



WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
borgerhout

# **DIFRACTIEMODEL**

## **voorhaven van zeebrugge**

1976

**MOD. 320-4**

DIFFRACTIEMODEL  
VOORHAVEN VAN ZEEBRUGGE

Mod. 320-4

## INHOUD

	<u>bladz.</u>
1. Opdrachtsomschrijving.	1
2. Beschrijving van het model.	2
2.1. Model en modelschalen.	2
2.2. Gebruikte kaarten en plannen.	2
2.3. De uitrusting van het model.	3
2.4. De metingen op model en verwerking der gegevens.	4
3. Proeven.	6
3.1. Basisaannamen.	6
3.2. Basisgegevens voor de modelproeven.	6
3.3. Uitgevoerde proeven met resultaten (1e fase).	9
3.3.1. Open woelkamers.	9
3.3.1.1. tot 3.3.1.12. Bespreking der proeven.	10 t/m 15
3.3.1.13. Algemeen overzicht.	15
3.3.2. Gesloten woelkamers.	17
3.3.3. Spreiding van de meetresultaten in de beschouwde zone voor de zeesluis.	19
3.4. Nautische criteria en stabiliteitseisen in verband met de beweging van de sluisdeur.	20
3.4.1. Nautische criteria.	20
3.4.2. Stabiliteitseisen in verband met de beweging van de sluisdeur.	22
3.5. Uitgevoerde proeven (2e fase).	22
3.5.1. tot 3.5.3. Bespreking der proeven.	22 t/m 24
3.6. Aanvullende proeven met de kop van de westelijke havendam weggenomen.	25
4. Interpretatie van de meetresultaten rekening houdend met het voorkomen van de golven buitengaats.	26
4.1. Werkmethode.	26

	<u>bladz.</u>
4.1.1. Verwerking van de gegevens van het diffractiemodel.	26
4.1.2. Verhoging van de golfhoogte ten gevolge van de plaatselijke strijklengte.	27
4.2. Golftoestand voor de zeesluis, vertrekkend van golfwaarnemingen ter hoogte van L.S. Westhinder	29
4.3. Golftoestand voor de zeesluis, vertrekkend van golfwaarnemingen ter hoogte van Bol van Heist.	33
4.4. Algemeen overzicht.	37
5. Besluiten.	40

Lijst der bijlagen.

## 1. OPDRACHTSOMSCHRIJVING.

In verband met de uitbouw van de haven van Zeebrugge werd het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout opgedragen op een diffractiemodel een onderzoek uit te voeren betreffende de golfhoogte welke te verwachten is vlak voor de buitendeur van de nieuwe zeesluis, in de toegangsgeul tot deze sluis en in de huidige voorhaven (\*).

Voor de dimensionering van de toegangsgeul van de zeesluis was het nodig een vergelijk te zoeken tussen enerzijds de nautische eisen - ruime invaartopening - en anderzijds de eisen gesteld in verband met de stabiliteit van de zeewaartse sluisdeur tijdens het openings- en sluitingsmanoeuvre - beperkte golfhoogte in de zone voor de zeesluis.

Dit rapport behandelt de uitgevoerde proeven en hun resultaten.

Tevens worden, onder voorbehoud, wegens gebrek aan nauwkeurige natuurmetingen, de resultaten van de modelproeven verder geïnterpreteerd om een prognose op te stellen van de te verwachten aanlopende golf en haar frekwentie van voorkomen vlak voor de zeesluis.

---

(\*) cfr. proces-verbaal van de vergadering met de Heer Secretaris-Generaal op 23 april 1974.

## 2. BESCHRIJVING VAN HET MODEL.

### 2.1. Model en modelschalen.

De grenzen van het model zijn weergegeven op bijlage 1. De zeewaartse zijde van het model is gelegen op ca. 2 km van een punt tussen het havenlicht op het uiteinde van de westelijke havendam en het meest oostelijke punt van de oostelijke lage dam en is dan cirkelvormig uitgebouwd. De bodemconfiguratie is in het model gebracht tot circa 1,5 km natuur van bovenvermeld punt. De resterende ruimte is vrijgehouden voor de plaatsing van de golfgenerator.

De foto onder bijlage 2 geeft een algemeen zicht van het model met op de voorgrond de golfgenerator.

De modelbodem is vast en is gebouwd volgens de meest recente hydrografische gegevens. De bestaande haven van Zeebrugge alsook de toegangsgeul tot de nieuwe zeesluis werd in het model ingebouwd. Als referentievlak werd het Z vlak aangehouden.

Het model werd gebouwd rekening houdend met de schaalregels van Froude. Daar in het model zowel diffractie, refractie en weerkaatsing bestudeerd worden mag, bij toepassing van de geldende modelwetten, het model niet vertrokken zijn. Op basis van de beschikbare ruimte werd aldus de schaal 1/125 aangehouden. Hieruit volgt een tijdsschaal 1/11,18.

### 2.2. Gebruikte kaarten en plannen.

A <sup>3</sup>	625 <sup>C</sup>	Situatie Strandhoofden	1/5000
A <sup>3</sup>	628 <sup>E</sup>	Haven Zeebrugge - Alg. Liggingspl.	1/5000
	Bijl. 1	Westhoofd - Inplanting merkpunten	1/5000
	Bijl. 2	Doorsnede A-B	1/100
	Bijl. 3	" C-D	1/100
A <sup>3</sup>	611 <sup>bis</sup>	Rede Zeebrugge - Oost. afdamming 1e Faze	1/5000

A <sup>3</sup>	643		Rede Zeebrugge - Oost. afdamming 2e Faze	1/5000
A <sup>3</sup>	659		Oost. Lage dam	1/5000
A <sup>3</sup>	828	Plan E Bijl. 6	Overzichtstekening v. d. Zeesluis	1/5000
A <sup>3</sup>	868	Plan A Bijl. 7 Bijl. 8 Dossier 4502 - Belg. Betonmij Bijl. 9	Kaaimuren toegang nieuwe Zeesluis Golfbreking - Oplossing nr. 1 Peilingsplan : Scheepvaartplan nr. 57 Rede Zeebrugge. Peilingen Okt. ) Nov. ) 1974 Noordzee - Wielingen - Scheur Mod. 265-96 Peilingen 1972 Pas van het Zand opname 4-9/12/74	1/1000  1/100  1/2000
A <sup>3</sup>	808	Plan D <sup>1</sup> Bijl. 4	Militair dok 1e Faze Plattegrond	1/1000
A <sup>3</sup>	808	Plan E Bijl. 5	Militair dok 1e Faze Zichten Doorsneden	
A <sup>3</sup>	808	Plan D <sup>1</sup>	Mil. dok 1e Faze Plattegrond Aanvullend dok (brief 27/1/'75)	1/1000
A <sup>3</sup>	808 <sup>c</sup>		Militair dok 1e Faze Plattegrond + Ontschepingshelling doorsneden	1/200

### 2.3. De uitrusting van het model.

De golfgenerator is van het pivoterende type met de as op de bodem van het model (herkomst : Laboratoire Central d'Hydraulique de France, Hydro-technica, Maison Alfort, Frankrijk). Het geheel is gemonteerd op een rijdbaar chassis dat kan verplaatst worden volgens de richting waaruit de golfaanval gebeurt. Het golfschot heeft een lengte van 20 m.

Daar in het model de golven opgewekt worden over een afstand van slechts 20 meter, en er bijgevolg slechts over deze beperkte afstand energie meegegeven wordt aan het water, is het noodzakelijk, om te beletten dat de energie zijdelings zou "weglekken" en daardoor de golfhoogte verminderen, schermen aan te brengen, die de golfbeweging binnen haar natuurlijke grenzen houdt. Deze natuurlijke grenzen worden gevormd door schermen te plaatsen volgens de refractielijnen, die vertrekken aan de beide uiteinden van het golfschot in de richting van de kust.

Het was noodzakelijk een bodemaanpassing te maken tussen het golfschot en de modelbodem. Door de bouwer werd een aanpassing voorgesteld zoals weergegeven is op de bijlage 3.

De golfhoogtemeters werden ontwikkeld in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout. Zij zijn gebaseerd op het principe waarbij de elektrische weerstand van de vloeistof tussen twee parallel staafvormige elektroden wordt gemeten. Deze weerstand is afhankelijk van ;

- de indompeldiepte H
- het soortelijk geleidingsvermogen van het water .
- de dimensies van de staven.

#### 2.4. De metingen op model en verwerking der gegevens.

Door de golfgenerator werd een unidirectionele en monochromatische golf opgewekt.

Na een zekere stabilisatietijd ( $\pm 1/2$  uur), waarin de opgelegde golf aan de golfgenerator tevens regelmatig is geworden over gans het model, werden de golfhoogten opgemeten in de voorhaven.

De referentiegolfhoogte werd opgemeten buiten de voorhaven op een punt aan het uiteinde van de westelijke havendam (Bijlage 1). Dit punt is voor alle proeven die uitgevoerd werden hetzelfde gebleven. Ter controle blijft een tweede golfhoogtemeter steeds staan op een punt onmiddellijk voor de meest zeevaartse deur van de zeesluis.

Twee andere golfhoogtemeters worden manueel verplaatst volgens een regelmatig raster van punten, waarin de voorhaven, zoals aangegeven in bijlage 4 voor de proef T 7, is onderverdeeld. De afstand tussen de rasterpunten bedraagt 50 m natuur voor de toegangseul tot de zeesluis en de beide



militaire havendokken, en bedraagt 100 m natuur voor de rest van de haven. Gedurende circa 20 s. wordt de regelmatige golf opgemeten en wordt dan verplaatst naar een volgende punt van het raster.

Voor elke proef worden de golfhoogtemeters geijkt en na de proef volgt een controle op deze ijking.

Voor de interpretatie van de optredende golfbeweging in de voorhaven, wordt telkens de verhouding gemaakt van de optredende golfhoogten in de haven, opgemeten in het raster, tot de golfhoogte opgemeten in het referentiepunt buiten de voorhaven aan de kop van de bestaande westelijke havendam. Deze verhouding wordt dan procentueel uitgedrukt.

Om een vergelijking te kunnen doorvoeren tussen de verschillende toestanden voor de aanlopende golf voor de zeesluis, werd het gemiddelde gemaakt van de hierboven vermelde procentuele verhouding in een zone, gelegen vlak voor de zeesluis. Deze zone wordt afgebakend door de lijn H (Bijlage 4), gelegen op  $\pm$  450 m voor de zeewaartse deur van de sluis, de begrenzing door de oevers en het punt A'. De totale oppervlakte van deze zone bedraagt ongeveer 10 ha. Gemiddeld werden in deze zone 42 punten opgemeten.

### 3. PROEVEN.

#### 3.1. Basisaannamen.

Bij de proeven die uitgevoerd zijn om een onderzoek te verrichten naar de golfhoogte die te verwachten is voor de nieuwe zeesluis, in de toegangsgeul tot deze sluis en in de huidige bestaande voorhaven, werd uitgegaan van de volgende basisaannamen (\*) :

1. Uitbouw met overstroombare dammen van de huidige haven van Zeebrugge zal geen invloed hebben op de golfhoogte en de diffractie. Er mag aangenomen worden dat buitengaats de bestaande voorhaven ter hoogte van de kop van de huidige westelijke havendam in de toekomst praktisch dezelfde golfhoogte zal optreden.
2. De westelijke havendam wordt volledig behouden (\*\*).
3. De oostelijke havendam moet zoveel mogelijk behouden blijven om de buitendeur van de zeesluis afdoende te beschutten tegen golfslag en deining.

De westelijke kademuren van de toegangsgeul, alsook een gedeelte van de oostelijke kademuren van de zeesluis zijn in uitvoering. Deze kademuren zijn voorzien van woelkamers, die de golfslag en de deining zoveel mogelijk moeten vernietigen door breking en/of demping.

#### 3.2. Basisgegevens voor de modelproeven.

De proeven werden uitgevoerd met unidirectionele en monochromatische golven; de periode, de hoogte en de richting van de inkomende golf werden konstant gehouden.

Het onderzoeksschema werd bepaald aan de hand van de beschikbare natuurmetingen zoals ze besproken werden in het rapport mod. 320-2 "Voorhaven Zeebrugge - Voorafgaande studie van de golven".

---

(\*) cfr. proces-verbaal van de vergadering met de Heer Secretaris-Generaal op 23 april 1974.

(\*\*) Een aanvullende proef werd uitgevoerd met de kop van de westelijke havendam weggenomen.

In bijlage 4 van hiervoor vernoemd rapport, hieronder in tabel 1 samengevat weergegeven, vindt men de verdeling van de golven in functie van de periode ter hoogte van het L.S. Westhinder.

TABEL 1

Golfperioden T (s)	Aantal waarnemingen voor de windsector N ter hoogte van L.S. Westhinder van golven verdeeld volgens de gemiddelde periode.
4	-
4.5	20
5	75
5.5	77
6	101
6.5	99
7	63
7.5	15
8	12
8.5	2
9	1

De perioden van de golven zoals ze voorkomen op het referentiepunt aan het hoofd van de westelijke havendam werden gelijk genomen aan de perioden van de golven ter hoogte van het L.S. Westhinder. In deze tabel is het duidelijk dat de periode rond 6 s. de meest voorkomende periode is. Omdat bij diffractie de golven met grote golflengten het gemakkelijkst de haven binnendringen, werd de periode 9 s, dit is, de hoogst voorkomende periode tevens weerhouden. De periode 7.5 s. werd als tussengelegen proeftoestand genomen. Dusdanig werden de proeven op het model uitgevoerd met perioden (natuur) 6 s, 7.5 s en 9 s.

De Bijlagen 25 en 28 van bovenvermeld rapport, zoals aangegeven staat in de Besluiten 8-4, werden gebruikt als basis voor de bepaling van de golfhoogten die in het diffractiemodel gebruikt worden. In deze besluiten wordt

gesteld dat de golven met een periode 6 s. representatief zijn voor de golven met golfhoogten die kleiner zijn dan 2 m, terwijl de golven met periode 7.5 s. representatief genomen worden voor golfhoogten groter dan 2 m. De significante golfhoogte (d. i. het gemiddelde van het hoogste een derde van de golfhoogten), die kenmerkend is voor een onregelmatige natuurtoestand, werd genomen als de golfhoogte in het model met de regelmatige golven.

De proeven werden dan uitgevoerd onder de volgende omstandigheden :

- periode 6 s. met golfhoogte 2 m
- periode 7.5 s. met golfhoogte 2.5 m
- periode 9 s. met golfhoogte 3 m

Deze serie van 3 proeven wordt herhaald met telkens een andere inval-richting voor de golven. De beproefde richtingen waren NW - NNW - N en NNO. Andere richtingen kwamen niet in aanmerking omdat de haven alsdan voldoende beschut is tegen de golfslag en de deining, want de golven die komen uit de NO-richting zijn te klein, omdat zij ontstaan in de luwte van het eiland Walcheren en de westelijke havendam biedt voldoende beschutting voor de golven die komen uit de WNW tot ZW-richtingen.

Bij de proeven op het diffractiemodel werd geen rekening gehouden met de invloed van de plaatselijke strijklengte (bij NW-richting) in de haven.

De hierna volgende proeven werden uitgevoerd met woelkamers, zoals vermeld in § 3.1., natuurgetrouw weergegeven in het model. Bijna alle proeven werden uitgevoerd met open woelkamers. Enkele proeven werden uitgevoerd met gesloten woelkamers om een vergelijking te kunnen maken tussen die twee toestanden.

In het model worden uitsluitend proeven uitgevoerd met konstante waterhoogte ( $Z + 5.00$  m), dit is het waterpeil van een hoge springtij te Zeebrugge. Vermits de grote golfhoogten zullen voorkomen bij de grootste waterdiepte mag aangenomen worden dat de resultaten van de proeven op het model representatief zullen zijn.

### 3.3. Uitgevoerde proeven met resultaten (1e fase).

#### 3.3.1. Open woelkamers.

In de eerste fase van het onderzoek werden twaalf ontwerpen bestudeerd waarbij de vorm en de opening van de toegangsgeul tot de zeesluis werd veranderd en waarbij alleen gedacht werd aan een min of meerdere opruiming van de oostelijke havendam en waarbij de westelijke havendam integraal werd behouden in zijn bestaande toestand.

Deze reeks proeven kan onderverdeeld worden in 2 grote series : een serie proeven met een vooruitgeschoven talud, A, scharnierend rond het zeewaartse uiteinde van de oostelijke kademuur en een serie proeven met een teruggetrokken talud, B, scharnierend rond hetzelfde punt (Bijlage 5).

De proeven met het vooruitgeschoven talud, A, zijn (Bijlagen 6 en 7) :

T <sub>1</sub>	: met breedte ingang toegangsgeul	127 m op Z - 15 m
T <sub>2</sub>	: "	160 m
T <sub>3</sub>	: "	225 m
T <sub>6</sub>	: "	400 m
T <sub>8</sub>	: "	300 m
T <sub>10</sub>	: "	260 m
T <sub>12</sub>	: "	350 m

De proeven met het teruggetrokken talud, B, zijn (Bijlagen 8 - 9) :

T <sub>4</sub>	: met breedte ingang toegangsgeul	615 m op Z - 15 m
T <sub>5</sub>	: "	400 m
T <sub>7</sub>	: "	300 m
T <sub>9</sub>	: "	260 m
T <sub>11</sub>	: "	350 m

3.3.1.1. Toestand T<sub>1</sub> (vooruitgeschoven talud).

De oostelijke havendam is intact gebleven, daardoor is de ~~breedte~~ van de ingang beperkt tot 127 m op Z - 15 m. De nodige aanpassingen zijn gebeurd om over te gaan van cota (- 15) tot cota (+ 2.5) onder een talud 16/4 en van cota (+ 2.5) tot cota (+ 8) onder een talud 20/4. Het volledige havenareaal werd opgemeten. Tabel 2 geeft de uitslagen in % voor de zone voor de zeesluis, zoals bepaald in § 2.4.

TABEL 2

s	NW	NNW	N	NNO
6	2.69	7.28	17.82	13.47
7.5	5.16	10.89	16.47	13.84
9	5.33	7.70	17.63	11.54

3.3.1.2. Toestand T<sub>2</sub> (vooruitgeschoven talud).

De bodembreedte werd vermeerderd tot 160 m, de taluds verlopen onder dezelfde hellingen als bij toestand T<sub>1</sub>. Tabel 3 geeft de resultaten.

TABEL 3

s	NW	NNW	N	NNO
6	3.63	11.59	17.32	12.66
7.5	8.92	15.55	20.16	13.86
9	4.61	18.03	21.11	15.29

3.3.1.3. Toestand T<sub>3</sub> (vooruitgeschoven talud).

De bodemlijn van de oostelijke havendam werd evenwijdig genomen aan de westelijke kademuur van de toegangsgeul op 225 m afstand. Het ganse havenpatroon werd opgemeten en als voorbeeld getekend in de bijlagen 10 tot en met 20.

Op de bijlagen 10 en 11 voor de NW-richting bemerkt men de zeer grote invloed van het westelijk havenhoofd, dat de haven grotendeels beschut tegen de golfslag. De golfagitatie in de zone voor de zeesluis blijft beperkt.

Op de bijlagen 12, 13 en 14 voor de NNW-richting wordt de invloed van de binnenkomende golf groter. De gemiddelde golfhoogte in de ganse haven en in de zone voor de zeesluis stijgt. In de toegangsgeul tot de zeesluis dringt de golf veel verder binnen, maar wordt door toedoen van de woelkamers sterk gedempt tot een aanvaardbare hoogte.

De bijlagen 15, 16 en 17 voor de N-richting duiden op een verhoogde binnendringing van de golven in de haven, waarbij vooral de punt van de westelijke kademuur van de toegangsgeul zeer sterk wordt aangevallen. Door toedoen van de woelkamers blijft de golfagitatie in de zone voor de zeesluis bevredigend.

De bijlagen 18, 19 en 20 voor de NNO-richting geven een sterke binnendringing van de golven in de haven, terwijl de toegangsgeul tot de zeesluis echter relatief rustig blijft door de bescherming van de oostelijke havendam en de weerkaatsing op de kademuur door de woelkamers grotendeels wordt uitgesloten.

Tabel 4 geeft de resultaten van deze proef.

