06
22.50	25.00	0.16E-04	0.22E-01	0.35E-06
25.00	27.50	0.20E-04	0.12E-01	0.24E-06
27.50	30.00	0.25E-04	0.58E-02	0.15E-06
30.00	32.50	0.35E-04	0.26E-02	0.92E-07
32.50	35.00	0.52E-04	0.10E-02	0.54E-07
35.00	37.50	0.78E-04	0.38E-03	0.29E-07
37.50	40.00	0.12E-03	0.12E-03	0.15E-07
40.00	42.50	0.20E-03	0.37E-04	0.76E-08
42.50	45.00	0.40E-03	0.10E-04	0.41E-08
45.00	47.50	0.82E-03	0.25E-05	0.20E-08
47.50	50.00	0.17E-02	0.60E-06	0.10E-08

TOTALE FAALKANS.....: 0.70E-05

V.2 Berekeningsresultaten

Algemeen

In het algemeen blijkt uit de berekeningen dat de totale faalkans voornamelijk wordt bepaald door de 'lagere liggingen' van de freatische lijn en niet door de extreme waarden. Dit is overigens een bekend verschijnsel in probabilistische beschouwingen.

Invloed hoek van inwendige wrijving

In de berekeningen zijn zowel de gemiddelde waarden als de variatiecoëfficiënt gevarieerd.

In hoofdstuk III zijn de veiligheidscoëfficiënt met betrekking tot de glijvlakkenanalyse numeriek bepaald met $\bar{\varphi} = 33^\circ$.

Voor $\bar{\varphi} = 30^\circ$ en $\bar{\varphi} = 36^\circ$ zijn de berekeningen niet opnieuw uitgevoerd maar de veiligheidscoëfficiënt zijn aangepast in verhouding met de waarde van $TAN \bar{\varphi}$. Hier wordt dus uitgegaan van de minimale stabiliteitsfactor $F = TAN \varphi / TAN \bar{\varphi}$. Dit lijkt gerechtvaardigd omdat φ de enige parameter is die verandert, de dijkgeometrie en glijcirkelgeometrie zijn constant gehouden, evenals de andere grondparameters. De verhouding van de veiligheidscoëfficiënt wordt hiermee:

$$\bar{\varphi} = 30^\circ : F' = \frac{TAN 30^\circ}{TAN 33^\circ} * F = 0,889 * F$$

$$\bar{\varphi} = 33^\circ : F' = F$$

$$\bar{\varphi} = 36^\circ : F' = \frac{TAN 36^\circ}{TAN 33^\circ} * F = 1,119 * F$$

Het verband tussen de veiligheidscoëfficiënt en de ligging van de freatische lijn (III-2) is hiermee gecorrigeerd.

De resultaten van de faalkansberekeningen zijn in onderstaande tabel weergegeven:

V_{φ}	GEOMETRIE II gem. talud 1 : 3,9			GEOMETRIE I gem. talud 1 : 3	
	$\bar{\varphi} = 30^\circ$	$\bar{\varphi} = 33^\circ$	$\bar{\varphi} = 36^\circ$	$\bar{\varphi} = 33^\circ$	
7,0	0,59 10^{-8}	0,42 10^{-9}	0,76 10^{-10}	0,1 10^{-7}	
7,5	0,43 10^{-7}	0,45 10^{-8}	0,11 10^{-8}	0,76 10^{-7}	
8,0	0,23 10^{-6}	0,33 10^{-7}	0,95 10^{-8}	0,41 10^{-6}	
9,0	0,35 10^{-5}	0,75 10^{-6}	0,29 10^{-6}	0,54 10^{-5}	
10,0	0,25 10^{-4}	0,70 10^{-5}	0,32 10^{-5}	0,38 10^{-4}	
12,5	0,56 10^{-3}	0,39 10^{-3}	0,15 10^{-3}	0,74 10^{-3}	

Tabel V.1. Faalkansen: invloed hoek van inwendige wrijving

Uit de tabel blijkt dat de grootte van de variatiecoëfficiënt een zeer grote invloed op de faalkans heeft. De invloed van de gemiddelde waarde is een orde kleiner, evenals de invloed van de taludhelling.

De resultaten zijn weergegeven in fig. V.1

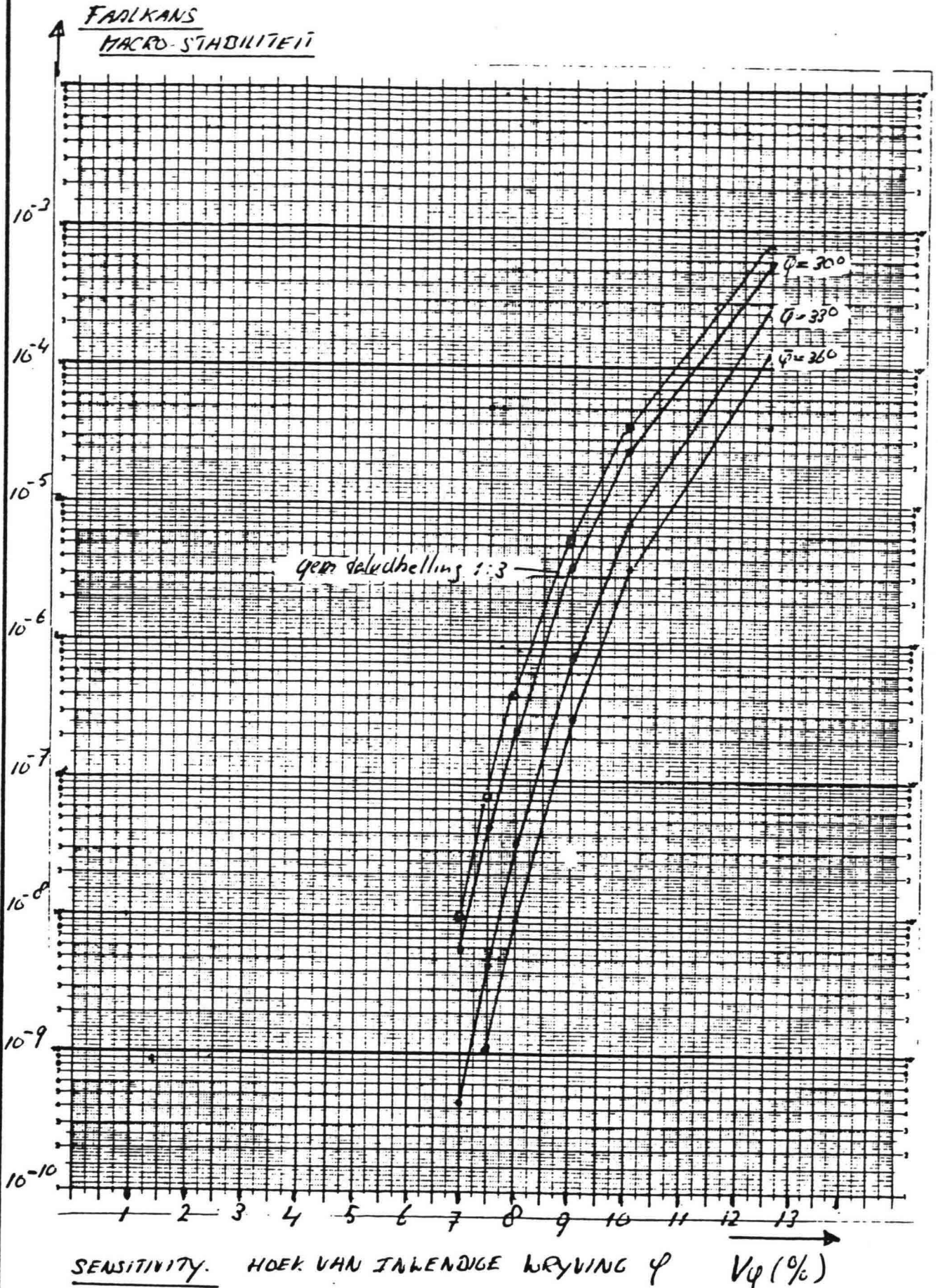


FIG. II.1.

Involed variatiecoëfficiënt hulle ruimte percentage

Uitgangspunten: $\bar{H}_R = 3\%$

$\bar{\varphi} = 33^\circ$

$D_{BEHL} = 0,1 \text{ m}$ $V_D = 10\%$

De berekeningsresultaten staan in onderstaend tabel:

GEOMETRIE II

V_φ	$V_{HR} = 8\%$	$V_{HR} = 10\%$	$V_{HR} = 12\%$
7.5 %	$0.30 \cdot 10^{-7}$	$0.67 \cdot 10^{-5}$	$0.14 \cdot 10^{-3}$
10 %	$0.33 \cdot 10^{-7}$	$0.70 \cdot 10^{-5}$	$0.14 \cdot 10^{-3}$
12.5 %	$0.38 \cdot 10^{-7}$	$0.73 \cdot 10^{-5}$	$0.15 \cdot 10^{-3}$

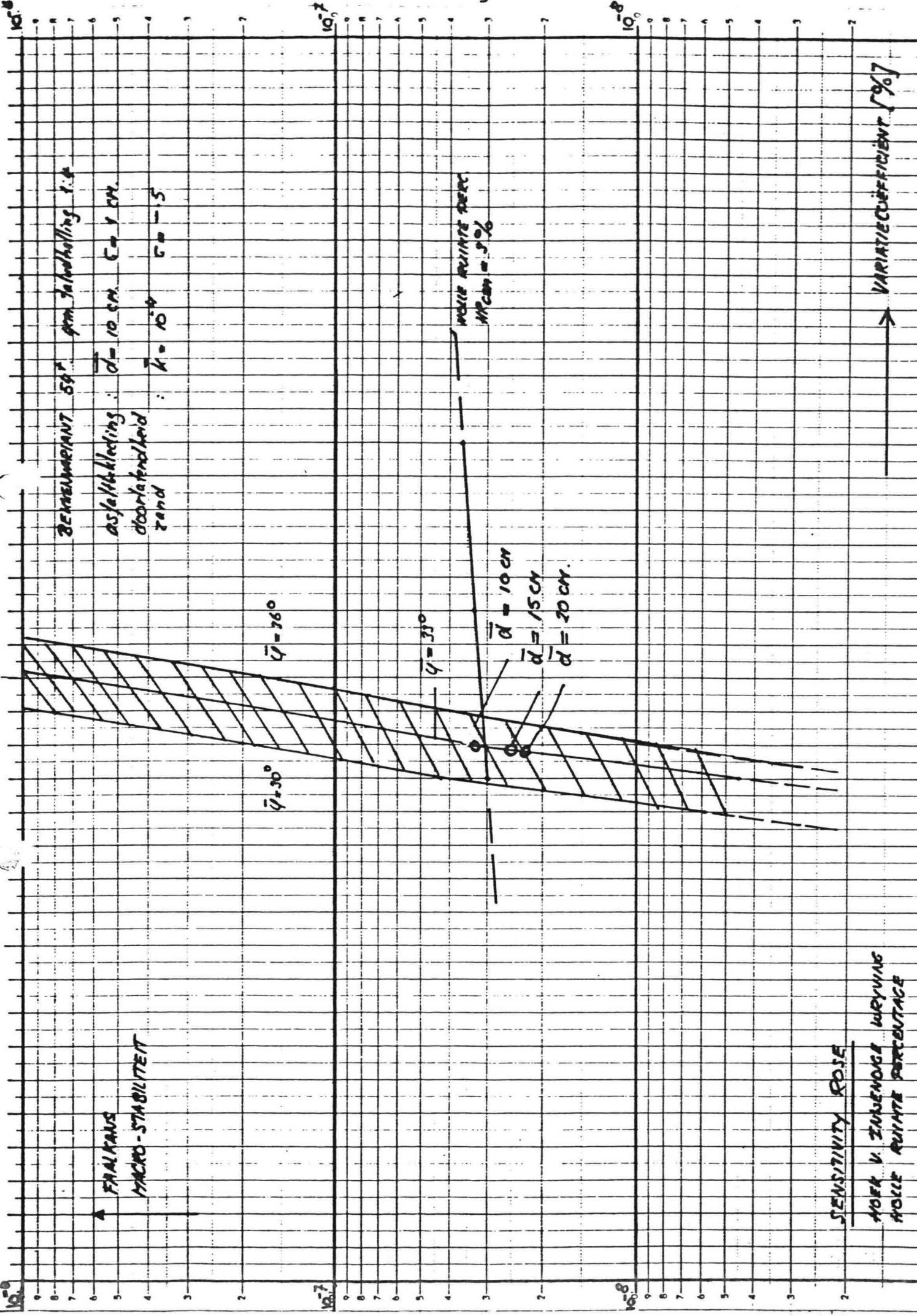
TABEL II.2. FAALKANSEN. Involed V_{HR}

De involed van V_{HR} is verwaarloosbaar t.o.v. de variatiecoëfficiënt in φ . (zie ook figuur II.2)

Involed dikke bekleding

De involed van de bekledingsdikte op de totale jaalkans is eveneens zeer gering.

In figuur II.2 zijn de gevonden waarden uitgezet. Deze zijn berekend bij $\bar{\varphi} = 33^\circ$ en $V_\varphi = 8\%$.



BENEFICIANT 59% ppm talcoholing 1:4
 asfaltbeton : $\bar{c} = 1 \text{ CM}$ $c = 1 \text{ CM}$
 doorlatendheid : $\bar{k} = 10^{-4}$ $c = -5$
 rand

MOLE RIJNTE DEEC
 MPCEN = 3.0%

$\bar{\phi} = 30^\circ$ $\bar{\phi} = 36^\circ$

$\phi = 33^\circ$

$\bar{\alpha} = 10 \text{ CM}$
 $\bar{\alpha} = 15 \text{ CM}$
 $\bar{\alpha} = 20 \text{ CM}$

FRANKANS
 MACRO-STABILITEIT

SENSITIVITY ROSE
 HOFF V. ZINBENOGI WRYVING
 HOVE RIJNTE PERCENTAGE

VI. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

VI.1 Hoek van inwendige wrijving

De invloed op de faalkans van de statistische spreiding in de hoek van inwendige wrijving blijkt duidelijk. De meest in het oog springende conclusie is dan ook dat $V\varphi$ aan een maximum waarde gebonden moet worden. Dit zou als een bestekseis kunnen worden opgenomen.

$V\varphi$ wordt dan als een kwaliteitsparameter gehanteerd voor het zandlichaam.

In het model moet $V\varphi < 7 \text{ à } 8\%$ wil een voldoende veiligheid voor het beschouwde faalmechanisme gewaarborgd worden.

Een voorzichtige conclusie is dat dit zeker wel haalbaar is. Door het ontbreken van nauwkeuriger grondgegevens is nog geen harde uitspraak te doen. Vooral de interpretatie van $V\varphi$ naar de praktijk is (nog) niet voldoende duidelijk.

In het laboratorium worden wel spreidingen van globaal 10% gevonden; maar deze waarde is niet rechtstreeks te koppelen aan de variabiliteit van φ in het zandlichaam.

De in het laboratorium gevonden statistische spreiding wordt namelijk 'uitgemiddeld' over de dijkdoorsneden en dijk lengte, over het algemeen zal dus de variabiliteit in φ , dus in de sterkte, van de dijk lager zijn dan de 'laboratorium' spreiding. Van belang hierbij is uiteraard de lengtemaat waarover deze uitmiddeling plaatsvindt. Statistisch gezien kan de dijkdoorsnede opgebouwd gedacht worden uit laagjes of pakketjes zand, die statistisch onafhankelijk zijn. De laagdikte of pakketgrootte wordt bepaald door de correlatielengte.

Wanneer een dijklichaam bijvoorbeeld in lagen is opgespoten zou men de onderlinge lagen als statistisch onafhankelijk kunnen beschouwen. Binnen een laag zijn de eigenschappen identiek, dus volledig gecorreleerd.

Een 'continue lichaam' wordt dan opgebouwd gedacht uit een aantal discrete lagen. Met behulp van dit gedachtenexperiment is enig inzicht te verkrijgen in de variabiliteit van een zandlichaam, uitgaand van de laboratoriumspreiding. Uit de statistiek is het volgende verband bekend:

$$V(R) = V(r) \sqrt{\frac{d}{a}}$$

- $V(r)$: de variatiecoëfficiënt van een laagje
- d : de laagdikte
- a : de totale lengte
- $V(R)$: de uitgemiddelde variatiecoëfficiënt (variabiliteit)

Stel dat het zandlichaam met een laagdikte van + 2 m wordt opgespoten. Bij een dijkhoogte van 54 m zijn dus 27 lagen te onderscheiden. Stel verder dat een glijvlak al deze lagen doorsnijdt. De variabiliteit wordt dan bepaald door al de lagen gezamenlijk.

Verder wordt aangenomen dat elke laag een identiek gemiddelde φ heeft en per laag geldt een statistische spreiding $\sqrt{\varphi}$.

Uitwerking

$$\begin{aligned} a &= 54 \text{ m} \\ d &= 2 \text{ m} \\ V(4) &= 10\% = 0,10 \end{aligned}$$

De variabiliteit wordt dan:

$$\begin{aligned} V(R) &= 0,1 \times \sqrt{\frac{2}{54}} = 0,1 \times 0,19 = 0,0192 \\ V(R) &= 2\% \end{aligned}$$

Door het uitmiddelen wordt dus een grote reductie van gevonden!

Op grond hiervan lijkt een waarde van $\varphi < 7\text{ à }8\%$ zeker haalbaar.

Opgemerkt wordt dat er hierbij geen rekening wordt gehouden met een variatie over de dijkdoorsneden van de gemiddelde waarde van φ .

Een andere onzekerheid, die een grote invloed op de faalkansbeschouwing heeft is de aangenomen kansdichtheidsfunctie van φ .

In de berekeningen is een normale verdeling gehanteerd. De vraag is of dit bij grote spreidingen nog fysisch te onderbouwen is.

In feite wordt in de probabilistische berekeningen de kans beschouwd dat φ een zodanige waarde aanneemt dat de veiligheidscoëfficiënt kleiner dan 1 wordt.

Voor de beschouwde situaties ligt het 'designpoint' van in de orde van 20° uitgaande van $\bar{\varphi} = 33^\circ$ met een spreiding van 10%. Dit is het gevolg van de gevraagde lage faalkans. Bij toepassing van zand is een dergelijke φ waarde onrealistisch.

Hieruit blijkt dat enige voorzichtigheid is geboden bij het interpreteren van de resultaten van de probabilistische berekeningen.

VI.2 Aanbevelingen

Uit paragraaf VI.1 volgt dat kennis omtrent de statistische eigenschappen van φ in het zandlichaam in feite onontbeerlijk is om een uitspraak over de faalkans te doen, gezien de grote invloed van φ op de berekeningen.

Een betere kennis zou eventueel zelfs tot aanzienlijke besparingen kunnen leiden van de zandhoeveelheid, wanneer blijkt bij de geëiste veiligheid tot steilere taludhellingen kan worden overgegaan. Een onderzoek naar deze statistische eigenschappen lijkt dan ook zeker gerechtvaardigd.

APPENDIX

FAALKANS IN RELATIE TOT DE TALUDHELLING

Met behulp van de beschreven methode is de invloed nagegaan van de taludhelling op de totale faalkans.

Er zijn een viertal taludhellingen bekeken:
1:2, 1:3, 1:4 en 1:5.

Uitgangspunten:

- Volumieke massa (droog) $\rho_d = 16 \text{ kN/m}^3$
- Volumieke massa (nat) $\rho_n = 20 \text{ kN/m}^3$
- Hoek v. inwendige wrijving $\varphi = 33^\circ$

Voor de lissing van de theoretische lijn is uitgegaan van de volgende kansfunctie voor het indreeppunt:

$$0 < x < 0.9 \quad f_x(x) = 0,0562$$

$$0.9 \leq x \leq 50 \quad f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp \left[- \frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$\mu = 0.9$$

$$\sigma = 0.0$$

De uitgangspunten voor de bepaling van bovenstaende kansfunctie waren:

	gem. waarde	St. afwijking
Holle ruimte percentage	3 %	0,3 %
Bekledingsdikte	0,10 m	0,01 m
Doorlatendheid zand	10^{-4} m/s	0,5 m/s

Voor wat betreft de ligging van het uittreepunt van de freetische lijn is voor al de berekeningen uitgegaan van een drainage-inrichting met een lengte van 40 m; d.w.z. dat het uittreepunt (HU) van de freetische lijn 40 m. naar binnen ligt, gemeten vanuit de teen.

De resultaten van de berekeningen zijn samengevat in figuur 1, 2 en tabel 3.

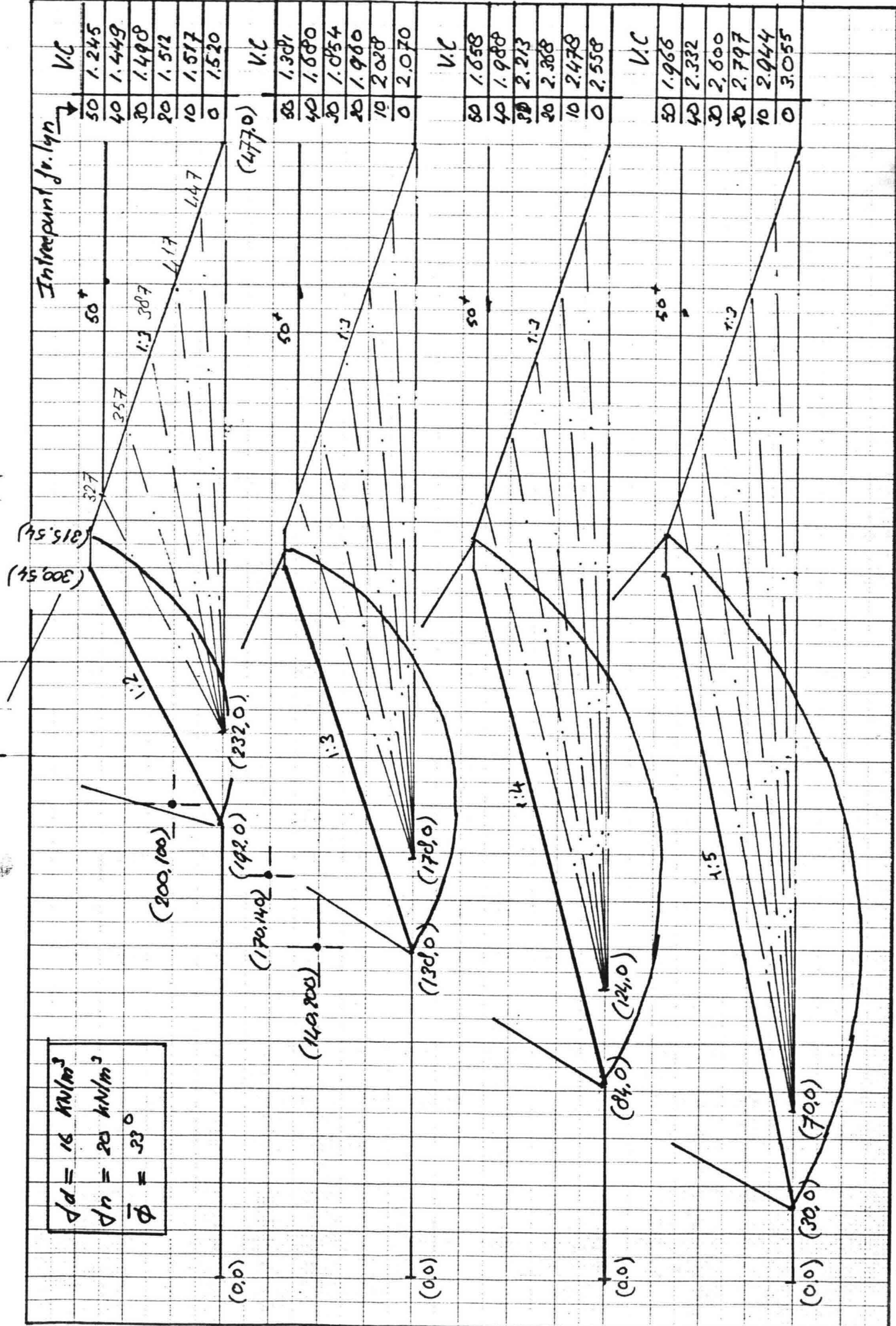
In figuur 2 is ten illustratie het gevonden verband tussen de veiligheidscoëfficiënt en het intreepunt van de freetische lijn voor de VAR 54^r lekkendijk-geometrie getekend.

Opvallend is in de figuur het relatief vlakke verloop van het verband voor de taludhelling 1:2.

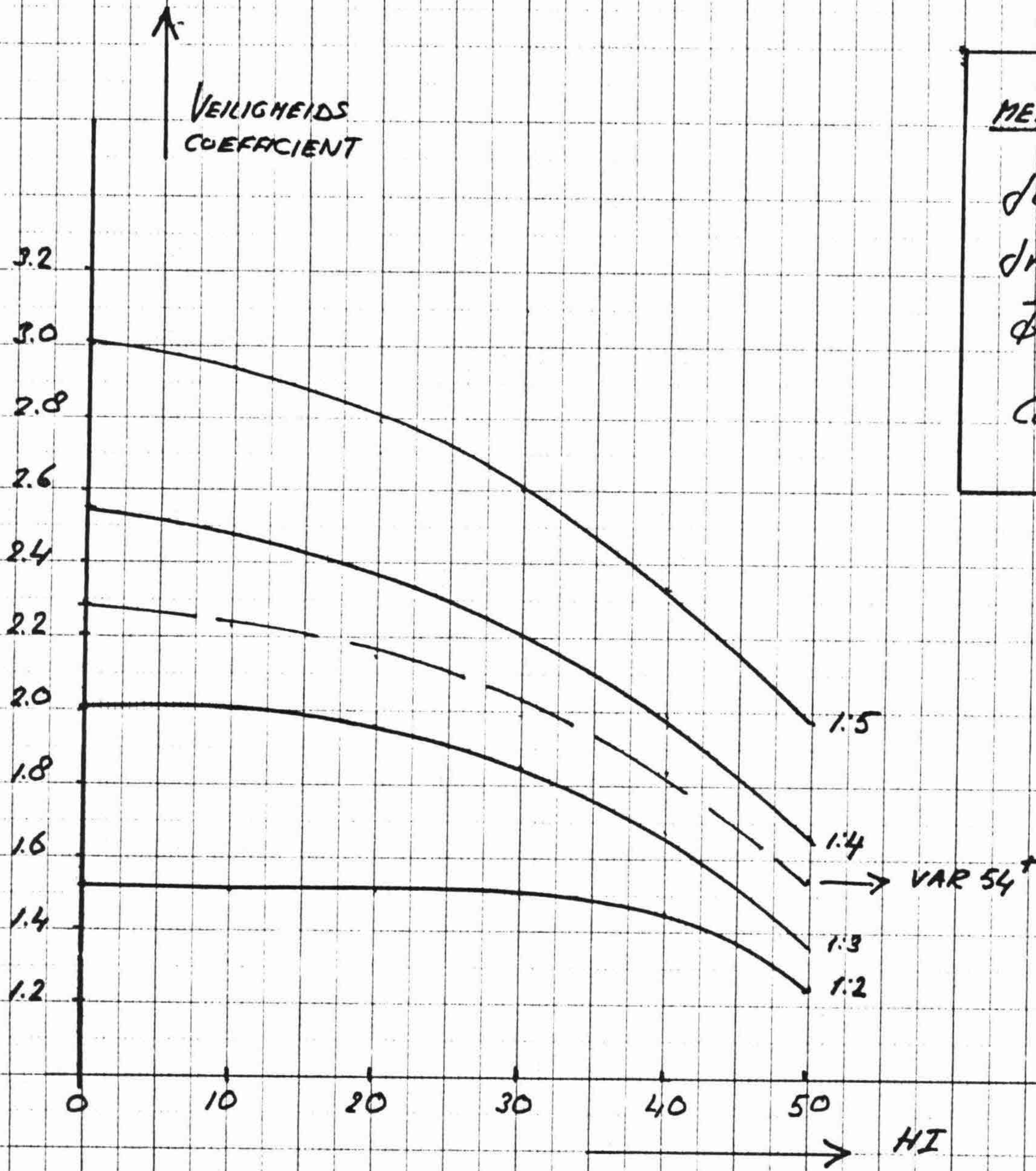
De oorzaak hiervan is de geringe invloed van de freetische lijn op de afschuivende grondmassa (zie fig. 1)

In tabel 3 zijn de berekeningsresultaten weergegeven. Naast de invloed van de taludhelling is ook de invloed van de variatiecoëfficiënt in φ weergegeven. Te zien is dat bij kleinere variatiecoëfficiënten de invloed van de taludhelling op de factoren relatief groter wordt.

$\Delta d = 16 \text{ kN/m}^2$
$\Delta h = 20 \text{ kN/m}^2$
$\bar{\phi} = 33^\circ$



GLYCIRKEL ANALYSE. METHODE FELLENIUS. VAR 54+ VARIATIE TALUDHELLING. DRAINAGELENGTE = 40 M.



METHODE FELLENIUS
 $\gamma_d = 16 \text{ KN/M}^3$
 $\gamma_n = 20 \text{ KN/M}^3$
 $\bar{\phi} = 33^\circ$
 CONSTATE GLYCIRKELS

FIG. 2 VERBAND VEILIGHEIDCOEFFICIENT / INTREEPUNT FREATISCHE LYN ALS FUNCTIE VAN DE TALUDHELLING.

TALUDHELLING	$V\psi = 5\%$	$V\psi = 7.5\%$	$V\psi = 10\%$	$V\psi = 12.5\%$
1:2	$0.35 \cdot 10^{-7}$	$0.16 \cdot 10^{-3}$	$0.35 \cdot 10^{-2}$	$0.15 \cdot 10^{-1}$
1:3	$0.11 \cdot 10^{-11}$	$0.68 \cdot 10^{-7}$	$0.34 \cdot 10^{-4}$	$0.70 \cdot 10^{-3}$
1:4	$0.26 \cdot 10^{-16}$	$0.29 \cdot 10^{-9}$	$0.14 \cdot 10^{-5}$	$0.85 \cdot 10^{-4}$
1:5	$0.61 \cdot 10^{-21}$	$0.30 \cdot 10^{-11}$	$0.11 \cdot 10^{-6}$	$0.15 \cdot 10^{-4}$

$$\bar{\varphi} = 33^\circ ;$$

$$d_c = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$d_n = 20 \text{ kN/m}^3$$

CONSTANTE DRAINAGELONGTE:
40 M.

TABEL 3 TOTALE FAALKANS MACROSTABILITEIT

(YSSSELMEERZYDE)

KANSFUNCTIE FREATISCHE LYN:

$$0 < x < 0.9 \quad f_x(\xi) = 0.0562 \quad (\text{uniform})$$

$$0.9 \leq x \leq 50 \quad f_x(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} \exp\left[-\frac{(\xi - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$\mu = 0.9$$

$$\sigma = 0.0$$



PAC2-N-267
Bijlage 21
bij PAC2-N-334

RISICO-ANALYSE

DIJK MET KRUIELEMENT

1 mei 1985
W.C. Horden

INHOUD

	pag
1. Inleiding	1
2. Foutenbomen waterkering en kruinelement	2
3. Overzicht grenstoestanden kruinelement	3
4. Deelfoutenboom per grenstoestand	5
5. Betrouwbaarheidsfuncties	12
6. Conclusies en aanbevelingen	17
7. Voorbeeld prob-som "horizontaal afschuiven"	18

1. Inleiding

In deze notitie wordt een - vnl. kwalitatieve - aanzet gegeven voor de risico-analyse van een waterkering voor het PAC-bekken, die bestaat uit een dijk met daarop een kruinelement.

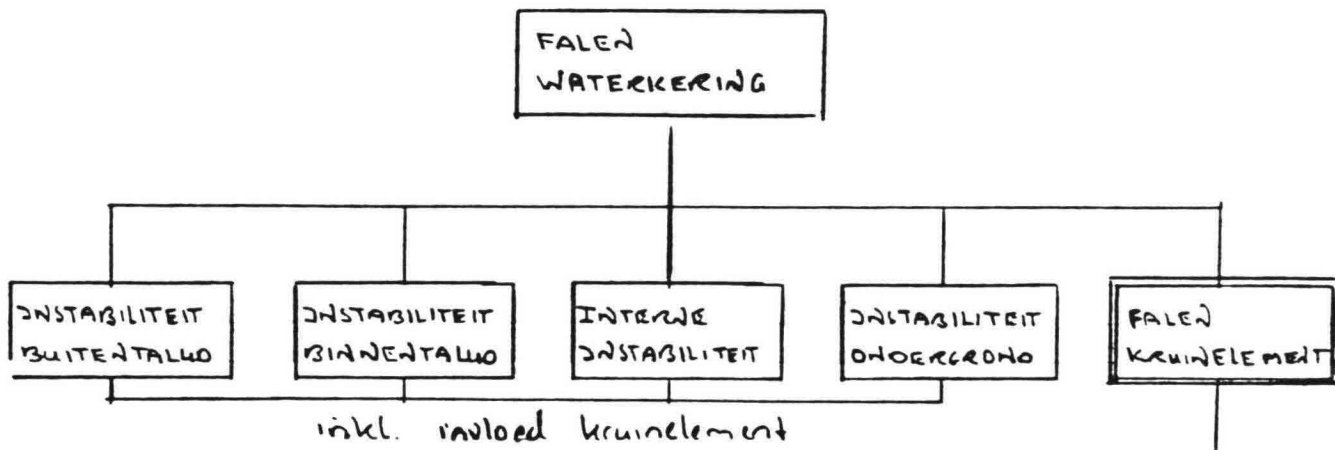
Voor het dijkgedeelte van deze mengvorm wordt verwezen naar de reeds gepresenteerde risico-analyse van de volledige bekkendijken (PAC2-N-166, PAC2-N-223). Uiteraard dient bij de beoordeling van de grenstoestanden in het dijkgedeelte rekening gehouden te worden met de invloed van het kruinelement; dit geldt bijv. bij de stabiliteit van taluds.

Door de aanwezigheid van het kruinelement wordt echter een extra hoofdgrenstoestand in de foutenboom van de waterkering geïntroduceerd, nl. het falen van dit kruinelement. Deze hoofdgrenstoestand wordt in de hiernavolgende hoofdstukken nader uitgewerkt.