TABEL 4

s	NW	NNW	N	NNO
6	-	15.39	20.65	17.48
7.5	7.48	20.48	22.15	13.98
9	8.20	11.88	19.80	19.40

3.3.1.4. Toestand  $T_4$  (teruggetrokken talud).

De voorgaande toestanden berustten steeds op een tastenderwijze extrapolatie waarbij werd vastgesteld dat de golfagitatie groter werd naarmate de opening verbreedde. Om een interpolatie te kunnen uitvoeren werd besloten een extreme toestand in het model te bouwen. De oostelijke kademuur van de

toegangsgeul werd verlengd waardoor de grootte van de opening op 615 m komt. Slechts een beperkte zone in de toegangsgeul tot de zeesluis werd opgemeten en metingen met 7.5 s. werden niet uitgevoerd. Tabel 5 geeft de resultaten.

TABEL 5

s	NW	NNW	N	NNO
6	50.02	74.95	32.84	13.93
7.5	-	-	-	-
9	66.09	95.60	52.14	19.13

De zeer grote golfagitatie van de NNW-richting wordt veroorzaakt omdat de golf naast de westelijke havendam in de as van de sluis binnenkomt.

3.3.1.5. Toestand  $T_5$  (teruggetrokken talud).

Omdat de voorgaande proeven te ongunstige uitslagen gaven in de zone voor de zeesluis, werd een kleinere bodembreedte van 400 m vooropgesteld. Tabel 6 geeft de resultaten.

TABEL 6

s	NW	NNW	N	NNO
6	17.61	48.16	31.95	10.09
7.5	-	50.23	30.05	-
9	21.52	47.43	35.95	16.34

3.3.1.6. Toestand  $T_6$  (vooruitgeschoven talud).

Om de invloed te kennen van de verschuiving van het talud in voorwaartse positie werd een zelfde bodembreedte aan de ingang van de toegangsgeul tot de zeesluis aangehouden. De tabel 7 geeft de resultaten.



TABEL 7

s	NW	NNW	N	NNO
6	16.12	42.00	16.65	14.70
7.5	-	48.15	23.93	-
9.	15.33	41.40	28.90	15.40

Deze toestand geeft een betere oplossing dan de voorgaande bij dezelfde bodembreedte, maar er blijft teveel golfagitatie in de zone voor de zeesluis.

3.3.1.7. Toestand  $T_7$  (teruggetrokken talud).

De bodembreedte aan de ingang van de toegangsgeul tot de zeesluis bedraagt 300 m. De bijlagen 21 voor de NW-richting, 22 voor de NNW-richting, 23 voor de N-richting, 24 voor de NNO-richting, geven de tekeningen, waarvan alleen de toegangsgeul gegeven is, weer. De golfagitatie voor de NW-richting blijft bevredigend, maar is toch ten overstaan van de toestand  $T_2$  (225 m opening) reeds vergroot.

De NNW-richting geeft een grote binnendringing van de golven in de toegangsgeul. Door de woelkamers wordt deze in de zone voor de zeesluis echter beperkt. Hetzelfde verschijnsel doet zich voor wanneer de golven komen vanuit de N-richting. Steeds valt de zware golfaanval op, op de punt van de westelijke kademuur van de toegangsgeul.

De oostelijke havendam biedt een goede bescherming tegen de golven uit het NNO; in de zeven eerste uitgevoerde proeven bedroeg het percentage golfagitatie in de zone voor de zeesluis steeds rond de 15%. Deze agitatie blijft vrijwel konstant. De tabel 8 geeft de resultaten van de toestand  $T_7$ .

TABEL 8

s	NW	NNW	N	NNO
6	10.20	26.92	15.61	13.64
7.5	-	28.52	19.79	-
9	12.50	27.59	30.18	17.62

3.3.1.8. Toestand  $T_8$  (vooruitgeschoven talud).

De openingsbreedte blijft behouden op 300 m. Wegens het konstant blijven van de golfagitatie uit de NNO-richting, werden deze proeven niet meer uitgevoerd. De tabel 9 geeft de resultaten.

TABEL 9

s	NW	NNW	N
6	9.39	31.08	11.38
7.5	-	26.85	16.00
9	13.60	25.38	20.73

3.3.1.9. Toestand  $T_9$  (teruggetrokken talud).

De openingsbreedte op de bodem van de toegangsgeul werd gebracht op 260 m. Tabel 10 geeft de resultaten.

TABEL 10

s	NW	NNW	N
6	7.14	27.50	15.96
7.5	-	19.66	20.53
9	8.65	29.32	27.06

3.3.1.10. Toestand  $T_{10}$  (vooruitgeschoven talud).

De openingsbreedte van de toegangsgeul blijft op 260 m. Tabel 11 geeft de resultaten van deze toestand.

TABEL 11

s	NW	NNW	N
6	10.56	16.65	14.05
7.5	-	24.72	21.21
9	7.35	14.51	21.10

3.3.1.11. Toestand  $T_{11}$  (teruggetrokken talud).

De openingsbreedte wordt op 350 m gebracht. Tabel 12 geeft de resultaten.

TABEL 12

s	NW	NNW	N
6	14.47	46.25	27.07
7.5	-	32.75	22.84
9	16.07	35.32	36.64

3.3.1.12. Toestand T<sub>12</sub> (vooruitgeschoven talud).

De openingsbreedte blijft 350 m. Tabel 13 geeft de resultaten.

TABEL 13

s	NW	NNW	N
6	13.53	34.24	22.93
7.5	-	36.74	19.85
9	17.95	32.70	32.15

3.3.1.13. Algemeen overzicht.

Wegens de eerder kleine verschillen van de resultaten bij de verschillende golfperioden bij een en dezelfde toestand, werd, om een eenvoudig en duidelijk overzicht te krijgen, het gemiddelde gemaakt over de verschillende perioden. De Tabel 14 geeft de verschillende percentages van de verhouding van de golfhogten in de zone in de toegangseul voor de zeesluis, niet meer gerangschikt per proef, maar onderverdeeld in de serie A, vooruitgeschoven talud, en de serie B, teruggetrokken talud, en gerangschikt volgens de grootte van de opening. Deze resultaten werden grafisch uitgezet op Bijlage 25. Uit deze grafiek blijkt dat voor openingen van 260 m en meer, de NNW-richting de grootste golfagitatie veroorzaakt in de toegangseul tot de zeesluis.

De resultaten werden grafisch uitgezet per richting op de bijlage 26, respectievelijk voor de richtingen NW, NNW en N. De richting NNO werd niet uitgezet omdat deze praktisch gezien nooit boven 15% uitkomt.

TABEL 14

Serie A. vooruitgeschoven talud.

	NW	NNW	N	NNO
T <sub>1</sub> - 127 m	4.73	8.62	17.31	12.95
T <sub>2</sub> - 160 m	5.72	15.66	19.53	13.94
T <sub>3</sub> - 225 m	7.84	15.92	20.87	16.95
T <sub>10</sub> - 260 m	8.96	18.63	18.79	
T <sub>8</sub> - 300 m	11.50	27.77	16.04	
T <sub>12</sub> - 350 m	15.74	34.56	24.98	
T <sub>6</sub> - 400 m	15.73	43.85	23.16	15.05

Serie B. teruggetrokken talud.

	NW	NNW	N	NNO
T <sub>9</sub> - 260 m	7.90	25.49	21.18	
T <sub>7</sub> - 300 m	11.35	27.78	21.86	15.63
T <sub>11</sub> - 350 m	15.27	38.11	28.85	
T <sub>5</sub> - 400 m	19.57	48.58	32.65	13.22
T <sub>4</sub> - 615 m	58.06	85.28	42.49	16.53

Deze grafieken geven de stijgende golfagitatie weer naarmate de opening van de toegangseul groter wordt. Zij geven ook het verschil weer tussen de proeven uitgevoerd met teruggetrokken talud en deze met vooruitgeschoven talud bij dezelfde bodembreedte.

3.3.2. Gesloten woelkamers.

Drie reeksen proeven werden uitgevoerd waarbij de woelkamers van de beide in uitvoering zijnde kademuren van de toegangseul tot de zee-sluis werden afgesloten. Dit afsluiten gaf een simulatie van de toestand die geschapen zou worden zo schepen zouden afmeren of wanneer deze volledig zouden verzand zijn.

Het afsluiten van de woelkamers gebeurde slechts voor enkele proeven :  $T_2$  (160 m openingsbreedte),  $T_3$  (225 m openingsbreedte) en  $T_{11}$  (350 m openingsbreedte). De uitslagen werden samengevat in Tabel 14. Ter vergelijking werden tevens de resultaten gegeven van de gelijkaardige proeven zonder afsluiting.

TABEL 15

		$T_2$ (160 m)		$T_3$ (225 m)		$T_{11}$ (350 m)	
Richting	Periode	open woel- kamers	gesloten woelkamers	open woel- kamers	gesloten woelkamers	open woel- kamers	gesloten woelkamers
NW	6		-		-	14.47	22.39
	9		-		-	16.07	26.57
NNW	6		-		-	46.25	71.25
	7.5		-		-	32.75	65.80
	9		-		-	35.32	90.50
N	6		-	20.65	35.32	27.07	57.48
	7.5	20.16	35.83		-	22.84	46.84
	9	21.11	43.97	19.80	41.32	36.64	83.64
NNO	6	12.66	18.30	17.48	21.28		
	7.5	13.86	21.70		-		
	9	15.29	20.57	19.40	25.24		

Voor de richtingen NW, NNW, N is er verdubbeling van de golf-agitatie, terwijl voor de richting NNO een faktor 1.5 kan ingerekend worden, dit wegens de beschermende invloed van de oostelijke havendam.

3.3.3. Spreiding van de meetresultaten in de beschouwde zone voor de sluis.

---

De gemiddelde kwadratische afwijking van de resultaten in de zone vóór de zeesluis werd berekend om een idee te krijgen van de spreiding van de resultaten in de verschillende meetpunten rond de gemiddelde waarde.

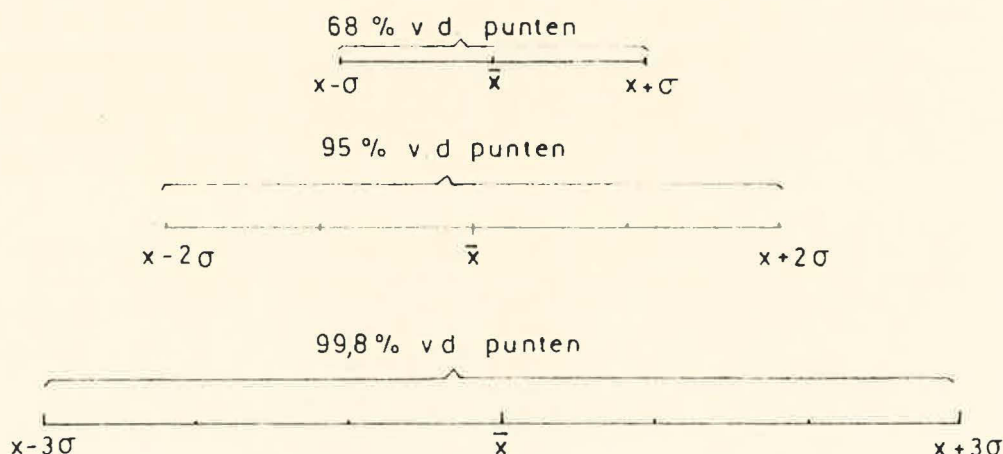
De gemiddelde kwadratische afwijking wordt gedefinieerd als

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_1^N (x - \bar{x})^2$$

- waarbij :
- N : het aantal meetpunten in de zone vóór de zeesluis.
  - x : de waarde in het meetpunt.
  - $\bar{x}$  : de gemiddelde waarde over de zone.

Indien de normale verdelingsdichtheidsfunctie of Gaussverdeling wordt aangenomen is de gemiddelde kwadratische afwijking tevens een maat voor de breedte van deze functie. Een kleine waarde van  $\sigma^2$ , vergeleken met de gemiddelde waarde duidt op een smalle spitse kromme en geeft aan dat de meetresultaten over het algemeen slechts weinig van de gemiddelde waarde zullen afwijken. Naarmate  $\sigma^2$  groter wordt, wordt de kromme breder en vertonen de meetresultaten minder voorkeur voor een bepaalde waarde.

Indien een puntenreeks de normale verdelingsdichtheidsfunctie volgt zal 68% van de punten liggen tussen  $\bar{x} + \sigma$  en  $\bar{x} - \sigma$ , zal 95% van de punten liggen tussen  $\bar{x} + 2\sigma$  en  $\bar{x} - 2\sigma$  en zullen, praktisch gezien, alle punten liggen tussen  $\bar{x} + 3\sigma$  en  $\bar{x} - 3\sigma$  (zie ook bijgevoegde tekening)



Bij de uitgevoerde proeven werd in de beschouwde zone voor de zeesluis een gemiddelde kwadratische afwijking gevonden die gelegen was :

$$\frac{1}{3} \bar{x} < \sigma < \frac{1}{2} \bar{x}$$

Een voorbeeld is getekend voor de toestand T3 voor richting N, een periode van 6 s, met  $\bar{x} = 20,65 \%$  en waarin de gemiddelde kwadratische afwijking  $\sigma = 8,26 \%$ , dit wil zeggen  $\frac{\sigma}{\bar{x}} = 0,4$  (Bijlage 27, figuur 1).

Tevens is een voorbeeld gegeven van 2 extreme waarden van de verhouding

$\frac{\sigma}{\bar{x}}$  : - Proef T3, richting N, periode 9 s,  $\bar{x} = 19,80 \%$

$\sigma = 10,45 \%$  verhouding 0,527 (Bijlage 27, figuur 2)

- Proef T3, richting NW, periode 9 s,  $\bar{x} = 8,20 \%$

$\sigma = 2,17 \%$  verhouding 0,26 (Bijlage 28).

De tamelijk grote afwijking van een gedeelte der proeven kan verklaard worden door het gebruik van regelmatige golven, die wegens hun regelmatig karakter in de haven, alsmede de aanwezigheid van verticale kademuren, gedeeltelijk staande golven veroorzaken. Een meetpunt zou alsdan gelegen kunnen zijn in een knoop of een buik van de gedeeltelijk staande golf. Door echter een gemiddelde te maken over voldoende punten kan deze onnauwkeurigheid, die inherent is aan een modelproef met regelmatige golven, gedeeltelijk opgeheven worden. Bij de beoordeling van deze kwadratische gemiddelde afwijking is het voorts noodzakelijk voor ogen te houden dat de in het model gemeten golfhoogten slechts tot op 1 mm nauwkeurig kunnen afgelezen worden. Daardoor kunnen afrondingsfouten op het percentage voorkomen van 3,50 % absoluut op de proeven met de periode  $T = 6$  sec en de golfhoogte 2 m op het referentiepunt buiten de haven en tot 2,5 % absoluut op de proeven met de periode  $T = 9$  s. en een golfhoogte van 3 m buiten de haven. Een voldoende groot aantal opmetingen zal echter ook deze aflezingsonnauwkeurigheid grotendeels teniet doen.

### 3.4. Nautische criteria en stabiliteitseisen in verband met de beweging van de sluisdeur.

#### 3.4.1. Nautische criteria.

In verband met de vormgeving van de toegang tot de zeesluis werd, samen met de Antwerpse Zeediensten, de Dienst der Kust en de Dienst van het Loodswezen te Zeebrugge advies uitgebracht over de volgende punten :



1. Wanneer wordt de zeescheepvaart onderbroken ?
2. Welke dient de breedte van de toegang van de toegangsgeul van de zeesluis te zijn met het oog op de toegankelijkheid van grote zeeschepen ?
3. Welke ruimte en voorzieningen zijn nodig voor het binnenvaren van de sluis ?

1. De scheepvaart wordt stilgelegd als dient gevreesd voor onvoldoende diepgang wegens te grote zeegang, als de sleepboten niet meer kunnen aankoppelen of als de loodsen niet meer aan boord kunnen gaan. De onderbreking van de beloodsing komt ongeveer tien maal per jaar voor door zware NW storm.

2. Vooreerst dient te worden aangestipt dat bij het toekomen rond hoogwater het rechtstreeks binnenvaren van de toegangsgeul voor grote schepen uitgesloten is wegens de te grote vloedstroom. Het zou slechts bij kentering mogelijk zijn de toegangsgeul rechtstreeks binnen te varen. Het normale manoeuvreer zou er uit bestaan in de zwaai om voor de toegangsgeul tot stilstand te komen, over stuurboord te zwaaien met sleepbootassistentie en vooruit de toegangsgeul binnen te varen.

Voor het bepalen van de nodige opening van de ingang van de toegangsgeul kan de vergelijking gemaakt worden met de beschikbare breedte van 250 m die actueel voorhanden is tussen de oostelijke hoek van het Westhoofd en de 9 m dieptelijn langs de oostelijke oever van de toegang tot de oude zeesluis. Aan de oostelijke kade van het Westhoofd meren schepen van vergelijkbare tonnemaat welke in de toekomst de nieuwe zeesluis zullen aandoen. Zo wordt voor de opening van de toegangsgeul een volle bodembreedte van 300 à 350 m vooropgesteld om een veilige <sup>in</sup>vaart te kunnen verzekeren.

3. Ten einde over voldoende manoeuvreerruimte te beschikken, moet de oostelijke oever van de toegangsgeul zodanig uitgevoerd worden, dat de kaai-muur of de teen van het talud van deze oever niet verder reikt dan het uiteinde van de reeds gebouwde oostelijke kademuur. Zodanig is een vooruitgeschoven talud zeker te verwerpen.

Bij sterke oostenwind bestaat het gevaar dat het schip bij het invaren van de sluis naar de westelijke kademuur zou afdrijven, daarom acht men een geleidingswerk nodig ten einde het schip in de as van de sluis te houden.

### 3.4.2. Stabiliteitseisen in verband met de beweging van de sluisdeur.

De stabiliteit van de zeewaartse deur zou bij bepaalde optredende golfhoogten in het gedrang kunnen komen. Dit gevaar is het grootst wanneer de deur vanuit gesloten toestand open begint te gaan, en ook juist voordat de deur gesloten wordt. Op dat ogenblik is de statische druk ten gevolge van de gemiddelde waterstand aan de beide zijden van de deur gelijk, maar aan de zeewaartse zijde wordt deze statische druk vermeerderd door een dynamische druk ten gevolge van de golfslag. De roldeur wordt tijdens haar beweging slechts gesteund door een onderrolwagen in de sluisgeul en door een bovenrolwagen in de deurkast. Door een kracht uit te oefenen op een plaats die niet axiaal gelegen is ten overstaan van deze twee steunpunten wordt een moment rond deze denkbeeldige as gelegd, waardoor eventuele vervormingen in de deur kunnen ontstaan. Deze niet axiale kracht wordt gelegd door de golfslag en is maximaal in de bovenvermelde standen van de sluisdeur. Om deze golfkracht minimaal te houden is, in overeenstemming met de nautische criteria die onder 3.4.1. opgelegd werden, een configuratie van de toegangsgedul tot de zeesluis nodig, die de golfslag onmiddellijk voor de zeesluis zodanig beperkt dat de sluis in bedrijf blijft, met andere woorden de zeewaartse deur kan blijven bediend worden zolang de scheepvaart niet onderbroken wordt. De onderbreking van de scheepvaart gebeurt als de vrees bestaat dat, ten gevolge van te hoge zeegang, de diepte onvoldoende is, als het onmogelijk is de sleepboten te koppelen of als de loodsdienst gestaakt wordt.

### 3.5. Uitgevoerde proeven (2e fase).

Ten einde rekening te houden met de criteria zoals vermeld onder § 3.4. werd voor twee reeksen aanvullende proeven een bodembreedte van 300 m aan de ingang van de toegangsgedul aangenomen, omdat deze bodembreedte, zoals op Bijlage 25 is weergegeven, een gevoelige vermindering van de golfagitatatie geeft ten overstaan van de bodembreedte van 350 m. De proeven werden alle uitgevoerd met teruggetrokken talud.