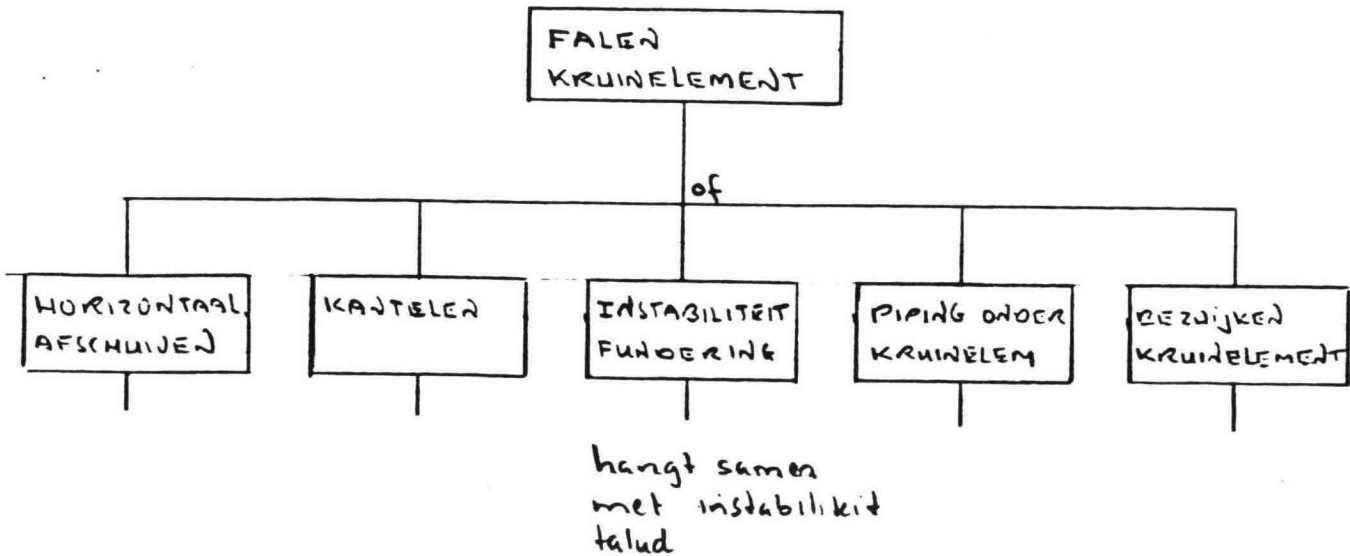
In hoofdstuk 2 worden de hoofdfoutenboom van een dijk met kruinelement gegeven. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de beschouwde grenstoestanden voor het kruinelement. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 en 5 de deelfoutenboom en betrouwbaarheidsfuncties voor de aangeduide grenstoestanden - voor zover deze thans bekend zijn - gepresenteerd. Daarna volgen enige conclusies en aanbevelingen voor de verdere uitwerking van de risico-analyse van het kruinelement. Als laatste wordt een voorbeeld van een probabilistische berekening voor een bepaalde grenstoestand gegeven.

2. Foutenbomen waterkering en kruinelement

Hoofdfoutenboom waterkering

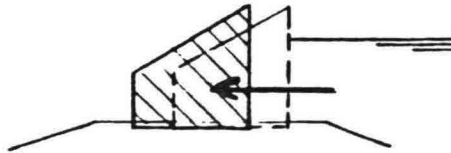


Foutenboom kruinelement

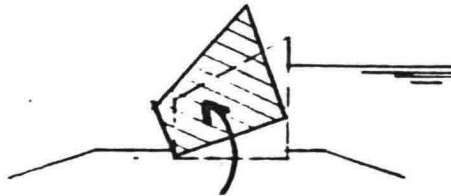


3. Overzicht grenstoestanden kruinelement

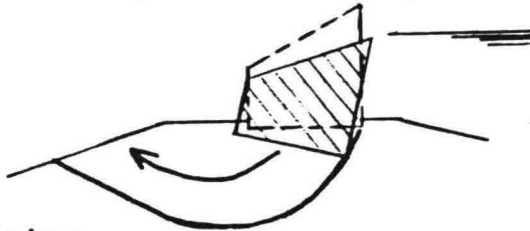
(1) Horizontaal afschuiven



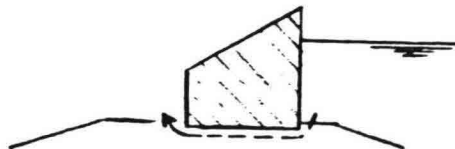
(2) Kantelen



(3) Instabiliteit fundering

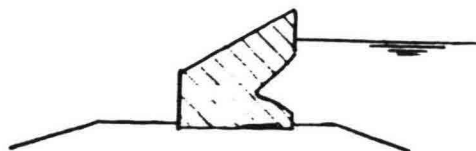


(4) Piping



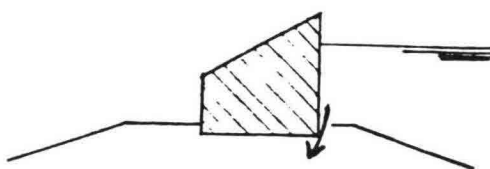
Inleiding tot 1,3

(5) Bezwijken kruinelement



Als belangrijke secundaire grenstoestanden kunnen nog onderscheiden worden:

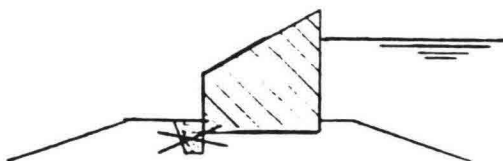
- (6) Falen aansluiting kruinelement - dijkbekleding
(= lekragen)



Inleiding tot 1 t/m 4

- (7) Falen aansluiting elementen onderling
(= lekragen)

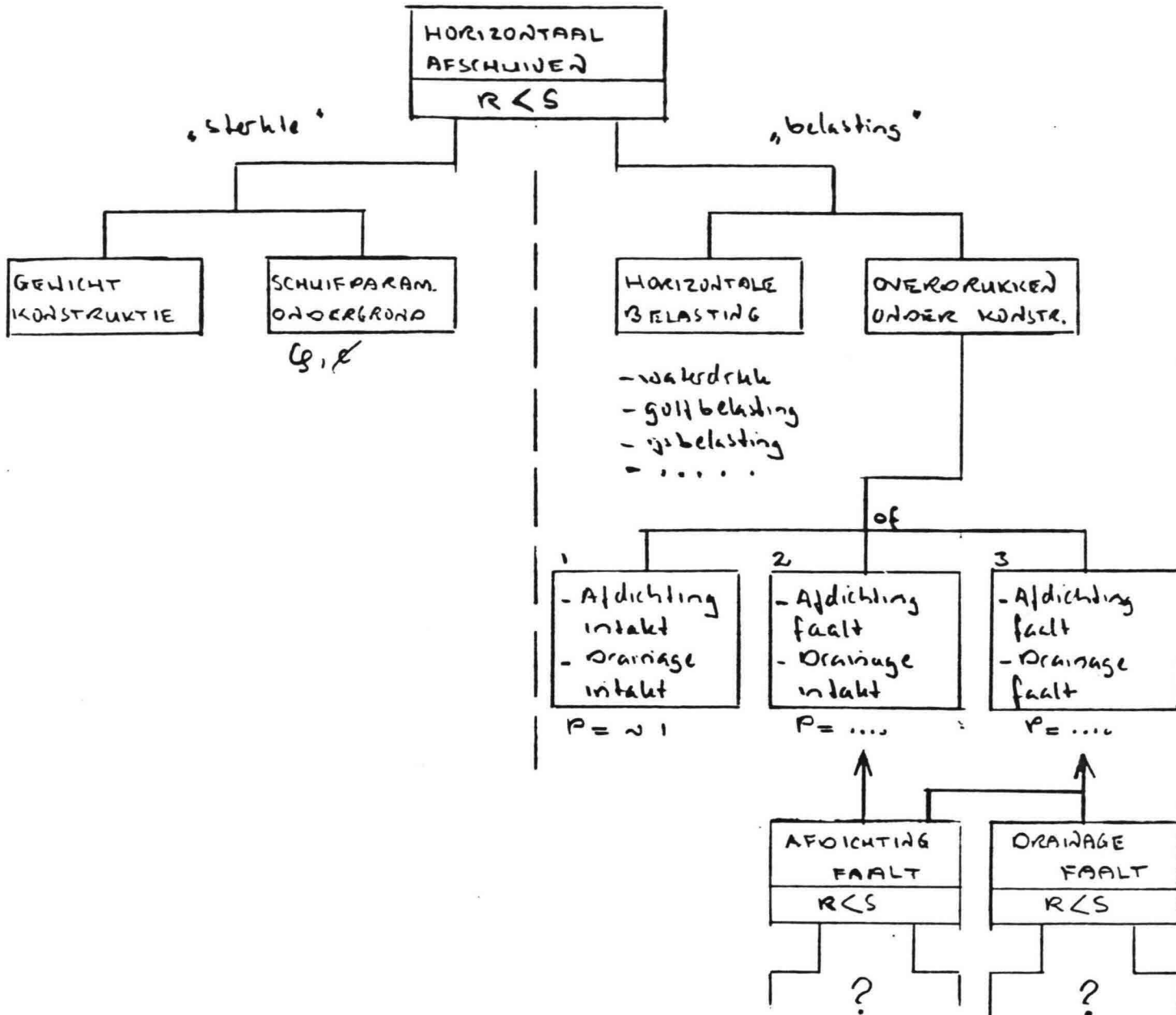
- (8) Falen drainage/filter (= dichtslaan resp. niet zand-
dicht)



Inleiding tot 1 t/m 4
(samen met 6)

4. Deelfoutenbomen per grenstoestand

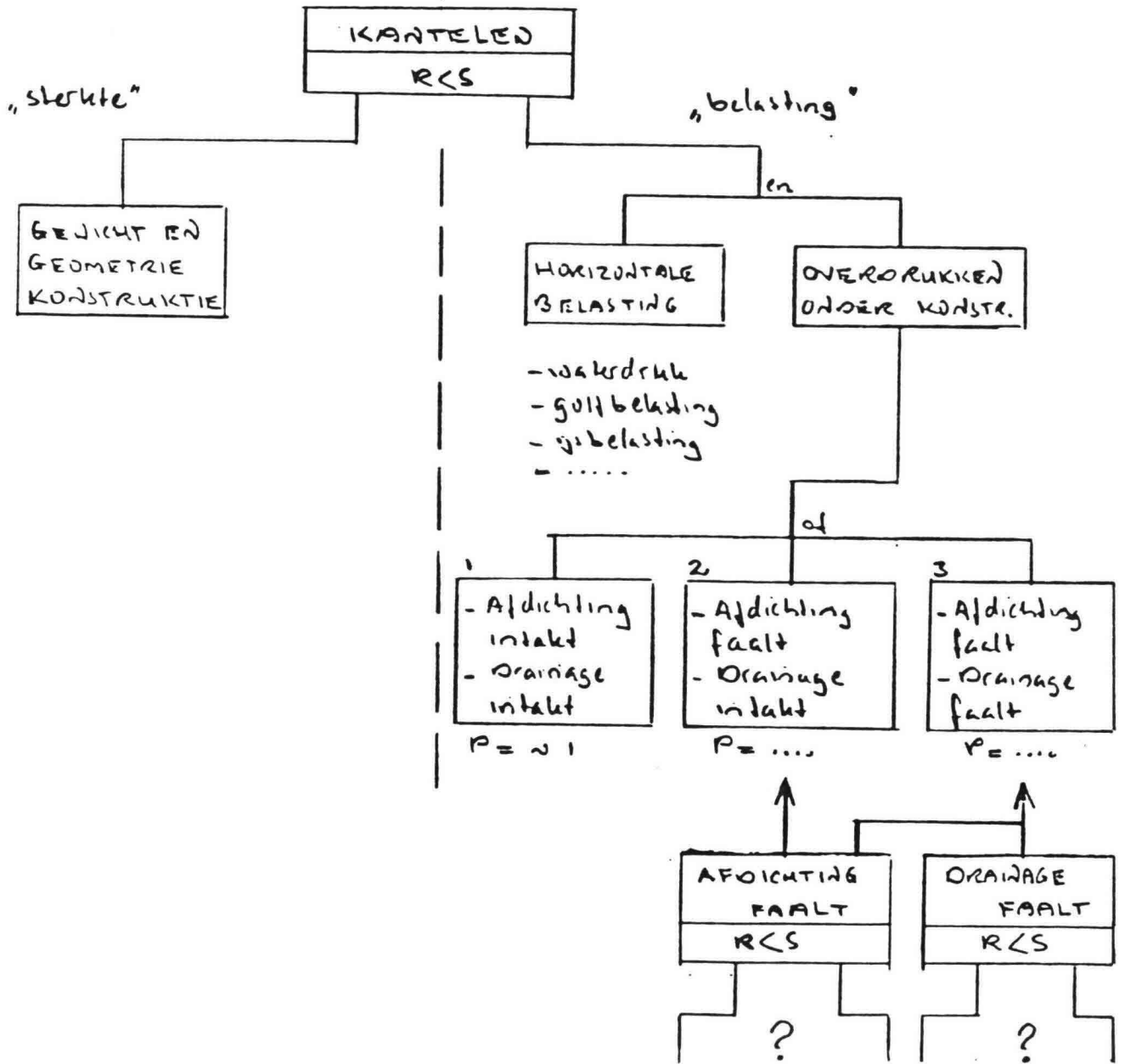
- Deelfoutenboom "horizontaal afschuiven"



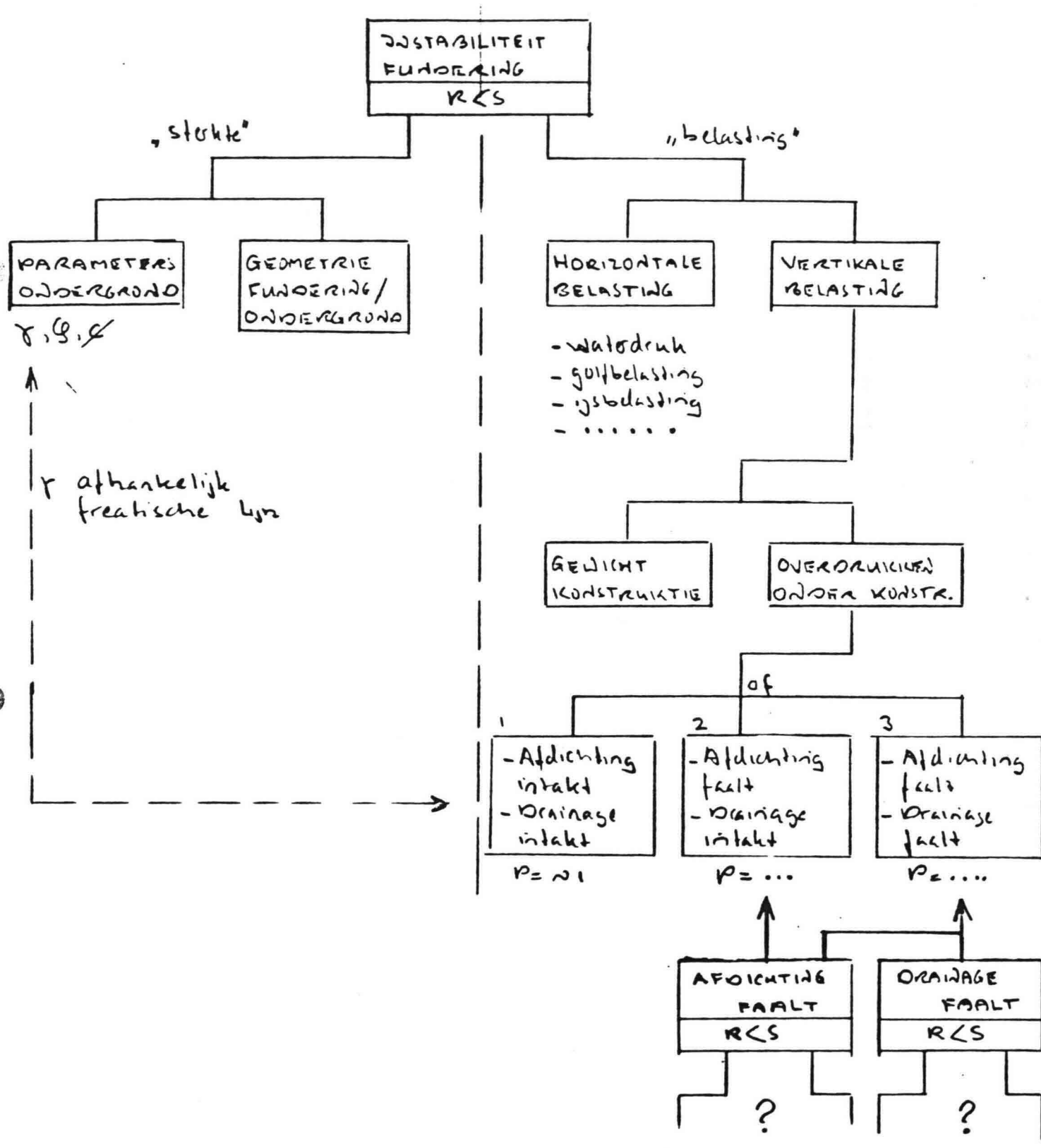
Toelichting:

- 1, 2 en 3 bepalen de kansdichtheidsfunctie voor de overdrukken onder de constructie
- Combinatie van deze kansdichtheidsfunctie met de kans op falen als functie van de overdruk geeft de resulterende faalkans
- Hierbij kan intervalsgewijs gewerkt worden.

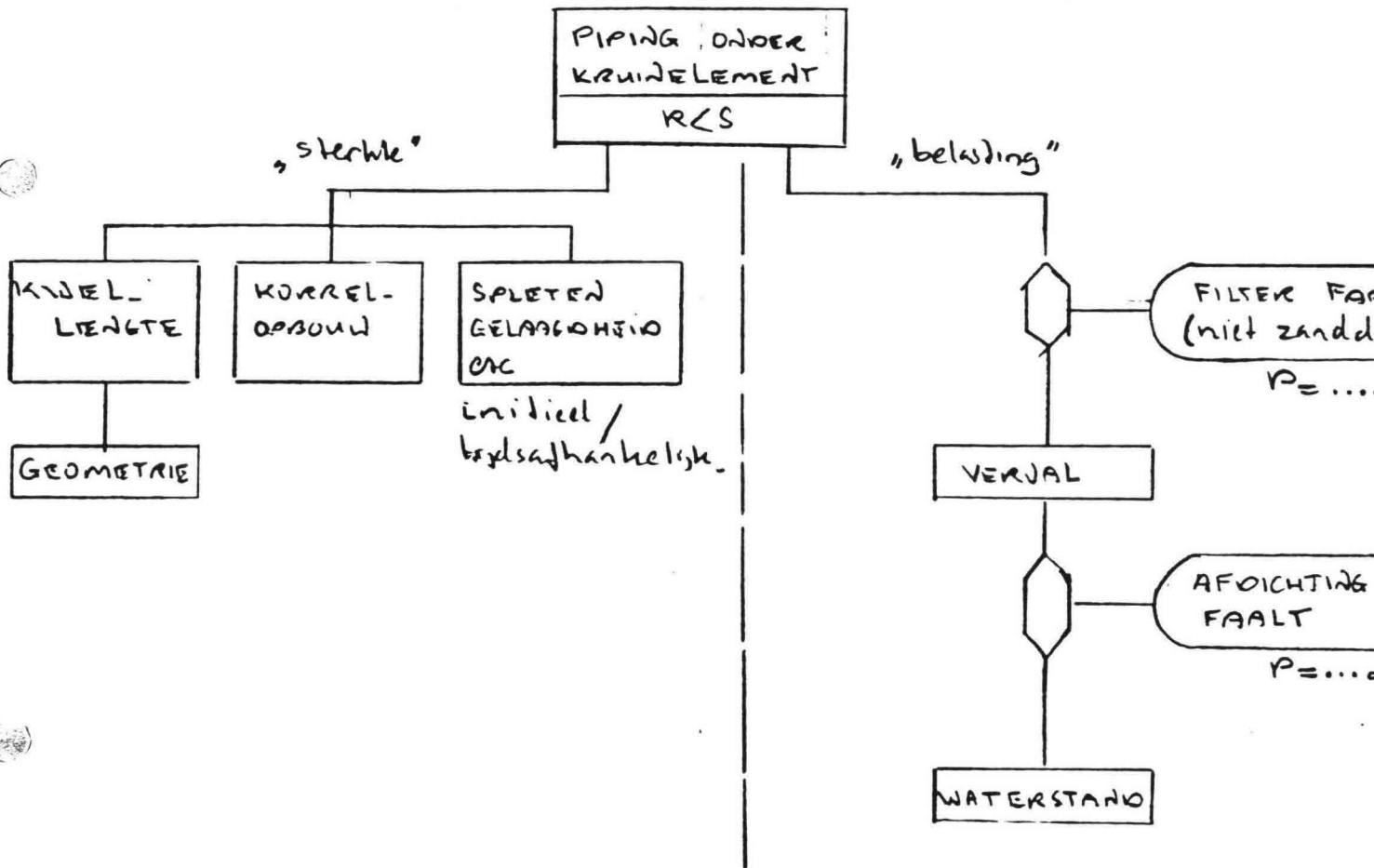
- Deelfoutenboom "kantelen"



- Deelfoutenboom "instabiliteit fundering"

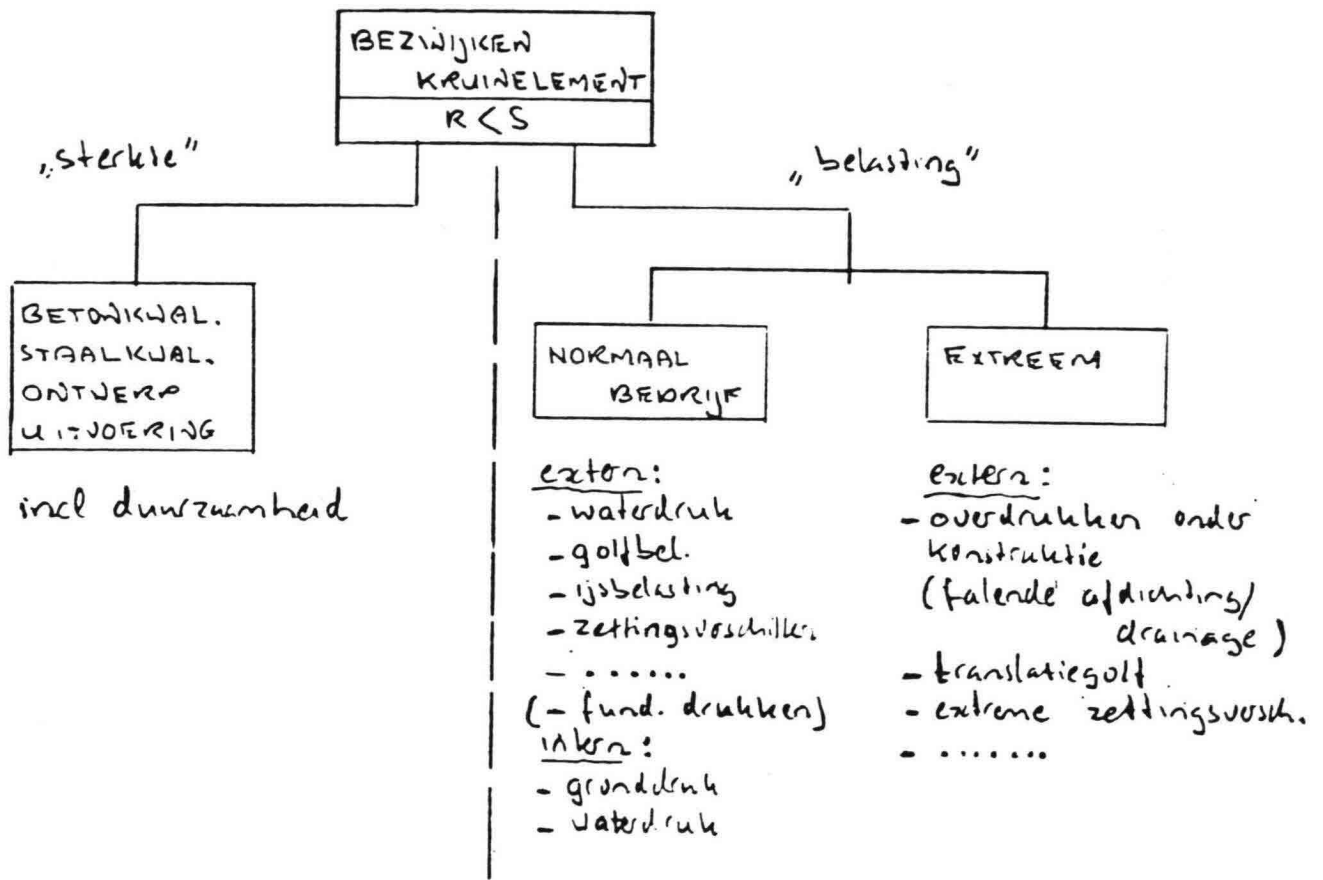


- Deelfoutenboom "piping onder kruinelement"



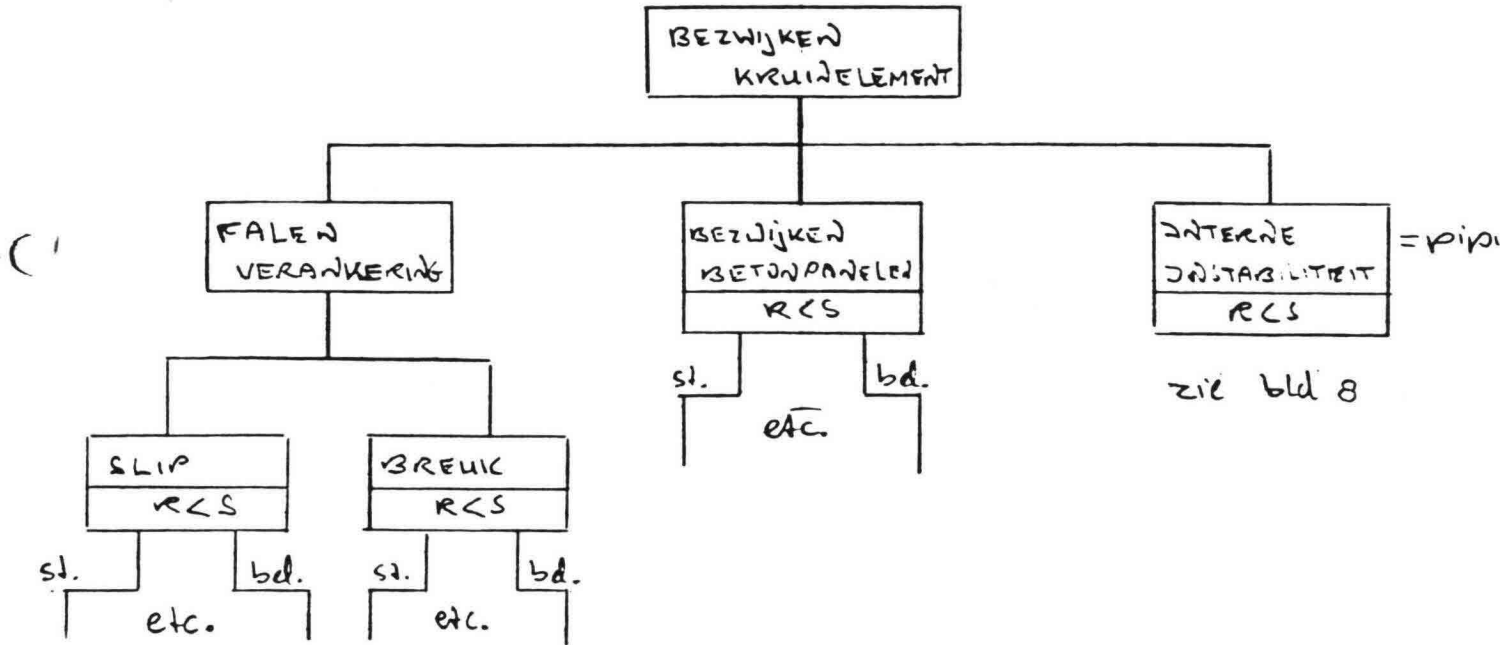
- Deelfoutenboom "bezwijken kruinelement"

Kruinelement van beton



- Deelfoutenboom "bezwijken kruinelement"

Kruinelement van gewapende grond



Foutenboom nog verder uit te werken; hierna volgt een opsomming van invloedsfactoren.

Slip verankeringsstrippen :

- sterkte : =
- wrijving strip - zandvulling
 - lengte/omtrek/aard oppervlak strippen
 - eigenschappen vulling
 - freatische lijn in constructie
 - spleten t.p.v. verankeringsstrippen
 - uitvoering

- belasting :
- interne grond/waterdrukken (mede bepaald door externe belasting)
 - wisselende buitenwaterstand

Breuk verankeringsstrippen :

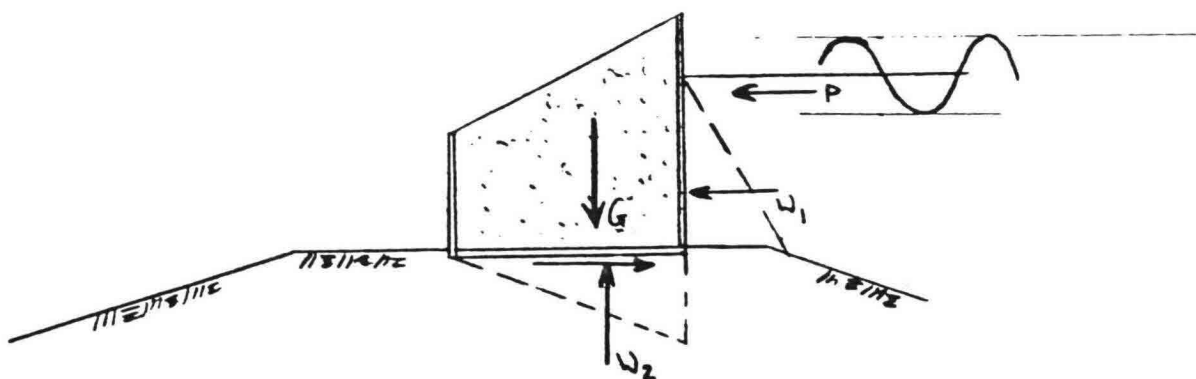
- sterkte : - staalkwaliteit/stripdoorsnede
- corrosie
- belasting : zie boven

Bezwijken betonpanelen

- sterkte : - betonkwaliteit
- staalkwaliteit
- mechanisme/fysische/chemische
aantasting
- belasting : - interne grond-/waterdrukken
- waterdruk
- golfbelasting
- ijsbelasting
- zettingsverschillen

5. Betrouwbaarheidsfuncties

Betrouwbaarheidsfunctie "horizontaal afschuiven"



G = gewicht constructie

W_1 = hor. waterdruk

W_2 = opwaartse waterdruk (treedt alleen op als afdichting faalt)

P = golfbelasting

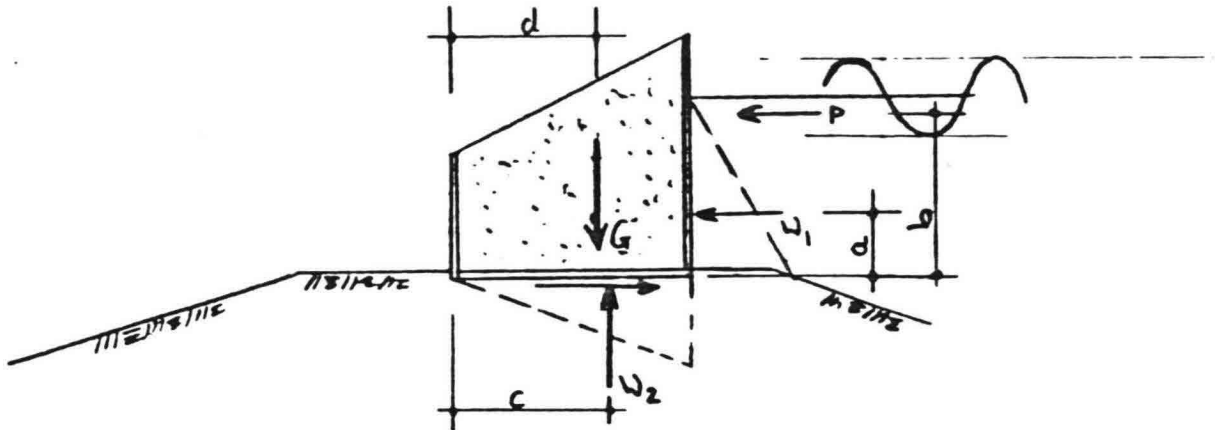
belasting : $S = W_1 + P$

sterkte : schuifweerstand $R = (G - W_2) \operatorname{tg} \varphi$

betrouwbaarheidsfunctie $Z = R - S :$

$$Z = (G - W_2) \operatorname{tg} \varphi - (W_1 + P)$$

- Betrouwbaarheidsfunctie "kantelen"



G = gewicht constructie

W_1 = hor. waterdruk

W_2 = opwaartse waterdruk (treedt alleen op als afdichting faalt)

P = golfbelasting

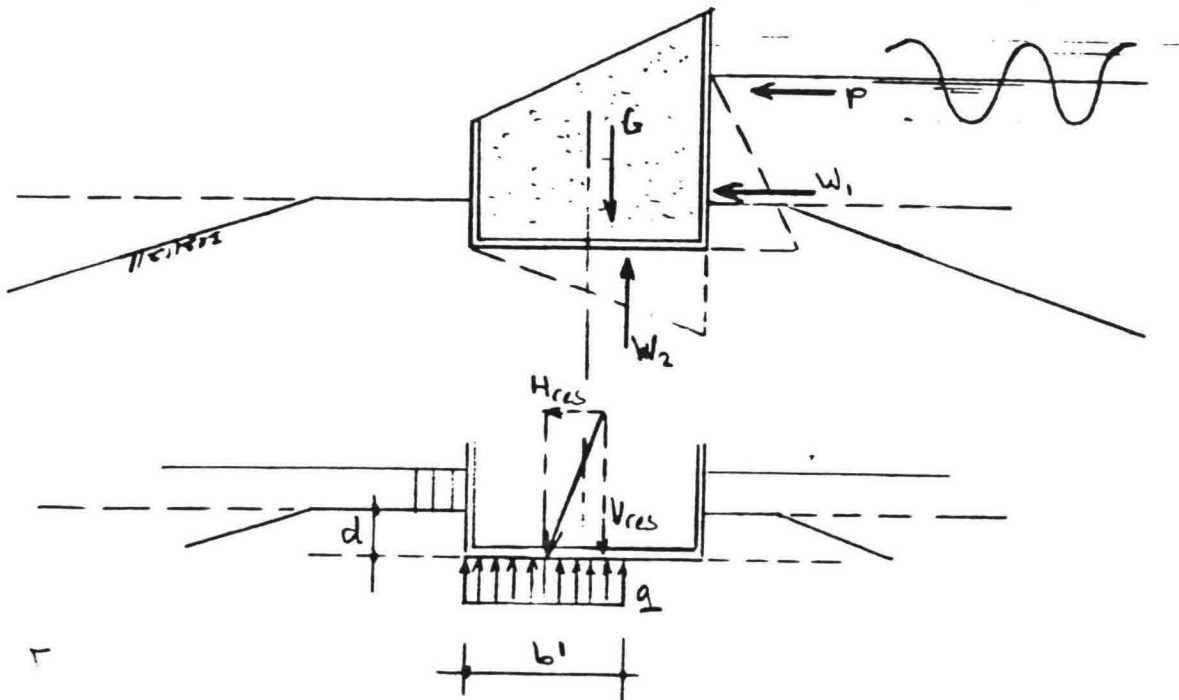
belasting : kantelmoment $S = M_{kant} = W_1 \cdot a + P \cdot b + W_2 \cdot c$

sterkte : stab. moment $R = M_{stab} = G \cdot d$

betrouwbaarheidsfunctie $Z = R - S :$

$$Z = (G \cdot d) - (W_1 \cdot a + P \cdot b + W_2 \cdot c)$$

- Betrouwbaarheidsfunctie "stabiliteit fundering"



Brinch - Hansen :

$$q_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot b' \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot L_{\gamma} + p_0' \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + c_d \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

coh. = 0

$$q_d = \text{draagvermogen} = \frac{Q_d}{b' \cdot L} \quad \text{kn/m}^2$$

b' = effectieve breedte fundering m

L = lengte fundering m

γ' = effectief volumegewicht grond kn/m³

N_{γ}, N_q = draagvermogen factoren —

s_{γ}, s_q = vormfactoren —

d_{γ}, d_q = diepte factoren —

i_{γ}, i_q = hellingfactoren belasting —

p_0' = effectieve druk op fund. niveau kn/m²

ϕ = hoek van inwendige wrijving graden/radialen

$$N_g = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$$

$$N_r = 15 \cdot (N_g - 1) \tan \phi$$

$$i_g = \left(1 - \frac{0.5H}{V}\right)^5$$

$$i_r = \left(1 - \frac{0.3H}{V}\right)^5$$

$$s_g = 1 + \frac{i_g \cdot b'}{l'}$$

$$s_r = 1 - 0.4 \frac{i_r \cdot b'}{l'}$$

$$l \gg b \rightarrow s_g \approx 1$$

$$l \gg b \rightarrow s_r \approx 1$$

$$d_g \approx 1.0$$

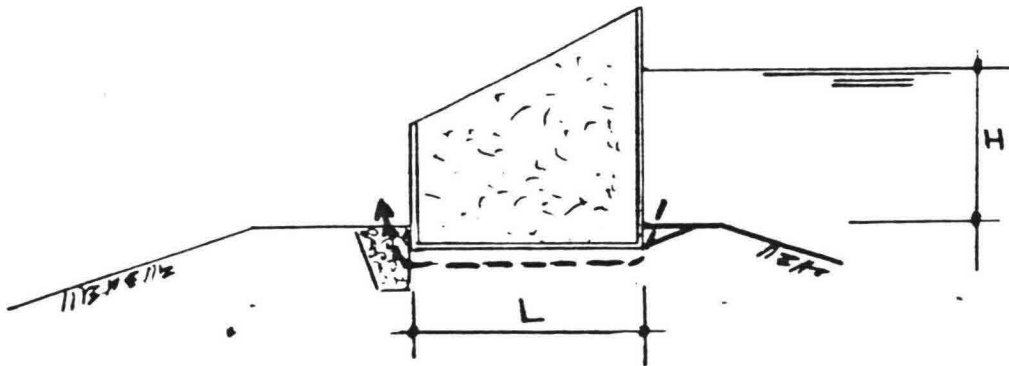
$$d_r = 1.0$$

betrouwbaarheidsfunctie : $Z = R - S$

$$Z = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot b' \cdot N_r \cdot i_r + \rho' \cdot N_g \cdot i_g - \frac{V_{res}}{b'}$$

- Opm.: 1 De formule geldt voor een horizontaal grondoppervlak. De invloed van de dijkwaluds kan met extra reductiefactoren in rekening gebracht worden.
- 2 Dit mechanisme hangt samen met de stabiliteit van de taluds. Berekeningen met locale glijdvlakken moeten ongeveer hetzelfde resultaat geven.