#### 3.5.1. Toestand T 13 (Bijlage 29).

Om een betere zichtbare geleiding te kreëren voor de scheepvaart werd vooraan aan de oostelijke havendam een hoofd uitgebouwd met verticale wanden, die in de toegangsgedul tot de zeesluis reiken tot op cota (- 15 m) en

langs de zeewaartse kant geleidelijk aansluiten aan het natuurlijke bodempeil. Het hoofd werd 45 m naar voor geplaatst ten overstaan van de westelijke kademuur om zoveel mogelijk gebruik te kunnen maken van de huidige bestaande oostelijke havendam. De oostelijke oever van de toegangsgeul werd onder helling 16/4 gelegd. De tabel 16 geeft de resultaten :

TABEL 16

s	NW	NNW	N
6	11.48	25.30	18.73
7.5		28.45	20.93
9	13.44	29.40	24.57
Algemeen gemiddelde	12.46	27.72	21.54

De vergelijking van het algemeen gemiddelde uit Tabel 16 van Toestand 13 met het algemeen gemiddelde uit Tabel 14 van Toestand T 7, die eveneens een bodembreedte had van 300 m met teruggetrokken talud, doch zonder hoofd vooraan, geeft dat deze beide toestanden op zeer weinig na, volledig identieke resultaten opleveren.

### 3.5.2. Toestand T14 (Bijlage 29).

Deze Toestand bestond erin een verticale wand in het model te plaatsen tussen het hoofd en de meest zeewaartse punt van de oostelijke kademuur van de zeesluis. Voor de N richting zijn de resultaten van de proeven getekend op Bijlage 30. Hieruit valt de zware golfaanval op aan het uiteinde van de westelijke kademuur. Grote pieken in de meetresultaten wijzen op staande golven waarvan het ontstaan bevorderd wordt door de verticale wand. De tabel 17 geeft de resultaten.

TABEL 17

s	NW	NNW	N	NNO
6	13.09	29.27	25.02	30.20
7.5	-	29.77	36.07	-
9	12.30	30.68	42.52	25.73
Algemeen gemiddelde	12.70	29.91	34.54	27.97

In vergelijking met de vorige toestanden (T 7 en T 13) bemerken we voor de N en NNO richting een versterkte golfagitatie in de zone voor de zeesluis. Deze verhoging is dus duidelijk te wijten aan de aanwezigheid van verticale wanden in de toegangsgeul.

3.5.3. Toestand T 13<sup>bis</sup>.

De toestand T13, die de meest gunstige configuratie gaf voor de toegangsgeul van de zeesluis, werd nogmaals overgedaan ditmaal met gesloten woelkamers in de kademuren van de zeesluis.

Tabel 18 geeft de resultaten.

TABEL 18

s	NW	NNW	N
6	16.07	45.95	39.47
7.5		41.02	43.49
9	19.07	46.82	47.19
Algemeen gemiddelde	17.84	44.60	43.38

Deze resultaten duiden weer, zoals vroeger, op bijna een verdubbeling van de golfagitatie in het geval van de afgesloten woelkamers.

3.6. Aanvullende proeven met de kop van de westelijke havendam weggenomen.

Deze toestand bestond erin de kop van de westelijke havendam weg te nemen, terwijl de toegangsgeul tot de zeesluis een configuratie had zoals weergegeven door de toestand T13. De tabel 19 geeft de resultaten.

TABEL 19

s	WNW	NW	NNW	N	NNO
6	14.98	43.98	46.93	16.70	19.55
7.5	11.75	48.91	47.95	27.95	19.55
9	15.18	55.27	81.82	30.36	27.82

Proeven werden uitgevoerd voor de richting WNW omdat de richting NW een te hoge golfagitatie gaf in de toegangsgeul tot de zeesluis. Voor de W richting ligt de toegangsgeul voldoende beschermd achter de westelijke havendam. Tijdens de proeven werd een zeer sterke golfagitatie opgemerkt aan de ingang van de toegangsgeul tot de zeesluis.

#### 4. INTERPRETATIE VAN DE MEETRESULTATEN REKENING HOUDEND MET HET VOORKOMEN VAN DE GOLVEN BUITENGAATS (Onder voorbehoud).

---

De resultaten die in dit hoofdstuk worden beschreven worden gegeven onder voorbehoud, omdat bij de uitwerking gebruik gemaakt wordt van onvoldoende en onvoldoend nauwkeurige golfgegevens in de onmiddellijke nabijheid van de haven van Zeebrugge. De oorzaken van dit gebrek zijn uitgelegd in het rapport Mod. 320-3 "Voorhaven Zeebrugge - Golfwaarnemingen".

Niettegenstaande dit tekort wordt een poging tot benadering gedaan door gebruik te maken van twee bronnen van golfwaarnemingen, namelijk deze genomen ter hoogte van het L.S. Westhinder en deze genomen ter hoogte van de Bol van Heist.

##### 4.1. Werkmethode.

##### 4.1.1. Verwerking van de gegevens van het diffractiemodel.

---

De combinatie van de gegevens buitengaats met de overgang van de golfhoogte buiten de haven aan de kop van de westelijke havendam naar de golfhoogte in een zone binnen de haven, geeft de golftoestand in de voorhaven, golftoestand bepaald door de relatie frekwentie-golfhoogte.

De resultaten van de toestand T 7, praktisch identiek aan deze van T 13, met een breedte van 300 m van de toegangsgeul tot de zeesluis en met het teruggetrokken talud, waren de basis voor deze berekening.

De overgangsfactoren  $\frac{\text{golfhoogte in de zone voor de zeesluis}}{\text{golfhoogte kop westelijke havendam}}$

in % uitgedrukt, worden gegeven onder tabel 8. Voor de NNW en de N richtingen worden de buitengaatse golfhoogten kleiner dan 2 m vermenigvuldigd met de factoren die gelden voor een periode van 6 s; de buitengaatse golfhoogten van 2 m tot 3 m worden vermenigvuldigd met de factoren geldend voor 7.5 s. en de buitengaatse golfhoogten groter of gelijk aan 3 m worden vermenigvuldigd met de factoren die gelden voor een periode van 9 s. Voor de windrichtingen NW en NNO ontbreken de overgangsfactoren voor 7.5 s. Daarom werden de golfhoogten tot 2.5 m vermenigvuldigd met de factoren die gelden

voor een periode van 6 s. en de golfhoogten van 2.5 m en hoger worden vermenigvuldigd met de factoren die gelden voor een periode van 9 s.

#### 4.1.2. Verhoging van de golfhoogte ten gevolge van de plaatselijke strijklengte.

---

De toegangsgeul van de zeesluis is naar het NW gericht; de strijklengte bedraagt 1575 m, terwijl de breedte aan de ingang van de toegangsgeul 300 m bedraagt. De strijklengte is dus begrensd door de oevers die de toegangsgeul omringen. Aldus wordt de golfhoogte die opgewekt wordt ten gevolge van de strijklengte niet volledig ontwikkeld. De vermindering van de golfhoogte door de begrenzing van het wateroppervlak kan belangrijk worden in geval de breedte van het wateroppervlak klein is ten overstaan van de lengte. Door Saville (\*) werd de invloed van de breedte van het wateroppervlak op de strijklengte op een theoretische manier benaderd. In bijlage 31 is voor de verhouding breedte op strijklengte de verhouding effectieve strijklengte weergegeven. Op deze grafiek wordt een windveld aangenomen dat een veld van 60° bestrijkt.

De lengte van de toegangsgeul is 1000 m, terwijl de breedte aan de ingang 300 m bedraagt; hieruit volgt  $W/F = 0,30$  waaruit een waarde  $F_E/F = 0,65$  bekomen wordt. Dit geeft een effectieve strijklengte van 650 m. De totale strijklengte (strijklengte in de voorhaven + strijklengte in de toegangsgeul) bedraagt dan 1225 m.

De bepaling van de golfhoogte ten gevolge van de strijklengte, kan bepaald worden aan de hand van de dimensieloze grafiek op bijlage 32, waarvan de verschillende factoren zijn :

- d : waterdiepte : 20 m
- H : significante golfhoogte in m
- F : strijklengte 1225 m
- g : zwaartekrachtsversnelling :  $9,81 \text{ m/s}^2$
- U : windsnelheid in m/s.

Bijlage 33 geeft de verschillende golfhoogten die op de strijklengte zijn opgewekt in functie van de windkracht in Beaufort.

---

(\*) SAVILLE, T., Jr., "The effect of Fetch Width on Wave Generation", Technical Memorandum No. 70, Beach Erosion Board, Corps of Engineers, December 1954.

De periode van de opgewekte golven kan benaderend bepaald worden uit grafieken die opgesteld zijn voor golven die opgewekt zijn in diepwatercondities. Wegens de korte strijklengte bedragen deze perioden tot maximaal 2,7 s. voor de hoogste windsnelheden; bij de lagere windsnelheden verkort de periode aanzienlijk.

De golfhoogte ten gevolge van de strijklengte in de haven werd uitsluitend bepaald voor de NW richting, omdat de toegangsgedul tot de zeesluis haar as in deze richting heeft; voor de andere windrichtingen zal de verhoging van de golfhoogte ingevolge de plaatselijke strijklengte veel geringer zijn. Dientengevolge zal slechts voor de NW richting de golfhoogte ten gevolge van de diffractie vermeerderd worden met de golfhoogte ten gevolge van de plaatselijke strijklengte.

Indien twee golfbewegingen samen voorkomen op dezelfde plaats is hun energie optelbaar.

Men stelt dat  $E_t = E_1 + E_2$

omdat  $E = \frac{\rho}{2} H^2$

is ook  $H_T = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$

Er is echter een uitzondering wanneer twee groepen golven in dezelfde richting met gelijke periode voortlopen, maar opgewekt zijn door twee verschillende bronnen, dan zijn de golfhoogten direct optelbaar zodanig dat :

$$H_T = H_1 + H_2$$

Aan deze voorwaarde is echter niet voldaan wegens het grote verschil in periode.

De volgende benadering werd gemaakt van het voorkomen van windsnelheden uit de NW richting.

Aan de hand van tabel C (Lichtschip Westhinder, windsector N, periode : alle maanden) uit het rapport "Golfwaarnemingen vanaf 1958 tot 1971 aan boord van de Belgische Lichtschepen", waarin onder andere het percentage van voorkomen van bepaalde windsnelheden in Beaufort voorkomt en dat hierna in Tabel 20 - kolom 2 weergegeven is, werd een benadering gezocht voor de windsnelheden voor de NW richting.



TABEL 20

Windkracht in Beaufort	% van voor- komen wind- sector N	overschrijdings- percentage van kolom 2 (groter of gelijk aan)	overschrijdings- percentage om- gezet naar de NW richting (5.79%)	golfhoogte ten gevolge van de strijklengte
1	4.09	100	5.79	0.02
2	6.88	95.91	5.55	0.05
3	11.83	89.03	5.15	0.11
4	23.44	77.20	4.47	0.19
5	24.30	53.76	3.11	0.29
6	16.99	29.46	1.71	0.41
7	7.53	12.57	0.73	0.53
8	3.44	4.94	0.29	0.63
9	1.29	1.50	0.09	0.76
10	0.21	0.21	0.01	0.85

Volgens de Tabel A van het bovenvermelde verslag voor het L. S. Westhinder en voor het ganse jaar, die de verdeling van het voorkomen van de wind per windrichting geeft, komt de wind voor 5,79% uit de NW richting. Deze 5,79% wordt verdeeld volgens de gegevens uit de 3e kolom van Tabel 20 en zodoende verkrijgt men het overschrijdingspercentage van de windkracht in Beaufort voor de NW richting (Tabel 20, kolom 4).

Door toepassing van de grafiek op bijlage 33 wordt kolom 5 gevonden, waardoor de golfhoogteverdeling bekomen wordt in functie van de tijd van voorkomen (kolom 4 en 5) (grafisch op bijlage 34).

#### 4.2. Golfstoestand voor de zeesluis, vertrekkend van golfwaarnemingen ter hoogte van L. S. Westhinder.

Bij deze berekening wordt gebruik gemaakt van de gerefracteerde gegevens van golfwaarnemingen, opgenomen ter hoogte van het L. S. Westhinder. Voor de gegevens van het voorkomen van golfhoogten onmiddellijk buiten de voorhaven van Zeebrugge wordt verwezen naar rapport Mod. 320-2 "Voorhaven van Zeebrugge - Voorafgaande studie van de golven".

In dit rapport werden de refractielijnen berekend voor de perioden 6 s en 7.5 s, en volgens het besluit 8.4 uit bovenvermeld rapport, zou de frekwentie van voorkomen van de golfhoogten als volgt kunnen bepaald worden :

het voorkomen van golven kleiner dan 2 m wordt bepaald aan de hand van de refractielijnen getekend voor een periode van 6 s en het voorkomen van golven gelijk aan en groter dan 2 m wordt bepaald aan de hand van de refractielijnen getekend voor een periode van 7.5 s (Tabel 21, kolom 1, 2 en 3).

TABEL 21

Voorkomen van golfhoogten in de zone voor de zeesluis vertrekkend van gegevens opgenomen ter hoogte van L.S. Westhinder.

Richting NW

golf- hoogte buiten de haven (m)	% van voorkomen buiten de haven berekend met refractielijnen (%)		over- gangs- faktor (%)	golfhoogte in de zone vóór de zeesluis ten gevolge van diffractie $H_D$ (m)	golfhoogte in de zone vóór de zeesluis ten gevolge van de strijk- lengte $H_F$ (m)	totale golf- hoogte $H_T$ $H_T = \sqrt{H_D^2 + H_F^2}$ (m)
	6 s	7.5 s				
0	6.6		10.20	0	0.00	0
0.25	6.4			0.03	0.00	0.03
0.50	6			0.05	0.03	0.06
0.75	5.4			0.08	0.10	0.13
1.00	4.8			0.10	0.16	0.19
1.25	4.1			0.13	0.22	0.26
1.50	3.5			0.15	0.26	0.30
1.75	2.9			0.18	0.31	0.36
2.00		2.3	12.50	0.20	0.35	0.40
2.25		1.7		0.23	0.40	0.46
2.50		1.2		0.31	0.45	0.55
2.75		0.8		0.34	0.52	0.62
3.00		0.5		0.38	0.58	0.69
3.25		0.29		0.41	0.65	0.77
3.50		0.15		0.44	0.71	0.84
3.75		0.06		0.47	0.80	0.93
4.00						



Deze 2 eerste kolommen van Tabel 21 bepalen de zeetoestand buitengaats aan de kop van de westelijke havendam voor de richting NW. De overgangsfactor wordt, zoals vermeld onder 4.1.1., gevonden in Tabel 8 en weergegeven in kolom 4 van Tabel 21. Vermenigvuldiging van kolom 4 met kolom 1 geeft de golfhoogte in de zone voor de zeesluis ten gevolge van diffractie (kolom 5, Tabel 21).

Bij de golfhoogte ten gevolge van de diffractie moet voor de NW richting nog de golfhoogte ten gevolge van de strijklengte bijgevoegd worden. Deze golfhoogte met zijn percentage van voorkomen werd benaderd uit Bijlage 34 en is weergegeven in kolom 6 van Tabel 21. De totale golfhoogte wordt dan gegeven in kolom 7. Deze optelling mag gebeuren omdat beide golfhoogten de significante golfhoogten zijn.

Bijlage 35 geeft de grafiek van het voorkomen van de golven in de zone voor de zeesluis. Tevens werd hierop het voorkomen van de golven buitengaats getekend.

Op analoge manier werd het voorkomen van de golven voor de zeesluis bepaald voor de 3 andere richtingen NNW, N en NNO, waarbij echter geen rekening werd gehouden met de invloed van de plaatselijke strijklengte. De Tabel 22 geeft de samenvatting van het voorkomen van de golven.

De Bijlage 36 geeft de golfstoestand voor de zeesluis waarbij deze 4 richtingen samen genomen werden. Hierbij dient opgemerkt dat gedurende circa 71 % van de tijd de invloed van de golfhoogte buitengaats op de golfhoogte voor de zeesluis verwaarloosbaar klein is.

#### 4.3. Golfstoestand voor de zeesluis, vertrekkend van golfwaarnemingen ter hoogte van Bol van Heist.

---

Voor de gegevens van het voorkomen van golfhoogten opgemeten onmiddellijk buiten de voorhaven van Zeebrugge wordt verwezen naar rapport mod. 320-3 "Voorhaven Zeebrugge - golfwaarnemingen" Bijlagen 8-9-10-11. Deze golfwaarnemingen gelden alleen voor de winterperiode en voor waarnemingen gelijk aan en groter dan 6 Beaufort.

Dezelfde werkwijze wordt toegepast als onder § 4.1. en § 4.2.. De frekwentie van voorkomen van de wind uit het NW blijft echter berekend

uit de gegevens van de metingen ter hoogte van L. S. Westhinder wegens gebrek aan voldoende metingen ter hoogte van Bol van Heist. De golfgegevens zijn slechts uitgewerkt voor windkrachten groter of gelijk aan 6 Beaufort. Bijgevolg wordt ook de wind slechts in rekening gebracht vanaf deze waarde.

TABEL 23

Voorkomen van golfhoogten in de zone voor de zeesluis vertrekkend van gegevens opgenomen ter hoogte van Bol van Heist.

Richting NW

golfhoogte buitengaats	% van voor- komen	overgangs- faktor	golfhoogte in de zone voor de zeesluis $H_D$ (m)	windkracht in Beaufort	golfhoogte ten gevolge van de strijklengte $H_F$ (m)	$H_T = \sqrt{H_D^2 + H_F^2}$ (m)	
0							
0.25	2.34	10.20 %	0.03	6	0.41	0.41	
0.50	2.31		0.05	6	0.41	0.41	
0.75	2.24		0.08	6	0.41	0.42	
1	2.11		0.10	6	0.41	0.42	
1.25	1.66		0.13	6	0.41	0.43	
1.50	1.16		0.15	7	0.53	0.55	
1.75	0.68		0.18	7	0.53	0.56	
2	0.58		12.50 %	0.20	7	0.53	0.57
2.25	0.23			0.23	8	0.63	0.67
2.5	0.15			0.31	9	0.76	0.82
2.75	0.15	0.34		9	0.76	0.83	
3	0.10	0.38		9	0.76	0.85	
3.25	0.05	0.41		9	0.76	0.86	
3.50	0.03	0.44		10	0.85	0.96	
3.75	0.03	0.47		10	0.85	0.97	
4	0.03	0.50		10	0.85	0.99	





De Tabel 23 geeft de verdeling van de golfhoogten in functie van de tijd voor de richting NW. De Tabel 24 geeft de resultaten voor respectievelijk NNW, N en NNO en voor de 4 richtingen samen genomen. In de kolom van het gecumuleerd % van voorkomen bij de 4 richtingen is slechts begonnen aan een golfhoogte = 0,40 m omdat het voorkomen beneden deze golfhoogte voor de richting NW niet gekend is.

De Bijlage 37 geeft in grafiek de vergelijking voor de golfagitatie in de zone voor de zeesluis en de golfagitatie aan de kop van de westelijke havendam.

#### 4.4. Algemeen overzicht.

Niettegenstaande de onvoldoende en onvoldoend nauwkeurige golfgegevens die beschikbaar zijn voor de Belgische Kust in de onmiddellijke nabijheid van de haven van Zeebrugge werd, gebruik makend van de resultaten van het diffractiemodel, het voorkomen van golfhoogten in de zone voor de zeesluis bepaald, aan de hand van twee los van elkaar staande bronnen van golfwaarnemingen.

Het voorkomen van de golfhoogten voor de zeesluis, vertrekkend van golfwaarnemingen ter hoogte van het L. S. Westhinder werd bepaald voor het ganse jaar, terwijl het voorkomen van de golfhoogten voor de zeesluis vertrekkend van de waarnemingen, genomen ter hoogte van Bol van Heist slechts werd bepaald, wegens gebrek aan waarnemingen, voor de winterperiode en voor windkrachten groter of gelijk aan 6 Beaufort. Dit voorkomen werd bepaald voor 4 richtingen namelijk NW, NNW, N en NNO.

Om een vergelijking te kunnen doorvoeren tussen de resultaten van de twee hogervermelde bronnen werd analoog aan de methode gevolgd in het rapport mod. 320-3 "Voorhaven Zeebrugge - Golfwaarnemingen" de resultaten vertrekkend van het L. S. Westhinder dusdanig aangepast dat deze gelden voor de winterperiode en voor windkrachten groter of gelijk aan 6 Beaufort. Tabel 25 kolom 1, 2, 3 geeft de uiteindelijke vergelijking met het aantal dagen en uren dat een golfhoogte in de zone voor de zeesluis bereikt of overschreden is. Onmiddellijk valt het zeer grote verschil op

tussen de resultaten afgeleid uit de gegevens van het L. S. Westhinder en deze verkregen uit de gegevens van de Bol van Heist.

In de 4e kolom van Tabel 25 wordt het aantal dagen en uren gegeven dat een golfhoogte bereikt of overschreden wordt over een volledig jaar vertrekkend vanuit de gegevens van het L. S. Westhinder, zoals het werd uitgewerkt in onderhavig rapport.

De hiervoor besproken golfhoogten zijn zoals reeds eerder vermeld significante golfhoogten. De golfhoogte in de zone voor de zeesluis is een gemiddelde golfhoogte van een aantal opgemeten golfhoogten waarvan de gemiddelde kwadratische afwijking gelegen is tussen :

$$1/3 \bar{x} < \sigma < 1/2 \bar{x}$$

Uit enkele praktische en theoretische overwegingen bedraagt de maximale golfhoogte ongeveer 1.6 maal de significante golfhoogte.

TABEL 25

Voorkomen van golven (hoger en gelijk aan) in de zone  
voor de zeesluis in dagen en uren.

signifikante golfhoogte $H_S$ (m)	windkracht $\geq 6$ Beaufort winterperiode (1 nov. tot 30 april) richtingen NW - NNW - N - NNO		Alle windkrachten ganse jaar richtingen NW - NNW - N - NNO vertrekkend van golf- waarnemingen ter hoogte van L. S. Westhinder
	vertrekkend van golf- waarnemingen t.h.v. L.S. Westhinder	vertrekkend van golf- waarnemingen t.h.v. Bol van Heist	
0	-	-	105 d 12 h
0.10	-	-	81 d 10 h
0.20	-	-	55 d 3 h
0.30	-	-	36 d 8 h
0.40	16 d 12 h	4 d 12 h	22 d 9 h
0.50	10 d 5 h	2 d 5 h	14 d 19 h
0.60	6 d 14 h	23 h	8 d 17 h
0.70	3 d 13 h	11 h	5 d 12 h
0.80	1 d 15 h	5 h	2 d 3 h
0.90	13 h	2 h	20 h
1	-	-	-

5. BESLUITEN.

Aan de hand van de modelproeven, uitgevoerd op grond van de basisaannamen, vermeld onder 3.1., en de uitgangsgegevens vermeld onder 3.2., kunnen volgende besluiten geformuleerd worden :

- 1°) De bestaande westelijke havendam dient integraal behouden te worden.
- 2°) De toestanden T 7 en T 13 met een bodembreedte van 300 m, aan de ingang van de toegangsecul tot de nieuwe zeesluis geven de meest optimale compromis oplossing tussen enerzijds de gestelde nautische eisen en anderzijds de stabiliteitscriteria van de zeevaartse sluisdeuren.
- 3°) De golftoestand (relatie frequentie - golfhoogte) in de toegangsecul voor de zeevaartse sluisdeur kan slechts onder voorbehoud gegeven worden gezien onvoldoende en onvoldoend nauwkeurige kennis van de optredende golven juist buitengaats.
- 4°) Uit de modelproeven is gebleken dat bij afwezigheid van golfdempende kamers in de westelijke noordelijke kademuur van de toegangsecul een verdubbeling van de golfagitatatie in de zone voor de zeesluis zou te verwachten zijn.
- 5°) Een sterke golfaanval werd telkens, bij de N en NNW richting, vastgesteld aan de kop van de westelijke kademuur van de toegangsecul.

Borgerhout, november 1976.

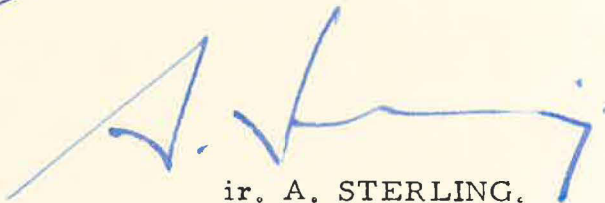
De ingenieur van  
Bruggen en Wegen,  
belast met de studie,

De Hoofdingenieur-Directeur  
van Bruggen en Wegen,

De Inspecteur-Generaal van  
Bruggen en Wegen,  
Directeur van het Waterbouwkundig  
Laboratorium,

  
ir. W. GRARE.

  
ir. P. ROOVERS.

  
ir. A. STERLING.

LIJST DER BIJLAGEN.

Bijlage nr.

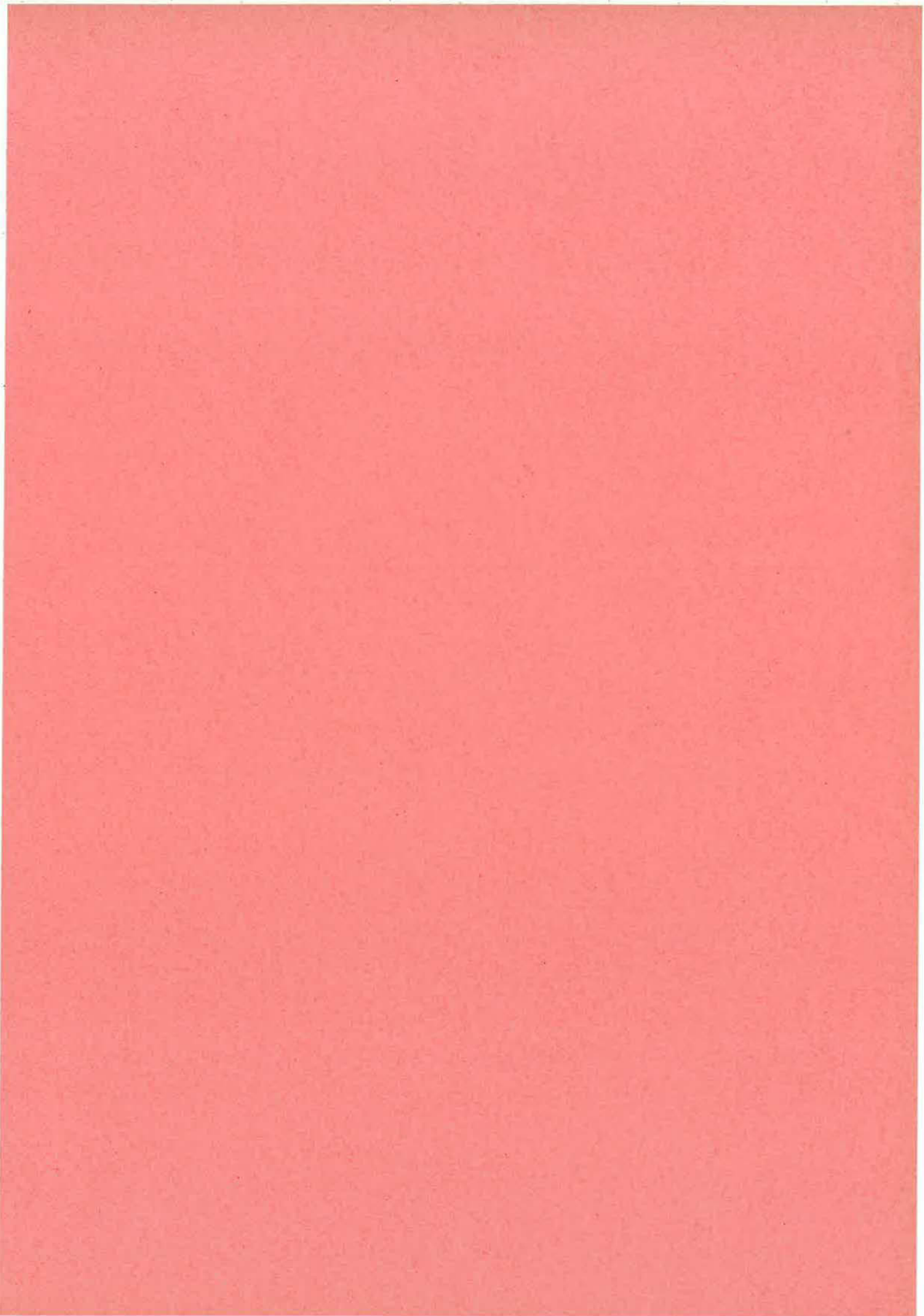
1	Algemeen overzichtsplan	W. L. 76.744
2	Foto van het model	76.745
3	Aanpassing tussen golfschot en bodemprofiel	76.746
4	Meetpunten in de haven. Toestand T 7	76.747
5	Situatie talud oostelijke havendam	76.748
6	Toestanden met vooruitgeschoven talud	76.749
7	Toestanden met vooruitgeschoven talud	76.750
8	Toestanden met teruggetrokken talud	76.751
9	Toestanden met teruggetrokken talud	76.752
10	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NW, Periode 7.5 s	76.753
11	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NW, Periode 9 s	76.754
12	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNW, Periode 6 s	76.755
13	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNW, Periode 7.5 s	76.756
14	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNW, Periode 9 s	76.757
15	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting N, Periode 6 s	76.758
16	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting N, Periode 7.5 s	76.759
17	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting N, Periode 9 s	76.760
18	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNO, Periode 6 s	76.761
19	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNO, Periode 7.5 s	76.762

Bijlage nr.

20	Golfpatroon in de voorhaven Toestand T 3, Richting NNO, Periode 9 s	W. L.	76.763
21	Golfpatroon in de toegangsgeul tot de zeesluis Toestand T 7, Richting NW		76.764
22	Golfpatroon in de toegangsgeul tot de zeesluis Toestand T 7, Richting NNW		76.765
23	Golfpatroon in de toegangsgeul tot de zeesluis Toestand T 7, Richting N		76.766
24	Golfpatroon in de toegangsgeul tot de zeesluis Toestand T 7, Richting NNO		76.767
25	Golfagitatie in de zone voor de zeesluis per richting en per toestand		76.768
26	Relatie golfhoogte - breedte toegangsgeul zeesluis		76.769
27	Spreiding der meetresultaten		76.770
28	Spreiding der meetresultaten		76.771
29	Toestanden met openingsbreedte van de toegangsgeul = 300 m		76.772
30	Golfpatroon in de toegangsgeul tot de zeesluis Toestand T 14, Richting N		76.773
31	Relatie tussen de effectieve strijklengte en de breedte - lengte verhouding		76.774
32	Bepaling van de golfhoogte ten gevolge van de strijklengte		76.775
33	Golfhoogte voor de zeesluis in functie van de windkracht		76.776
34	Voorkomen van golfhoogten ten gevolge van de plaatselijke strijklengte		76.777
35	Golftoestand in de zone voor de zeesluis en buitengaats - Golfwaarnemingen L.S. Westhinder, Richting NW		76.778
36	Golftoestand in de zone voor de zeesluis en buitengaats - Waarnemingen L.S. Westhinder, Richting NW, NNW, N, NNO		76.779

Bijlage nr.

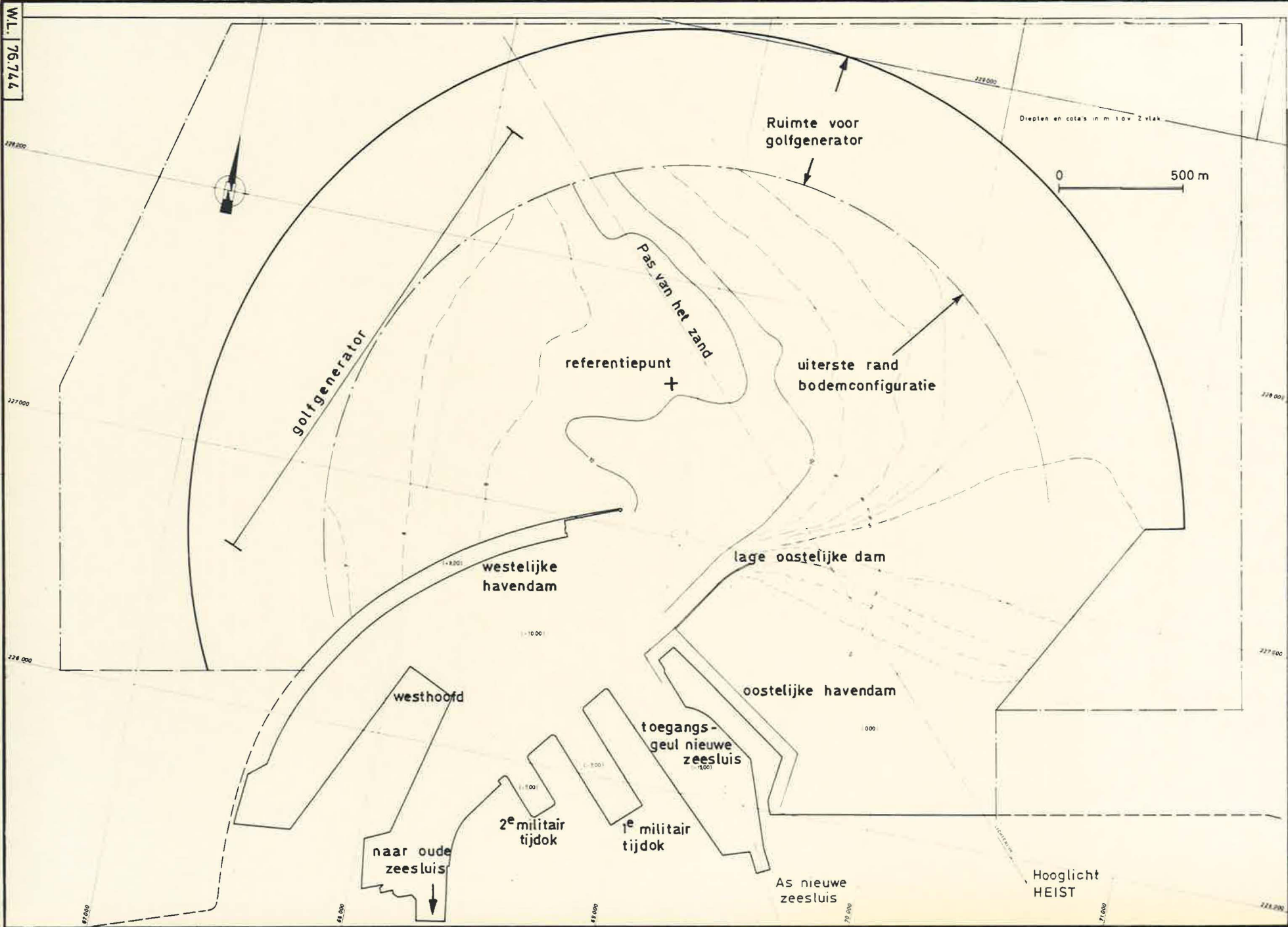
- 37      Golftoestand in de zone voor de zeesluis en      W.L. 76.780  
buitengaats - Golfwaarnemingen Bol van Heist,  
Richting NW, NNW, N, NNO,  
Windkracht  $\geq$  6 Beaufort, Winterperiode