- Betrouwbaarheidsfunctie "piping onder kruinelement"



Piping kan optreden als afdichting en filter falen.

Statistische-empirische ontwerpregels van Bligh/Griffith/Lane, zie PAC2-N-149 :

geen piping als $C = \frac{L}{H} > C_{crit}$

afhankelijke korrelopbouw

Betrouwbaarheidsfunctie $Z = R - S$

$$Z = \frac{L}{H} - C_{crit}$$

Opm. :

1. Waarschijnlijk beschrijven de genoemde "vuist"-regels het piping-probleem onvoldoende nauwkeurig. Zie PAC2-N-149, punt 5 en 6.
2. Gezien verhouding $\frac{L}{H}$ bij kruinelement wordt piping waarschijnlijk, zodra afdichting en filter falen.

→ Hoge eisen aan afdichting/filter

Evt. kwelwegverlengende maatregelen nemen.

- Betrouwbaarheidsfuncties "bezwijken kruinelement"

Deze dienen nog nader uitgewerkt te worden.

6. Conclusies en aanbevelingen

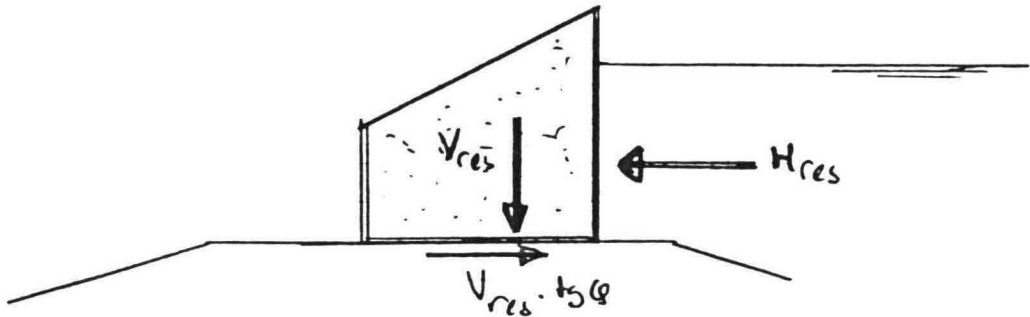
Voorlopige conclusies

1. Voor een aantal grenstoestanden met betrekking tot het kruinelement zijn vrij eenvoudige betrouwbaarheidsfuncties af te leiden, waarmee verder gewerkt kan worden.
2. Ook voor het kruinelement wordt de totale faalkans in hoge mate beïnvloed door de faalkansen van de afdichting/drainage (zie foutenbomen). Een reële invulling van deze faalkansen is noodzakelijk voor de verdere uitwerking van de risico-analyse.
3. De grenstoestand "piping" lijkt voorshands het meest kritiek.

Verdere acties ten aanzien van risico-analyse kruinelementen

1. Afschatten welke "faalkansen" toelaatbaar zijn voor de diverse mechanismen.
2. Betrouwbaarheidsfuncties verder uitwerken; parameters in deze functies schatten. Hiermee verkennende probabilistische berekeningen maken om de haalbaarheid van de veiligheidseis na te gaan.
3. Veiligheidscoëfficiënten voor deterministische berekeningen relateren aan faalkansen. Dimensioneringsberekeningen kunnen dan voorlopig hoofdzakelijk deterministisch uitgevoerd worden.
4. Foutenbomen/faalkansen voor afdichting en drainage gelijktijdig met ontwikkeling van deze details aanpakken.
5. Studie met betrekking tot piping-problematiek (geldt ook voor dijken/turbinehuizen).

7. Voorbeeld prob-som "horizontaal afschuiven"



Betrouwbaarheidsfunctie : $Z = V_{res} \cdot \operatorname{tg} \phi - H_{res}$
(vereenvoudigd, zie blz. 12)

Faalkans : $P_f = P (Z < 0)$

=====
PROE. Alle verdelingen normaal
=====

BEREKENING (kenmerk) : Horizontale afschuiving

INGEVOERDE WAARDEN:

Aantal variabelen: 3

Table with 4 columns: Variabele, Gemiddelde waarde, Standaard-afwijking, naam. Rows for X(1), X(2), X(3) with values and descriptions like 'Vertikale kracht (KN)'.

BETROUWBAARHEIDSFUNCTIE :

Z = X(1) * tan (X(2)) - X(3)

BEREKENDE WAARDEN:

***** MEAN VALUE UITVOER *****

Gemiddelde van Z M1 = 910.2221
Standaardafwijking van Z S2 = 322.9337
Betrouwbaarheidsindex BETA = 2.618604

Faalkans: P(Z<0) = 2.411723E-03

Table with 7 columns: dZ/dX, dZ/dX*Sx, (dZ/dX*Sx)^2, %lnVAR, ALFA, ALFA*BETA*Sx, X+nieuw. Rows for X(1), X(2), X(3).

***** DESIGN POINT *****

Afbreecriterium EPS = .001

Betrouwbaarheidsfunctie: Z = 9.765849E-06
Gemiddelde van gelin. Z = 789.3399
Standaardafwijking S2 = 241.4039
Betrouwbaarheidsindex BETA = 3.269789

Faalkans: P(Z<0) = 5.3823E-04

Table with 5 columns: X(I), mu(I), sigma(I), Aandeel in variantie (%). Rows for X(1), X(2), X(3).

Ontwerpregels (Structural Reliability)
Dijken met kruinelement

Algemeen

In bijlage 21 is de kwalitatieve aanpak voor de risico-analyse van de zgn. "alternatieve constructies" - dijken met kruinelementen - geschetst. Een kwantitatieve uitwerking hiervan is gewenst in verband met het feit dat deze constructies economisch aantrekkelijk lijken.

In dit kader zijn in fase 1 enkele verkennende probablistische berekeningen uitgevoerd. Doel van deze berekeningen is te komen tot een idee over de haalbaarheid van de gestelde veiligheidsnorm bij eventuele toepassing van deze alternatieven.

Door tijdgebrek is de aanpak duidelijk globaler geweest dan bij de risico-analyse voor de traditionele dijken en de turbinehuizen. Door vergelijking met de in de analyses voor bekkendijken/turbinehuizen verkregen resultaten zijn echter toch wel conclusies te trekken.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een dijk met een kruinelement van Terre Armee (zie o.a. tek. PAC2-T-308). De resultaten gelden globaal ook voor het andere beschouwde alternatief - een dijk met een kistelement van beton.

Volstaan is met enkele berekeningen voor de belangrijkste geachte grenstoestanden:

1. glijvlakken door dijklichaam
2. instabiliteit fundering vlg's Brinch - Hansen
3. horizontaal afschuiven.

Grenstoestand 2 is in wezen ook een glijvlakprobleem.



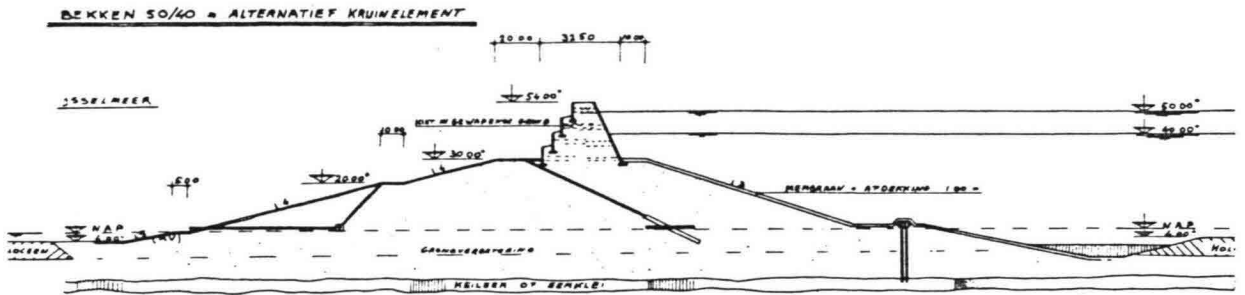
In de berekeningen wordt uitgegaan van twee posities van de freatische lijn:

- lage freatische lijn/droog dijklichaam (normale omstandigheden)
- zeer hoge freatische lijn (falende afdichting/drainage).

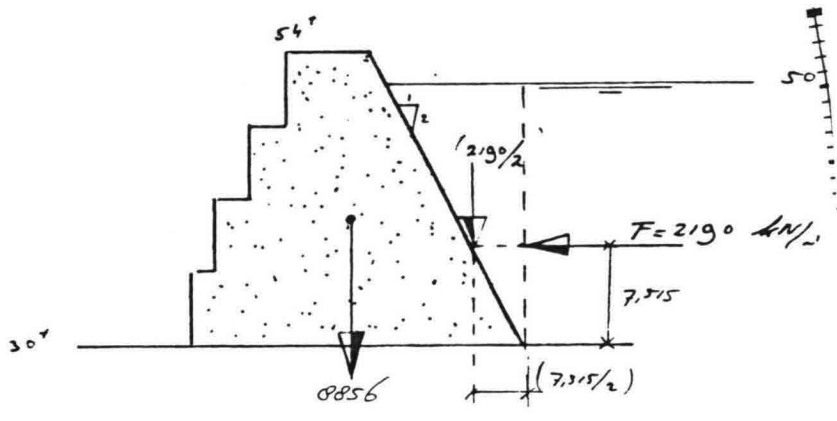
Feitelijk dient de volledige range van mogelijke creatieve lijnen, met bijbehorende kansverdeling, beschouwd te worden (zie analyse dijken).

4.3.2.2 Uitgangspunten

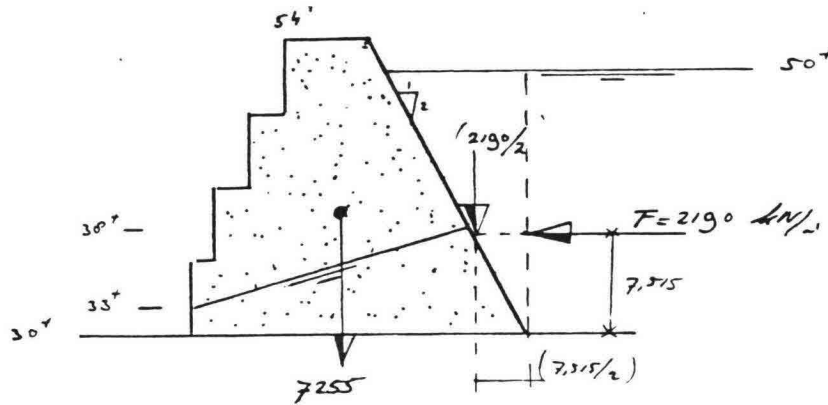
Uitgangspunt voor de berekening is de dijk met kruinelement van gewapende grond voor het 50 m bekken (tek. PAC2-T-308).



De belastingen zijn ontleend aan de deterministische ontwerpberekening (PAC2-N-307);
 - lage freatische lijn/droge dijk:



- hoge freatische lijn



De aangegeven horizontale kracht is opgebouwd uit hydrostatische waterdruk (2000 KN/m) en golfbelasting (190 KN/m).

Als verticaalkracht is de resulterende waarde (gewicht - opwaartse waterdruk) gegeven.

4.3.2.3 Normstelling acceptabele faalkans

Uitgaande van de veiligheidsnorm voor het PAC-systeem ($P_{acc} = 10^{-6}$ /jaar) en de structuur van de foutenbomen volgt voor de beschouwde hoofdgrenstoestanden "toelaatbare" faalkans:

$$P_{facc} \approx 10^{-8} \text{ à } 10^{-7}$$

(zie hoofdstuk 4.3.1 I en 5.3.3)

4.3.2.4 Rekenmethodes/betrouwbaarheidsfuncties

Glijvlakken

Voor de grenstoestand "glijvlakken" zijn alleen deterministische berekeningen uitgevoerd. De geometrie van kruinelement/dijklichaam is zodanig gekozen dat de veiligheidscoëfficiënten overeenstemmen met die voor de volledige dijk. Hierbij kan eenzelfde orde van grootte van de faalkans verwacht worden.

Stabiliteit fundering volgens B-H/Horizontaal afschuiven

Hiervoor zijn probabilistische berekeningen uitgevoerd vlg de nivo II-klasse 2 benadering.
(zie hoofdstuk 5, bijlage 1 voor verdere toelichting)

De betrouwbaarheidsfuncties voor deze grenstoestanden zijn gegeven in hoofdstuk 4.2.2.

4.3.2.5 Parameters

De belangrijkste parameters zijn:

- hoek van inwendige wrijving φ
- horizontale kracht H
- verticale kracht V.

H en V zijn opgebouwd uit een aantal andere variabelen.

Hoek van inwendige wrijving:

Uitgegaan wordt van een gemiddelde $\varphi = 33^\circ$; deze waarde wordt haalbaar geacht voor het zand in het dijklichaam. Om de invloed van de spreiding in φ na te gaan worden voor de variatiecoëfficiënt de volgende waarden ingevoerd: $V_\varphi = 5,75$ en 10%.

Horizontale kracht H

De horizontale kracht H wordt als vaste (deterministische) waarde ingevoerd; hierbij is er dus van uitgegaan dat het maximale bekkenpeil bewaakt wordt.

Verticale kracht V

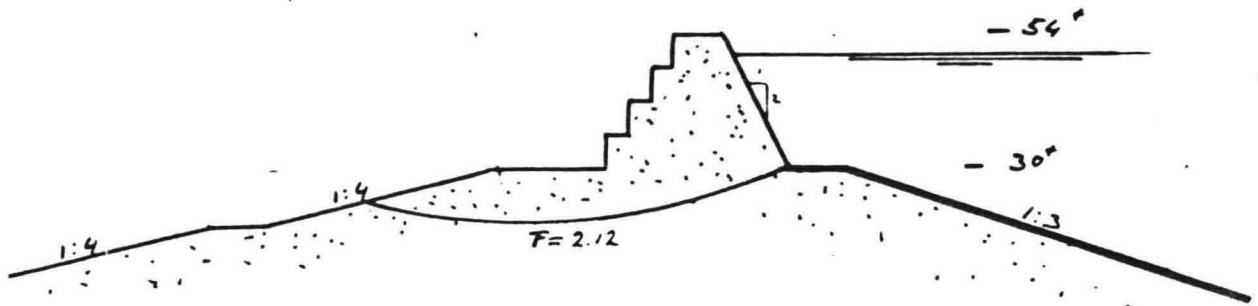
De spreiding in V ten opzichte van de in de deterministische berekening gevonden waarde zal gering zijn. Aangehouden is een variatiecoëfficiënt $V(V) = 5\%$.

4.3.2.6 Berekeningsresultaten

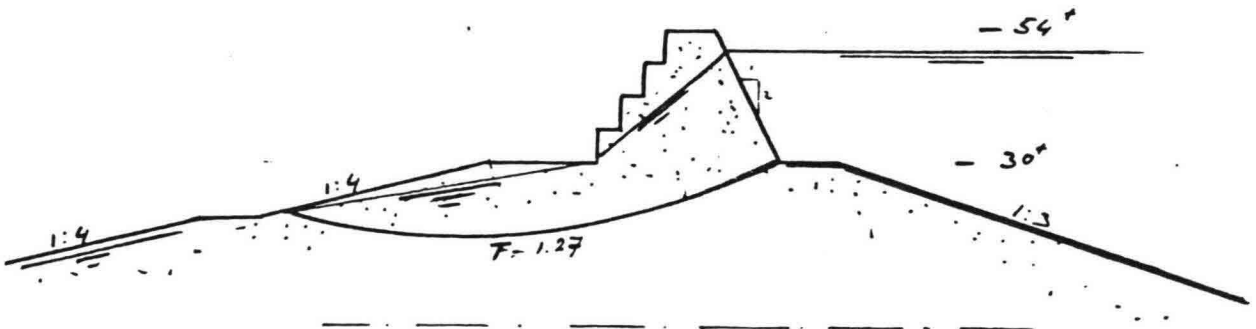
Glijvlakken

Onderstaande figuren geven de resultaten van de uitgevoerde deterministische berekeningen:

- lage freatische lijn/droog dijklichaam: $F = 2,1$



- hoge freatische lijn (falende afdichtings/drainage):
 $F = 1.3$



De gevonden veiligheidscoëfficiënten (of stabiliteitsfactoren) stemmen ongeveer overeen met die voor de volledige dijk onder dezelfde omstandigheden (hoofdstuk 4.3.1). Voor de faalkans wordt daarom dezelfde orde van grootte verwacht.

Stabiliteit fundering (Brinch - Hansen)

De resultaten van de probabilistische berekening zijn in de volgende tabel samengevat:

	$u(\varphi)$		
	330		
	$v(\varphi)$		
	10%	7.5%	5%
lage freatische lijn	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-8}$	$< 1 \cdot 10^{-10}$
hoge freatische lijn	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-10}$

Kruinelement/faalkans stabiliteit B-H

Conclusies:

- De resultaten illustreren de grote invloed van de spreiding in φ .
- Uit de resultaten voor "lage freatische lijn" volgt dat de norm haalbaar lijkt voor $V(\varphi)$ 7.5%
- De resultaten voor de hoge freatische lijn geven eisen voor de toelaatbare faalkans van afdichting/drainage.

Horizontaal afschuiven

De resultaten van de probabilistische berekening zijn in de volgende tabel samengevat:

	$u(\varphi)$		
	330		
	$v(\varphi)$		
	10%	7.5%	5%
lage freatische lijn	$5.8 \cdot 10^{-10}$	$1.0 \cdot 10^{-10}$	$< 1 \cdot 10^{-10}$
hoge freatische lijn	$3.8 \cdot 10^{-8}$	$1.10 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-10}$

Kruinelement/faalkans hor. afschuiven

Conclusies:

- Deze grenstoestand is van ondergeschikt belang.

4.3.2.7 Conclusie en aanbevelingen

- De resultaten van de uitgevoerde berekeningen geven aan dat de gestelde veiligheidsnorm haalbaar lijkt, bij $\mu(\varphi) = 33^\circ$ en $V(\varphi) \approx 7,5\%$.
 - Deze conclusie is gebaseerd op geschatte grondparameters; deze dienen nader geverifieerd te worden.
 - De invloed van de spreiding in de hoek van inwendige wrijving is ook hier groot. Een reële bepaling hiervan is uitermate belangrijk;
 - De resterende onzekerheden voor de alternatieve constructies zitten hoofdzakelijk in de afdichtingsdetails
- Dit zal in fase 2 een van de hoofdpunten van de risico-analyse dienen te zijn.

PAC2-N-284

Van : G.A. Beaufort
Aan : DPG2-medewerkers
Datum : 30 mei 1985
Betreft : Filter ontwerp PAC-project

Filter ontwerp PAC-project

Filters voor PAC-bekken en bekkendijk (exclusief kunstwerken)

1. Inleiding

De PAC-bekkendijken worden zo waterdicht mogelijk gemaakt. Toch zal er kwel optreden en daar moet de bekkenconstructie tegen kunnen. Dit betekent dat water doorgelaten moet kunnen worden zonder dat zich deeltjes van de ondergrond, ringdijk en aangelegde filters verplaatsen. Hetzelfde geldt overigens voor een niet waterdichte dijk.

Een aantal invloeden kunnen tot gevolg hebben dat de vereiste filterwerking niet aanwezig is of in gevaar komt.

Ter afronding van fase 1 van de PAC-studie wordt in deze notitie aangegeven waaraan in fase 2 voor wat betreft filterproblematiek aandacht besteed moet worden om tot een verantwoord eindontwerp te komen.

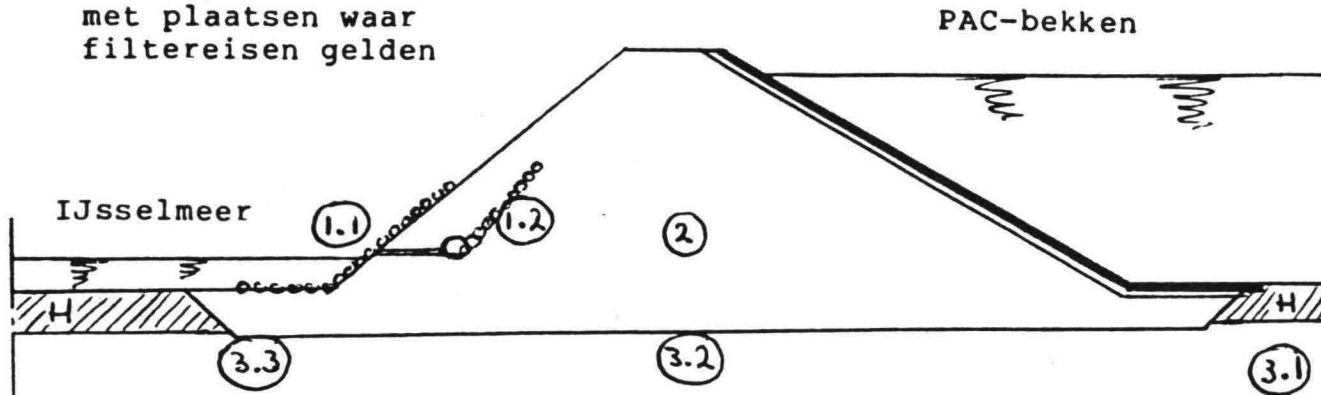
Deze notitie is bedoeld om het gehele filtervraagstuk te dekken. Om zekerheid te hebben voor het eindontwerp zijn de mogelijke problemen erg pessimistisch beschreven. Waarschijnlijk zal bij nadere uitwerking veel minder problematisch blijken dan hier geschetst.

2. Soorten en plaats van filters in het PAC-bekken

Er zijn drie plaatsen in het PAC-bekken waar filterwerking aanwezig moet zijn:

1. aan de buitenteen van de ringdijk; kunstmatig als filter gebouwde constructies
 - 1.1 uitwendig, op dijkoppervlakte
 - 1.2 inwendig in de dijk
2. in het opgespoten damlichaam zelf "onbewust" kunstmatig filter
3. natuurlijk aanwezig materiaal als filter
 - 3.1 in de ondergrond van het PAC-bekken
 - 3.2 onder de ringdijk
 - 3.3 en buiten de ringdijk

Principe PAC-dam
met plaatsen waar
filtereisen gelden



3. Potentiële problemen van filters:

- | | |
|----------------------------|--|
| a - Capaciteit; | moet voldoende zijn voor het aanbod van de hoeveelheid water. |
| b - Inspectie; | de werking van het filter moet gemonitord of periodiek gecontroleerd kunnen worden. |
| c - Reparatie; | bij geconstateerd falen moet gerepareerd of onderhouden kunnen worden bij vol, dóór producerend PAC-bekken. |
| d - Stabiliteit; | het filter moet stabiel zijn c.q. ontworpen worden en uitgevoerd. Aan de randen c.q. beëindigingen van de filters moet stabiliteit ook verzekerd zijn. |
| e - Verstopping; | door inspoelen fijne deeltjes (suffose) kan filter verstoppem. Stuivend zand of slib kan ook hetzelfde effect hebben. |
| f - Uitspoeling; | lokaal kan indien fijne delen op grovere lagen rusten bij een toenemen van het verval uitspoedling van fijne delen plaatsvinden. |
| g - Chemische verstopping; | afzetting van zwavel, ijzer en mogelijk andere stoffen kunnen in of bij filters plaatsvinden. |
| h - Bacteriën en algen; | onder invloed van het milieu kunnen bacteriën en algen in filters gedijen en verstoppende afzettingen veroorzaken. |
| i - Plantengroei; | verstoring van filters door plantengroei kan optreden. |

De genoemde potentiële problemen vallen in twee categorieën uiteen:

a t/m d zijn bij kunstmatig gemaakte filters en bij het opgespoten zandlichaam ontwerpaspecten. Door een goed ontwerp en een goede uitvoering kunnen deze problemen voorkomen worden.

e t/m h zijn van buitenaf komende "onheilen". Daarvoor zijn de externe omstandigheden en door PAC toegevoegde belastingen verantwoordelijk. Voor een goede blijvende filterwerking van de ondergrond zijn we helemaal afhankelijk van de natuurlijke omstandigheden welke daarvoor goed bekend moeten zijn en de door PAC aan te brengen belastingen en veranderingen.

4. Aanpak voorstel:

- o Combineer soort en plaats van filter met potentiële probleem van filters.

Belasting, (waterstand in PAC-bekken, freatische lijn, locale verhangen) en omstandigheden, (natuurlijke grondslag, nieuwe hydraulisch regiem, opgespoten zand, gemaakte filters) analyseren per combinatie. Uit deze analyse volgt welke studies of onderzoeken gedaan moeten worden om het ontwerp te onderbouwen of te modificeren.

In eerste instantie zal uitgegaan worden van normaal te verwachten randvoorwaarden. (bijv. gelijkmatig verdeeld verhang en zeefkrommen uit boring).

In tweede instantie bekijken van invloed van afwijkingen van het normale.

In derde instantie invloed nagaan van afwijkingen in extreme zin.

In hoofdstuk 6 worden de mogelijk te verwachten problemen opgesomd.

5. Geohydrologie

De oorzaak van alle geschetste potentiële problemen is terug te voeren tot verandering van de grondwaterstroming ten opzichte van de huidige. Immers, in de ongestoorde natuurlijke omgeving is een evenwicht bereikt tussen erosie/afzetting van deeltjes, oplossen/neerslaan van chemische bestanddelen en waterstromen zowel horizontaal als verticaal.

5.1 Huidige geohydrologische toestand:

In het zuidelijke deel van het IJsselmeer zijn geologische zeer recent en macro geohydrologisch tamelijk recent wijzigingen opgetreden:

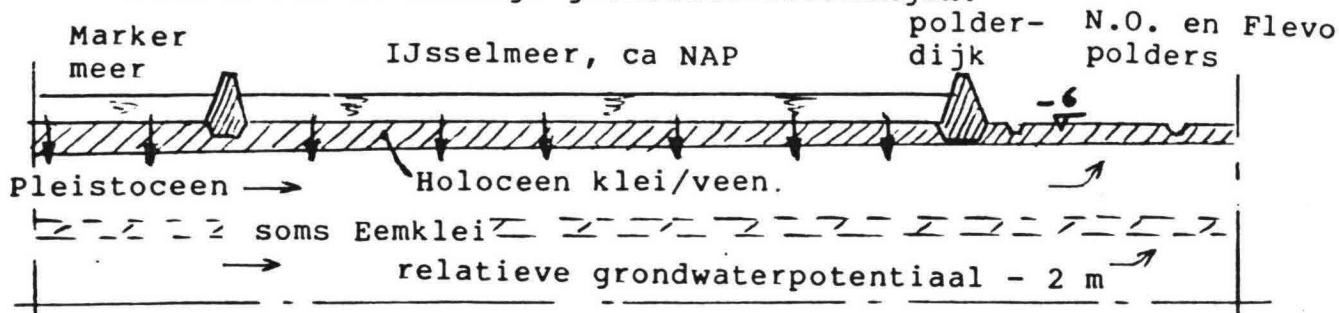
- 1932 Afsluiting Zuiderzee met als gevolg zout getij veranderd in stagnant zoet.
- 1942 Inpoldering en leegpompen N.O.-polder tot NAP - 5,70.
- 1957 en 1968 Inpoldering en leegpompen Flevopolders met als gevolg tamelijk nabij verlaging van de grondwater-spiegel tot NAP - 6,20.

Op de PAC-locatie zijn de daarvan merkbare gevolgen:

- water in de diepe ondergrond heeft nog een laag zoutpercentage dat langzaam naar de diepliggende polders stroomt.
- onder de holocene klei/veenpakketten heerst een relatieve onderdruk van ca 2 m waterkolom.

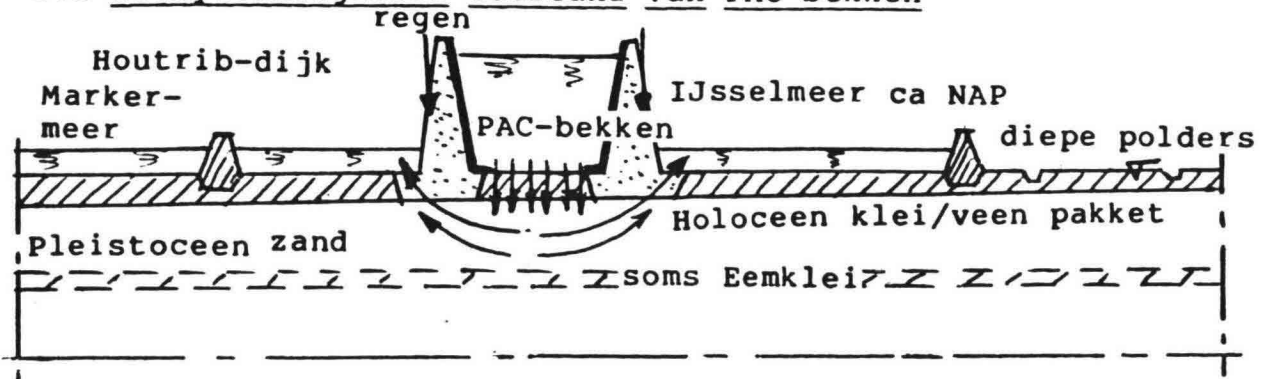
Alleen het zoutgehalte van het water zal verder afnemen als de huidige toestand voortduurt. De onderdruk heeft vermoedelijk een evenwicht bereikt.

Schema van de huidige grondwaterstromingen:



- stroming verticaal door Holocene onder invloed van potentiaal verschil daar overheen van 2 m
- stroming horizontaal door Pleistocene naar diepe polders onder invloed van het verhang van - 2 onder Holocene naar - 6 in polders.

5.2 Geohydraulische toestand van PAC-bekken

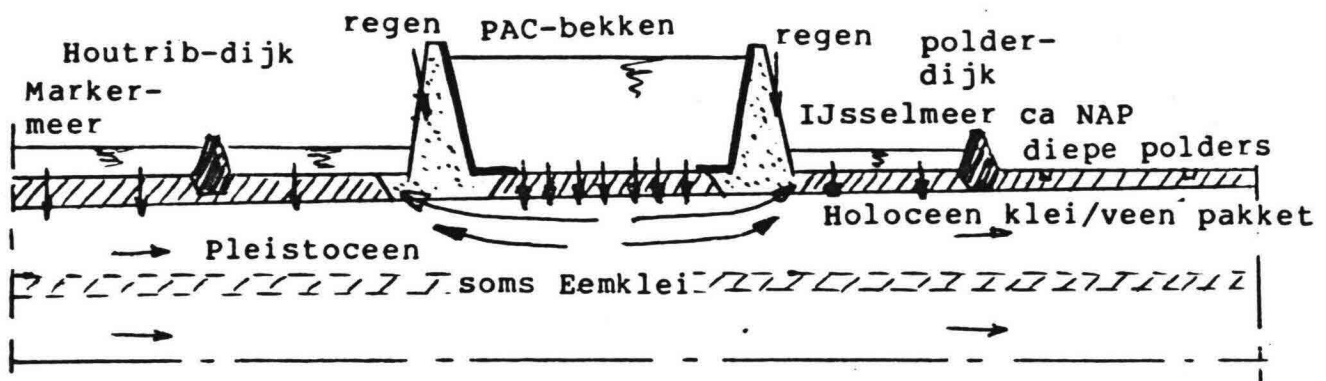


Ten gevolge van PAC-bekken optredende stroming:

- stroming verticaal door Holoceen, onder invloed van extra potentiaal van 40 m.
- stroming door Pleistoceen naar dichtstbijzijnde lage potentiaal, in dit geval de grondverbetering van zand en de zanddijk van het PAC-bekken zelf.
- regen op de PAC-dijken zorgt voor toevoer van water vanuit de taluds.

5.3 Combinatie Geohydraulische toestand PAC-bekken in IJsselmeer

Als we de twee geschetste geohydraulische toestanden superponeren hebben we de te verwachten omstandigheden. De lokaal door de invloed van het bekken optredende grondwaterstromingen zijn door de hoge potentiaal veel groter dan de nu reeds aanwezige.



Geohydraulische veranderingen ten opzichte van huidige toestand:

- in PAC-bekken neemt de hoeveelheid verticaal door Holoceen stromend water toe door het toegenomen verhang.
- in Pleistoceen onder PAC-bekken neemt de hoeveelheid horizontaal door Pleistoceen stromend water toe door het toegenomen verhang. Onder de helft van het bekken keert de stromingsrichting om. Bij de bekkendijken stroomt water schuin omhoog naar de grondverbetering.
- De verblijftijd van het grondwater in de grond wordt korter door de toegenomen debieten nabij het PAC-bekken.

- De watersoort van het aangeboden water uit het PAC-bekken is in principe gelijk aan die van het IJsselmeer. Onder invloed van de stroming en de waterdiepte zou hier tussen evenwel een verschil kunnen ontstaan. Voor dit verhaal is uitgegaan van geen verschil in waterkwaliteit. Dit vergt nadere onderbouwing.
- Regenwater is geen verandering doch dient wel in de gehele problematiek meegenomen te worden. De daarin opgeloste stoffen, inclusief zuurstof en de hoeveelheid kunnen een rol spelen.

6. Probleembehandeling

Aan de hand van de matrix van bijlage 5 worden de mogelijke faalmechanismen geschetst.

1.1 Filter aan buitenteen PAC-dijk (zie bijlage 1)

Functies:

- reserve voor filter in de dijk
 - . opvang water als filter in dijk niet meer of onvoldoende werkt
 - . is eenvoudiger te repareren dan inwendig filter
- opvangen kwel vanuit ondergrond welke rond inwendig filter heen trekt
- basis voor taludverdediging van stortsteen rond de waterlijn.

Probleem
aanpak

1.1. a. Capaciteit

Deze kan altijd voldoende gemaakt worden als filtermateriaal grover is dan dat van dijklichaam.

Hoogste punt bepalen uit hoogste uit-treepunt freatische lijn. Bepalen nood-aansluiten op Holoceen uit potentiaal.

Potentiaal en stroombeeld in damlichaam bepalen, daar filter op uitrekenen. Rekenen op falen filter in de dam.

1.1. b. Inspectie

Deel boven water kan visueel geïnspecteerd worden op aanwezigheid, water-uit-treding en bijzonderheden. Onder water zou gecontroleerd kunnen worden of zich overdruk over het filter opbouwt (met peilbuizen) hetgeen op verstopping zou kunnen duiden. Peilen zou aanwezig-

Potentiaal en stroombeeld geeft indicatie over mogelijke mate van falen.

- | | |
|--|---|
| <p>heid kunnen controleren, dit vergt dikke filterlagen en zeer nauwkeurig peilwerk. Wellicht onder water een prefabfilter leggen of een machine ontwikkelen die onder water een dunne filter kan leggen. Inspectie en controle tijdens aanleg is van essentieel belang.</p> | <p>Goede controle filter onder water ontwikkelen.</p> |
| <p>1.1. c. <u>Reparatie</u>
Sluit aan bij inspectie. Stadium - wijze van - en omstandigheden tijdens falen bepalen of filter ontgraven en vernieuwd kan worden, of er een tweede filter overheen gelegd moet worden. Reparatiestrategie aan de hand van potentiaalbeeld van model ontwikkelen voor alle denkbare faalwijzen en omstandigheden.</p> | <p>Falen filter simuleren in model van Potentiaalbeeld.</p> |
| <p>1.1. d. <u>Stabiliteit</u>
Sluit aan bij "capaciteit". Uit potentiaal/stroombeeld max verhang over filters bepalen (loodrecht en evenwijdig aan filter!). Filters op max. verhang uitrekenen, aantal lagen en soort materiaal kiezen. Materiaal van dam naast filter hierbij betrekken.</p> | |
| <p>1.1. e. <u>Verstopping</u>
(Suffose, stuiven of onder water volslibben vanuit IJsselmeer)
Kennis van dammateriaal, slib en fijne deeltjes daarin en potentiaalbeeld, samen met korrelopbouw van het filter kan aanwijzing geven of gevaar voor verstopping filter door fijne deeltjes op kan treden. Opstuiven van fijne delen is alleen te verwachten als openliggend zand nabij is. Hiervoor moet zowel in bouw als eindfase gewaakt worden. Volslibben vanuit IJsselmeer met organische of anorganische deeltjes uit het water dient bestudeerd te worden.</p> | <p>Beproeven of dit op kan treden en/of kan leiden tot bezwijken.</p> |
| <p>1.1. f. <u>Uitspoeling</u>
Mits voldaan kan worden in ontwerp, uitvoering en controle aan de punten a t/m d is er geen gevaar voor uitspoeling.</p> | |

- 1.1. g. Chemische verstopping
Vooral doordat het kwelwater met de lucht in aanraking komt en gemengd wordt met zuurstofrijk regenwater is kans op omzetting en afzetting van stoffen uit water mogelijk. Stromingspatroon van het grond- en regenwater, watermonsters en grondmonsters van damophoging lijken nodig als basis voor serieuze beschouwing.
Notitie PAC2-N-272 geeft enige voorbeelden van voorgekomen problemen.
- 1.1. h. Bacteriën en algen
Zowel boven als onder water is zuurstof aanwezig waardoor verstopping door groei van organismen of hun afzettingsproducten optreedt.
- 1.1. i. Plantengroei
Sluit aan op "h". Wortels van hogere planten en varengroei kunnen problemen veroorzaken.
- Analyse van probleem door chemicus gespecialiseerd hierin lijkt nodig.
- Praktijkvoorbeelden van filters met uittredend water analyseren.
- als "h".

1.2 Filter inwendig in de dijk (zie bijlage 2)

Functies

- Opvang van kwelwater uit dam en ondergrond.
- Afvoeren van kwelwater naar IJsselmeer.
- Geeft controlemogelijkheid van de hoeveelheid kwelwater per lengte-eenheid van de dam.
Dit is een bewakingsmiddel van de kwaliteit van de dam.

- 1.2. a. Capaciteit
 Ontwerpen op basis van potentiaalbeeld en stroombeeld, kwel inclusief regenwater. | Potentiaal-
 | beeld en
 | stroombeeld.
- 1.2. b. Inspectie
 Afvoer door buizen naar IJsselmeer gebruiken om afvoer te monitoren. Bij afwijkingen kan buistunnel gebruikt worden om plaats van de fout te vinden. Waterstandsverschil in peilbuizen ter weerszijde van filter geven indicatie van werking filter. | Monitor-
 | systeem te
 | ontwikkelen.
 | Relatie leggen met c.
 | "reparatie".
- 1.2. c. Reparatie
 Indien nodig zeer problematisch. Daarom in eerste instantie reserve filter buiten op dijk. Alleen buizen zijn schoon te maken. Zo veel mogelijk reële problemen welke uit de hier voorgestelde aanpak volgen, door ontwerp en uitvoeringsmaatregelen elimineren. | Ontwerp met
 | zeer lage
 | faalkans ma-
 | ken!
 Te denken valt aan bijv. aanbrengen van zeer overgedimensioneerde filters met bijv. daarnaast nog meters schoongewassen damzand of het filtermateriaal in een anaërobe omgeving (onder water) te houden. |
- 1.2. d. Stabiliteit
 Sluit aan bij "capaciteit" (als 1.1. d). Uit potentiaal/stroombeeld max verhang over filter bepalen, zowel loodrecht als evenwijdig er aan. Filters op max verhang uitrekenen, aantal lagen en soort materiaal kiezen. Materiaal van dam naast filter hierbij betrekken (zie ook 1.2. c.). | Potentiaal-
 | en stroom-
 | beeld bepa-
 | len.
- 1.2. e. Verstopping
 Dit filter kan alleen door suffose van materiaal uit het damzand verstopping omdat het geheel in de dam is opgenomen. Eventueel gevaar hiervoor trachten te elimineren door aanpassen ontwerp en/of uitvoeringsmethode. | Analyse van
 | te verwacht-
 | ten zand-
 | samenstel-
 | ling in dam
 | nabij fil-
 | ter.

- 1.2. f. Uitspoeling (als 1.1. f)
Mits voldaan kan worden in ontwerp, uitvoering en controle aan de punten a t/m d is er geen gevaar voor uitspoeling.
- 1.2. g. Chemische verstopping
Het probleem is gelijk aan dat van het filter aan de oppervlakte (zie 1.1. g.). Als voor dat filter problemen te verwachten zijn zou overwogen moeten worden om het ontwerp van het inwendige filter zodanig aan te passen dat het permanent onder water ligt waardoor afzettingsproblemen van in het water opgeloste stoffen wellicht afneemt.
- 1.2. h. Bacteriën en algen
Probleem is in principe gelijk aan filter aan oppervlakte (zie 1.1. h.). Als daar grote problemen te verwachten zijn moet nagegaan worden of onder water zetten van en/of de afwezigheid van licht een remedie kan zijn om bij het inwendig filter geen problemen te hebben.
- 1.2. i. Plantengroei (sluit aan bij 1.2. h.)
Hogere planten kunnen zonder licht niet groeien. Wortels van planten of bomen op de dijk zouden misschien het inwendig filter kunnen bereiken en verstoren.
- Eerst analyseren 1.1. g, daarna verschil van in dijk gelegen filter beschouwen.
- Eerst analyseren 1.1. h. Afwezigheid van licht en eventueel onder water houden van filter analyseren.
- Wortelpenetratie van planten en bomen op de dijk bestuderen.

2. Opgespoten zandlichaam (zie bijlage 3)

Functies als filter

- Water keren via grondmechanische stabiliteit.
- Kwelwater via grondmassief afvoeren naar filter.
- Weerstand vormen tegen kwelwater zodat een lange kwelweg met een laag verval per lengte-eenheid ontstaat.

2. a. Capaciteit

Het aanbod van kwelwater uit de ondergrond en door lekkage van de bekkentaludbekleding kan altijd verwerkt worden. Afhankelijk van de hoeveelheid water en de doorlatendheid van het dammassief zal zich een freatische lijn instellen. Voor veel kwelwater zou de dam goed doorlatend moeten zijn om een lage freatische lijn te krijgen. Voor een hoge weerstand tegen

Analyse van het zand uit de zandwingsgebieden. Smitproces dijken opzetten. Inschatten hoe de korrel-

kwel zou het materiaal weinig doorlatend moeten zijn.

Om een optimale waterafvoer en een regelmatig, zo laag mogelijk verhang per lengte-eenheid te krijgen dient het dammateriaal homogeen van samenstelling te zijn. Als zich ergens fijner materiaal bevindt kan dat het best aan de bekkenzijde zijn. Gelet moet worden op het voorkomen c.q. verwijderen van horizontale sliblaagjes.

opbouw van de dam zal zijn en analyseren of de opbouw acceptabel is gezien de hiernaast geschetste problemen. Zo nodig aanpassen werkmethoden.

2. b. Inspectie

Deze kan in drie onderdelen verdeeld worden: tijdens aanlegfase controle op aangebracht materiaal en aanwezigheid sliblaagjes. Eventueel delen ontgraven en opnieuw (spuitend!) opbrengen. Eventueel standaard verticaal sleuven ontgraven en vullen met grof materiaal of materiaal omwoelen.

In eindfase controle op stand en verloop van freatische lijn ter indicatie van werking en verandering van filtereigenschappen damlichaam. Bewakingssysteem en controle daarvan moet ontwikkeld worden.

Afkeurcriteria en maatregelen bedenken voor uitvoeringsfase. Hoogten toelaatbaar voor freatische lijn vaststellen. Instrumentatie controle freatische lijn ontwerpen.

2. c. Reparatie

Reparatie van het damlichaam als filter is onmogelijk in de eindfase. Responsief kan misschien wel gedacht worden aan perforeren van toch ingesloten sliblagen of lokaal injecteren met grout of ander fijn materiaal. Preventief aan te pakken in de bouwfase.

Reparatie van het controlesysteem van de freatische lijn lijkt goed mogelijk.

2. d. Stabiliteit filter

De grootte van lokaal in de opgespoten dam toelaatbare verschillen in materiaal (slib/zand/grint) moeten vastgesteld worden op basis van het verhang en filterregels.

Onderzoek naar maximaal te verwachten lokale verschillen in dammateriaal, zowel horizontaal als verticaal.

2. e. Verstopping
 Het is denkbaar dat lokaal fijne delen uit het damlichaam verplaatst worden en elders geconcentreerd neerslaan waardoor verstopping optreedt.
2. f. Uitspoeling
 Door locale uitspoeling van fijne delen zou zetting op kunnen treden. Ernst van probleem afschatten uitgaand van te verwachten korrelkopbouw en verhang.
2. g. Chemische verstopping
 Als 1.1. g en 1.2. g.
2. h. Bacteriën en algen
 Spelen in het grootste gedeelte van de dam voor filters geen rol. Op randgebieden, indien wel van belang kan uitkomst van resultaten van 1.1. h. en 1.2. h. gebruikt worden.
2. i. Plantengroei
 Speelt in grootste gedeelte van dam voor filters geen rol. Randgebieden als 1.1. i en 1.2. i.
3. Natuurlijk aanwezige materiaal als filter in de ondergrond van het PAC-bekken (zie bijlage 4)

| Analyse over
 | mogelijke
 | verplaatsing
 | van grondde-
 | len in een
 | grondmassief
 | o.i.v. ver-
 | hang en kans
 | op geconcen-
 | treerd neer-
 | slaan.

| als 2. e.

| Analyseren
 | chemische
 | problemen in
 | dam samen met
 | filters van
 | 1.1. g. en
 | 1.2. g.

| Als 1.1. h
 | 1.2. h. op
 | randgebie-
 | den.

| Als 1.1. i.
 | en 1.2. i.
 | op randge-
 | bieden.

Functies

- Kwelwater afvoeren naar het zandlichaam en de filters van de dam.
- Weerstand vormen tegen kwelwater zodat een lange kwelweg met een laag verval per lengte-eenheid ontstaat.

Onderscheid is gemaakt tussen drie plaatsen in de ondergrond, voornamelijk omdat de stroomrichting van het kwelwater per plaats anders is:

- 3.1 onder bekkenbodem, water stroomt verticaal door Holocéen en horizontaal door Pleistocene zand.
- 3.2 onder damlichaam, water stroomt horizontaal en naar boven door ondergrond.
- 3.3 nabij IJsselmeerzijde van de dam, water stroomt verticaal naar boven naar damlichaam.

Mits met dit verschil in stroomrichting rekening gehouden wordt kunnen de potentiële problemen voor de verschillende plaatsen gelijk behandeld worden. Dus in "3. d. Capaciteit" zijn "3.1. a., 3.2. a. en 3.3. a." begrepen.

- 3. a. Capaciteit
De hoeveelheid water welke door de ondergrond gaat wordt gedictieerd door het verval en de korrelopbouw van de ondergrond. De hoogte van de freatische lijn in de dijk is onder andere een resultante van de kwel door de ondergrond. | Om goede kwelsommen te kunnen maken is kennis over opbouw ondergrond nodig.
- 3. b. Inspectie
Alleen voor de aanleg van de dam kan "geïnspecteerd" worden in de vorm van onderzoeken bodemopbouw. Na de aanleg kan inspectie geschieden door monitoren freatische lijn. Deze zal o.a. door verandering van korrelopbouw in de ondergrond kunnen veranderen. | Grondonderzoek tevoren.
- 3. c. Reparatie
"Repareren" van de ondergrond kan alleen goed vóór aanleg van de dam. Wèl is het denkbaar door slibstorten op de bodem van het bekken eventuele problemen in de diepere ondergrond te verminderen (of op te heffen?). | Is monitoren freatische lijn na aanleg zinvol om als controle op veranderingen in de ondergrond toe te passen? Effect slibstorten bestuderen en eventueel beproeven bij hoge verhangen.
- 3. d. Stabiliteit
De op de natuurlijke grondslag gezette vervalbelasting wordt verdeeld over de kwellingte door de ondergrond. Door de inhomogeniteit, horizontaal en verticaal (!) kunnen lokaal zeer grote ver- | Potentiaal- en stroombeeld bepalen op basis werkelijke

hangen optreden. Daar moet ondergrond tegen kunnen. De plaatsen waar problemen te verwachten zijn, zijn de grensvlakken tussen de verschillende materialen.

waarden ondergrond. Filterregels toepassen op materiaal van de plaatsen waar hoge drukverschillen voorkomen. Grondonderzoek is hiervoor van essentieel belang.

3. e. Verstopping

Dichtslibben van de ondergrond door suffose is denkbaar. Als verstopping optreedt kan dat alleen schade doen als daardoor gevaar voor opbarsten optreedt.

Verstopping materiaal ondergrond door uitspoelende delen van elders onderzoeken.

3. f. Uitspoeling

Door lokale hoge verhangen kunnen fijne delen in de volgende grovere laag spoelen.

Grondonderzoek en lab. onderzoek op uitspoelen en verstopping bij hoge verhangen nodig? (Zo ja: bedenken).

3. g. Chemische Verstopping

Omdat het stromingsprincipe en de water-soort nagenoeg niet veranderd is in de ondergrond weinig kans op chemische problemen.

Check of chemie in ondergrond inderdaad geen rol speelt.

3. h. Bacteriën en algen

Als chemie, geen verandering dus geen problemen.

3. i. Plantengroei

Als chemie, geen verandering dus geen problemen.

Samenvatting

De matrix van bijlage vijf geeft de combinatie van de te onderzoeken plaatsen waar filterwerking aanwezig moet zijn en de te onderzoeken potentiële problemen.

In hoofdstuk 6 wordt iedere combinatie kort beschreven. In fase 2 van de PAC-studie dient deze lijst afgewerkt te worden voor het dan voorliggende ontwerp. Mogelijk is dat ontwerp van de dam anders dan het hier gepresenteerde ontwerp voor het IJsselmeer. De lijst dient dan daarop aangepast te worden.

In gesprekken met specialisten of op basis van eenvoudige berekeningen dient vastgesteld te worden welke problemen echte problemen zijn en waaraan gedetailleerde ontwerpberekeningen of waarvoor gedetailleerd grondonderzoek verricht moet worden.

Goede detailmodellen voor de bepaling van potentiaal en stroming, waarin de relevante parameters gevarieerd kunnen worden zijn nodig.

In het uiteindelijke ontwerp moeten alle potentiële problemen behandeld, opgelost en vertaald zijn in tekeningen, voorschriften voor de uitvoering en voorschriften voor de controle tijdens aanleg, vullen en functioneren van het bekken. Dit moet zodanig geschieden dat een blijvende filterwerking op die plaatsen waar dat nodig is gedurende de bedrijfsduur van het bekken verzekerd is.

1.1 Filter aan oppervlak PAC-dam IJsselmeerzijde

IJsselmeerpeil NAP - 0,2 à - 0,4

zo nodig filter doortrekken

filter, deel onder water

Filter, deel boven water

stortsteen

Holoceen

grondverbetering

Pleistoceen zand

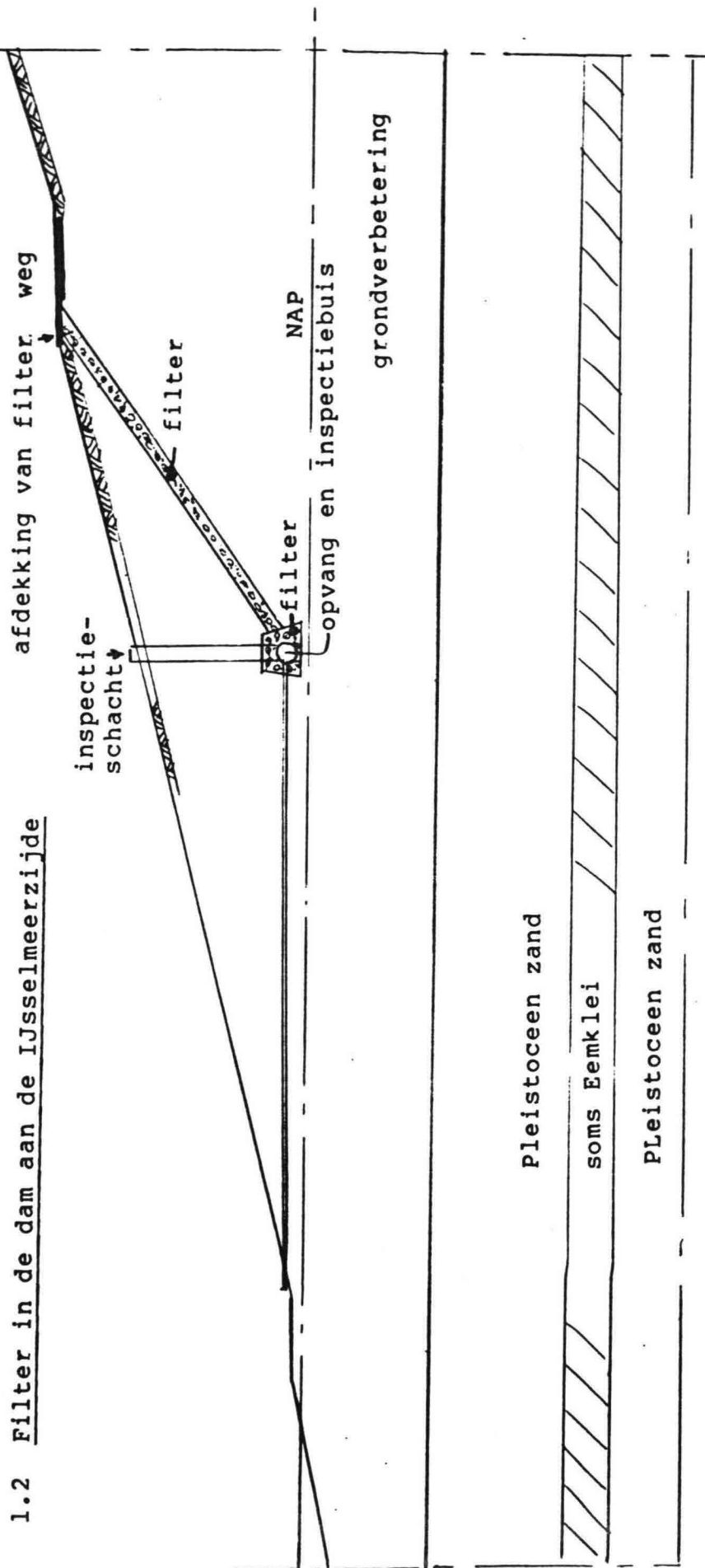
soms Eemklei

Pleistoceen zand

Functies van het filter op de dam

- reserve voor filter in de dijk
 - . opvang water als filter in dijk niet meer of onvol-
doende werkt
 - . is eenvoudiger te repareren dan inwendig filter
- opvangen kwel vanuit ondergrond welke rond inwendig filter heen trekt
- basis voor taludverdediging van stortsteen rond de waterlijn.

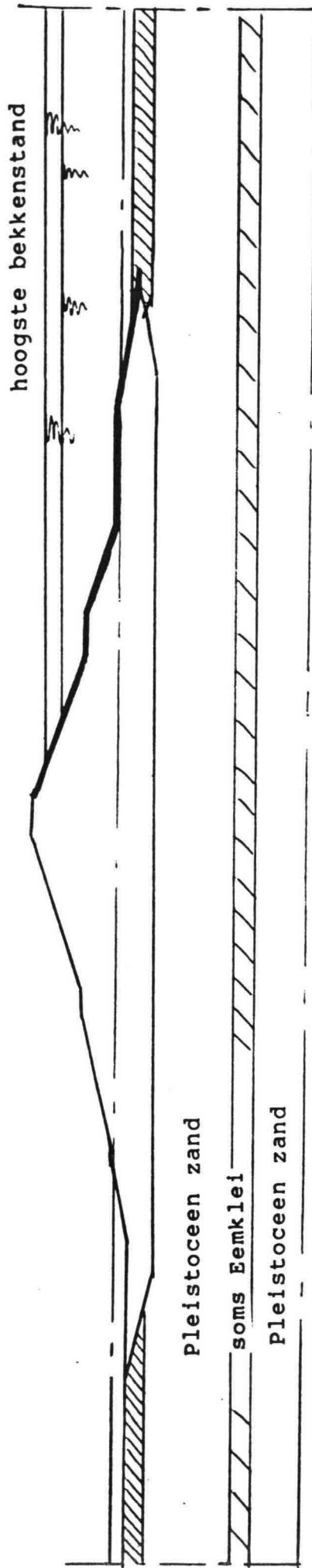
1.2 Filter in de dam aan de IJsselmeerzijde



Functies van het filter in de dam

- Opvang van kwelwater uit dam en ondergrond.
- Afvoeren van kwelwater naar IJsselmeer.
- Geeft controlemogelijkheid van de hoeveelheid kwelwater per lengte-eenheid van de dam.
Dit is een bewakingsmiddel van de kwaliteit van de dam.

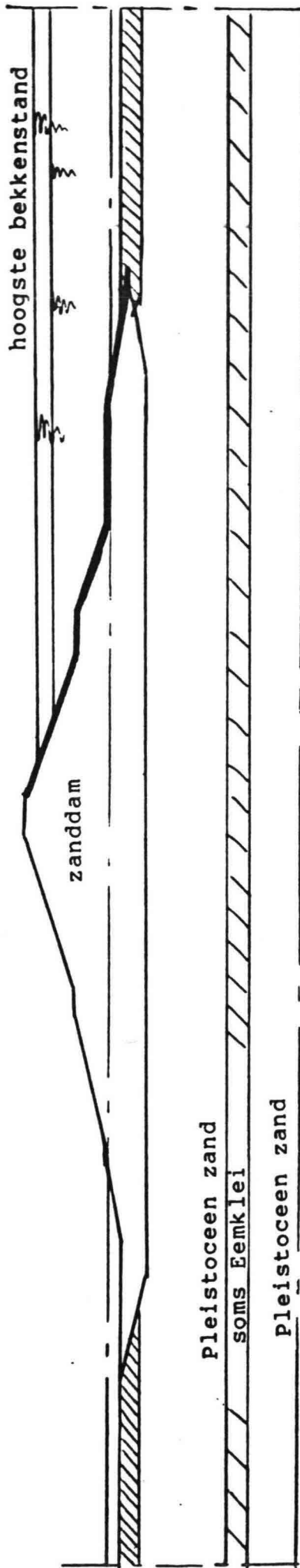
2. Opgespoten zandlichaam als filter



Functies van de zanddam als filter

- Water keren via grondmechanische stabiliteit
- Kwelwater via grondmassief afvoeren naar filter
- Weerstand vormen tegen kwelwater zodat een lange kwelweg met een laag verval per lengte-eenheid ontstaat.

3. Ondergrond als filter



Functies van de ondergrond als filter

- Kwelwater afvoeren naar het zandlichaam en de filters van de dam.
- Weerstand vormen tegen kwelwater zodat een lange kwelweg met een laag verval per lengte-eenheid ontstaat.

Matrix filters PAC bekkendijken

Potentiële problemen Soort en plaats filters	a. Capaciteit filter	b. Inspectie	c. Reparatie	d. stabiliteit	e. Verstopping	f. Uitspoeling	g. Chemische verstopping	h. Bacteriën en algen	i. Planten groei
1. <u>Buitenteen dijk</u>									
1.1 <u>Uitwendig, op dijkkoper-vlakte</u>	1.1.a.	1.1.b.	1.1.c.	1.1.d.	1.1.e.	1.1.f.	1.1.g.	1.1.h.	1.1.i.
1.2 <u>Inwendig, in dijk opgenomen</u>	1.2.a.	1.2.b.	1.2.c.	1.2.d.	1.2.e.	1.2.f.	1.2.g.	1.2.h.	1.2.i.
2. <u>Opgespoten zandlichaam</u>	2.a.	2.b.	2.c.	2.d.	2.e.	2.f.	2.g.	2.h.	2.i.
3. <u>Ondergrond</u>									
3.1 <u>Onder bekken</u>	3.1.a.	3.1.b.	3.1.c.	3.1.d.	3.1.e.	3.1.f.	3.1.g.	3.1.h.	3.1.i.
3.2 <u>Onder dijk</u>	3.2.a.	3.2.b.	3.2.c.	3.2.d.	3.2.e.	3.2.f.	3.2.g.	3.2.h.	3.2.i.
3.3 <u>Buiten dijk</u>	3.3.a.	3.3.b.	3.3.c.	3.3.d.	3.3.e.	3.3.f.	3.3.g.	3.3.h.	3.3.i.

DEFORMATIE-BEREKENING VAN DE BEKKENDIJK MET
BEHULP VAN DE EINDIGE ELEMENTEN-METHODE.1. Inleiding

Het doel van de elementen-berekening is een indruk te verkrijgen van de orde van grootte van de horizontale en verticale deformatie van het dijklichaam onder invloed van het vullen van het bekken en de dagelijkse peilvariatie ten gevolge van het in bedrijf zijn van de centrale.

Er wordt volstaan met een orde van grootte van de deformatie, omdat in dit stadium van de P.A.C.-studie onvoldoende bekend is van het vervormingsgedrag van het materiaal, onder hoge spanningsniveaus, waaruit de bekkendijk is opgebouwd en van de ondergrond waarop het dijklichaam rust. Voor het berekenen van deformaties die meer aansluiten bij de werkelijkheid is uitgebreid laboratorium-, grondonderzoek en zijn parameter-studies noodzakelijk.

Het grondgedrag voor onderstaande berekeningen is beschreven met algemeen geldende relaties. Voor de eindige elementen-berekening wordt het programma ABAQUS gebruikt wat ontwikkeld is door Hibbitt, Karlsson en Sorensen, inc. De berekening wordt uitgevoerd volgens de small-displacement theory.

De gebruikte ABAQUS-versie is 4.5.

2. Te berekenen bekkendijk en grondmodel

De kruinhoogte van de bekkendijk moet 54.00 m⁺ N.A.P. bedragen.

Waterstand in bekken 50.00 m⁺ N.A.P.

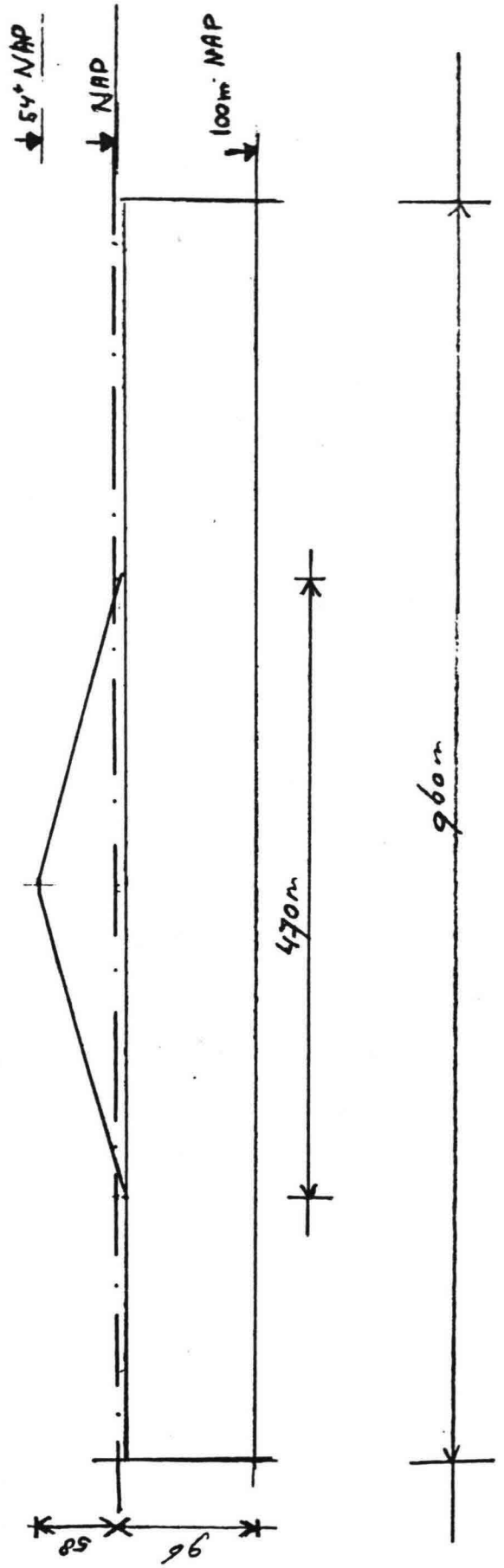
Peilvariatie 40.00 m⁺ - 50.00 m⁺ N.A.P.

Het dijkontwerp en het elementen-model zijn in één figuur op bijlage 1 weergegeven. Het elementen-model volgt niet in detail het dijkontwerp. Dit is wel mogelijk, maar geeft extra werk bij het opstellen van de mesh in verband met knoop en element-generatie. Mede gezien de grootte van de elementen en de nauwkeurigheid van de berekening wordt dit model voor dit stadium voldoende nauwkeurig geacht.

In het model is uitgegaan van een dijk op grondverbetering, waarbij de holocene lagen zijn vervangen door zand over de volledige breedte van de dijk, tot een diepte van 12.00 m⁻ N.A.P. Hieronder begint de eerste pleistocene zandlaag die reikt tot een diepte van 30.00 m⁻ N.A.P. Dan volgt een eemklei-laag van 6.00 m dikte waaronder de tweede zandlaag is geprojecteerd. Aan de bovenzijde van het grondmassief is aan weerszijden van de dijk een holocene laag aanwezig van 4.00 m⁻ N.A.P. tot 12.00 m⁻ N.A.P. De modelbreedte van het grondmassief bedraagt 960 m. De hoogte van het grondmassief bedraagt 96.00 m (zie figuur 1).

De freatische lijn in het dijklichaam is ontleend aan P.A.C.; van J. v.d. Burg en verloopt van 12.00 m⁺ N.A.P. (intreepunt) tot N.A.P. (uittreepunt); (zie bijlage 1) + bijlage 5).

Figur. 1 afmøtningen model mesh.



3. Grondmodel ABAQUS

In de berekeningen is het grondgedrag beschreven met behulp van elastische materiaal-parameters, beschikbaar in ABAQUS. Daarnaast is het mogelijk ook elastische/plastische berekeningen uit te voeren met behulp van het Cam-clay model of het Mohr-Coulomb criterium met eventueel strainhardening of strainsoftening. Gezien de vormgeving van de dijk en de fundering zullen naar verwachting de schuifspanningsverhoudingen laag zijn, zodat plastische vervormingen niet zullen optreden. Mede gelet op de eerder aangehaalde nauwkeurigheid van de analyse is hierom in de berekeningen voorlopig volstaan met elastisch grondgedrag.

3.1. Lineair elastisch grondgedrag

$$\sigma = \epsilon \cdot E \text{ (geen opmerkingen).}$$

3.2. Niet lineair elastisch grondgedrag

Het elastische poriëngetal (e^{el}) is afhankelijk van de logaritme van de korrelspanning in de hoofdrichting:

$$de^{el} = -d \left[\ln(p) \right] = -\frac{Kdp}{p}$$

Het elastische gedeelte van de volumerek is dan:

$$d \epsilon_v^{el} = \frac{de^{el}}{1 + e_0} = -\frac{K}{1 + e_0} \cdot \frac{dp}{p} \quad e_0 = \text{initieel poriëngetal.}$$

De tangent modulus, kb , wordt dan:

$$kb = -\frac{dp}{d \epsilon_v^{el}} = \frac{1 + e_0}{K} \cdot p$$

De elastische basisvergelijking luidt:

$$d \underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{C}} : d \underline{\underline{\epsilon}}^{el}$$

waarbij de stijfheidsmatrix $\underline{\underline{C}}$ niet constant is, maar lineair afhankelijk van de normaalspanning in de hoofdrichting.

Voor wat betreft de elastische/plastische mogelijkheden van het programma is het elastische gedeelte hiervan gelijk aan het hiervoor beschreven elastisch gedrag. Het plastisch gedeelte is toegevoegd en vormt een bovenbegrenzing:

$$d\varepsilon = d\varepsilon^{el} + d\varepsilon^{pl}.$$

3.3. Grondmodel algemeen

In het algemeen wordt voor het samendrukkingsgedrag van zand de volgende relatie veronderstelt:

a. ééndimensionaal: $\varepsilon_c = \alpha \frac{s}{s_0}^\beta$ $\beta \ 0.33 < \beta < 0.5$
 $S =$ isotrope spanning

ontleend aan College-dictaat ir. Vermeer.

Voor ondiepe funderingen op staal is het zandgedrag door

Van Deventer en Molenkamp onderzocht en als volgt beschreven:

b. $\varepsilon = \alpha \left(\frac{S}{S_0}\right)^\beta \cdot G\left(\frac{t}{s}, n\right)$ $\beta = 0.37 \pm 0.05$
 $S =$ isotrope spanning
 $t = \sigma_1 - \sigma_3$ deviatorspanning
 $n =$ poriegetal.

Uit: "Prediction of the behaviour of shallow foundations by means of plate loading tests and triaxial tests" door Van Deventer en Molenkamp.