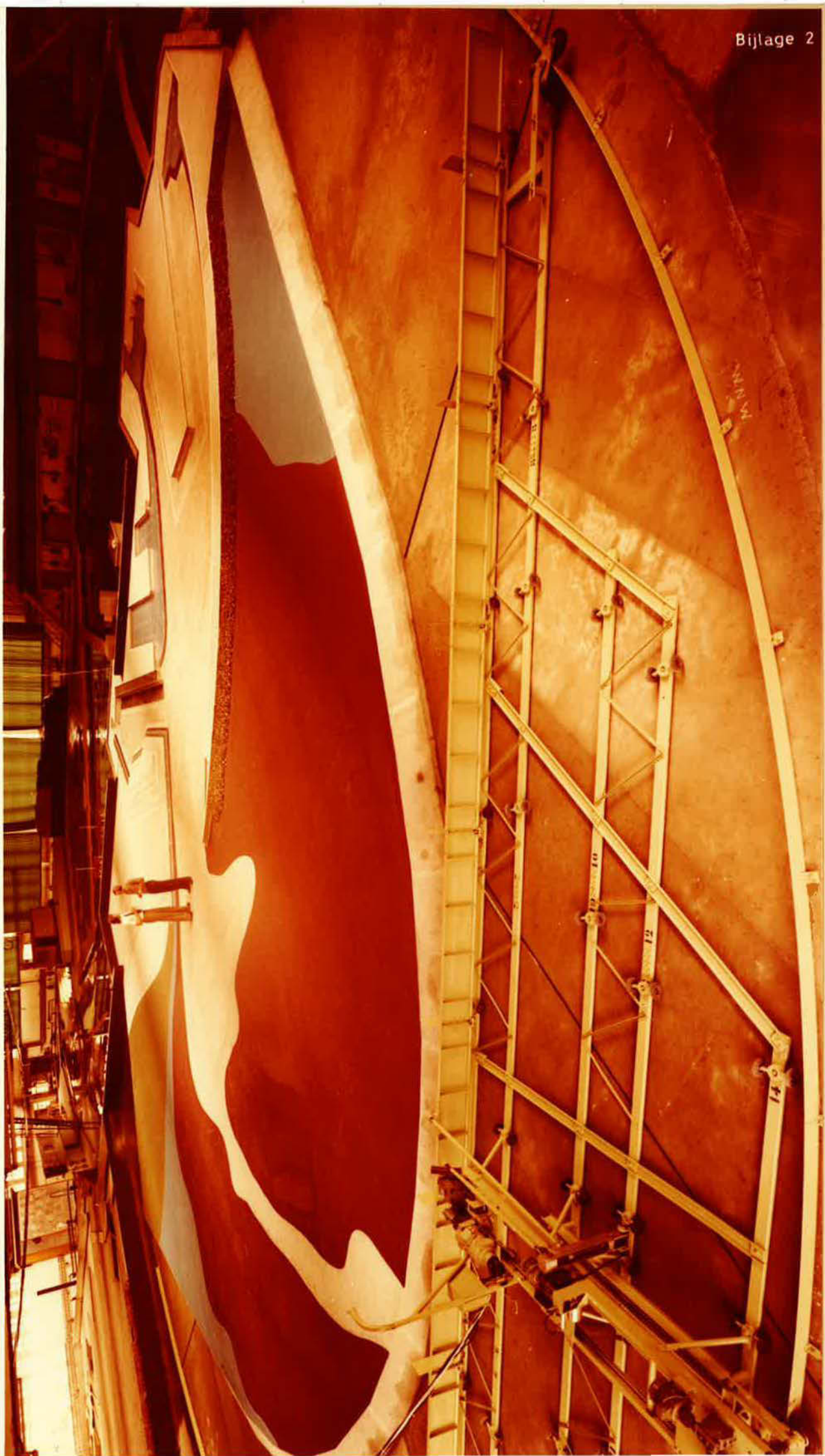






W.L. 76.744

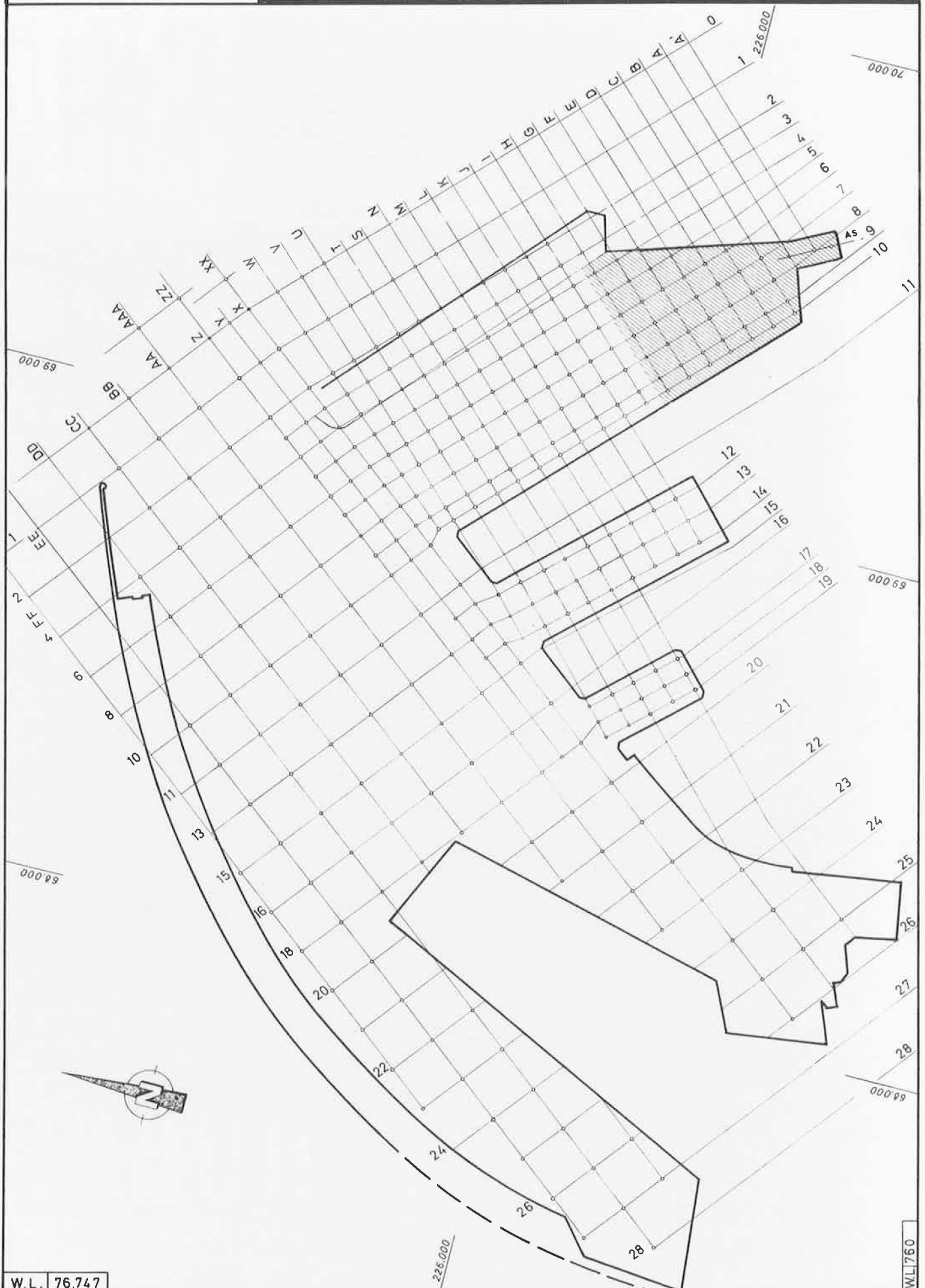






Schaal 1/10.000

MEETPUNTEN IN DE HAVEN TOESTAND T7

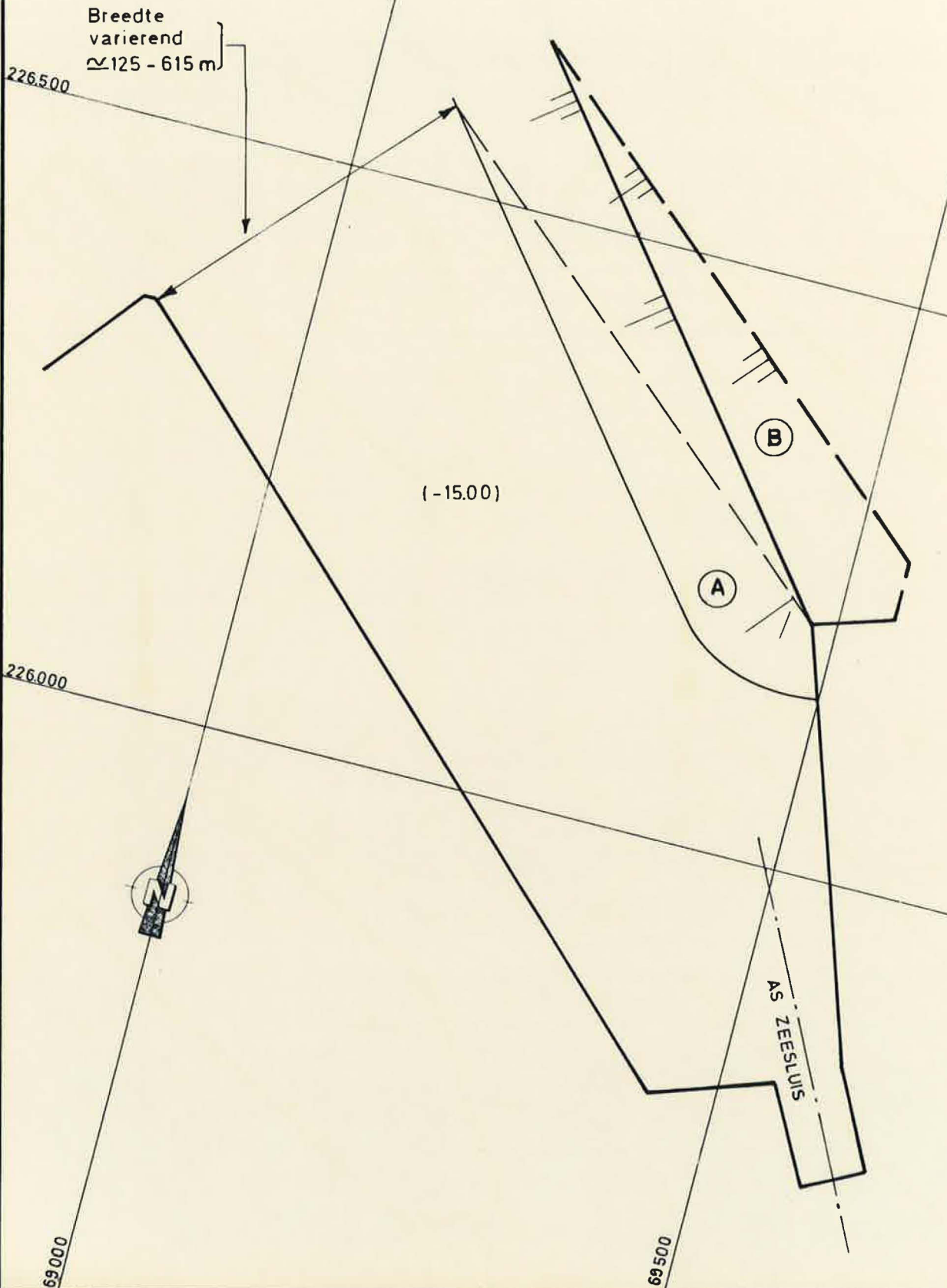




Schaal 1/5.000  
Cota's in m tov. Z-vlak

SITUATIE TALUD OOSTELIJKE HAVENDAM

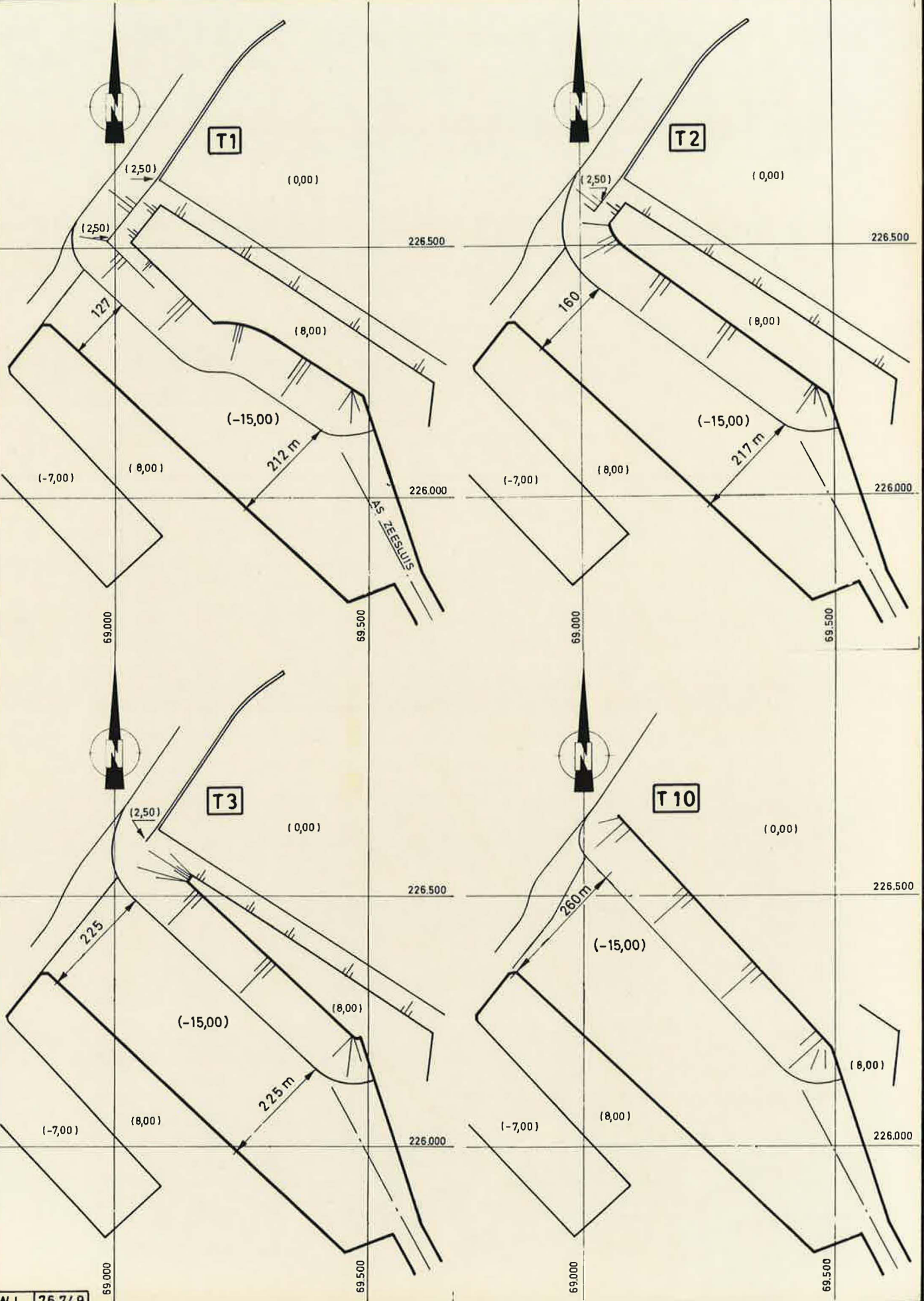
- (A) ——— Vooruitgeschoven talud
- (B) ——— Teruggetrokken talud