Het blijkt uit onderzoek ten behoeve van dit rapport dat de invloed van de schuifspanningsverhouding ($\frac{t}{s}$), belangrijk wordt voor de vervorming bij hoge schuifspanningsverhouding $\frac{t}{s} > 0.6$ (zie bijlage 2). In het ontwerp van de bekking is de schuifspanningsverhouding kleiner dan 0.6, zodat de invloed van de schuifspanning op de vervorming klein is en in dit stadium van studie buiten beschouwing is gelaten. Mede gezien het karakter van deze elementen-berekening en de algemeenheid van de grondeigenschappen. In een volgende fase waarin de ondergrond uitvoerig is onderzocht en onder hoge spanningsniveaus, kan het grondgedrag zinvol nauwkeuriger beschreven worden.

3.4. Materiaalparameters

Voor het berekenen van de vervormingen en spanningen in het dijklichaam is gebruik gemaakt van het niet-lineaire elastische grondgedrag waarbij de vervorming afhankelijk is van de logaritme van de spanning:

$$\varepsilon = \frac{K}{1 + e_0} \cdot \ln \frac{P}{P_0}$$

De "logaritmische bulkmodulus", K , is gekozen in relatie tot:

- a. E-moduli die gevonden zijn bij lagere spanningsniveau's in triaxiaal en samendrukkingsproeven.
- b. Extrapolatie van deze E-waarde naar hogere spanningsniveau's is uitgevoerd m.b.v. de relatie $\epsilon = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{S}{S_0} \right)^{0.37}$

waarin α is bepaald m.b.v. hetgeen gesteld is onder a.

ad a. De resultaten van triaxiaalproeven op pleistoceen zand t.b.v. een kabelbaan in de Oosterschelde, uitgevoerd door het L.G.M. te Delft, zijn gebruikt als uitgangspunt voor de te hanteren E-moduli.

De proefresultaten staan volledig vermeld in rapport no. CO-17684-9. Op bijlage 3 zijn enkele resultaten in één grafiek verzameld, waarbij de E-waarden zijn uitgezet t.o.v.

S oorspronkelijk berekend uit triaxiaalproeven met $n = 37\%$.

Voor het extrapoleren naar hogere spanningsniveau's zijn

gekozen: $S = 50 \text{ kN/m}^2$ $E \approx 30.000 \text{ kN/m}^2$

$S = 100 \text{ kN/m}^2$ $E \approx 50.000 \text{ kN/m}^2$

Uit a. en b. volgt: $\epsilon = \frac{\Delta S}{E} = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{S}{S_0} \right)^{0.37}$

waarbij $S = \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3)$ en $\sigma_1 = \frac{1}{2}\sigma_3$

voor kleine spanningsverhogingen $= 5 \text{ kN/m}^2$ geldt:

$S = 50$ $\epsilon = \frac{5}{30.000} = 0.000167 = \frac{1}{\alpha} (55^{0.37} - 50^{0.37}) \Rightarrow \alpha = 914$

$S = 100$ $\epsilon = \frac{5}{50.000} = 0.0001 = \frac{1}{\alpha} (105^{0.37} - 100^{0.37}) \Rightarrow \alpha = 1001$

Indien $\alpha = 1000$ volgt hieruit voor:

$S = 50 \text{ kN/m}^2$ $E = 32765 \text{ kN/m}^2$

$S = 100 \text{ kN/m}^2$ $E = 50000 \text{ kN/m}^2$

$S = 150 \text{ kN/m}^2$ $E = 64104 \text{ kN/m}^2$ (controleer bijlage 3)

De relatie $\epsilon = \frac{1}{1000} \left(\frac{S}{S_0} \right)^{0.37}$ is uitgezet in de grafiek op bijlage 4.

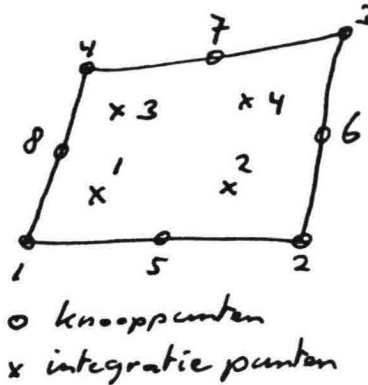
Hieruit is voor de verschillende grondlagen en de bijbehorende spanningsniveau's de "logaritmische bulkmodulus" bepaald.

Het hierdoor vastgelegde materiaalgedrag van deze grondlagen is ook op bijlage 4 getekend, per grondlaag voor het spanningstraject wat in deze grondlaag voorkomt. Op bijlage 6 zijn de grondlagen aangegeven.

4. Model en belastingfasen

De elementenmesh is opgebouwd uit "solid-elements".

De elementen bezitten 8 knooppunten, 4 integratiepunten en 4 zijden. Dezelfde elementen kunnen ook voorzien worden van 9 integratiepunten. De elementen zijn plain-strain elementen.



Het talud van de dijk is verkregen door het toepassen van trapezium-vorm van de elementen, zoals te zien is op bijlage 7. Driehoekige elementen zijn voor solid elements niet beschikbaar.

De volledige elementenmesh ziet u op bijlage .

De knooppunten aan de onderzijde van het grondmassief zijn in zowel x als y-richting vastgelegd. De knooppunten op de verticale begrenzingen van het grondmassief zijn in de x-richting vastgelegd. De overige knooppunten zijn in alle richtingen vrij.

4.1. Berekeningsstappen

- Step 1

Belasting: Het eigen gewicht van het grondmassief wordt opgebracht. De elementen van het dijklichaam blijven gewichtsloos. De initiële spanningen in het grondmassief worden opgebracht.

In de berekening wordt gecontroleerd of de initiële spannings-situatie in evenwicht is met de belastingen en de begrenzingen en wordt eventueel gecorrigeerd indien noodzakelijk.

In step 1 wordt de uitgangssituatie gevormd.

- Step 2

Belasting: zie step 1 + eigen gewicht dijkelementen.

Vervormingen en spanningen worden berekend.

- Step 3

Belasting: zie step 2 + waterbelasting op het binnentalud en op de bekkenbodem. Waterstand tot 40 m⁺ N.A.P.

Vervormingen en spanningen worden berekend.

- Step 4

Belasting: zie step 3 + waterbelasting-vergroting van 40 m⁺ N.A.P. naar 50 m⁺ N.A.P.

Vervormingen en spanningen worden berekend.

5. Resultaten

De resultaten van de berekeningen zijn voorlopig weergegeven op de bijlagen 7 t/m 21.

Bijlage 7 - Horizontale deformatie elastische berekening

Bijlage 8 - Elasticiteitsmoduli behorend bij bijlage 7

Bijlage 9 - Niet lineaire elastische berekening met B waarden volgens bijlage 4

Bijlage 10 Resultaten van de niet lineaire elastische berekening t/m 21 - volgens bijlage 4

Hoogte van de mesh

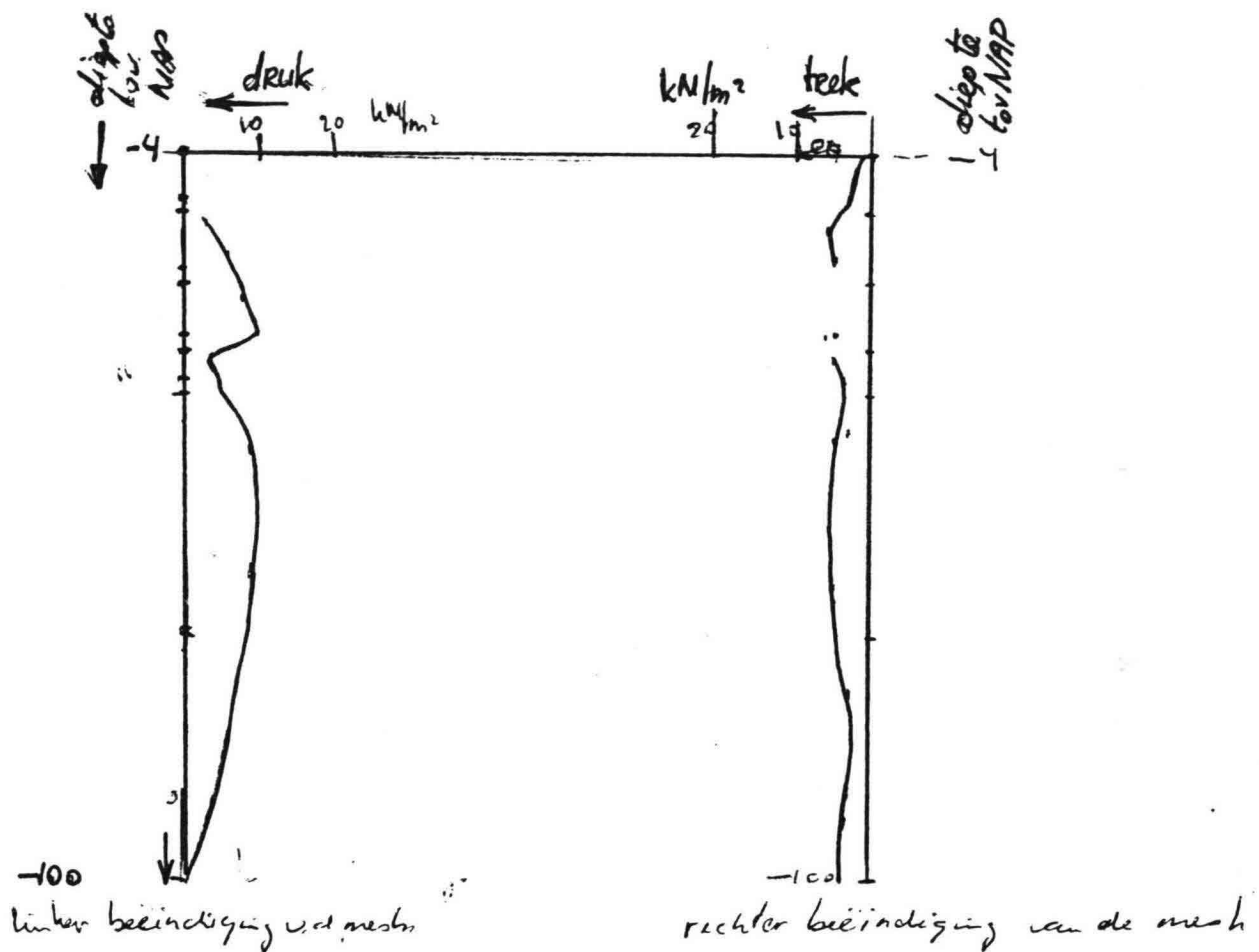
Een eerste beschouwing van de resultaten geeft aan dat de vervorming van de ondergrond ten gevolge van de belasting van de bekken-dijk diep in de ondergrond merkbaar is, overeenkomstig elastische spannings-spreidingsberekeningen volgens Jurgenson, e.d. Het dempen van de vervormingen onderin de mesh wordt veroorzaakt door het vastgelegd zijn van de basis-knooppunten in twee richtingen, x- en y-richting. In een mesh met een diepere ondergrond mag verwacht worden dat de vervormingen minder snel dempen in de diepte.

Breedte van de mesh

De mesh is voldoende breed genomen. Dit is af te leiden uit ondermeer de grootte van de opleg-reacties in de knooppunten op de verticale begrenzings van de mesh. De opleg-reacties bedragen

maximaal 1% van de maximaal opgebrachte belasting. De resultaten van de oplegdrukken zijn in figuur 1 aangegeven.

Figuur 1. Oplegdrukken op verticale beëindiging van de mesh ten gevolge van bouw bekendijk en 50 m waterstand in bekken.



Schuifspanningen

De grootte van de schuifspanningen is aangegeven op de bijlage. Contrôle van deze spanningen op het schuifspanningscriterium geven aan dat de spanning ruim beneden dat criterium vallen, zodat een elastische berekening voor bekendijk in dit stadium voldoende moet zijn.

Aansluiting binnenteen holoceen bekkendijk

De aansluiting van de holocene bodemafluiting op de binnenteen van de bekkendijk is niet gedetailleerd. In het elementenmodel is de aansluiting holoceen/zand uitgevoerd in twee elementen met verschillende stijfheden die direct met elkaar verbonden zijn. De deformatie van deze elementen is niet bruikbaar voor de beoordeling van het gedrag van het materiaal bij de teen van de dijk.

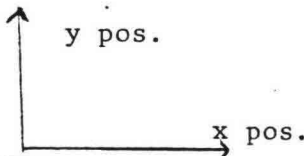
6. CONCLUSIES

Uit deze elementenberekening volgt, dat:

- de verticale deformaties van de bovenzijde van het pleistoceen als gevolg van het opbouwen van de bekkendijk tot 54 m⁺ N.A.P. bedraagt maximaal 0.396 m over het gedeelte van 12 m⁻ N.A.P. tot 100 m⁻ N.A.P. Wordt de mesh uitgebreid tot 200 m⁻ N.A.P., dan zal de verticale deformatie waarschijnlijk 0.35 m bedragen;

- andere deformaties additionele deformaties optredend per fase in m

		bekkenbouw	waterstand 0 - 50 m	waterstand 40 - 50 m
binnenteen	horizontaal	0.110	0.004	+ 0.0007
	verticaal	- 0.076	- 0.244	- 0.03
binnenkruin	h.		- 0.04	- 0.0054
	v.		- 0.085	- 0.004
buitenteen	h.	- 0.109	- 0.03	- 0.0035
	v.	- 0.076	- 0.019	- 0.001



- de berekening is elastisch dus de vervormingen zijn evenredig met de stijfheidsmoduli. Een elasticiteitsmodulus welke de helft bedraagt van de in de berekening ingevoerde E kan als ondergrens voor de materiaalstijfheid worden beschouwd;
- een mesh met een diepere ondergrond tot 200 of 300 m⁻ N.A.P. heeft waarschijnlijk een geringe invloed op de horizontale deformaties bovenin de mesh. De demping van de horizontale deformatie wordt wel beïnvloedt en zal dieper in de ondergrond optreden;
- de orde van grootte van de horizontale deformatie bedraagt

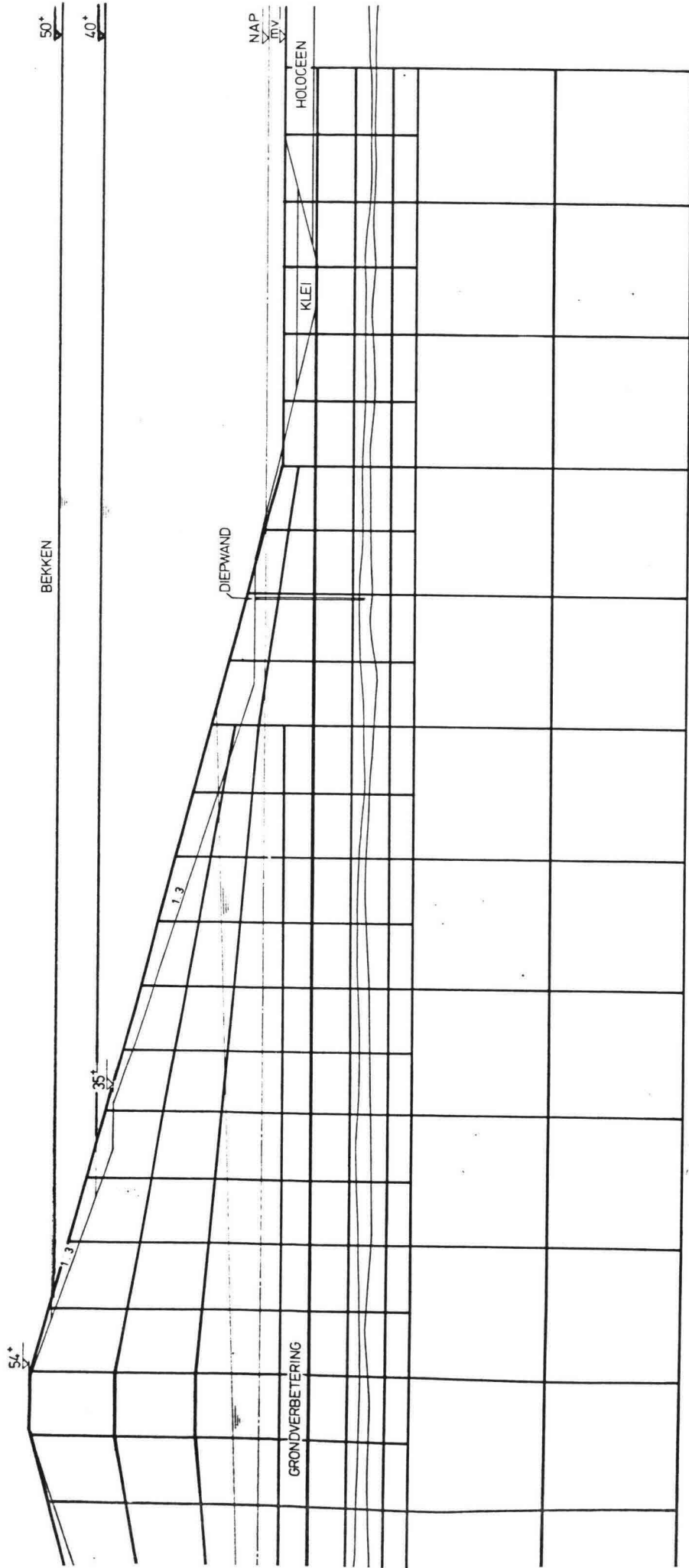
maximaal enkele decimeters indien we van ongunstige materiaalparameters en een mesh met een diepere ondergrond uitgaan.

7. AANBEVELINGEN

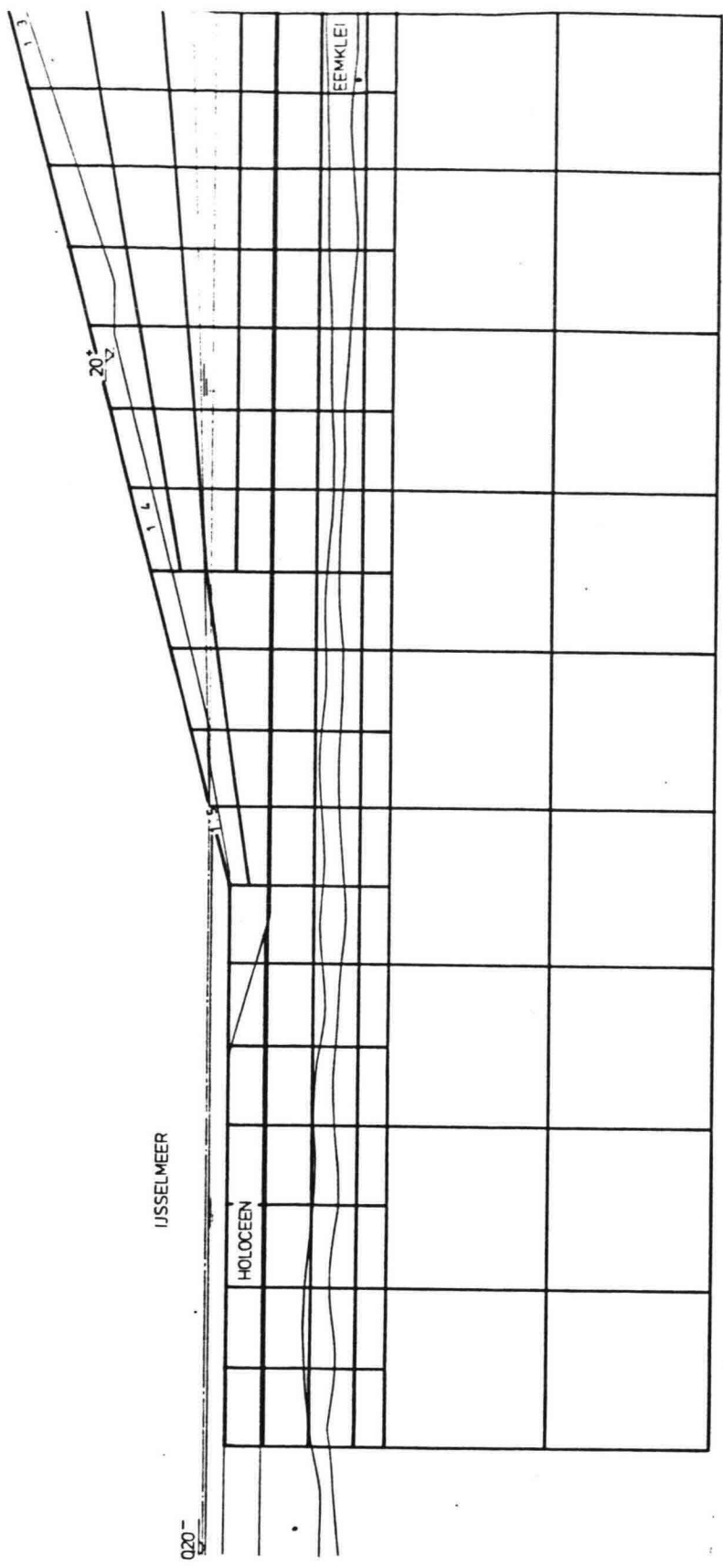
1. Het elementenmodel moet verder ontwikkeld worden, waarbij in eerste instantie gedacht wordt aan:
 - aanvullende berekeningen om de afmetingen van de mesh te evalueren, mesh met diepere ondergrond, mesh op een wrijvingsloze ondergrond;
 - uitwerken van het grondgedrag.
2. Het uitvoeren van contrôle-berekeningen met andere elementenprogramma's voor vergelijking.
3. Het inventariseren van mogelijkheden om verdere studie en productie-berekeningen met elementen-programma's uit te voeren.

Lelystad, 5 augustus 1985.

H. Kamphuis



Bijlage 1



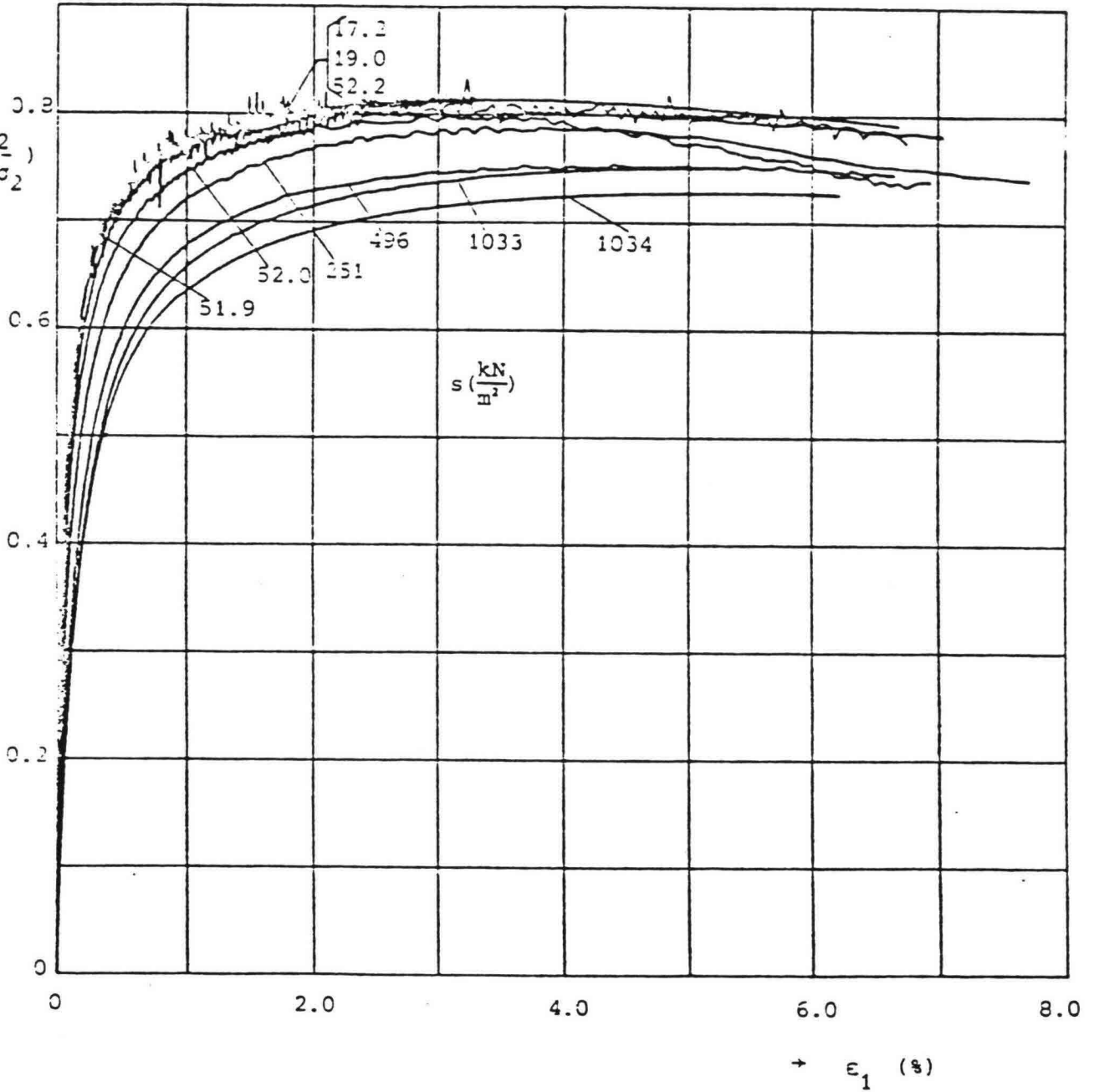
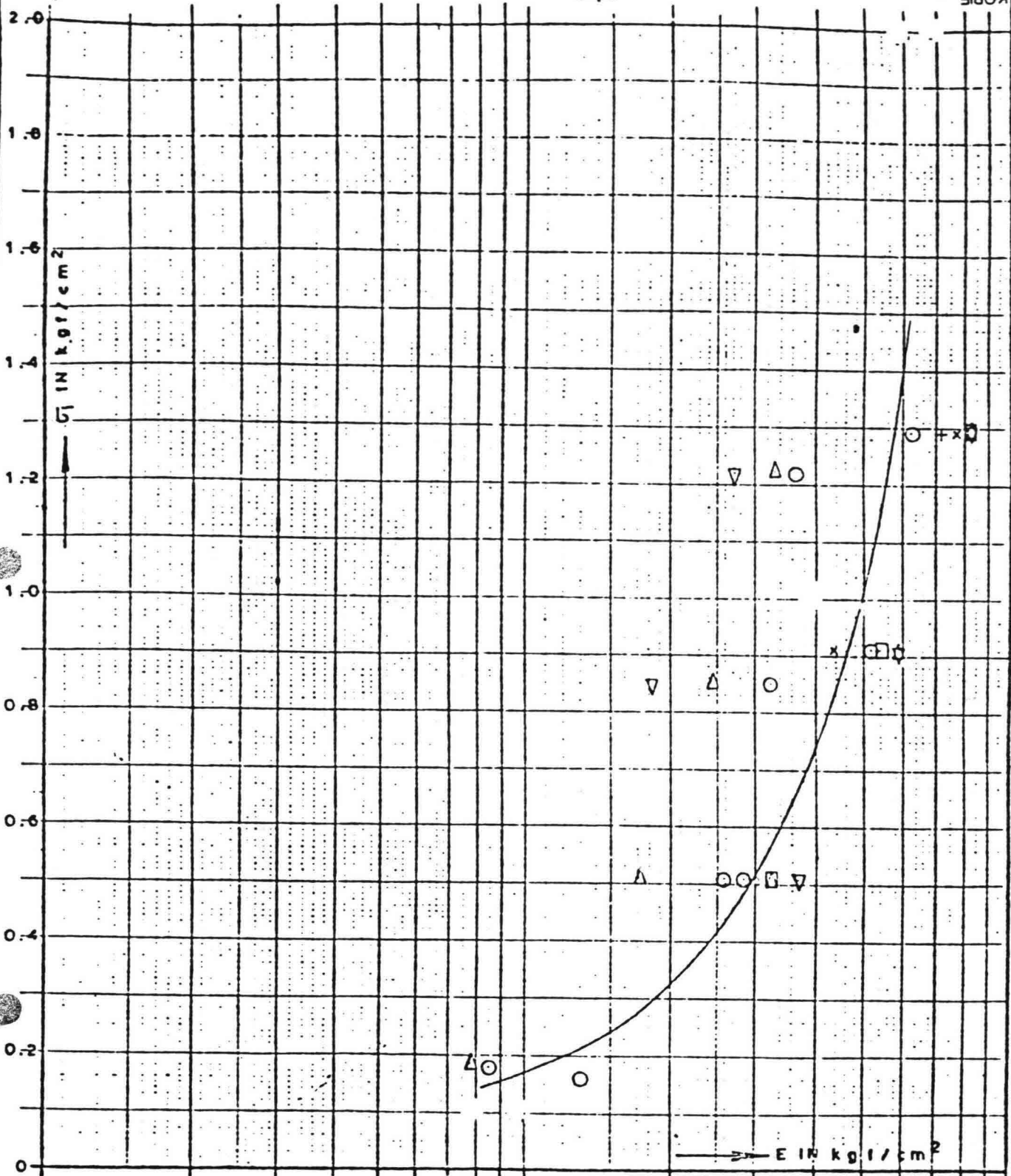


Fig. 5 a. Results of drained triaxial compression tests carried out at values of the isotropic stress s ranging from 17.2 to 1034 kN/m^2 .

the stress ratio $\frac{t}{s} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{(\sigma_1 + 2\sigma_2)}$ versus the vertical strain ϵ_1 . (determined for the top of the sample).

Biglage 2



- $\Delta \sigma_i = 0.06$ kgf/cm²
- △ .. = 0.09 ..
- ▽ .. = 0.13 ..
- .. = 0.21 ..
- x .. = 0.31 ..
- + .. = 0.47 ..

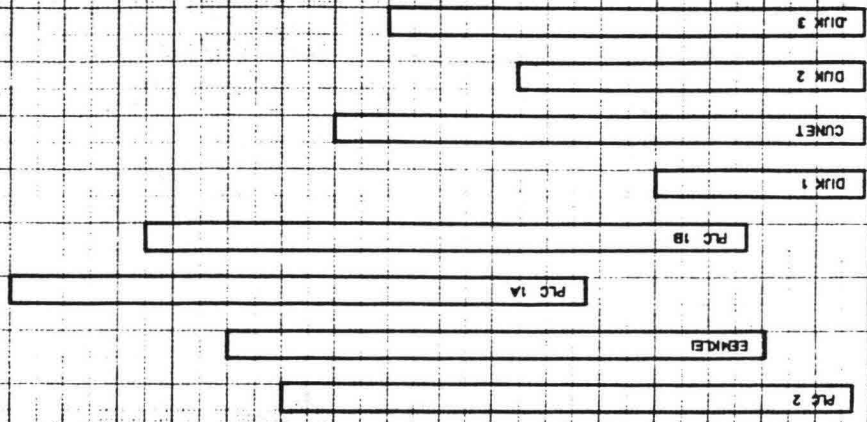
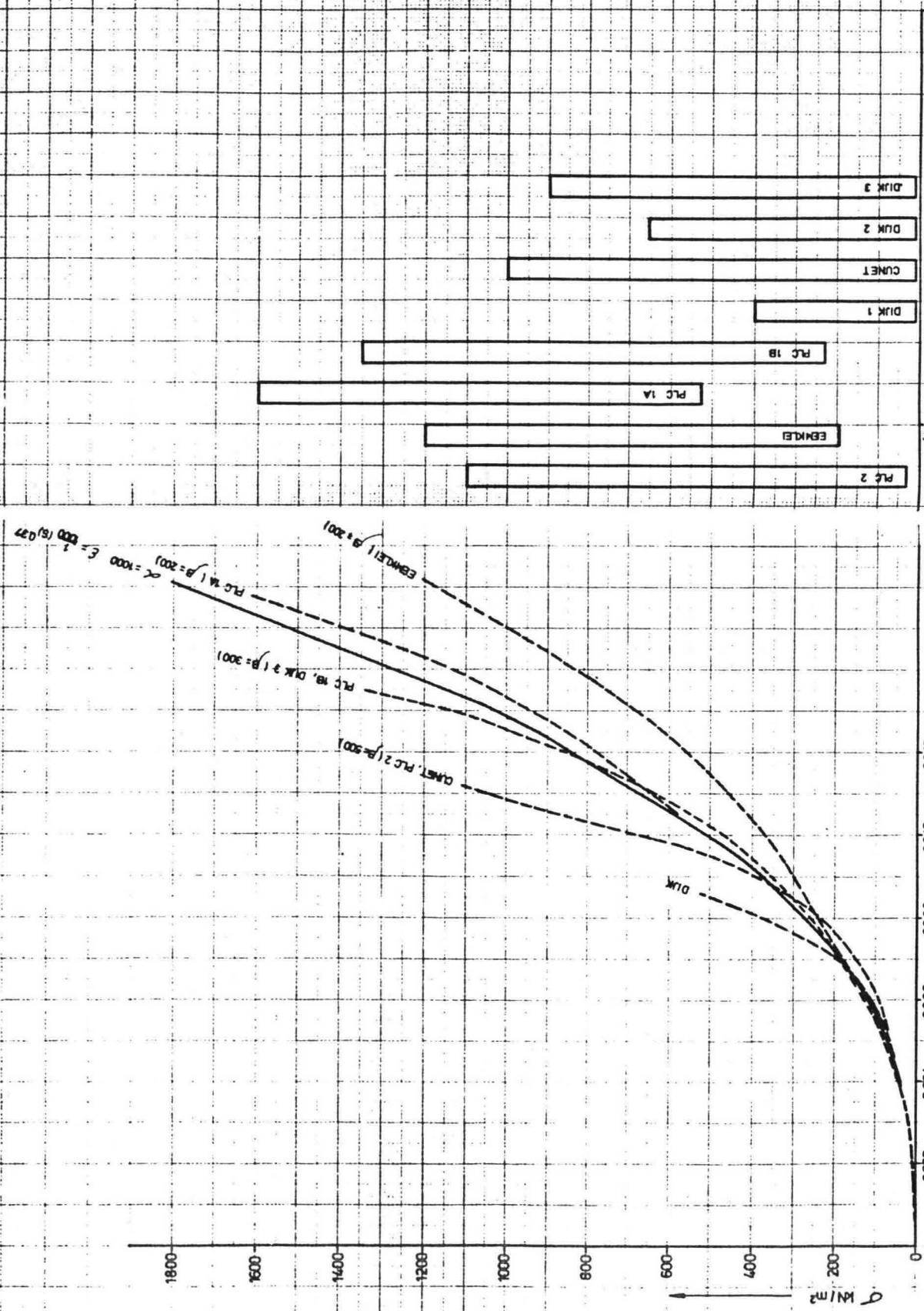
PLEISTOCEN ZAND
 E-WAARDEN t.o.v. σ_i oorspr.
 berekend uit triaxiaalproeven
 met $n = 37\%$

LABORATORIUM VOOR GRONDMECHANICA TE DELFT.

KABELBAAN OOSTERSCHELDE.
 LABORATORIUMONDERZOEK E-WAARDEN
 VERLOOP E t.b.v. BEREKENINGEN

		BIJL. I - 16
		CO*
A4	233	17684-9-

Bijlage 3.



PAC IJSELMEER

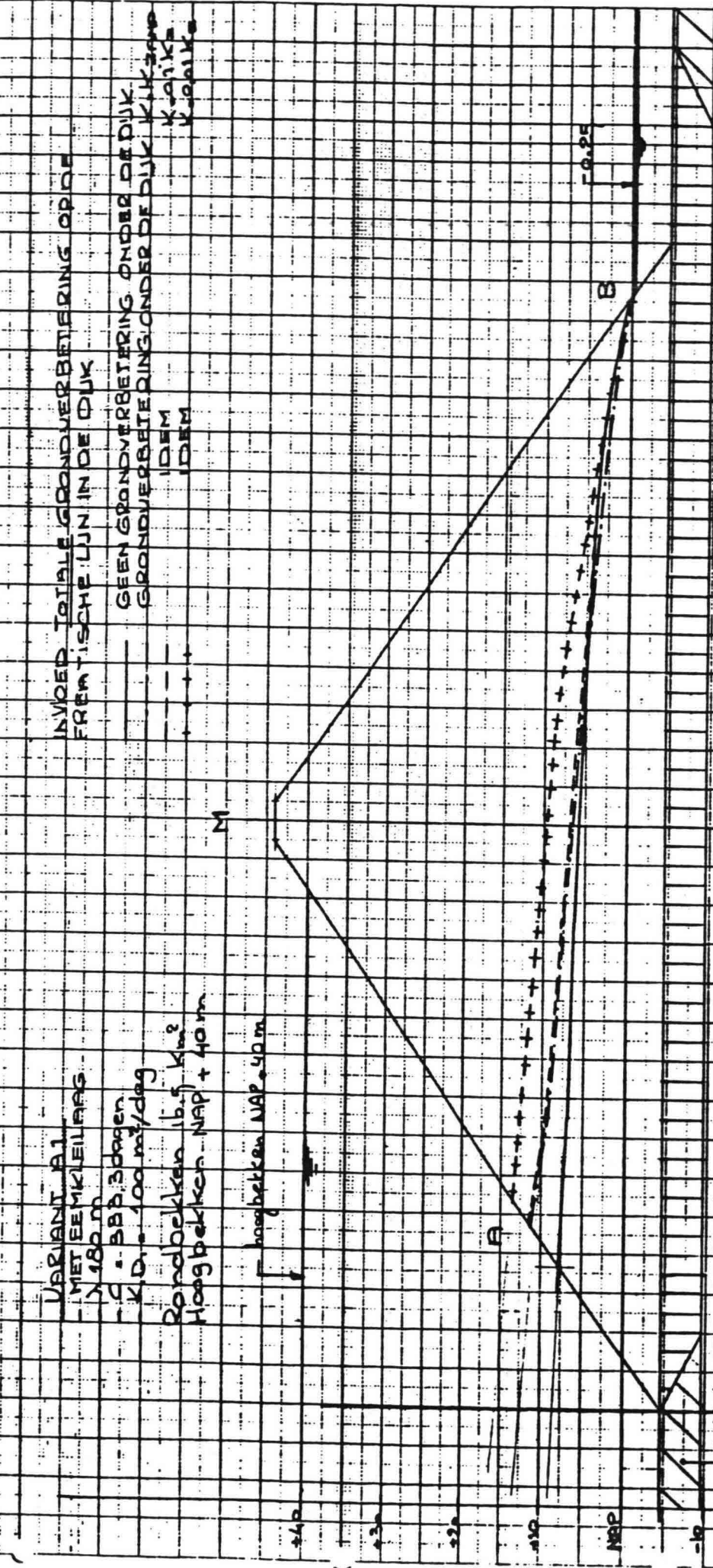
VARIANT A1
 - MET EEMKLEIWAAS
 - 180 m
 - C = 55 B 3 dagen
 - K.D. = 100 m/dag

Rondbekken 16,5 km²
 Hoogbekken NAP + 40 m

INVOER TOTALE GRONDVERBETERING OP DE
 FREATISCHE LIJN IN DE DIJK

— GEEN GRONDVERBETERING ONDER DE DIJK
 - - - - - IDEM
 + + + + + IDEM
 * * * * * KALK
 * * * * * KALK

A (12)

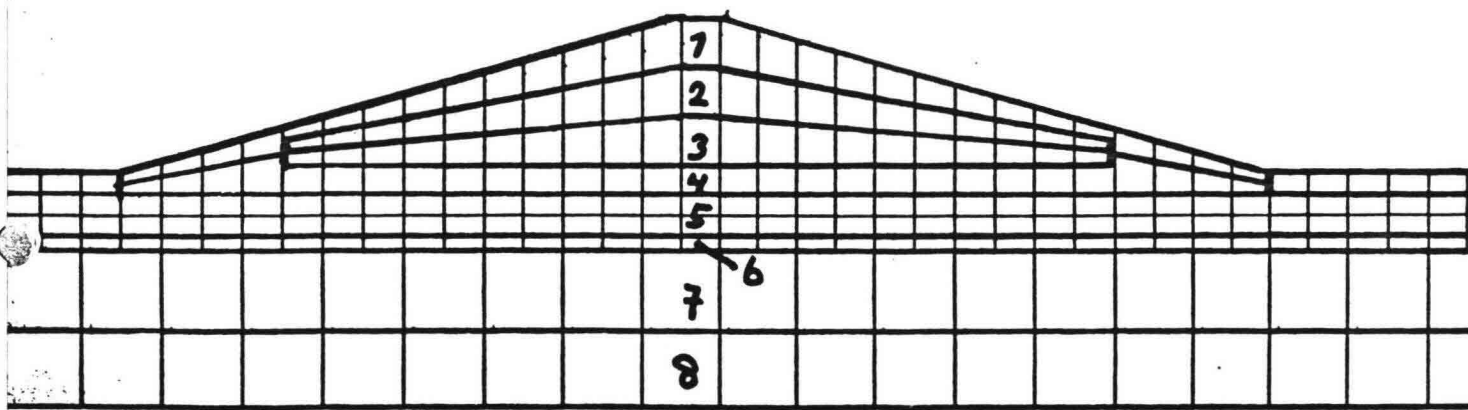


100 150 200 250 300 350
 afstand uitteem (m)

UITTREPUNT	
M (m)	B (m)
+5,75	+0,25
+5,83	+0,25
+5,98	NAP
+6,55	NAP

hoogte freat. lijn onder belasting	
M (m)	B (m)
+11,84	
+11,99	
+11,53	
+11,55	

Bijlagen
 Freatische lijn



Onderverdeling mesh in grondlagen

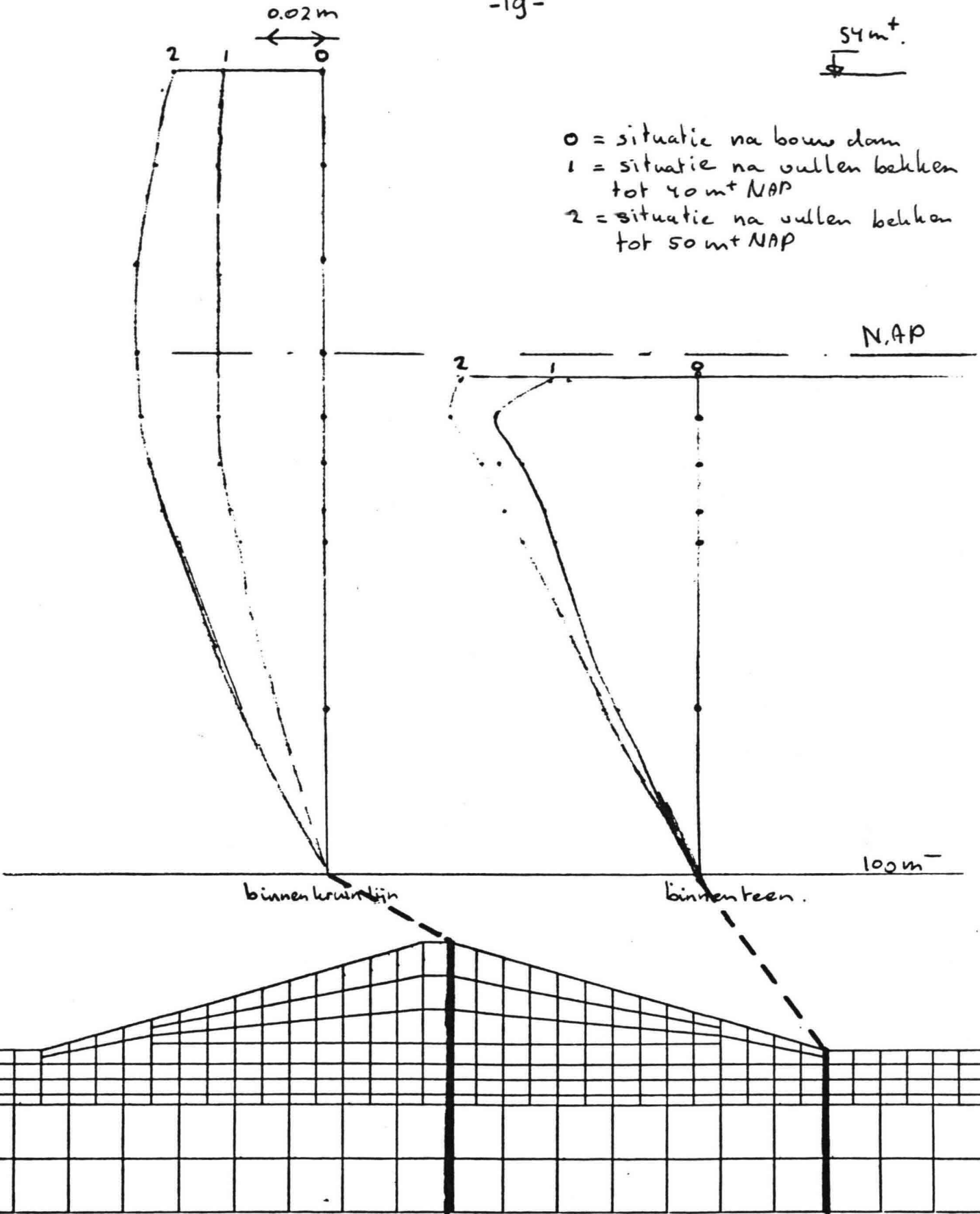
- 1 dijk 1
- 2 dijk 2
- 3 dijk 2
- 4 cunet

- 5 PLC 2
- 6 EEMKLEI
- 7 PLC 1 B
- 8 PLC 1 A

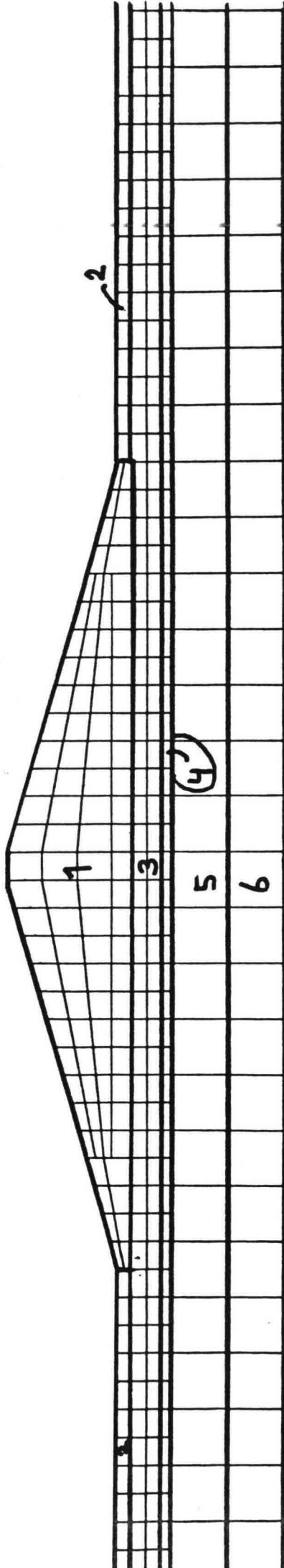
Bijlage 6

54m⁺

0.02m

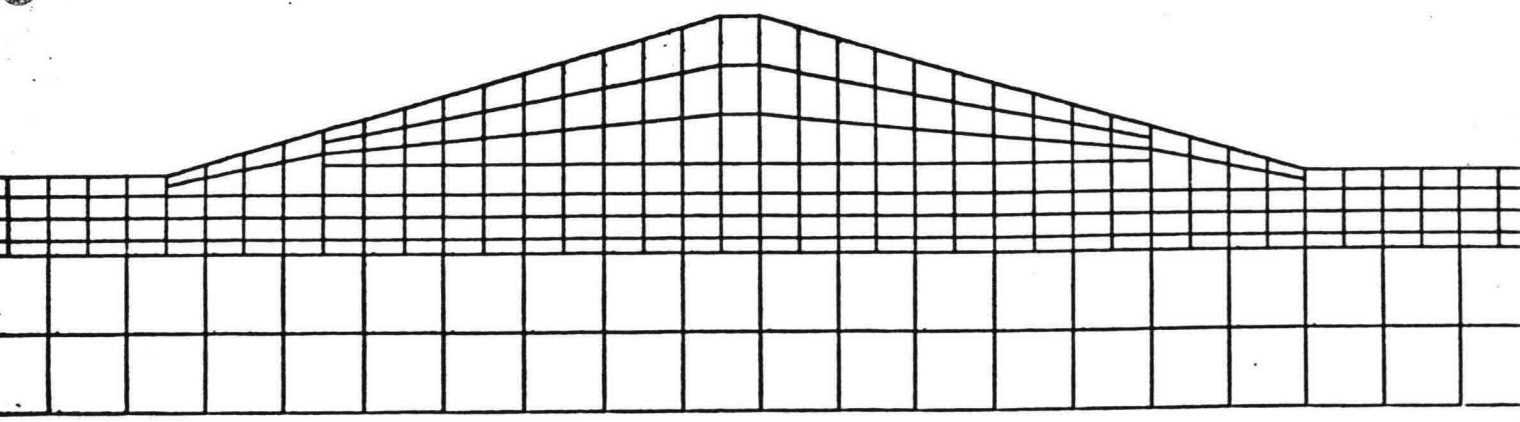
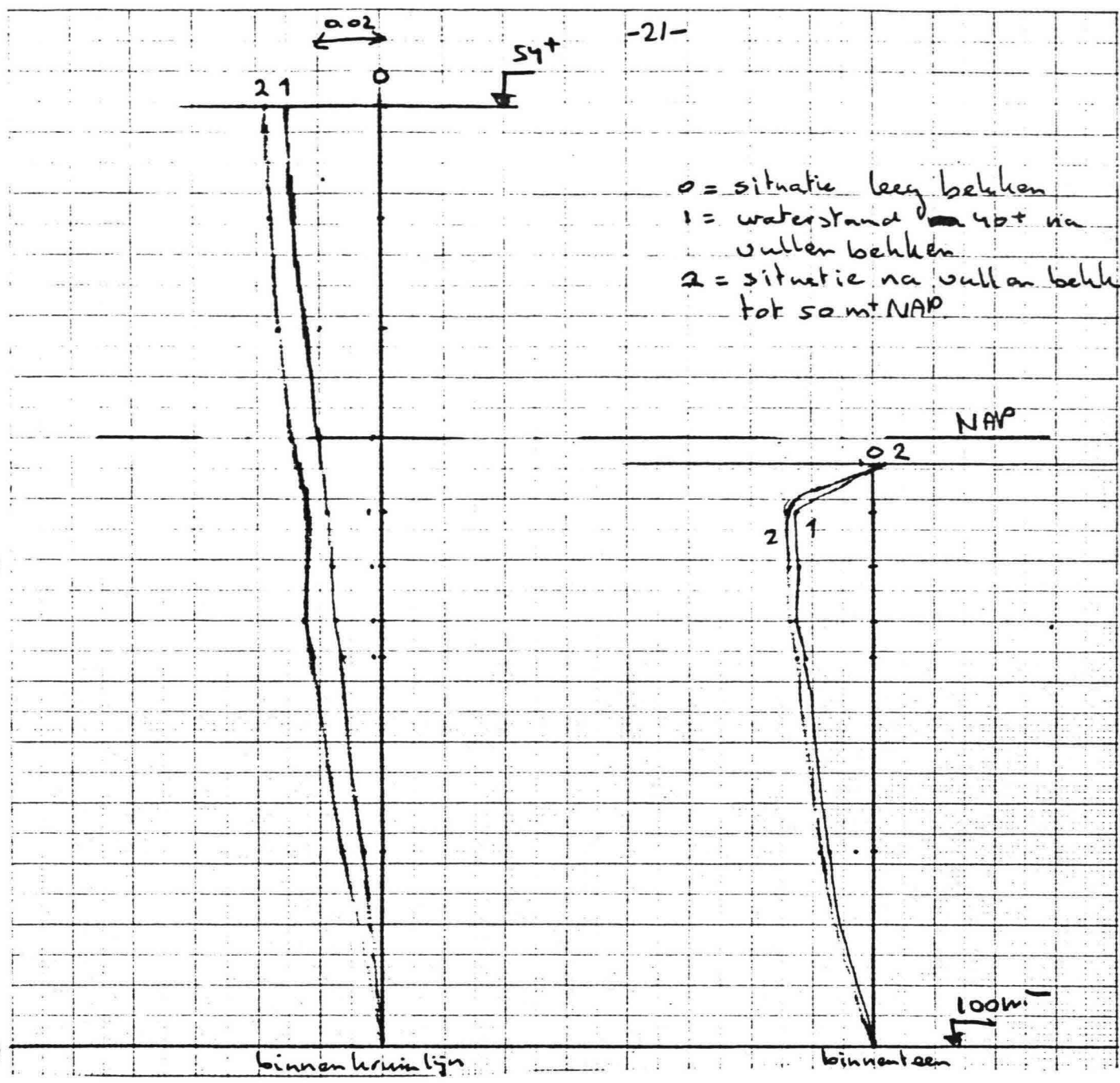


Deformatie binnenkruinlijn en binnenteenlijn. Horizontaal
 lineair elastisch berekening.
 Ewaarden zie bijlage 8

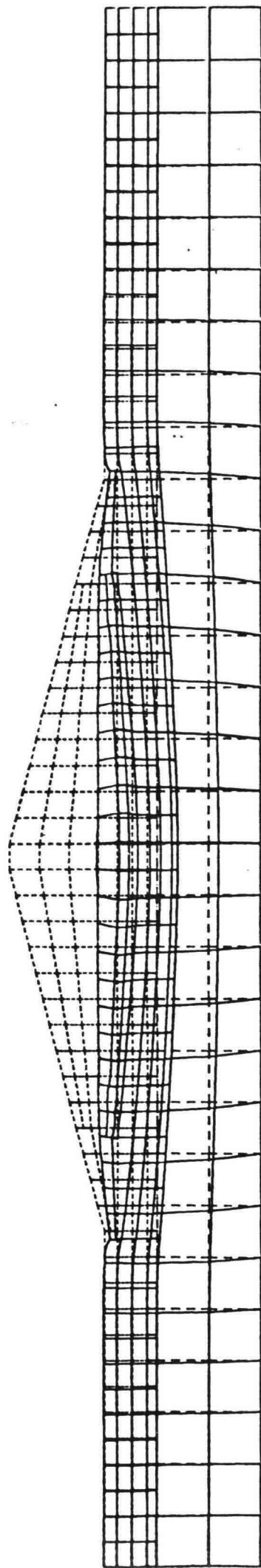


- Laag 1: 80.000 kN/m²
- Laag 2: 1.000 kN/m²
- Laag 3: 100.000 kN/m²
- Laag 4: 80.000 kN/m²
- Laag 5: 120.000 kN/m²
- Laag 6: 150.000 kN/m²

Elasticiteit analyse behouwd bij
 linear-elastische (formatie berekening)



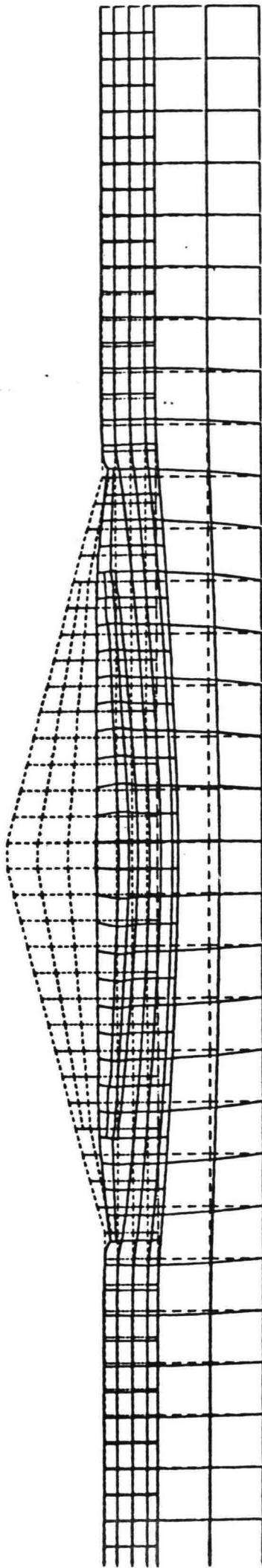
Deformatie binnen kruinlijn en binnenwaartslijn. Horizontaal
 Niet-lineaire berekening (B waarden volgens) bijlage 4.
 Bilans g RIJP-KOP



Deformatie mesh

STEP 2 eigen gewicht dam

DISPL.
 MAG. FAC TOR = +4 .7E+01
 SOLID LI NES - DI SPLACED MESH
 DASHED L INES - 0 RIGINAL MESH



Deformatie mesh

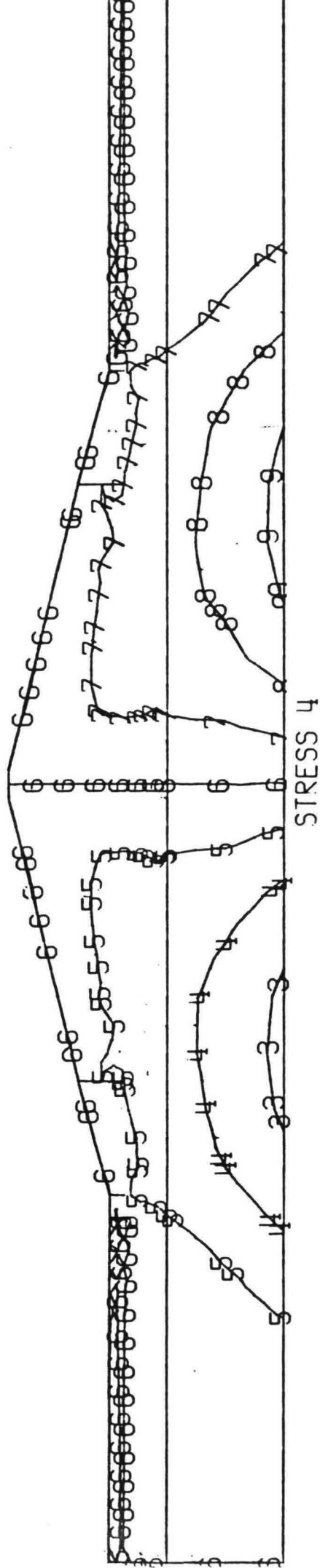
STEP 2 eigen gewicht dam

DISPL.

MAG. FAC TOR = +4 .7E+01

SOLID LINES - DISPLAYED MESH

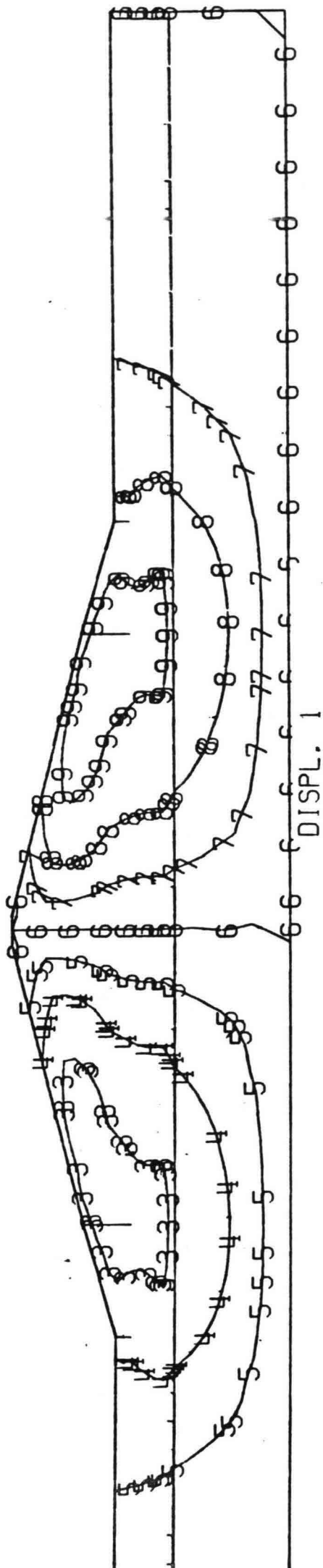
DASHED LINES - ORIGINAL MESH



STRESS 4

I.D.	VAL	UE
1	-2.00	E+02
2	-1.60	E+02
3	-1.20	E+02
4	-8.00	E+01
5	-4.00	E+01
6	+0.00	E-00
7	+4.00	E+01
8	+8.00	E+01
9	+1.20	E+02

STEP 2 eigen gewicht dam
Schneidspanningslijnen in kN/m²

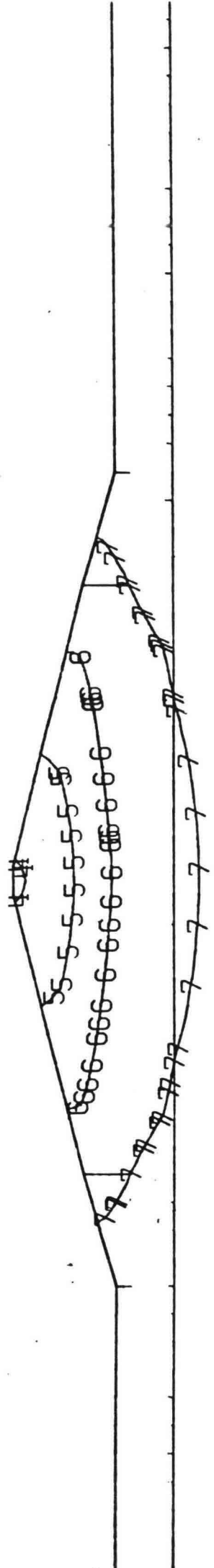


I.D. VAL UE

- 1 -2.00 E-01
- 2 -1.60 E-01
- 3 -1.20 E-01
- 4 -8.00 E-02
- 5 -4.00 E-02
- 6 +6.66 E-16
- 7 +4.00 E-02
- 8 +8.00 E-02
- 9 +1.20 E-01
- 10 +1.60 E-01

STEP 2 eigen gewicht dam

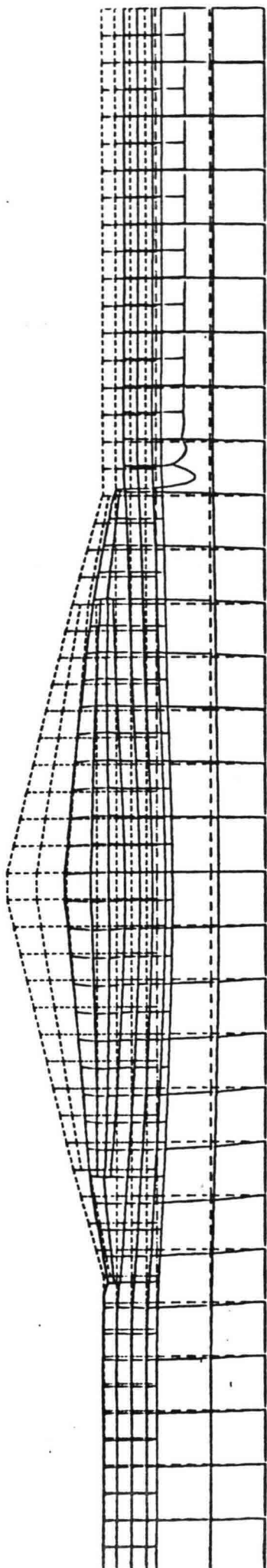
lijnen van gelijke horizontale deformatie
in meters



DISPL. 2

I.D.	VAL	UE
1	-2.00	E+00
2	-1.70	E+00
3	-1.40	E+00
4	-1.10	E+00
5	-8.00	E-01
6	-5.00	E-01
7	-2.00	E-01
8	+1.00	E-01
9	+4.00	E-01
10	+7.00	E-01

STEP 2 eigen gewicht clam
lijnen van gelijke verticale deformatie
 in meters



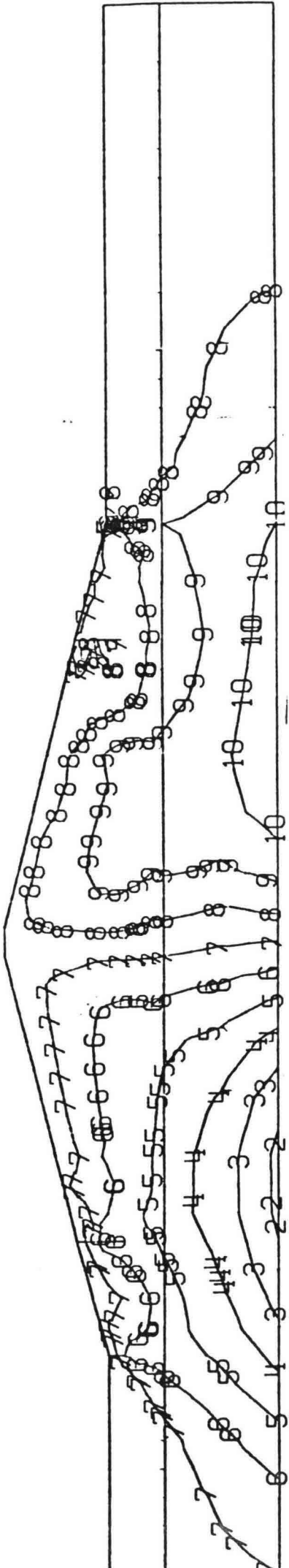
STEP 3.

WATER STAND 40 M

Deformatie van de Mesh.

DISPL.
 MAG. FAC TOR = +2 .9E+01
 SOLID LI NES - DI SPLACED MESH
 DASHED L INES - 0 RIGINAL MESH

Bylage 14



STRESS 4

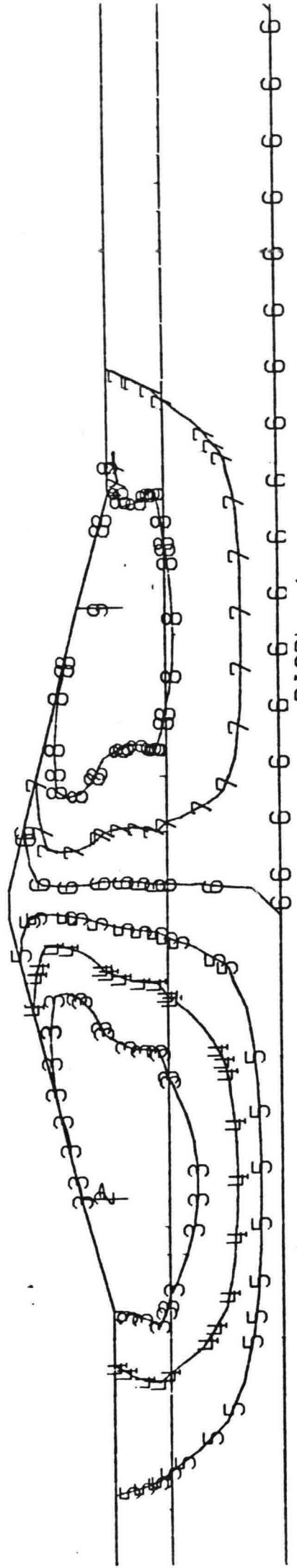
I.D. VAL UE

- 1 -2.00 E+02
- 2 -1.70 E+02
- 3 -1.40 E+02
- 4 -1.10 E+02
- 5 -8.00 E+01
- 6 -5.00 E+01
- 7 -2.00 E+01
- 8 +1.00 E+01

STEP 3

WATER STAND 40 M

Schuijspanningslijnen in kN/m²



DISPL. 1

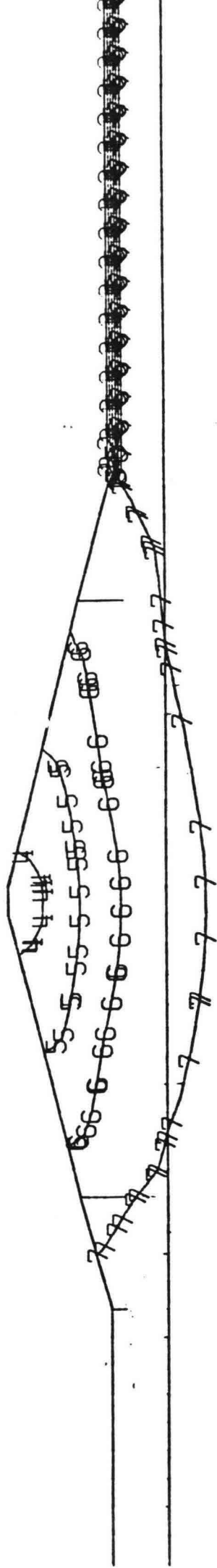
I.D. VAL UE

- 1 -2.00 E-01
- 2 -1.60 E-01
- 3 -1.20 E-01
- 4 -8.00 E-02
- 5 -4.00 E-02
- 6 +6.66 E-16
- 7 +4.00 E-02
- 8 +8.00 E-02
- 9 +1.20 E-01
- 10 +1.60 E-01

STEP 3
 WATER STAND 40 M

lijnen van gelijke horizontale deformatie
 in meters

Bilbage 16



DISPL. 2

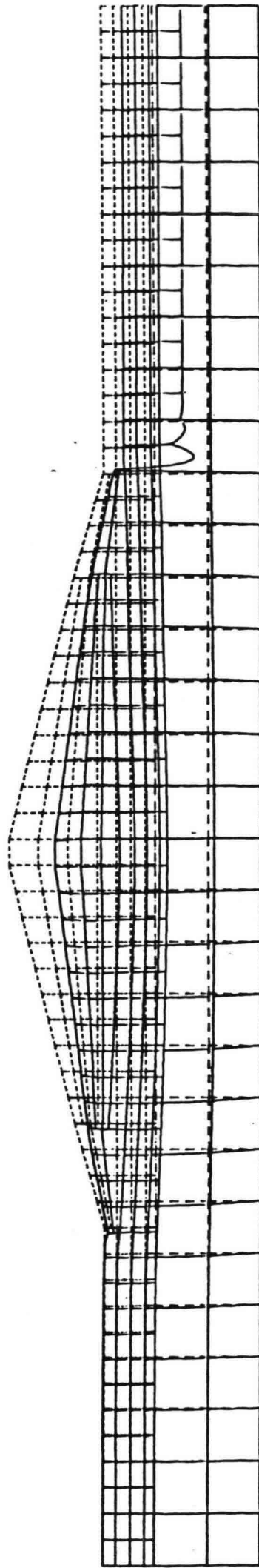
I.D. VAL UE

1	-2.00	E+00
2	-1.70	E+00
3	-1.40	E+00
4	-1.10	E+00
5	-8.00	E-01
6	-5.00	E-01
7	-2.00	E-01
8	+1.00	E-01
9

STEP 3

WATER STAND 40 M

lijnen van gelijke verticale deformatie
in meters



STEP 4
WATER STAND 50 M

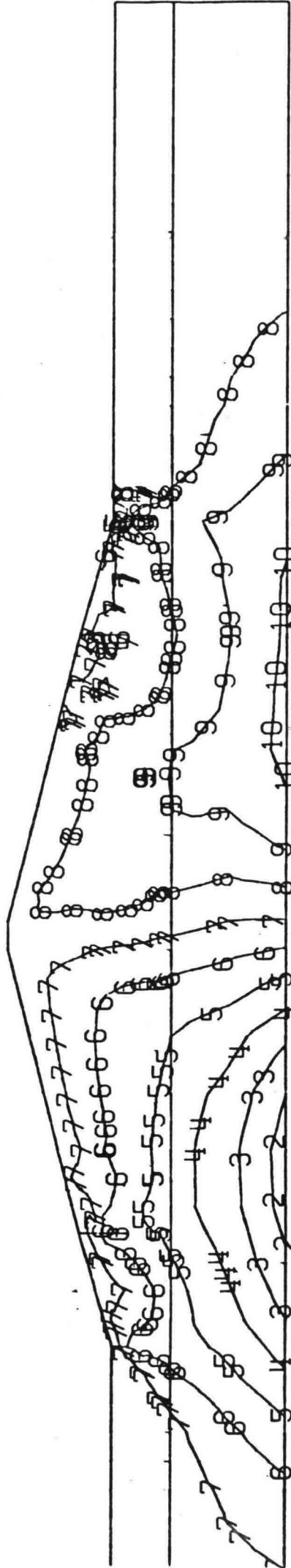
deformatie van de mesh

DISPL.