Schaal 1/10.000

TOESTANDEN MET VOORUITGESCHOVEN TALUD

Cota's in m tov. Z-vlak

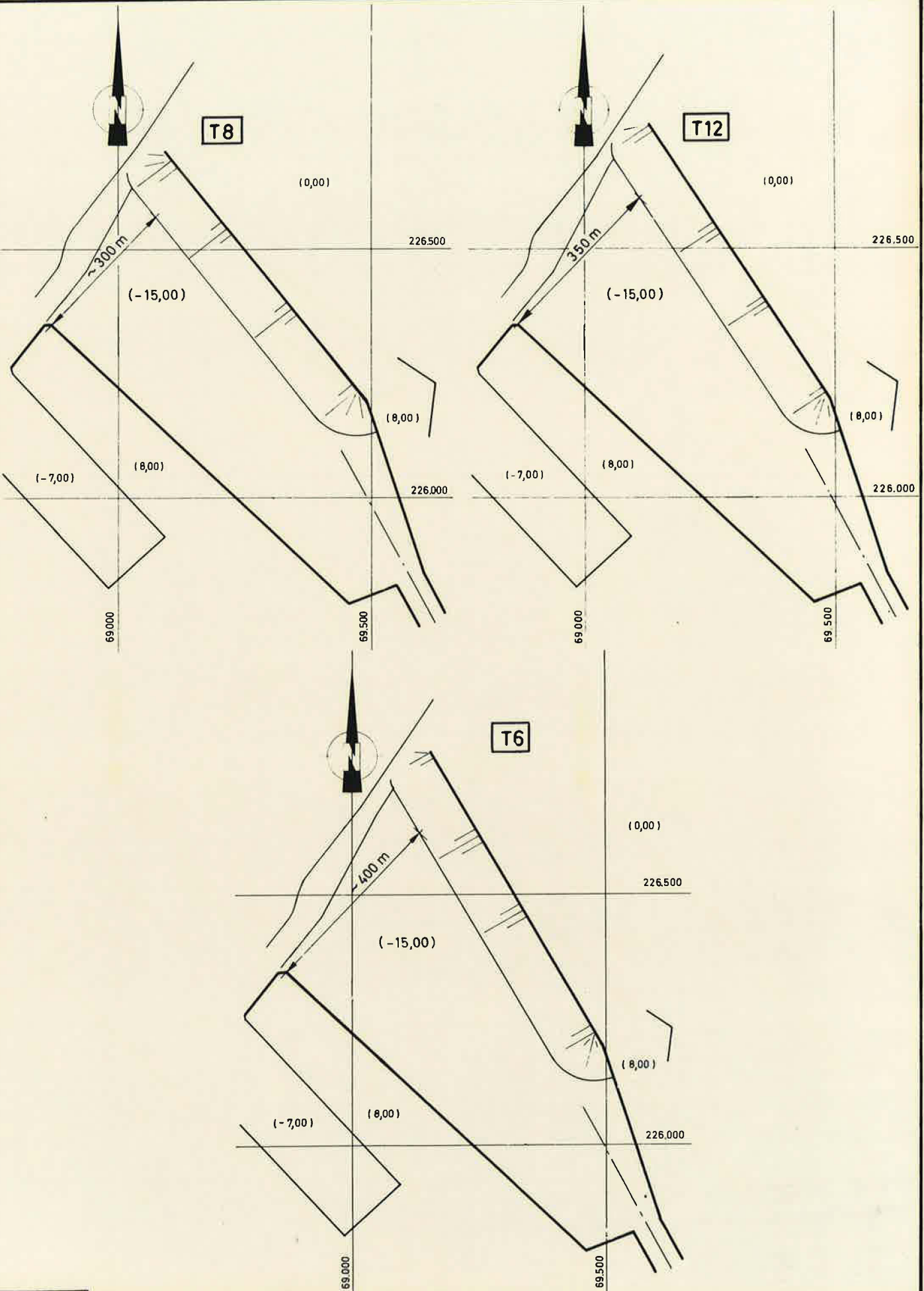




Schaal 1/10.000

TOESTANDEN MET VOORUITGESCHOVEN TALUD

Cota's in m tov. Z-vlak

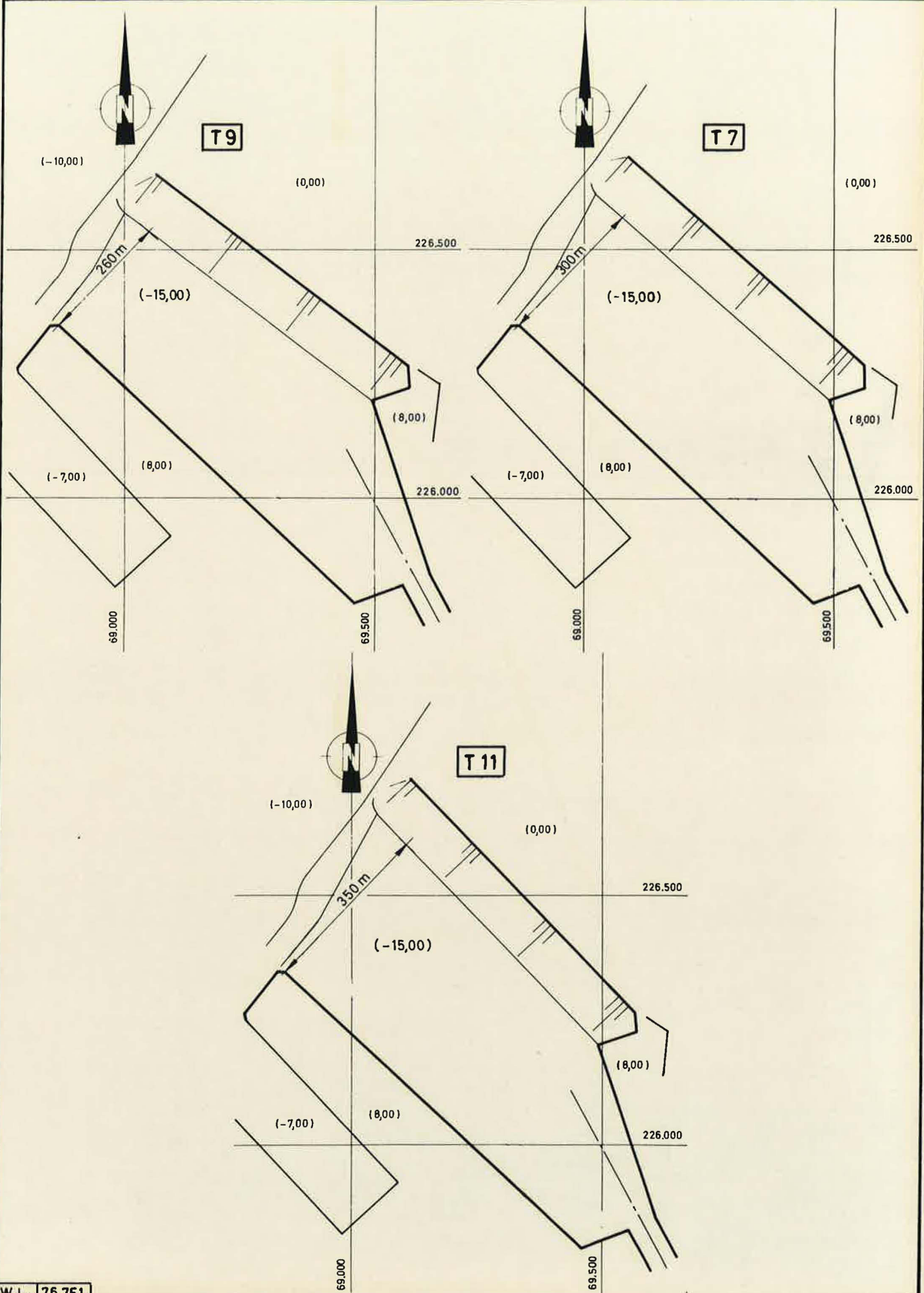




Schaal 1/10.000

TOESTANDEN MET TERUGGETROKKEN TALUD

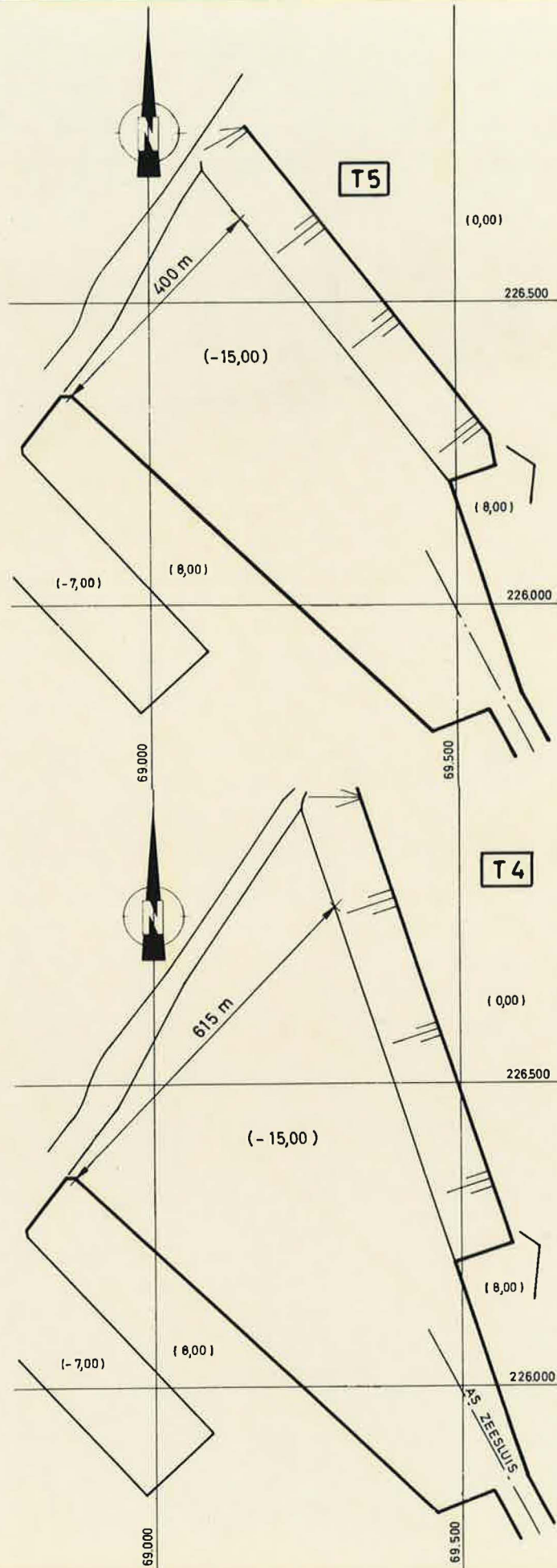
Cota's in m tov. Z-vlak



Schaal 1/10.000

TOESTANDEN MET TERUGGETROKKEN TALUD

Cota's in m tov. Z-vlak



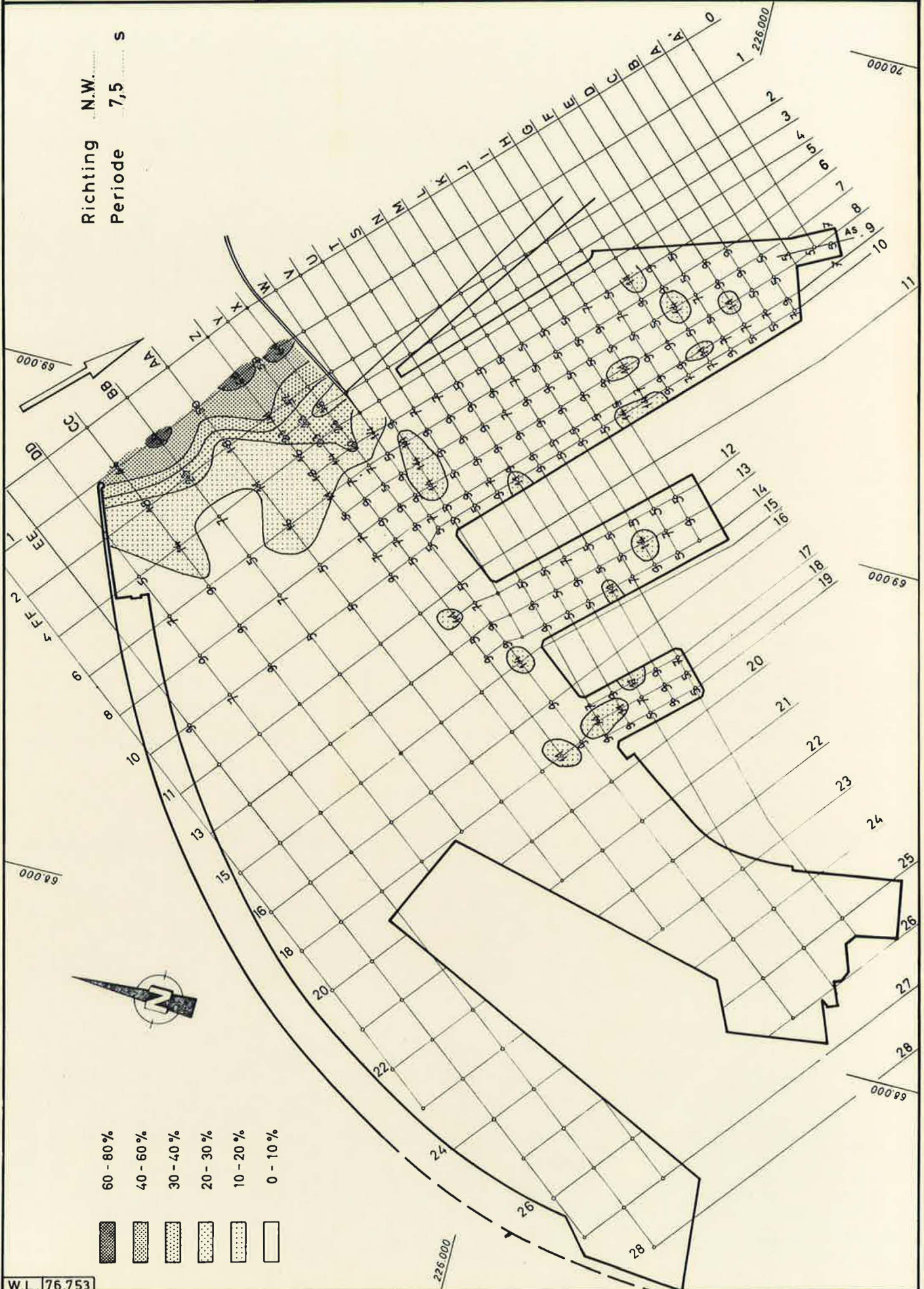




Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN

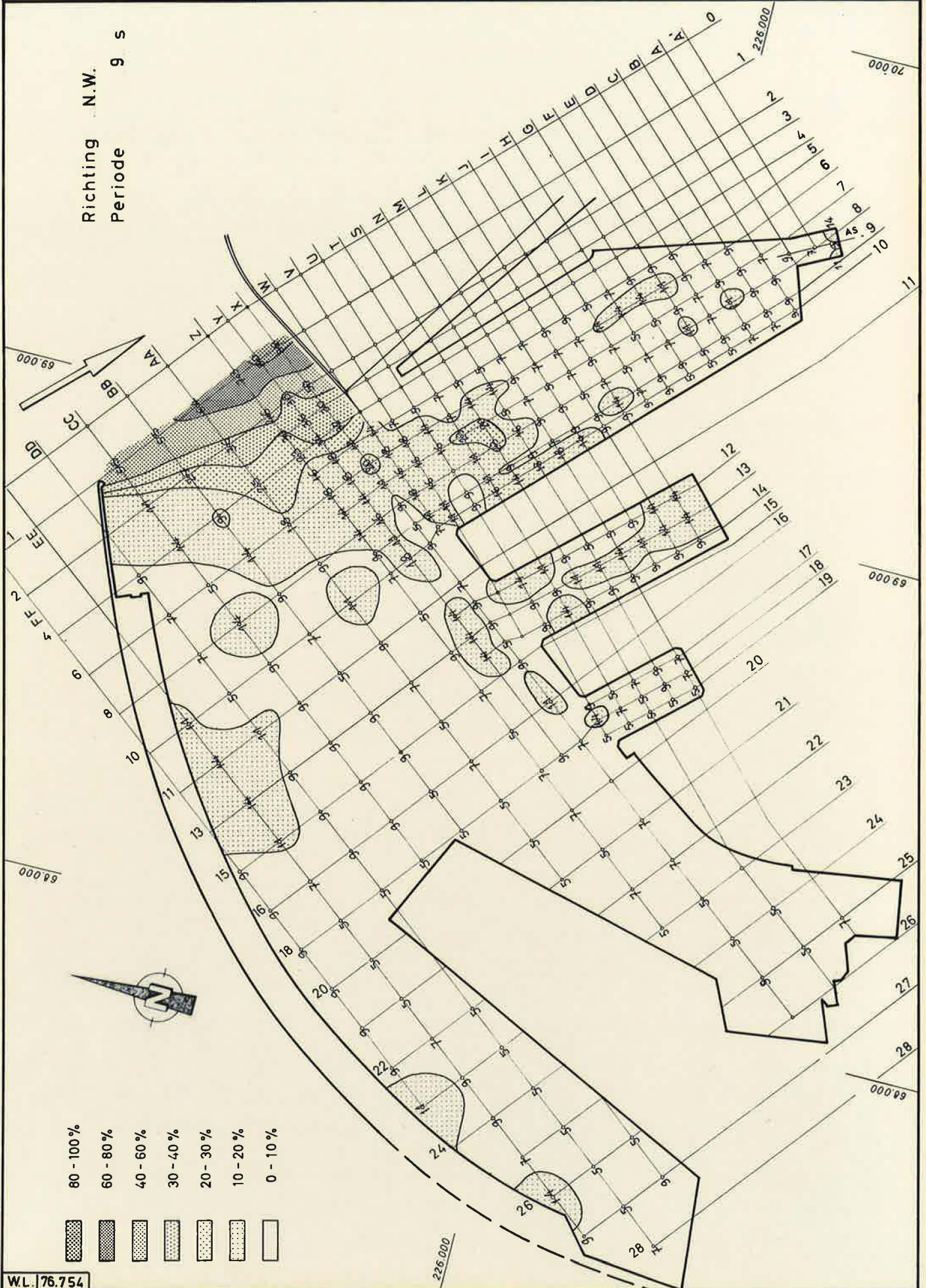
Richting N.W.  
Periode 7,5 s





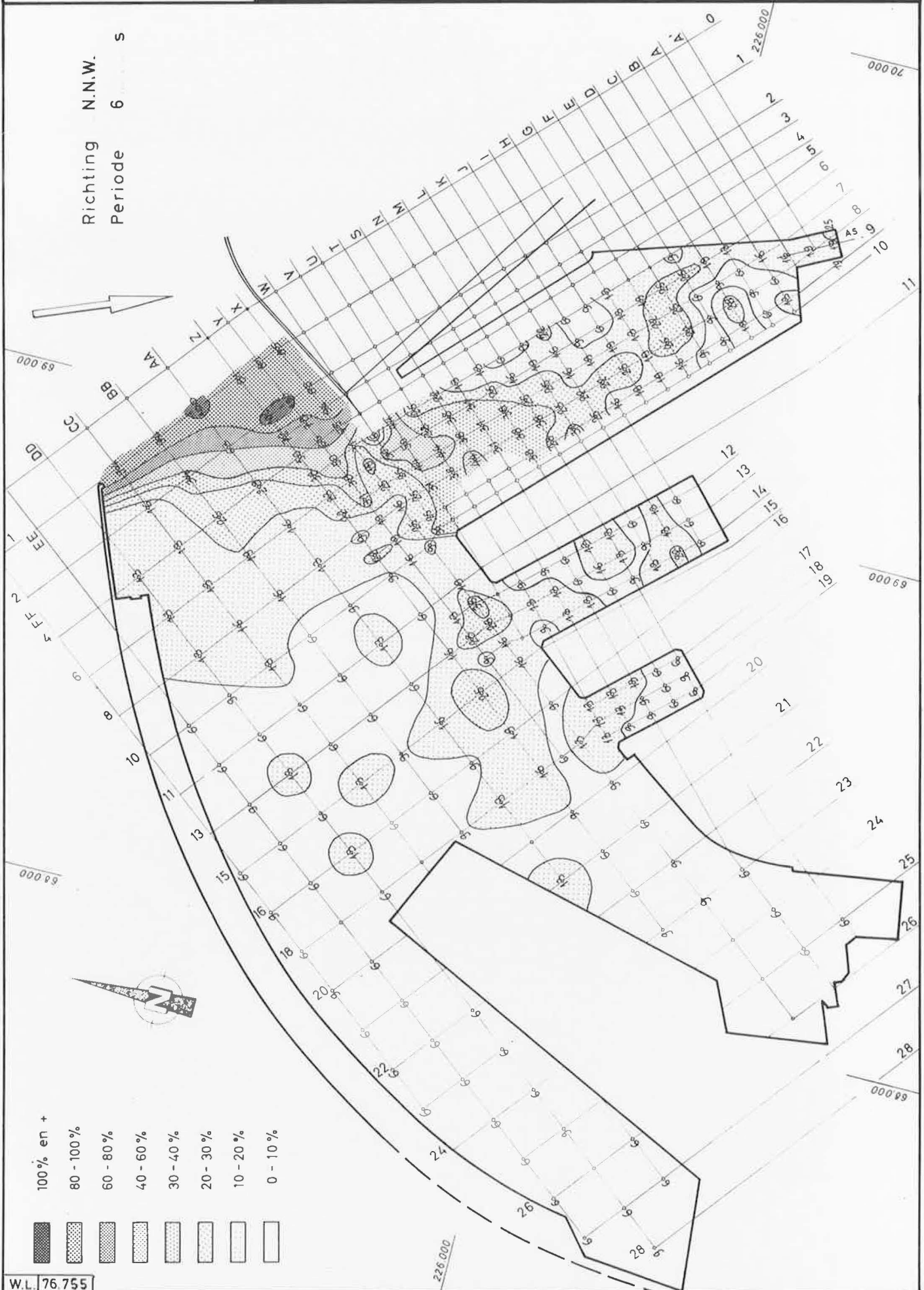
Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN



Toestand T3

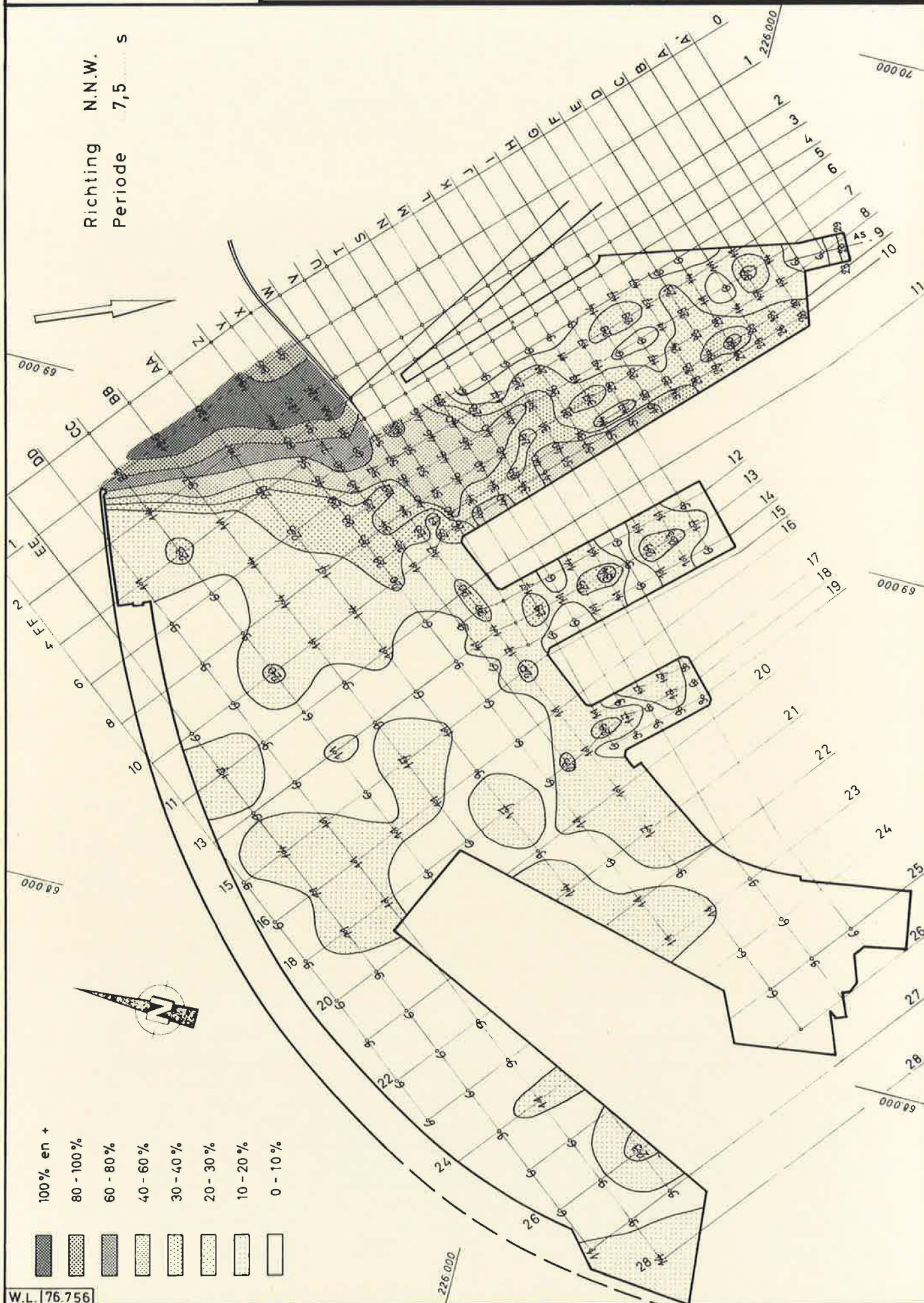
GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN





Toestand T3

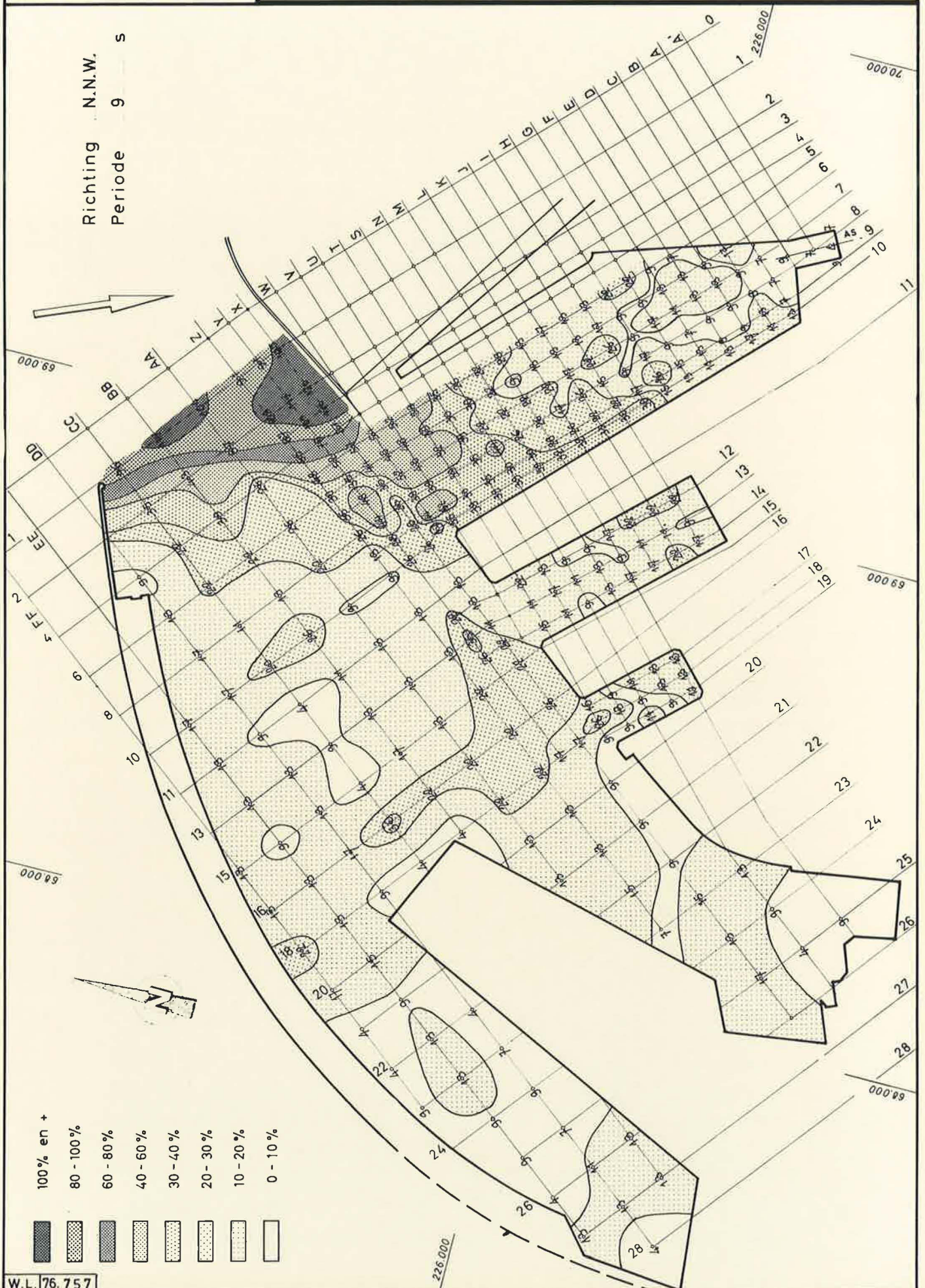
GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN





Toestand T3

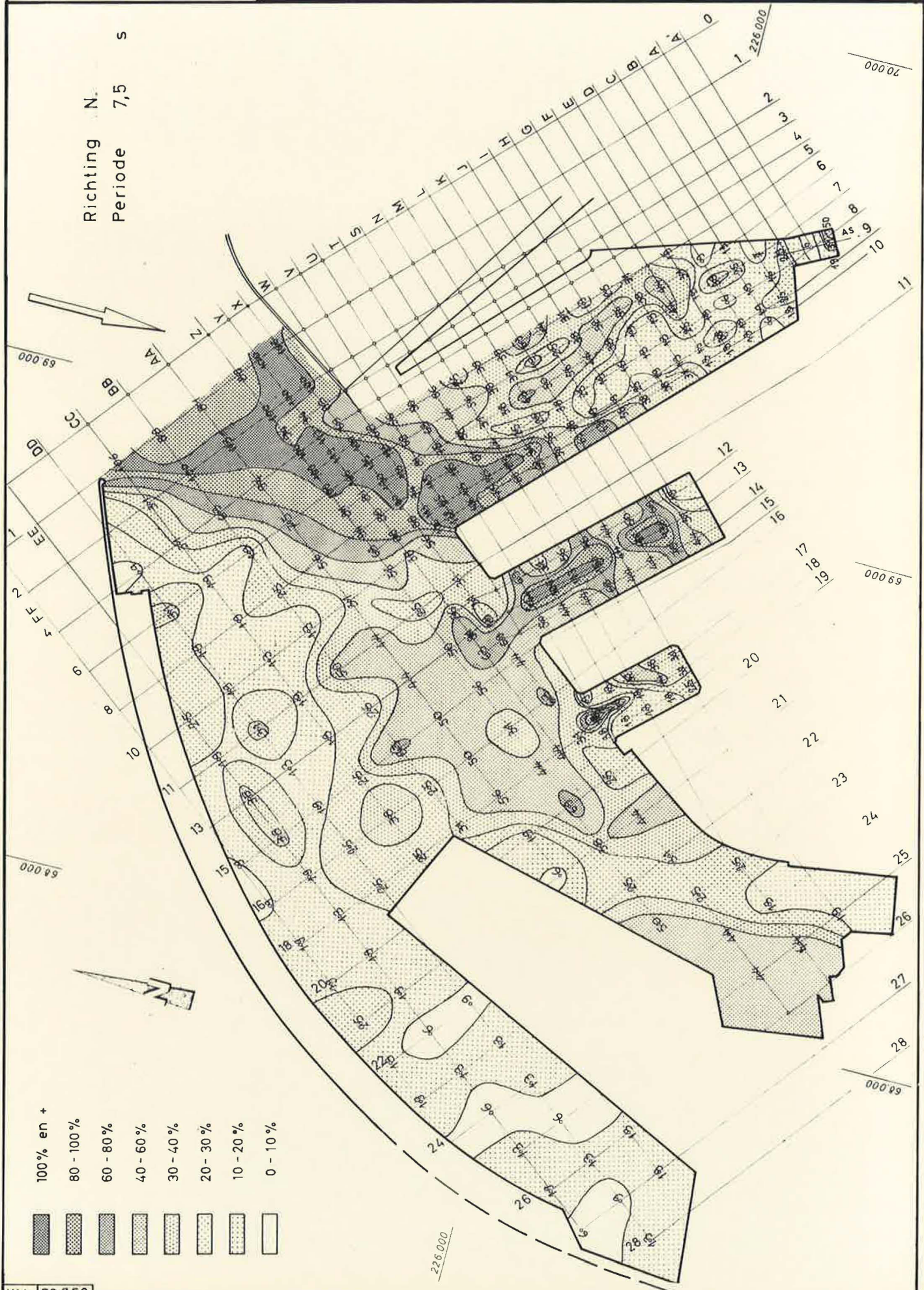
GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN





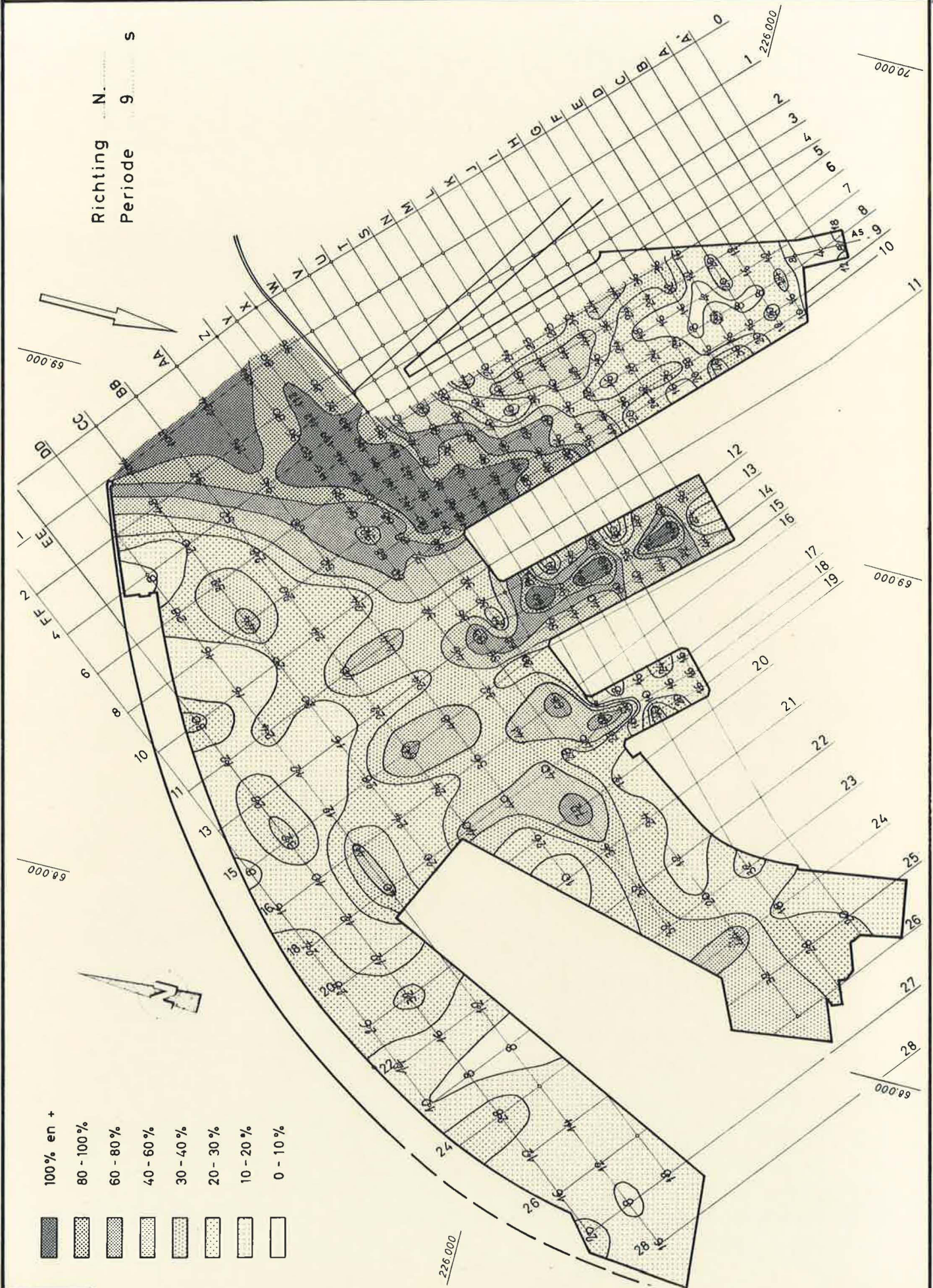
Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN



Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN

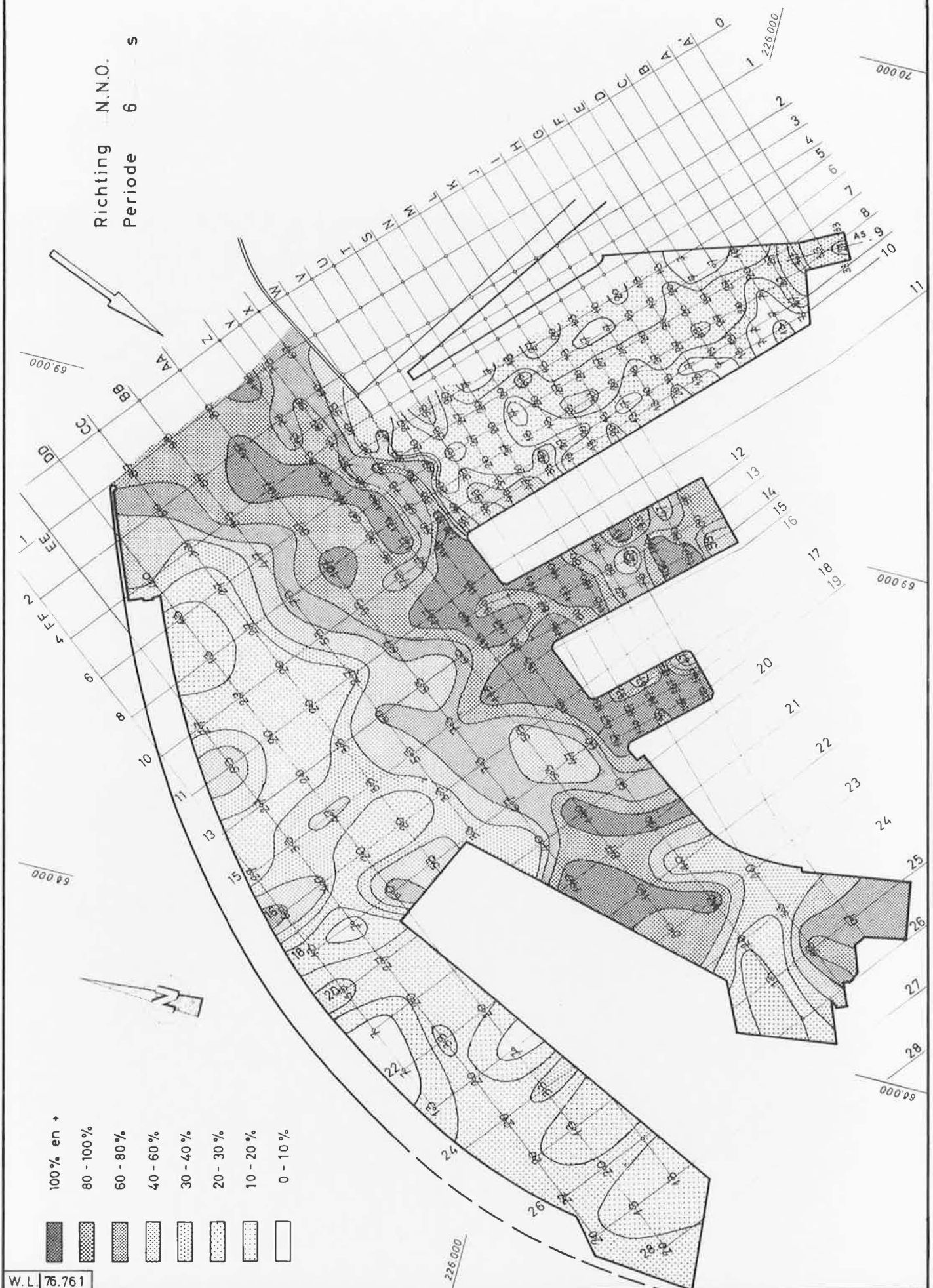






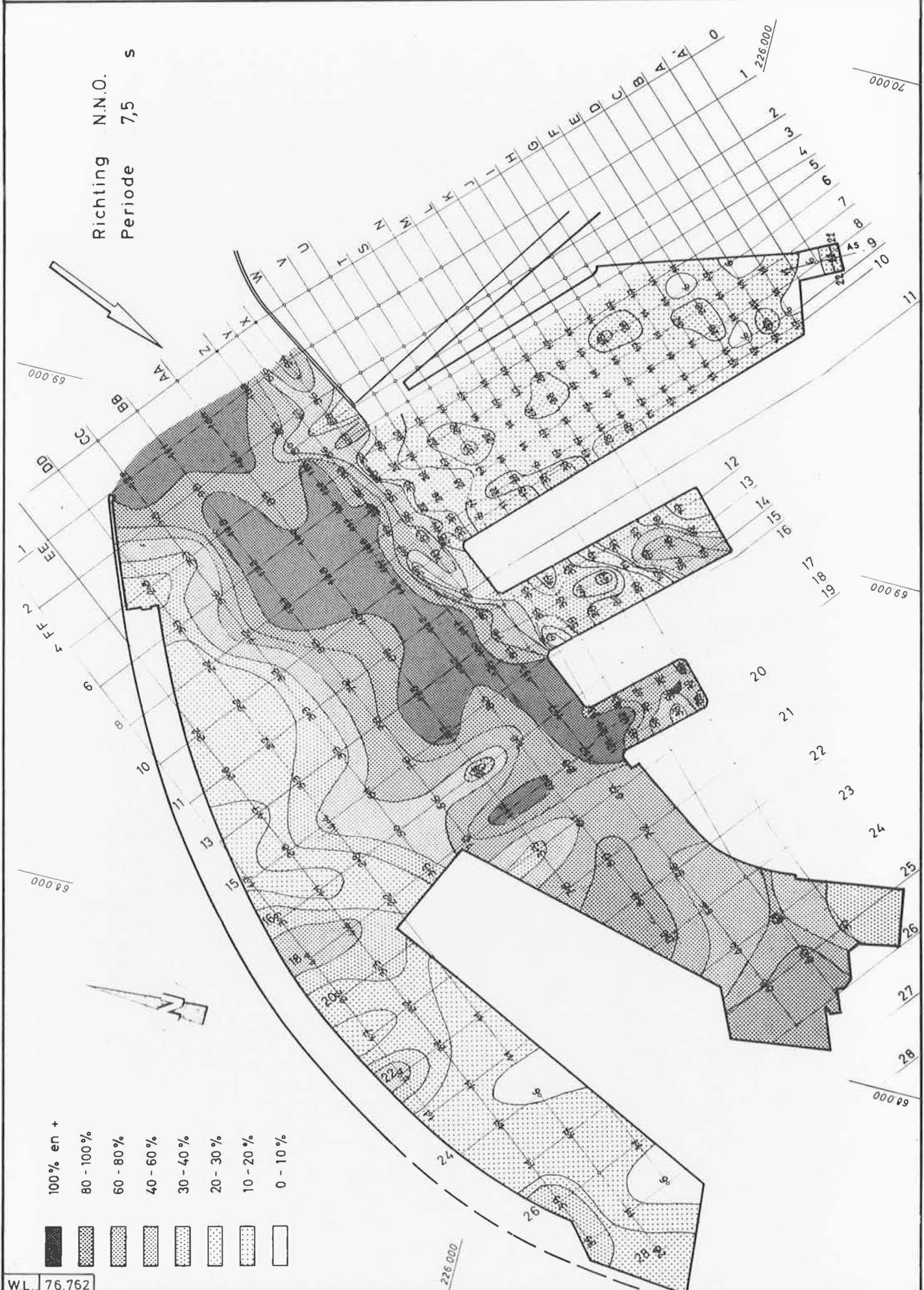
Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN

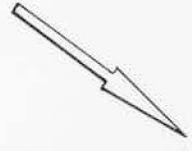


Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN



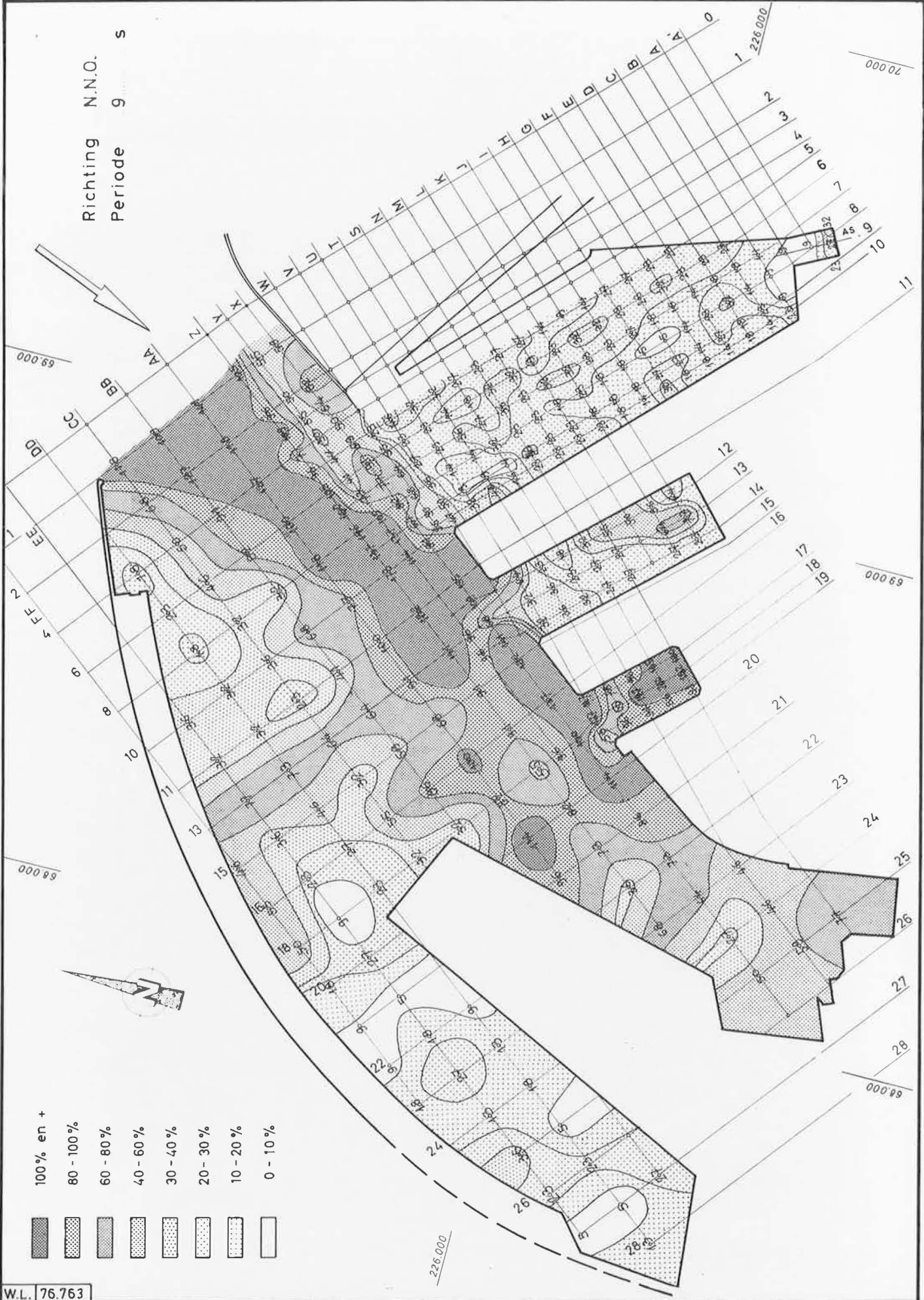
Richting N.N.O.  
Periode 7,5 s



- 100% en +
- 80 - 100%
- 60 - 80%
- 40 - 60%
- 30 - 40%
- 20 - 30%
- 10 - 20%
- 0 - 10%