MAG. FAC TOR = +2 .3E+01

SOLID LI NES - DI SPLACED MESH

DASHED L INES - 0 RIGINAL MESH



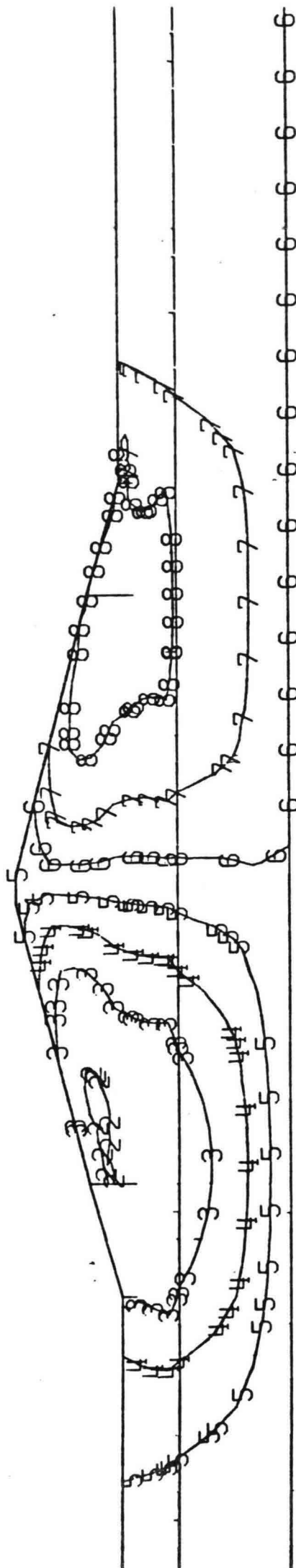
I.D. VAL UE

- 1 -2.00 E+02
- 2 -1.70 E+02
- 3 -1.40 E+02
- 4 -1.10 E+02
- 5 -8.00 E+01
- 6 -5.00 E+01
- 7 -2.00 E+01
- 8 +1.00 E+01
- 9 +4.00 E+01
- 10 +7.00 E+01

STEP 4
 WATER STAND 50 M

Schweifspanningslijnen in kM/m²

Bladz. 19



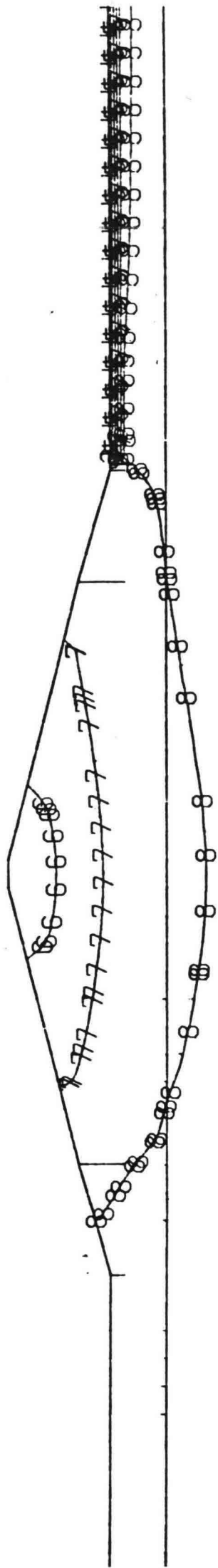
DISPL. 1

I.D. VAL UE

1	-2.00	E-01
2	-1.60	E-01
3	-1.20	E-01
4	-8.00	E-02
5	-4.00	E-02
6	+6.66	E-16
7	+4.00	E-02
8	+8.00	E-02
9	+1.20	E-01
10	+1.60	E-01
11	+2.00	E-01

STEP 4
WATER STAND 50 M

lijnen van gelijke horizontale deformatie
in meters



STEP 4
WATER STAND 50 M

Lijnen van gelijke verticale deformatie.
in meters

DISPL. 2	I.D. VAL UE
1	-3.00 E+00
2	-2.60 E+00
3	-2.20 E+00
4	-1.80 E+00
5	-1.40 E+00
6	-1.00 E+00
7	-6.00 E-01
8	-2.00 E-01
9	+2.00 E-01
10	+6.00 E-01

PAC DPG2

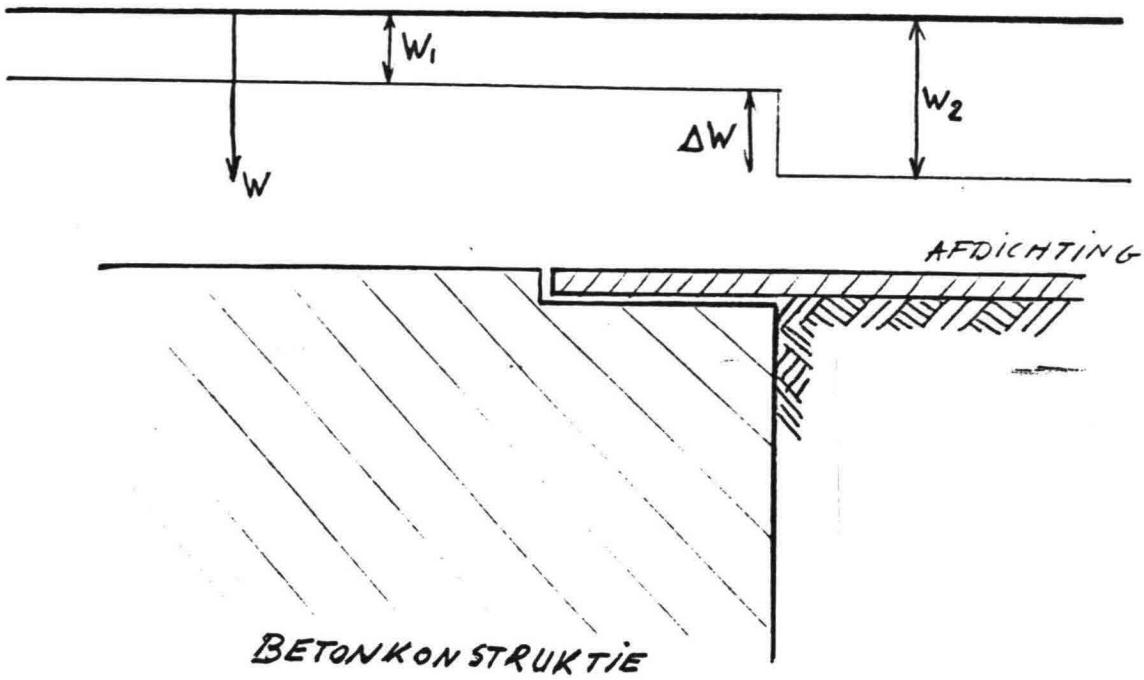
auteur: H. Roos

Aansluitproblematiek

- Probleemstelling: Op al die plaatsen waar zich diskontinuiteiten voordoen in de afdichtingskonstruktie zal men voorzieningen moeten treffen om ook hier een afdichting te realiseren die onder invloed van de aspecten, die samenhangen met deze diskontinuiteiten, zijn functie blijft vervullen.
- De plaatsen waar diskontinuiteiten optreden zijn:
 - . kruinelementen
 - . inlaatwerken
 - . overgangen van verticale naar horizontale resp. hellende afdichtingen
 - . variaties in de ondergrond.
- De aspecten die met deze diskontinuiteiten samenhangen zijn:
 - . "Hechtings"-problemen: op die plaatsen waar twee verschillende soorten materialen op elkaar aan moeten sluiten moet deze aansluiting tot stand gebracht worden met een t.o.v. beide materialen "compatible" materiaal, tenzij de twee materialen t.o.v. elkaar "compatible" zijn. Met compatible wordt bedoeld dat op het contactvlak een acceptabele waterdichtheid ontstaat.
 - . Zettingsverschillen: vooral op die plaatsen waar de afdichting moet aansluiten op dieper gefundeerde starre konstrukties treden zettingsverschillen op (fig. 1); ook variaties in de ondergrond, hetzij veroorzaakt door de aard van de ondergrond hetzij veroorzaakt door een afwijkende wijze van aanbrengen of verdichten, kunnen aanleiding zijn tot zettingsverschillen (fig. 2).
 - . De aansluitkonstruktie kenmerkt zich door:
 - het materiaal
 - de afmeting
 - de vorm.
- De keuze van het materiaal wordt bepaald door:
 - . de mate van ondoorlatendheid van het materiaal
 - . de "compatibility", ofwel welke mate van ondoorlatendheid mag men verwachten op het contactvlak tussen beide materialen.
 - . de flexibiliteit en de vervormingscapaciteit in relatie tot de verwachte zettingsverschillen, hierbij moet men zich er rekenschap van geven dat de vervormingen in de regel relatief langzaam verlopen, zodat ook het materiaal van de aansluiting de tijd heeft om te volgen. Men moet zich realiseren dat de deformaties ook een cyclisch (dagelijks vullen en legen) karakter kunnen hebben.
 - . het relaxatievermogen; bij voorkeur dient een materiaal toegepast te worden dat in de eindtoestand spanningsloos is.
 - . "self-healing"; onder invloed van de belasting (waterdruk) moet het materiaal het liefst terugkeren in een situatie van optimale waterdichtheid

- . uitvoeringsmogelijkheid en geschiktheid voor onderhoud en eventuele reparatie, zowel boven water als onder water.
- Bij het vaststellen van de afmetingen en de vorm van de aansluiting gelden de volgende overwegingen.
 - . De afmetingen zijn bepalend voor de vervormingscapaciteit, derhalve is het noodzakelijk een zo nauwkeurig mogelijke afschatting te geven van de te verwachten deformatie-verschillen.
 - . Het is zaak de aansluitingen met voldoende overlapping uit te voeren en wel zodanig dat de aanwezige waterdruk de aansluiting gesloten houdt.
 - . De vorm moet zo gekozen worden dat de overgangen zo vloeiend mogelijk verlopen, zonder scherpe knikken op de overgangen.
 - . De vorm en afmetingen moeten de aansluitconstructie in staat stellen om de optredende deformatie-verschillen te spreiden en concentratie te vermijden (zie fig. 3).
 - . Vorm en afmetingen moeten ook zo gedimensioneerd worden dat uitvoering, inspectie en onderhoud mogelijk blijven.

Zaltbommel, juni 1985



BETONKONSTRUKTIE

AFDICHTING

FIG. 1.

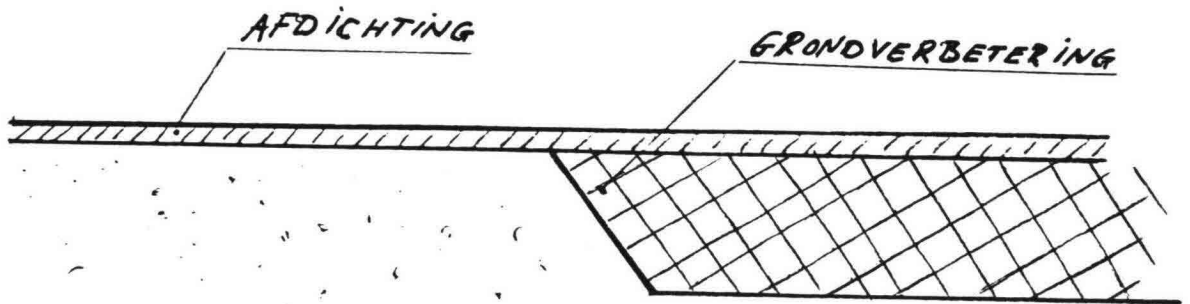


FIG. 2.

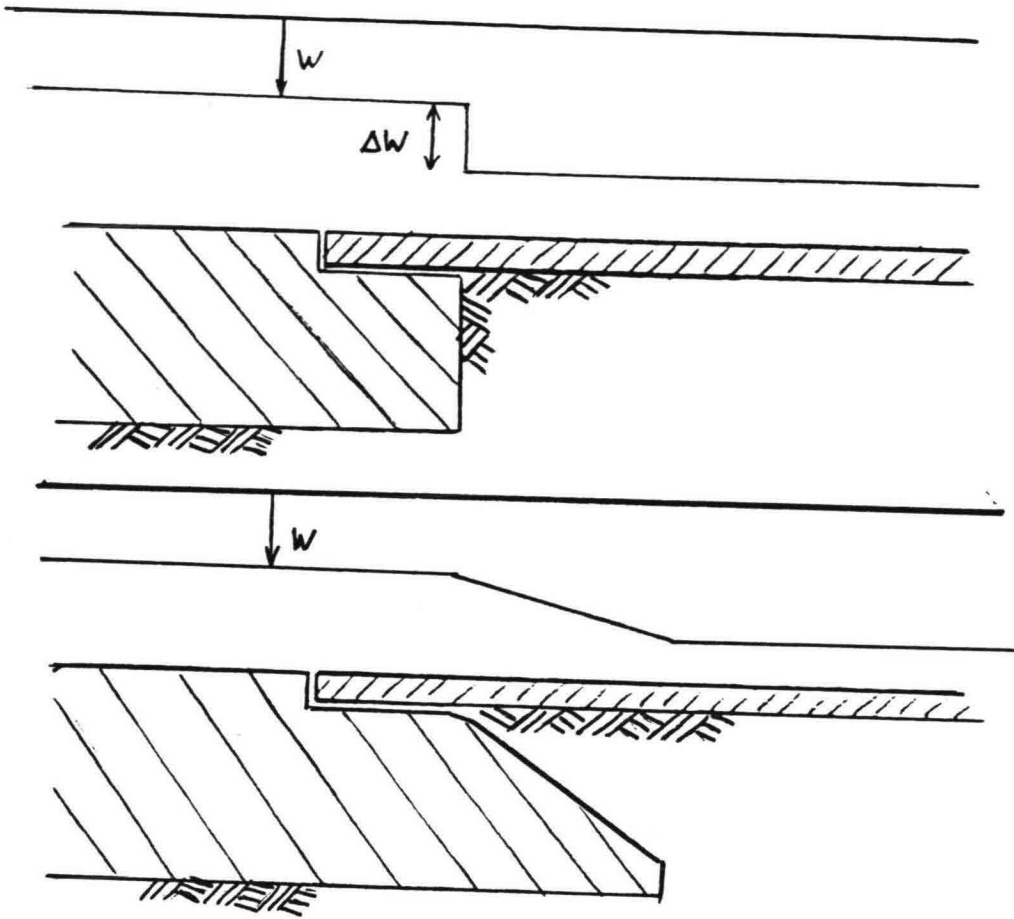


FIG. 3.
GECONCENTREERDE VERSCHILZETTINGEN
VERMÏDEN

H. Roos
10 juni 1985

PAC2-N-311
Bijlage 26
bij PAC2-N-334

Gedrag bitumineuze afdichtingsmaterialen onder vorstomstandigheden

1. Mogelijke schade-mechanismen

- a. "Stukvriezen"
- b. Aanvriezen
- c. Opvriezen
- d. Opdooien
- e. Impact van ijsschotsen

ad a. "Stukvriezen"

Bij dit mechanisme moet men zich voorstellen dat water, dat zich in de poriën van het materiaal bevindt, bij het bevriezen een volume-toename ondergaat. Hierdoor worden op het afdichtingsmateriaal inwendige belastingen uitgeoefend.

Bij het materiaal asfaltbeton is het holle-ruimte percentage zo gering (bij afdichtingen 3% (v/v)) dat dit verschijnsel noch in de praktijk noch bij vries-dooi proeven geconstateerd is.

Hierbij speelt waarschijnlijk ook een rol dat het hier gaat om een visco-elastisch materiaal dat bij het relatief langzame bevriezen visceus reageert en zo in staat is deze opgelegde vervorming zonder extreme spanningen te ondergaan.

Oppervlakte-(haar)scheurtjes worden dichtgemaakt door het toepassen van een zgn. "seal-coat", meestal in de vorm van een mastiek of een emulsie teneinde een zo gesloten mogelijk oppervlak te creëren.

ad b. Aanvriezen

Bij de vorming van een ijslaag op het bekken zal deze ook vastvriezen aan de asfaltbetondichting. Bij het dalen of rijzen van de waterspiegel zal op de verbinding tussen ijs en asfalt een belasting worden uitgeoefend. In het geval dat het ijs zelf onder deze belasting niet bezwijkt, zal het van de aanvriessterkte c.q. de adhesie tussen ijs en asfalt afhangen of bezwijken optreedt op het grensvlak tussen ijs en asfalt, of dat de belasting de bezwijkspanning van het asfalt overschrijdt.

Cijfers over deze aanvriessterkte zijn voor wat betreft asfalt voor zover bekend in de literatuur niet aanwezig.

Wel is in het kader van de off-shore technologie t.b.v. de exploratie en exploitatie van aardolievelden in het arctisch gebied onderzoek gedaan naar de aanvriessterkte van ijs aan diverse andere constructiematerialen.

Een overzicht van de resultaten van enkele van deze onderzoeken is gegeven in onderstaande tabel.

Materiaal	Adhesie (MPa)
Staal	0,19 - 0,47
Beton	0,31 - 0,48
Hout	0,28 - 0,38
Polyamide	0,09 - 0,17
PVC	0,11 - 0,20
PE	0,09 - 0,17
Diverse coatings	0,02 - 0,44

(lit. 1. en lit. 2)

In het algemeen kan gesteld worden dat hoe ruwer het oppervlak hoe groter de adhesie.

Daarnaast is ook gebleken dat de adhesie toeneemt (ofschoon weinig) met de daling van de temperatuur.

Men zou de oppervlakte-structuur van asfaltbeton kunnen vergelijken met die van cement beton. Uit de tabel blijkt dat de adhesie hiervoor ligt tussen 0,3 en 0,5 MPa. De bezwijkspanning van asfaltbeton ligt tussen 2 en 8 MPa (lit. 3). Dit betekent een verhouding tussen bezwijkspanning en adhesie die ligt tussen 4 en 25.

Verder is de belasting afhankelijk van de hoogte waarover het ijs aan het asfalt is vastgevroren, in verhouding tot de dikte van het asfalt. Gezien het, bij normaal bedrijf, dagelijks variëren van de waterstand zal deze hoogte relatief gering blijven.

In de praktijk komt daar nog bij dat in vrijwel alle gevallen het asfaltbeton voorzien wordt van eeder genoemde seal-coat. Deze veroorzaakt een gladder oppervlak, waardoor wel aanvriezen maar geen invriezen optreedt en zodoende een adhesie die lager is dan aangenomen.

ad c. Opvriezen

Wanneer het water in verzadigde grond befrist gaat dit gepaard met een volume verandering van het water van ca 10%.

Bij een poriëngehalte van 40% zou dit voor iedere 10 cm vorst-indringing een omhoogkomen van 0,4 cm betekenen.

Afhankelijk van het type bodemmateriaal kan deze opheffing aanzienlijk meer zijn. Dit wordt veroorzaakt door het ontstaan van ijslenzen van zuiver ijs.

Dit fenomeen treedt op bij grondsoorten die als vorstgevoelig worden gekarakteriseerd, dit zijn grondsoorten met een relatief groot aantal korrels tussen 50 en 2×10^{-6} m, zoals zeer fijne zanden, leem, löss, zandige klei.

Deze grondsoorten hebben de eigenschap dat zij bij bevriezen van het poriewater van onder af water aanzuigen, waardoor in feite het watergehalte van de grond tijdens het bevriezen toeneemt, met als gevolg de extra volumetoename.

Het is dus zaak om direkt onder de afdichting over de hoogte van de te verwachten vorstindringing te zorgen voor vorst-ongevoelig materiaal.

Van opvriezen is vanzelfsprekend alleen sprake als de freatische lijn hoog ligt ten opzichte van het bekkenpeil en de vorstindringing, zodat het poriewater ook daadwerkelijk befrist.

Op de plaats waar de freatische lijn het talud snijdt (intreepunt) zal, wanneer hier in de uitzonderlijke situatie befristing van het poriewater optreedt, geen hoogteverschil door opvriezen optreden tussen de grond onder en die boven de freatische lijn omdat het water hier door het befristende water kan worden weggeperst.

ad d. Opdooien

Ook dit treedt alleen op bij vorstgevoelige grondsoorten. De toename van het watergehalte zoals beschreven bij opvriezen leidt tot oververzadiging van de bovenste laag grond bij het dooien van het ijs, vooral wanneer er onvoldoende drainage capaciteit is. Vooral bij wegdekken leidt dit tot schade wanneer zij in deze toestand bereden worden.

ad e. Impact ijsschotsen

Zie notitie PAC 2-N-277

2. Praktijkervaringen

- . Van de door ICOLD in 1982 geïnterpreteerde asfaltbeton-dichtingen van dammen en reservoirs (Bulletin 32a) lagen er van de in het totaal 129 projekten 32 tussen 1000 en 2000 m, 5 tussen 2000 en 3000 m en 3 op meer dan 3000 m boven de zeespiegel. Van schade door vorst wordt geen melding gemaakt.
- . Van Asbeck
Proefconstructie bij Obernach (Beieren) in 1932. Asfaltbeton dikte van 2 tot 4,5 cm, talud 1:2. Temperaturen tot -30°C . In de winter stond de constructie niet alleen bloot aan het effect van een dikke ijslaag die zich op het water had gevormd maar ook, nadat dit ijs gebroken was, aan het effect van drijvende ijsschotsen. Geen schade geconstateerd.
- . Van Asbeck, Genkel-dam (W-Duitsland) Bouwjaar 1952 (fig. 1.). In de winter van 52/53 was het stuwmeer bedekt met een dikke laag ijs. Ten gevolge van drinkwater behoefte daalde het peil in februari 1953. Inspectie na de dooi toonde dat alleen de dunne seal-coat licht beschadigd was door enkele grote stenen die van de taluds waren losgeraakt en met het smeltend ijs naar beneden waren gesleurd.
- . Van Asbeck, Montgomery-dam (USA)
Bouwjaar 1955-1957 (fig. 2.)
Het reservoir werd gevuld in het voorjaar van 1958 en geleegd in de winter van dat jaar en opnieuw gevuld in juli 1959. Voor het vullen in 1959 is het oppervlak van het asfalt nauwkeurig geïnspecteerd en er werd vastgesteld dat het effect van het ijs verwaarloosbaar was en dat nergens het oppervlak geschaafd of losgetrokken was door het aanhechten van ijs.

Literatuur

1. Oksanen; Friction and adhesion of ice, 7th POAC conferende, 1983
2. Ono and Ozaki; Mechanical properties of adhesion strength to pile structures; 7th POAC conference, 1983.
3. TAW-RWS; Leidraad voor de toepassing van asfalt in de waterbouw, 1984, Den Haag
4. Van Asbeck; Bitumen in Hydraulic Engineering Vol. I and II, 1959 and 1964 London

EXAMPLES OF PRACTICAL APPLICATION

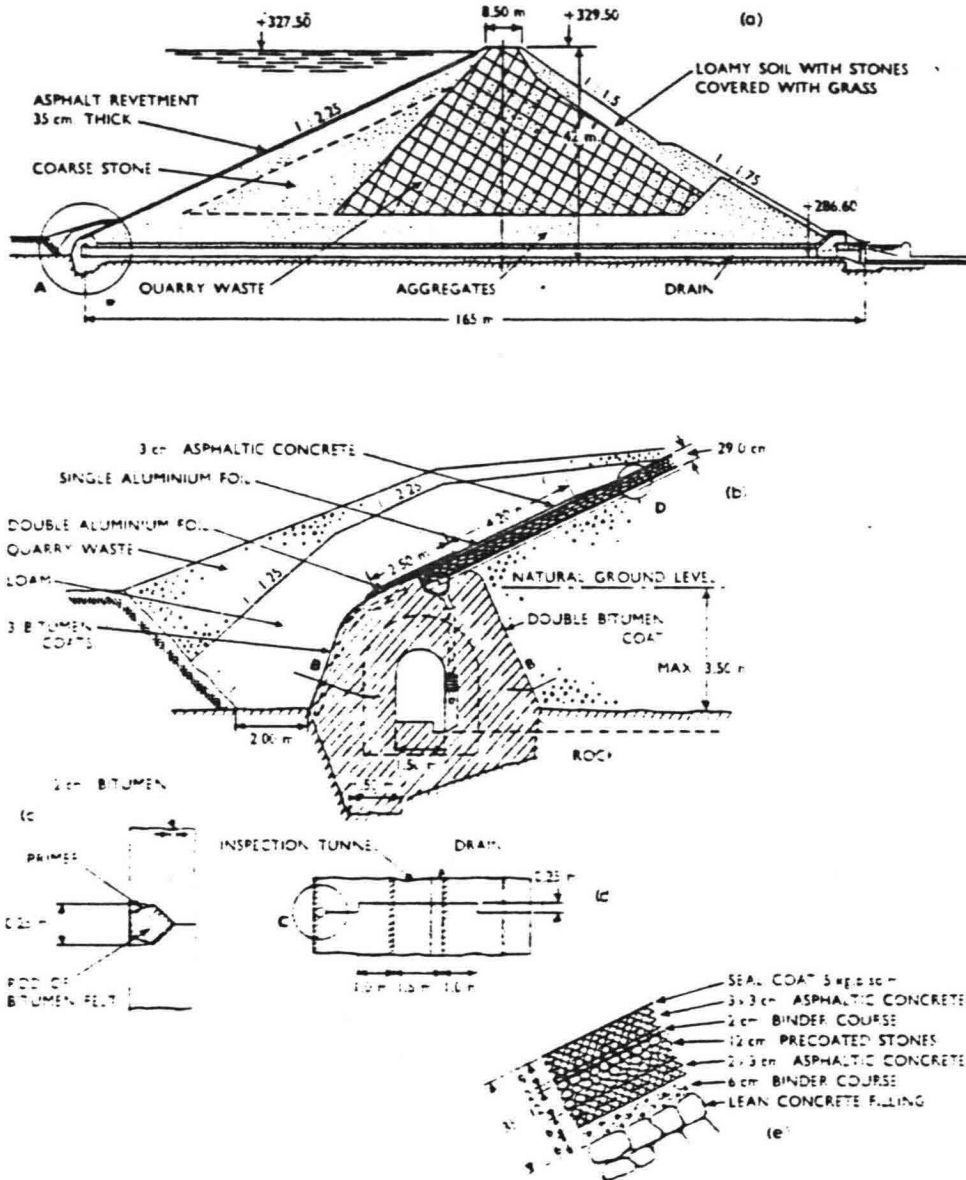


Fig. 100 Genketal dam: (a) cross-section along the axis of the drain; (b) detail A of the cut-off wall; (c) detail C; (d) section B-B; (e) detail D.

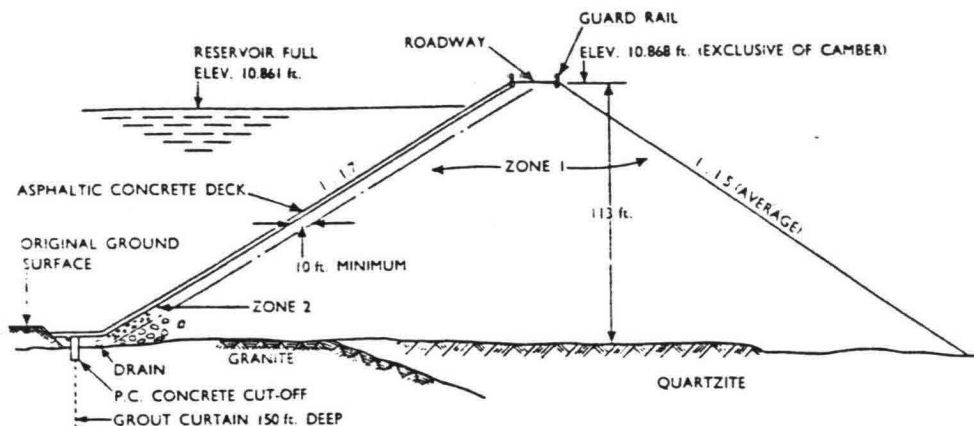


Fig. 2a Main features of the Montgomery dam. Colorado.

EXAMPLES OF PRACTICAL APPLICATION

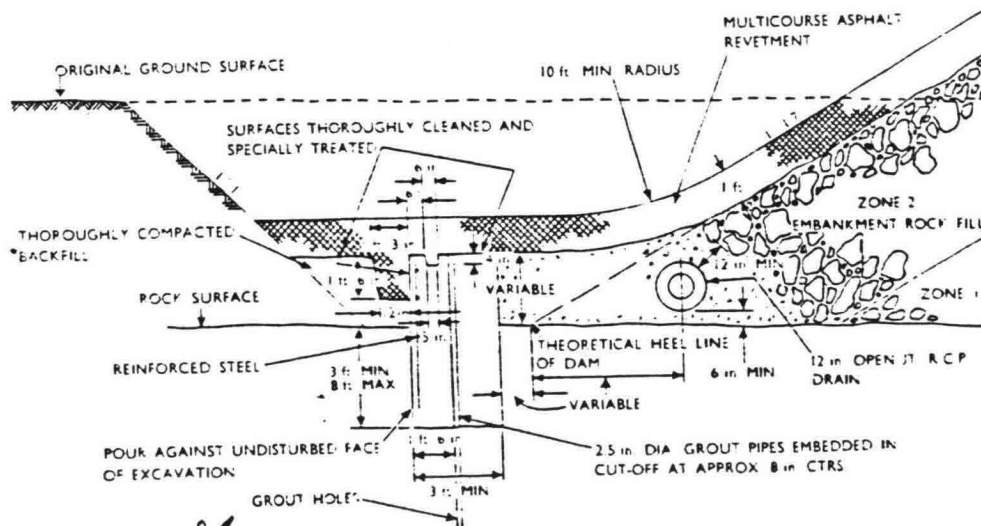


Fig. 2b Diagram illustrating drainage for the Montgomery dam. Colorado.

IJSPROBLEMATIEK

1. IJsvorming en gevolgen

De consequenties van ijsvorming voor de PAC zijn veelzijdig. Allereerst dient het optreden van ijsvorming geprognostiseerd te worden.

Vervolgens heeft ijsvorming tot gevolg: _____

a) IJSbelasting op constructies

In PAC2-N-243 is een oriëntatie betreffende ijsbelastingen weergegeven (concept). Voor een PAC in het IJsselmeer moet gerekend worden op de volgende belastingen (bovengrenzen) aan zowel bekken- als IJsselmeerzijde. Op taluds, horizontale druk = 100 kN/m^1 . Op verticale vlakken, horizontale druk = 200 kN/m^1 . Verticale druk t.g.v. kruiend ijs op de dijk = 50 kN/m^2 , deze is echter sterk afhankelijk van de omgeving van de dijk.

b) Beïnvloeding bedrijfsvoering

Onder vorstomstandigheden kan de bedrijfsvoering worden belemmerd door:

- vastvriezen beweegbare onderdelen
- ijs aangroei; o.a. ook aan eventuele grof vuil roosters. "Frazil ice" (een fenomeen waarbij ijsvlokken in gehele verticaal ontstaan) wordt dan problematisch. Dit zou pleiten voor het weglaten van grof vuil roosters, daarentegen kunnen dan drijvende en zwevende brokken ijs de turbine beschadigen.
- ijsopstapeling, met als gevolg het belemmeren van de beweging van schuiven.

Door DPG3 wordt informatie verzameld, zie ook besprekingsverslag PAC3-V-153.

Bovendien zijn door een afstudeerster van de TH Delft enkele centrales in Canada bezocht. De rapportage daarover volgt nog.

c) Gedrag van materialen en constructie onder ijsomstandigheden

Te denken valt hier met name aan de "waterdichte" bekleding. Het materiaal asfaltbeton is op zich goed ijsresistent. Het gedrag van de constructie (o.a. laag opbouw) wordt nog nader bestudeerd.

2. IJsvorming

Betreffende ijsvorming is met name door Ir. K.W. Pilarczyk (Deltadienst RWS) in het verleden veel werk verzet. Een belangrijke referentie is dan ook nota W-76.033, IJsvorming en ijsbeweging op de "open" Oosterschelde. In deze notitie wordt ingegaan op zowel ijsvorming in zoet water als in zout zeewater. Deze is principieel verschillend.

IJsvorming in zoet water

Zoet water heeft bij 4°C zijn grootste dichtheid; beneden 4°C neemt bij daling van de temperatuur de dichtheid weer af. Is het zoete water stagnant (b.v. in meren) dan zal eerst het water over de volle diepte tot 4°C afkoelen. Bij verdere afkoeling zal dan het oppervlaktewater lichter blijven dan het water in de diepere lagen. Aldus kan aan de oppervlakte ijs ontstaan.

Bij stromend water speelt de turbulentie een grote rol. Hierdoor ontstaan o.m. een uitwisseling in verticale richting. Het water zal dan als regel tot aan de bodem tot het vriespunt zijn afgekoeld alvorens ijs ontstaat.

IJsvorming in zout water

Bij zout water verloopt de ijsvorming in principe anders dan bij zoet water. Wanneer het zoutgehalte 25o/oo of meer bedraagt, wordt het bij afkoeling tot het vriespunt steeds zwaarder.

Het zoutgehalte is hier gedefiniëerd als de totale hoeveelheid stoffen (hoofdzakelijk zouten) in grammen in een kilogram water b.v. een zoutgehalte van 25o/oo is gelijk aan 25 gram stoffen in 1 kg water. Het aan de oppervlakte afgekoelde water zakt naar beneden en het warmere onderwater trekt naar boven, totdat het water over de gehele diepte tot het vriespunt is afgekoeld. Het is dus onmogelijk, dat het oppervlaktewater het vriespunt bereikt zolang het water beneden niet even koud is geworden.

21 mei 1985
Ir. D. Hamer

PAC2-N-295

WINDGOLVEN EN WINDOPZET

50/40 m BEKKEN ZUIDELIJK IJSSELMEER

Notitie betreffende golfhoogte H_g en windopzet, in relatie
met de windrichting voor extreme windsnelheden
($T_p = 10, 100, 1000$ en 1000 jaar)

**PACHUYS
mei 1985
H. Beerda**

Samenvatting

Bij de bepaling van de dijkhoogte zijn o.a. golfhoogte en windopzet van belang.

Golfhoogtes welke gedurende extreme omstandigheden op het bekken optreden, kunnen in feite slechts voorspeld worden met behulp van methoden welke uitgaan van windsnelheden, strijklengte, waterdiepte en tijdsduur. De meest toegepaste is de zogenaamde "Sverdrup-Munk-Brett schneider" methode welke ook in deze berekening is gebruikt.

Lit. 1 Gegevens betreffende de meest belangrijke factor; De windsnelheden zijn verkregen uit; Windklimaat van Nederland van Rijkoord/Wieringa - KNMI.

lit. 2 Gecorrigeerd voor locatie en hoogte ten opzichte van NAP zijn de extreme windsnelheden omgerekend tot golfhoogtes (Hs). Hierbij is gebruik gemaakt van een eenvoudig rekenprogramma gebaseerd op de formules zoals vermeld in "Shore protection manual 1975" - p.3.35/46.

Lit. 3 Het rekenprogramma geeft tevens de te verwachten windopzet. Deze is echter zeer gering, orde enige cm's tijdens extreme omstandigheden.

De richtingsafhankelijkheid van de windsnelheden wordt ondervangen door de windroos in 12 sectoren van 30° elk, op te delen.

Resultaten

De belangrijkste resultaten voor het zogenaamde "50/40 m bekken in het IJsselmeer" zijn gepresenteerd in de tabellen en figuren op de volgende pagina's.

Zoals te verwachten was komen de grootste windsnelheden uit de westelijke sector, dus de grootste aanval op de oostelijke dijkvakken;

max. / min.	wind richting	TP	10	10.000
			(jaar)	(jaar)
max.	270°		1.40	2.33
min.	120°		0.80	1.23

Golfhoogtes H_S in m

(T_p = verwachtingswaarde terugkeerperiode)

Berekeningen

Basis voor de berekeningen zijn de verwachtingswaarden voor de extreme windsnelheden op NAP 10⁺ m te Schiphol, zoals gegeven in Lit. [1] en getabeliseerd in tabel 1, waarbij geëxtrapoleerde waarden zijn verkregen met de "Rijkoort - Weibull" verdeling.

Voor de locatie zuidelijk IJsselmeer kunnen de waarden voor Schiphol gebruikt worden, hetgeen blijkt uit het gewogen gemiddelde van 4 nabijgelegen stations:
(zie figuur 1)

- Kornwerderzand
- Urk
- Lelystad
- Schiphol.

Hoogte correcties

De windsnelheden volgens tabel 1 zijn voor een hoogte van + 10 m en dienen nog gecorrigeerd te worden voor de hoogte t.p.v. het bekken: + 50 m.

Volgens:

$$\frac{U_{50^+}}{U_{10^+}} = \frac{\ln(50/z_0)}{\ln(10/z_0)} \quad (\text{Lit. 1 - p. 50})$$

$$z_0 = 2 * 10^{-4} \quad (\text{p. 59})$$

→ $U_{50^+} = 1.149 * U_{10^+}$

Strijk lengte F

De diameter van het 50/40 bekken is ca 4,82 km op 50⁺ m. Voor de berekeningen resulteert dit gezien de cirkelvorm in een "effectieve" strijk lengte van $0,902 \times 4820 = \underline{4345 \text{ m}}$.

Waterdiepte D

Als bodemniveau is aangehouden - 5 m met als gevolg een waterdiepte van 55 m.

Overigens zijn de uitkomsten van de berekeningen nauwelijks gevoelig voor variaties in de diepte, zoals geïllustreerd in grafiek 3.

Fetch	F = 4000 m	}	->
Wind	V = 40 m/s	}	->

- D = 40 m : H_S = 2.16 m
- D = 70 m : H_S = 2.19 m
- D = 100 m : H_S = 2.20 m

Conclusies en resultaten

Zie aangehechte bijlagen.

Aanbevelingen

De gehanteerde windsnelheden zijn uurgemiddelden, en zoals blijkt uit de berekeningen is het golfveld volledig ontwikkeld na ca. 0,4 - 0,5 uur (kolom: min. duur). Het verdient daarom aanbeveling tevens extreme windsnelheden, gemiddeld over een kortere tijdsduur, 10 tot 20 minuten, te beschouwen.

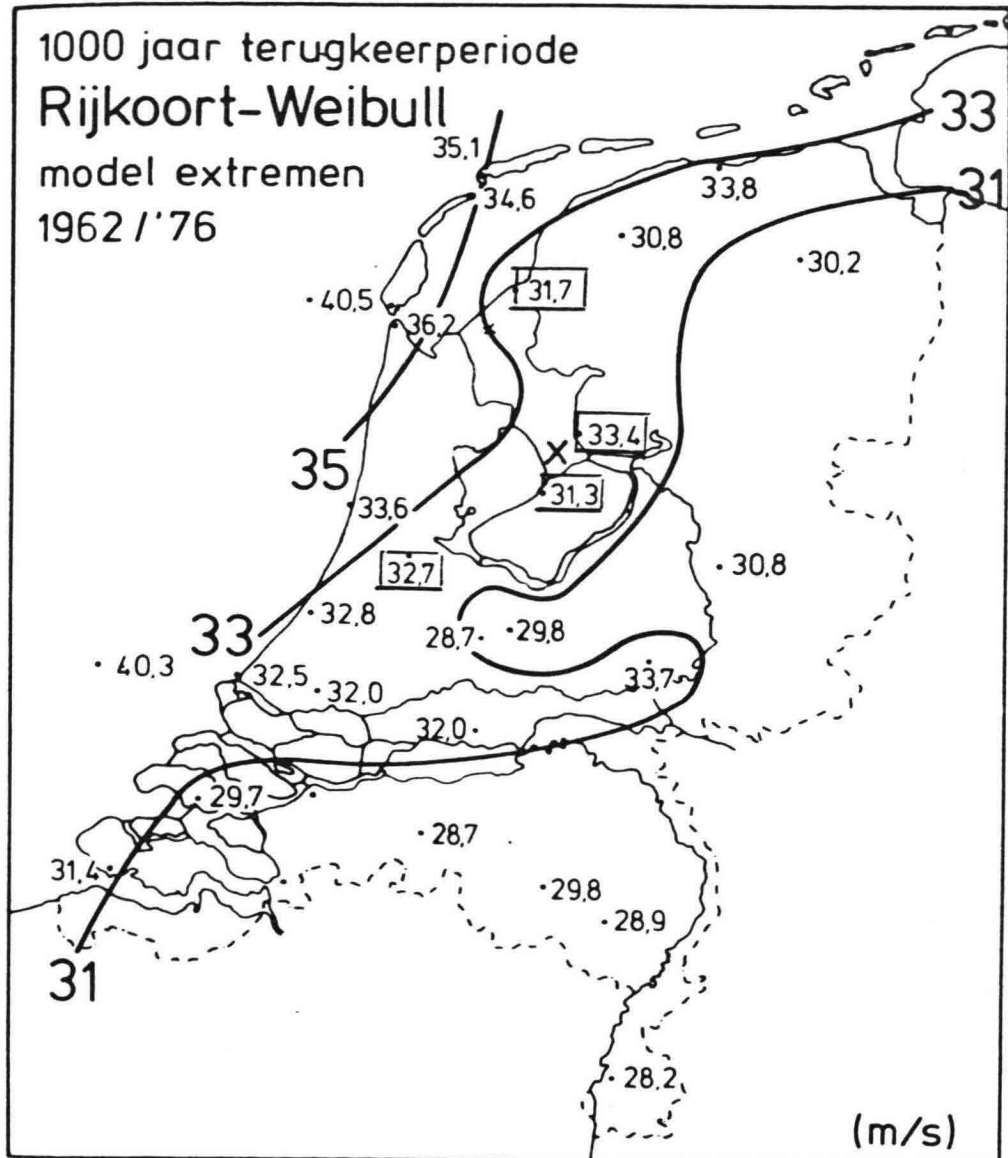
Verder dient in vervolgstudie het te verwachten golfspectrum meegenomen te worden.

Bijlagen

<u>Figuur 1</u>	-	Nederland 1000 jaars extremen
<u>Tabel 1</u>	-	Windsnelheden - 10^+ m
<u>Tabel 2</u>	-	Windsnelheden - 50^+ m
<u>Tabel 3</u>	-	Golfhoogtes - H_s (m)
<u>Tabel 4</u>	-	Windopzet (m)
<u>Grafiek 1</u>	-	Extreme windsnelheden (10^+)
<u>Grafiek 2</u>	-	Extreme waarden golfhoogtes
<u>Grafiek 3</u>	-	Gevoeligheid golfhoogte voor strijk- lengte, diepte en windsnelheid
<u>Grafiek 4</u>	-	Ditto
<u>Uitvoer 1</u>	-	Computerberekening $T_p = 10$
<u>Uitvoer 2</u>	-	Ditto $T_p = 100$
<u>Uitvoer 3</u>	-	Ditto $T_p = 1000$
<u>Uitvoer 4</u>	-	Ditto $T_p = 10.000$

LITERATUUR

- Lit [1] - Windklimaat van Nederland
Rijkoort en Wieringa
K.N.M.I.
- Lit [2] - Shore Protection Manual
C.E.R.C. 1975
- Lit [3] - Waterkeringen F 11
T.H. Delft



Figuur 5.21 Kaart van uurgemiddelde potentiële windsnelheden met een terugkeertijd van 1000 jaar, berekend met behulp van het Rijkoort-Weibull-model.

UIT LIT. [1]

FIGUUR 1



Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: -7-
WINDGOLVEN
50 M. BEKKEN IJSZEE MEER.

Blad nr. TABEL

Blad van

Datum:

RICHTING \ T_P	10	100	1000	10.000
0°	15,7	18,9	21,7	24,3
30°	14,9	17,0	19,0	22,0
60°	15,7	18,6	20,6	22,3
90°	14,0	17,7	19,9	21,6
120°	14,2	16,7	18,6	20,5
150°	14,6	17,2	19,2	20,9
180°	17,5	20,5	23,0	25,0
210°	20,0	24,7	28,0	30,0
240°	22,7	27,1	30,9	34,3
270°	23,0	27,0	32,5	35,9
300°	21,5	26,7	30,7	34,3
330°	18,0	22,7	26,0	29,0

TABEL 1 WINDSNELHEDEN m/s
SCHIPHOL HOOGTE 10⁺ m N.A.P.



Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: - 8 -

WINDGOLVEN
50 m. BEKKEN IJSSELMER.

Blad nr. TABEL 2

Blad van

Datum:

WIND RICHTING \ T _P	10	100	1000	10.000
0°	18,0	21,7	24,9	27,9
30°	17,1	20,5	22,8	25,3
60°	18,0	21,4	23,7	25,6
90°	17,0	20,3	22,9	24,8
120°	16,3	19,2	21,4	23,6
150°	16,8	19,8	22,1	24,0
180°	20,1	23,6	26,4	28,7
210°	23,9	28,4	32,2	35,4
240°	26,1	31,1	35,5	39,4
270°	26,4	31,9	37,3	41,2
300°	24,7	30,7	35,3	39,4
330°	21,6	26,1	29,9	33,3

TABEL 2 WINDSNELHEDEN m/s (50° NAP)

ZUIDELIJK IJSSELMER 50/40 BEKKEN



Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: -9-
WINDGOLVEN
50 m. BEKKEN IJSELMER.

Blad nr. TA001

Blad van

Datum:

wind RICHTING \ T_P	10	100	1000	10.000
0°	0,90	1,12	1,31	1,49
30°	0,85	1,05	1,18	1,33
60°	0,90	1,10	1,24	1,35
90°	0,84	1,03	1,19	1,30
120°	0,80	0,97	1,10	1,23
150°	0,83	1,01	1,14	1,25
180°	1,02	1,23	1,40	1,54
210°	1,25	1,52	1,76	1,96
240°	1,38	1,69	1,97	2,22
270°	1,40	1,74	2,00	2,33
300°	1,30	1,67	1,95	2,22
330°	1,11	1,30	1,62	1,83
	1,05	1,29	1,50	1,67

TABEL 3 - GOLFHOOGTES H_s [m]

50/40 BEKKEN

ZUIDELIJK IJSELMER



Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: -10-
WINDGOLVEN
50 m. BEKKEN IJSSELMEER.

Blad nr. TABEL 4

Blad van

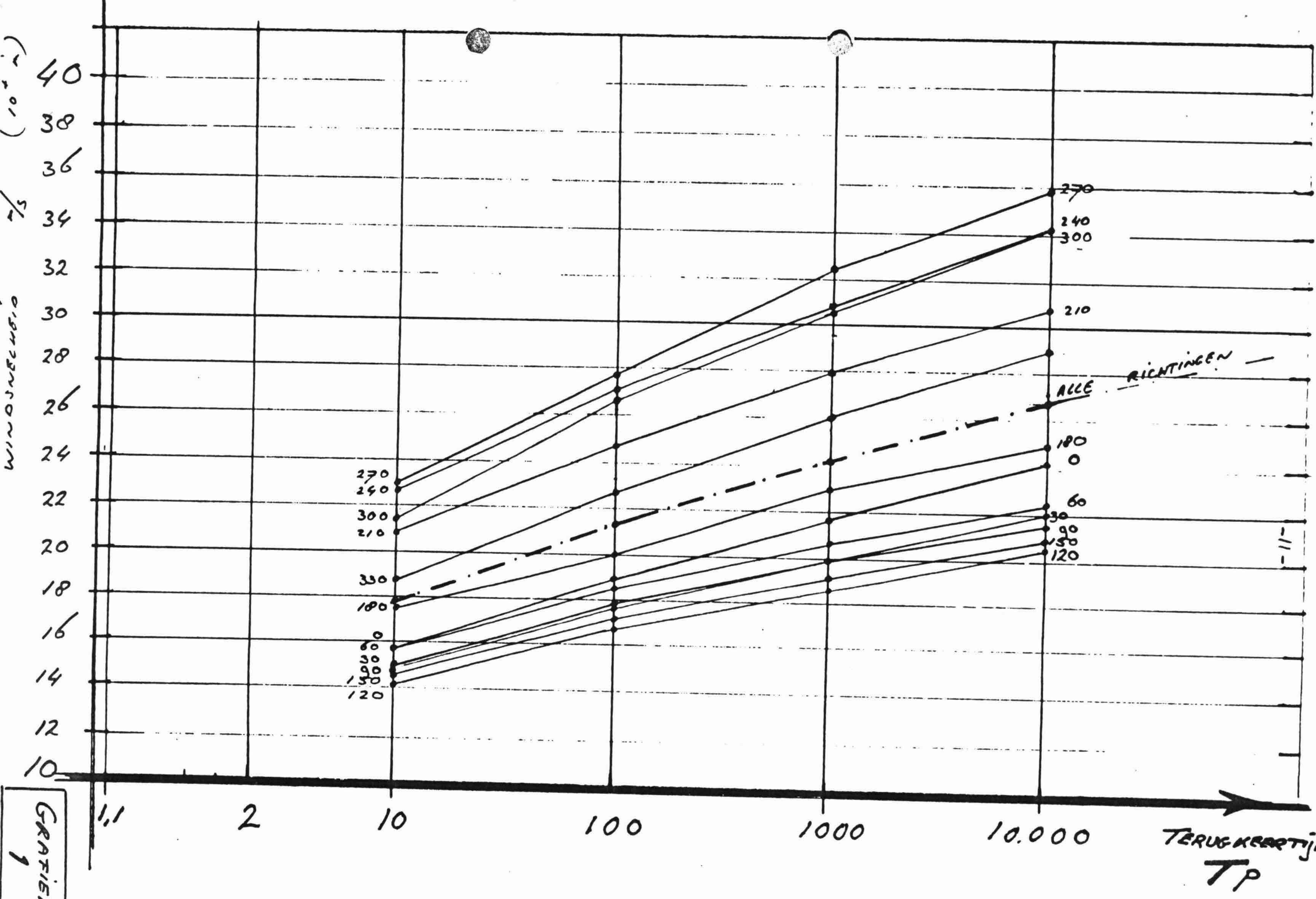
Datum:

WIND RICHTING \ T _P	10	100	1000	10.000
0°	0,01	0,01	0,02	0,02
30°	0,01	0,01	0,02	0,02
60°	0,01	0,01	0,02	0,02
90°	0,01	0,01	0,02	0,02
120°	0,01	0,01	0,01	0,02
150°	0,01	0,01	0,02	0,02
180°	0,01	0,02	0,02	0,03
210°	0,02	0,03	0,03	0,04
240°	0,02	0,03	0,04	0,05
270°	0,02	0,03	0,04	0,05
300°	0,02	0,03	0,04	0,05
330°	0,01	0,02	0,03	0,04

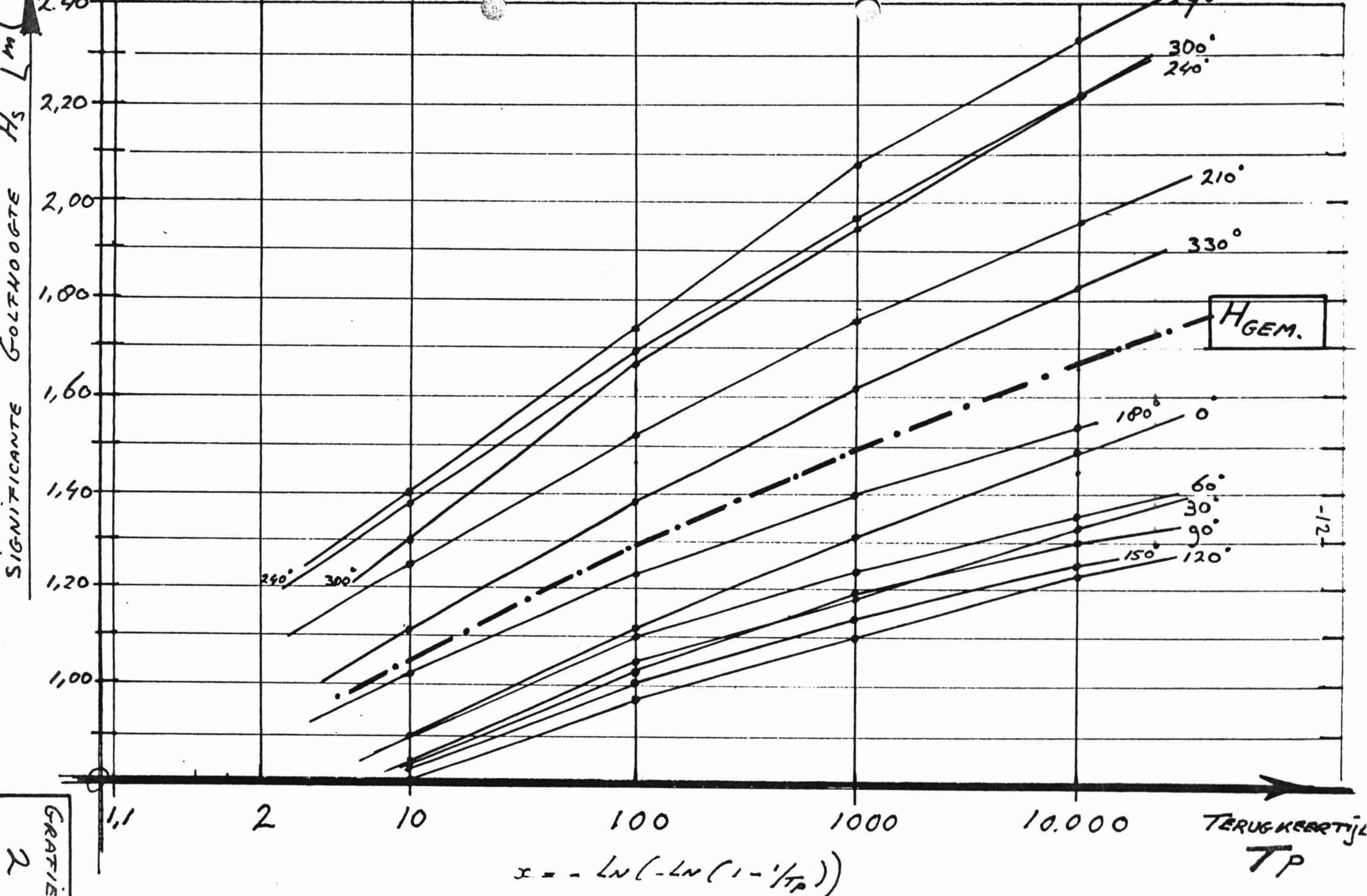
TABEL 4 - WIND OPZET

[m]

50/40 BEKKEN ZUIDELIJK IJSSELMEER

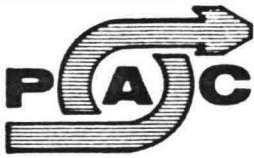


GRAFIEK 1



GRAFIK
 2

EXTREME WAARDEN GOLFHOOGTEN H_s



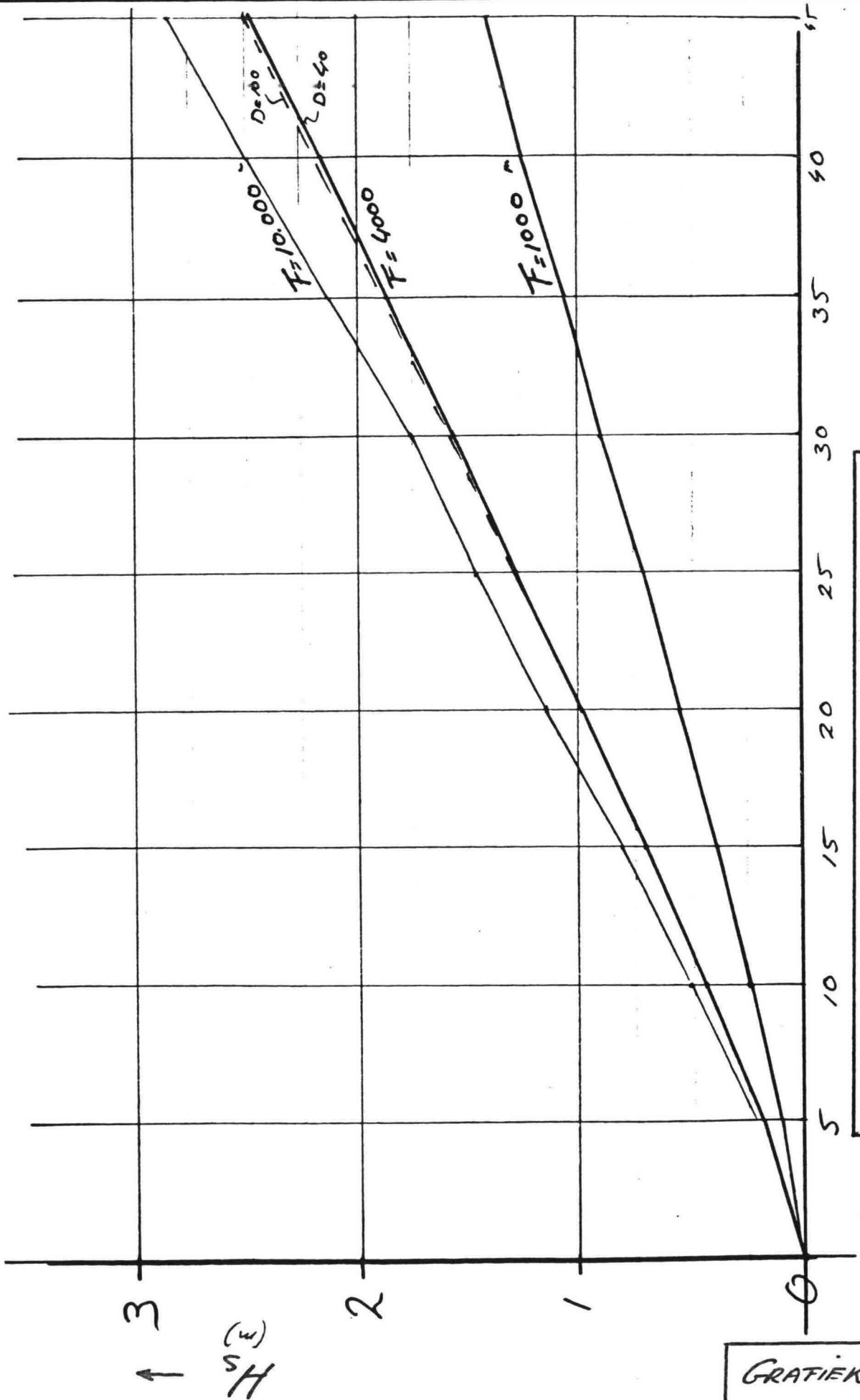
Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: -13-

Blad nr. *GRATICA*

Blad van

Datum:



WINDSNEEDIGHEID m/s

GEVOELIGHEID VOOR STRIJKLENGTE - F
WINDSNEEDIGHEID - V

GRATIEK



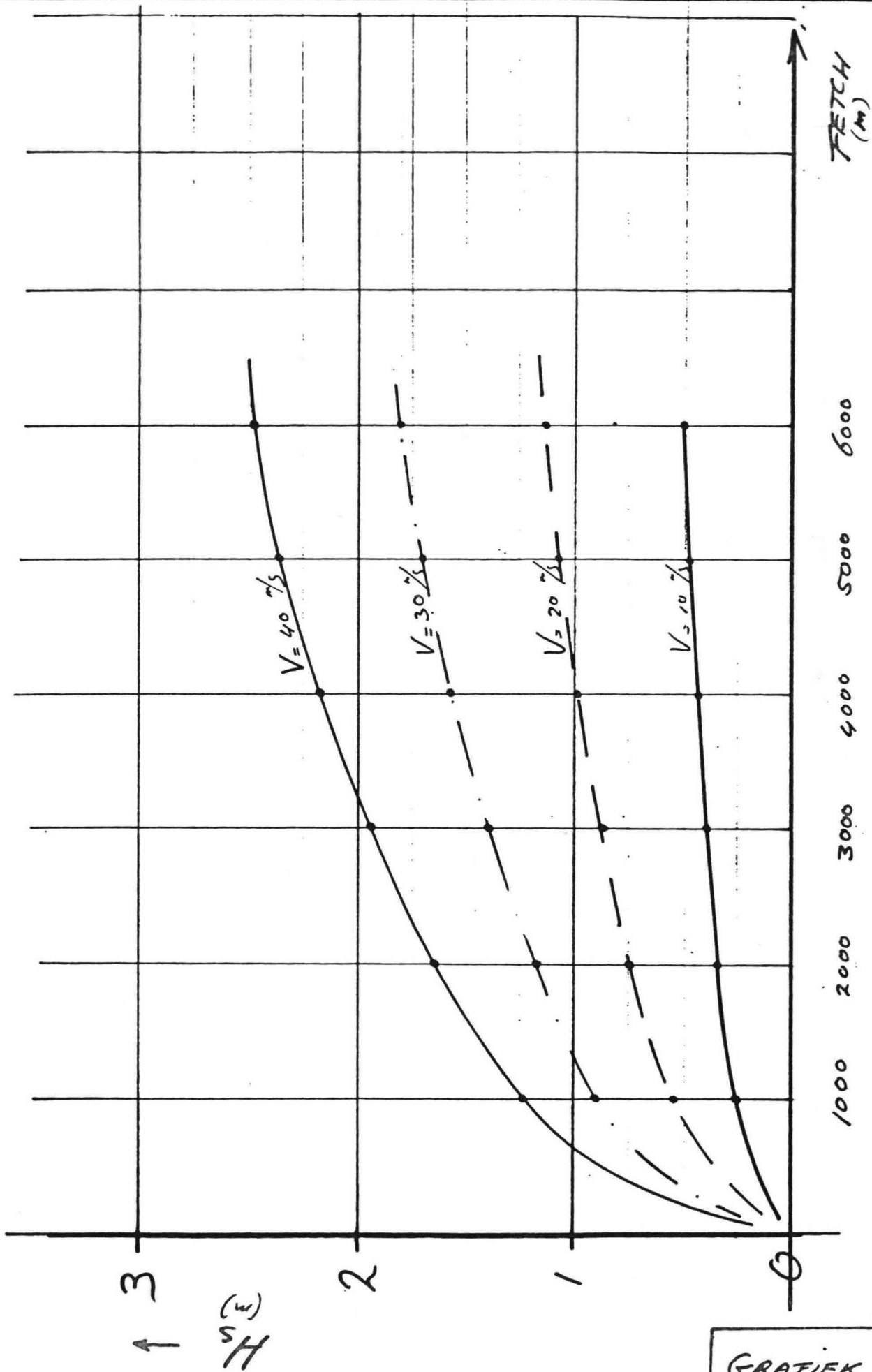
Pomp
Accumulatie
Centrale

Onderwerp: -14-

Blad nr. *GRAFIEK 4*

Blad van

Datum:



GEVOELIGHEID VOOR \angle STRIJMLENGTE - \angle V
WINDSPEED

GRAFIEK 4



```

*****
*
*          *****          **      **          *****
*          *****          ***      ***          *****
*          **              ****   ****          **      **
*          ***              **  **  **          **      **
*          *****          **      **          *****
*          ***              **      **          **      **
*          **              **      **          **      **
*          *****          **      **          *****
*          *****          **      **          *****
*
*****

```

* DIT PROGRAMMA BEREKENT GOLFHOOGTE EN PERIODE MET DE *
 * HINDCAST-METHODE VOLGENS SVERDRUP-MUNK-BRETTSCHEIDER *
 * - FORMULES I SHORE PROTECTION MANUAL 1975 p 3.35 '45 *

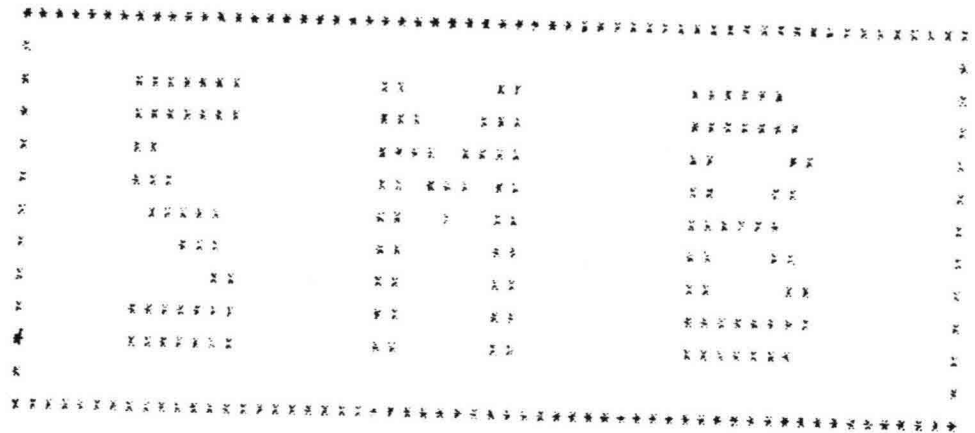
$$T_p = 10$$

STRIJKLENOTE (FETCH) IN M. : 4345

DUUR VAN DE STORM (UREN) : 1

Diepte IN M. : 50

NO. ()	WIND (m/s)	H (m)	T (s)	MIN.DUUR (uur)	OFZET (m)
1.00	16.00	0.90	3.47	0.00	0.01
2.00	17.10	0.95	3.30	0.01	0.01
3.00	16.00	0.90	3.47	0.00	0.01
4.00	17.00	0.94	3.37	0.01	0.01
5.00	16.30	0.90	3.30	0.03	0.01
6.00	16.00	0.93	3.35	0.02	0.01
7.00	20.10	1.02	3.07	0.50	0.01
8.00	23.00	1.25	4.01	0.51	0.02
9.00	20.10	1.30	4.10	0.40	0.02
10.00	20.40	1.40	4.21	0.40	0.02
11.00	24.70	1.30	4.07	0.51	0.02
12.00	21.00	1.11	3.81	0.54	0.01



* DIT PROGRAMMA BEREKENT GOLFHOOSTE EN PERIODE MET DE *
* HINDCAST-METHODE VOLGENS SVERDRUP-MUNK-BRETTSCHEIDER *
* FORMULES ; SHORE PROTECTION MANUAL 1975 p 3.35/45 - *

T_p = 100

STRIJKLENGTE (FETCH) IN M. : 4345

DUUR VAN DE STORM (UREN) : 1

DIEPTE IN M. : 55

NO. (-)	WIND (m/s)	H (m)	T (s)	MIN. DUUR (uur)	OPZET (m)
1.00	21.70	1.12	3.82	0.54	0.01
2.00	20.50	1.05	3.71	0.50	0.01
3.00	21.40	1.10	3.78	0.54	0.01
4.00	20.30	1.03	3.68	0.56	0.01
5.00	19.20	0.97	3.59	0.56	0.01
6.00	19.80	1.01	3.64	0.57	0.01
7.00	23.60	1.23	3.98	0.52	0.02
8.00	28.40	1.52	4.37	0.47	0.03
9.00	31.10	1.69	4.57	0.45	0.03
10.00	31.90	1.74	4.62	0.44	0.03
11.00	30.70	1.67	4.54	0.45	0.03
12.00	26.10	1.38	4.19	0.49	0.02



```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
*
*          *****          **          **          *****          *
*          ****          ***          **          ****          *
*          **          ****          **          **          *
*          ***          **          ***          **          *
*          ****          **          *          **          *
*          ****          **          *          **          *
*          **          **          *          **          *
*          **          **          *          **          *
*          ****          **          **          ****          *
*          ****          **          **          ****          *
*
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

```

* DIT PROGRAMMA BEREKENT GOLFHOOGTE EN PERIODE MET DE *
 * HINDBLAST-METHODE VOLGENS SVERDRUP-MUNK BRETTSCHEIDER *
 * - FORMULES ; SHORE PROTECTION MANUAL 1975 p 3.35/40 - *

STRIJKLENSTE (FETCH) IN M. : 4345

$T_p = 1000$

DUUR VAN DE STORM (UREN) : 1

DIEPTE IN M. : 55

NO. (-)	WIND (m/s)	H (m)	T (s)	MIN. DUUR (uur)	OPZET (m)
1.00	24.90	1.31	4.00	0.50	0.02
2.00	22.00	1.10	3.91	0.53	0.02
3.00	23.70	1.24	3.96	0.52	0.02
4.00	22.90	1.19	3.92	0.53	0.02
5.00	21.40	1.10	3.70	0.54	0.01
6.00	22.10	1.14	3.80	0.54	0.02
7.00	20.40	1.40	4.21	0.40	0.02
8.00	32.20	1.70	4.60	0.44	0.03
9.00	35.50	1.97	4.80	0.42	0.04
10.00	37.30	2.00	5.00	0.41	0.04
11.00	35.30	1.95	4.80	0.42	0.04
12.00	29.90	1.62	4.40	0.40	0.03



```

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
X
X      XXXXXXX      XX      XX      XXXXXX      X
X      XXXXXXX      XXX      XXX      XXXXXXX      X
X      XX      XXXX XXXX      XX      XX      X
X      XXX      XX XXX XX      XX      XX      X
X      XXXXX      XX X XX      XXXXXX      X
X      XXX      XX      XX      XX      XX      X
X      XX      XX      XX      XX      XX      X
X      XXXXXX      XX      XX      XXXXXXX      X
X
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
  
```

* DIT PROGRAMMA BEREKENT GOLFHOOGTE EN PERIODE MET DE *
 * HINDCAST-METHODE VOLGENS SVERDRUP-MUNK-BRETTSCHEIDER *
 * - FORMULES ; SHORE PROTECTION MANUAL 1975 p 3.35/46 - *

STRIJKLENGTE (FETCH) IN M. : 4345

T_p = 10.000

DUUR VAN DE STORM (UREN) : 1

Diepte IN M. : 55

NO. (-)	WIND (m/s)	H (m)	T (s)	MIN. DUUR (uur)	OPZET (m)
1.00	27.00	1.40	4.33	0.47	0.02
2.00	25.30	1.33	4.12	0.50	0.02
3.00	25.00	1.35	4.15	0.50	0.02
4.00	24.00	1.30	4.00	0.50	0.02
5.00	23.00	1.23	3.00	0.52	0.02
6.00	24.00	1.25	4.01	0.51	0.02
7.00	20.70	1.54	4.30	0.47	0.03
8.00	35.40	1.90	4.07	0.42	0.04
9.00	39.40	2.22	5.13	0.40	0.05
10.00	41.20	2.33	5.25	0.30	0.05
11.00	39.40	2.22	5.13	0.40	0.05
12.00	33.30	1.83	4.72	0.43	0.04