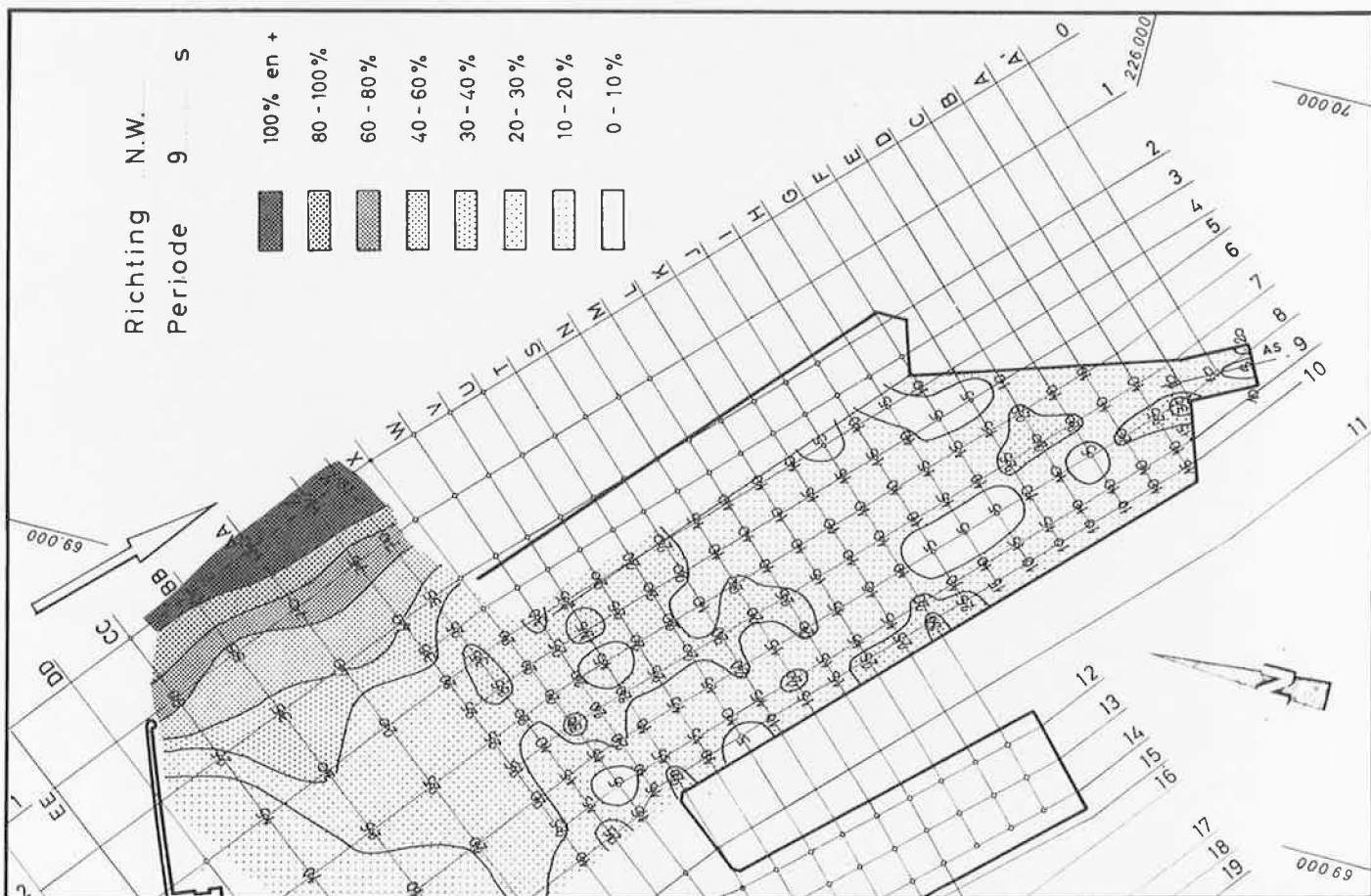
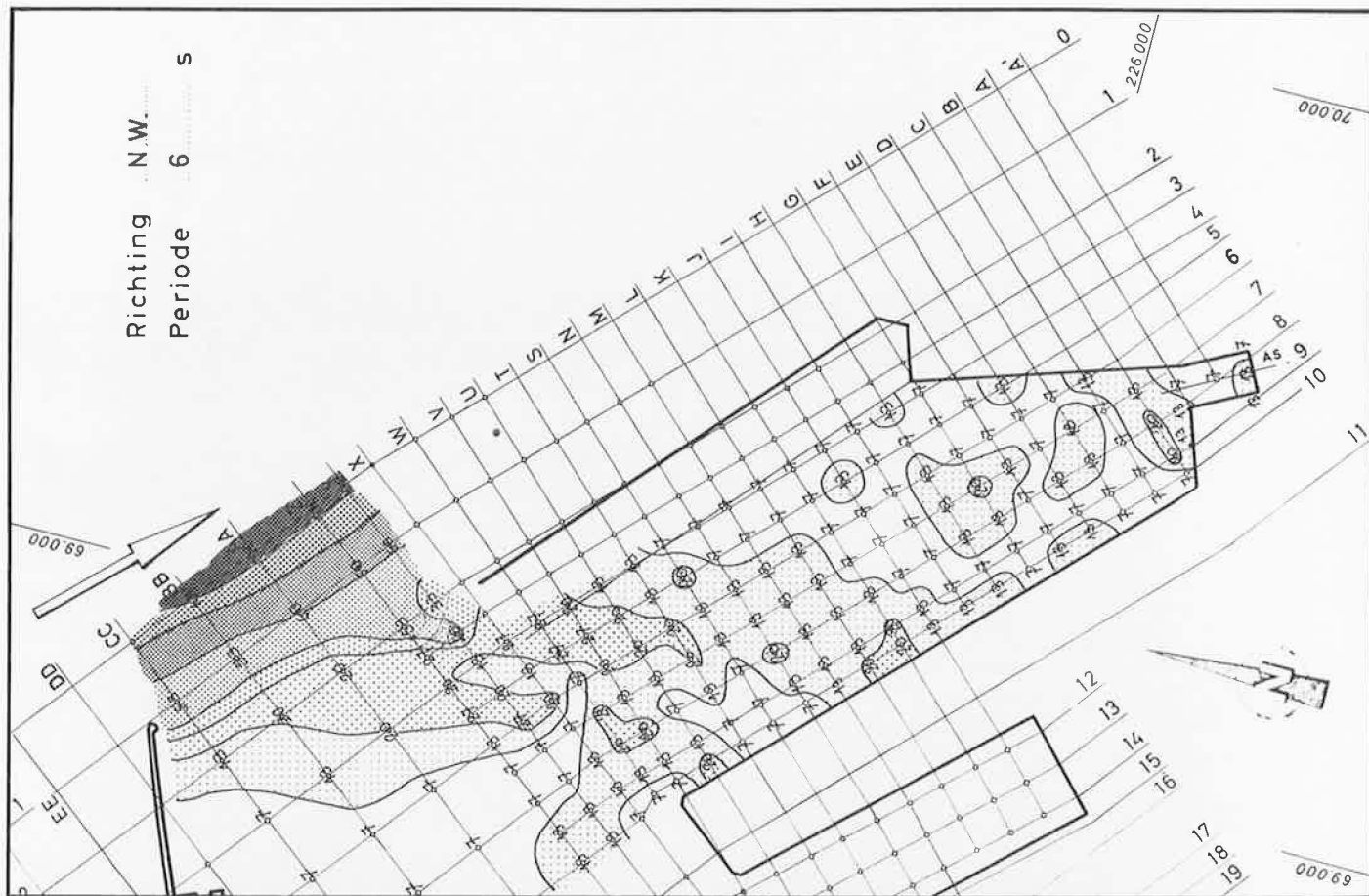
Toestand T3

GOLFPATROON IN DE VOORHAVEN



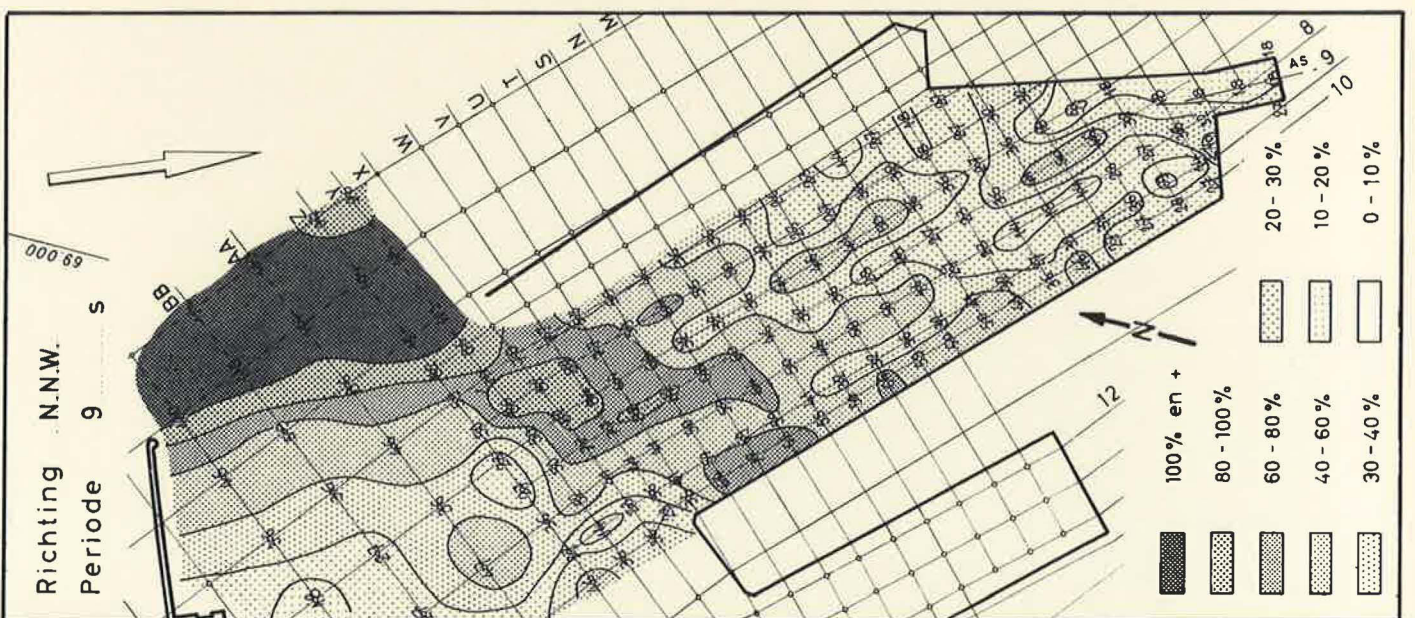
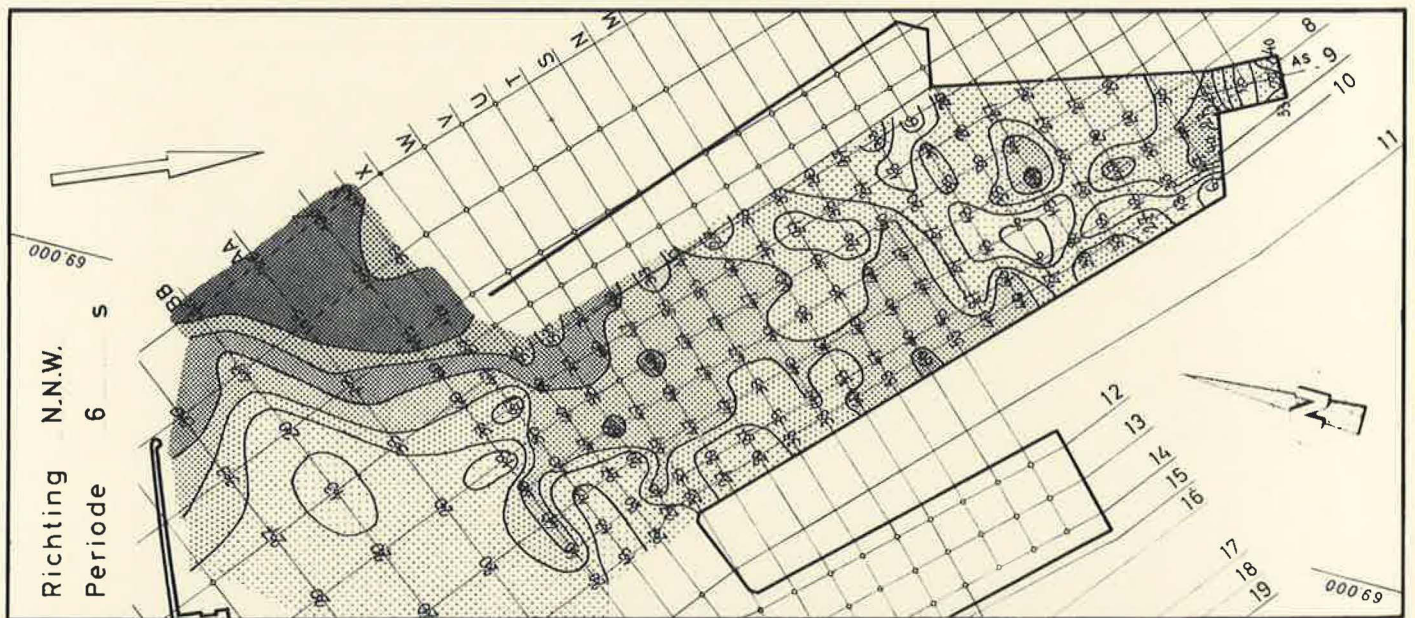
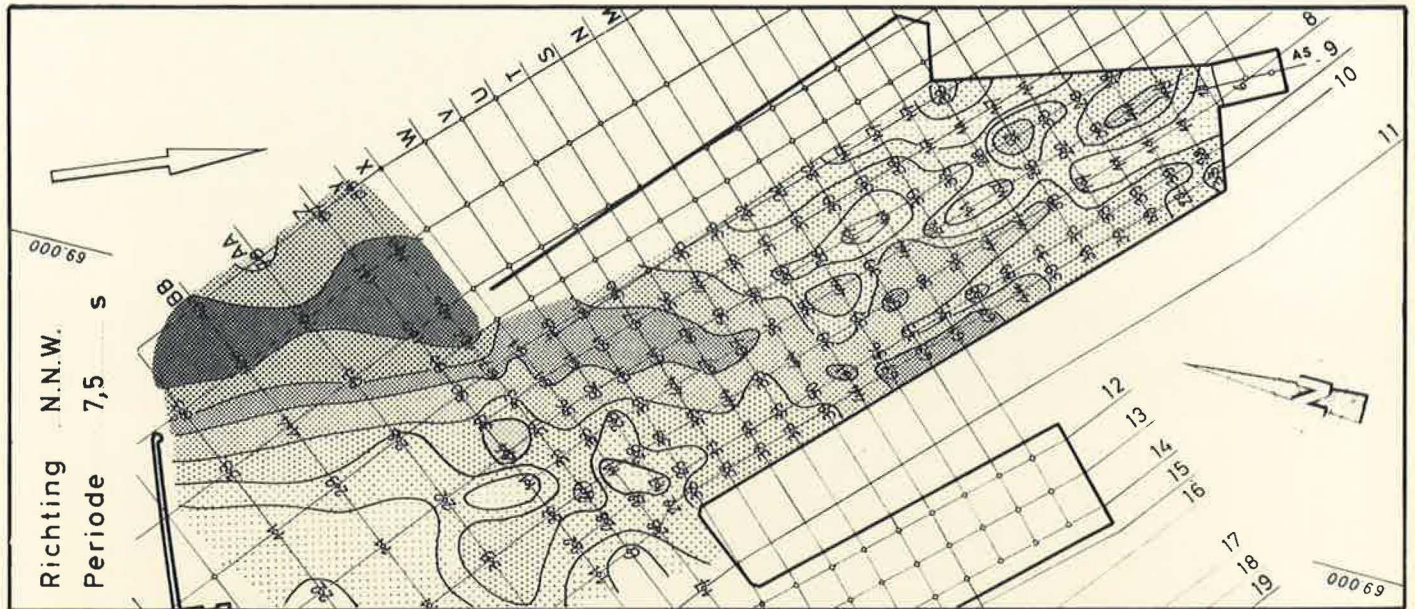
Toestand T7

GOLFPATROON IN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS



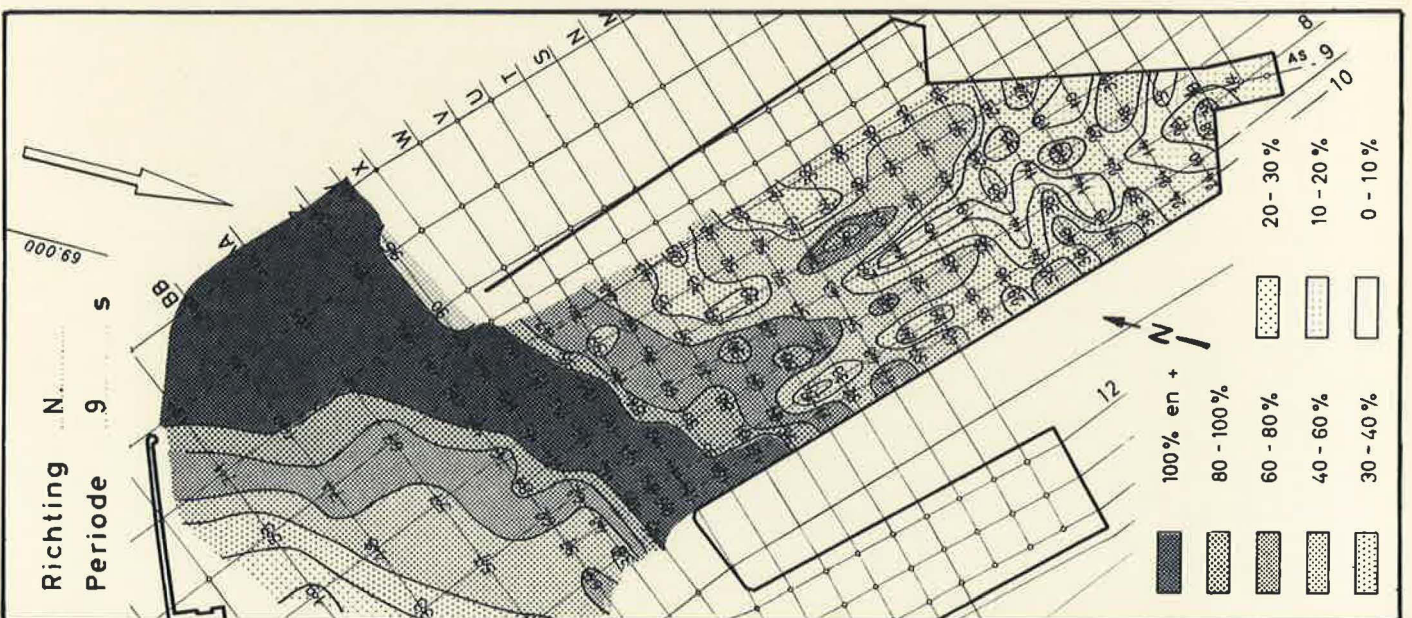
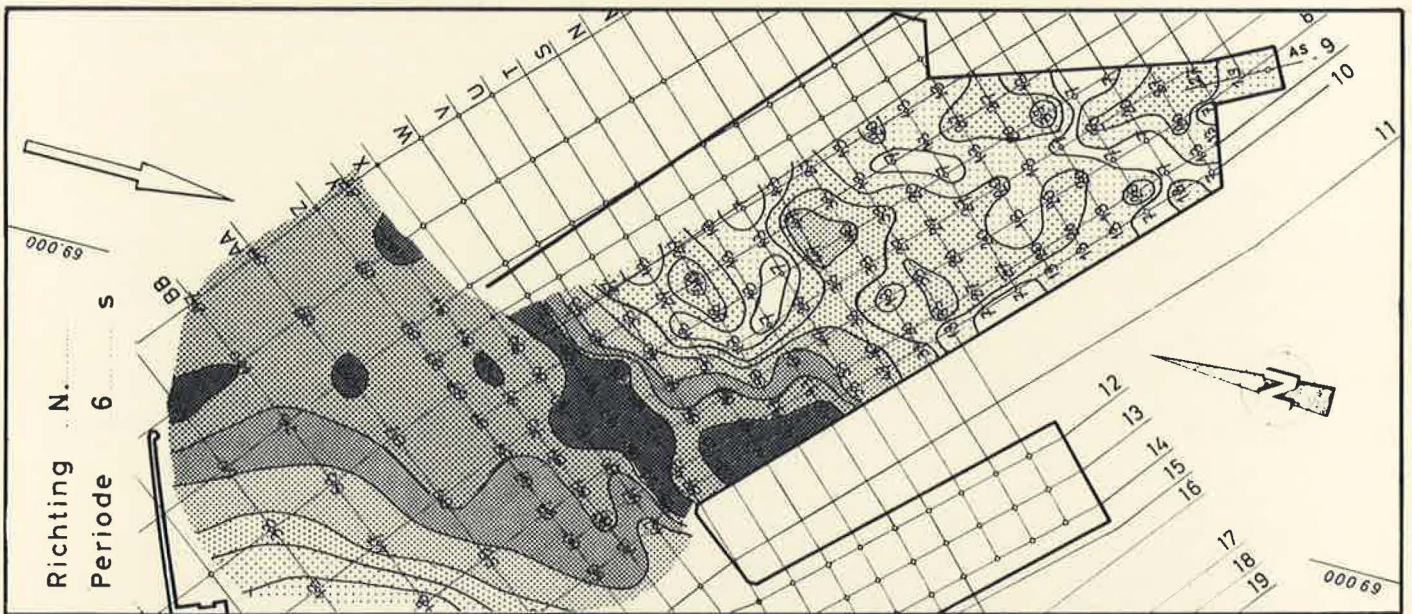
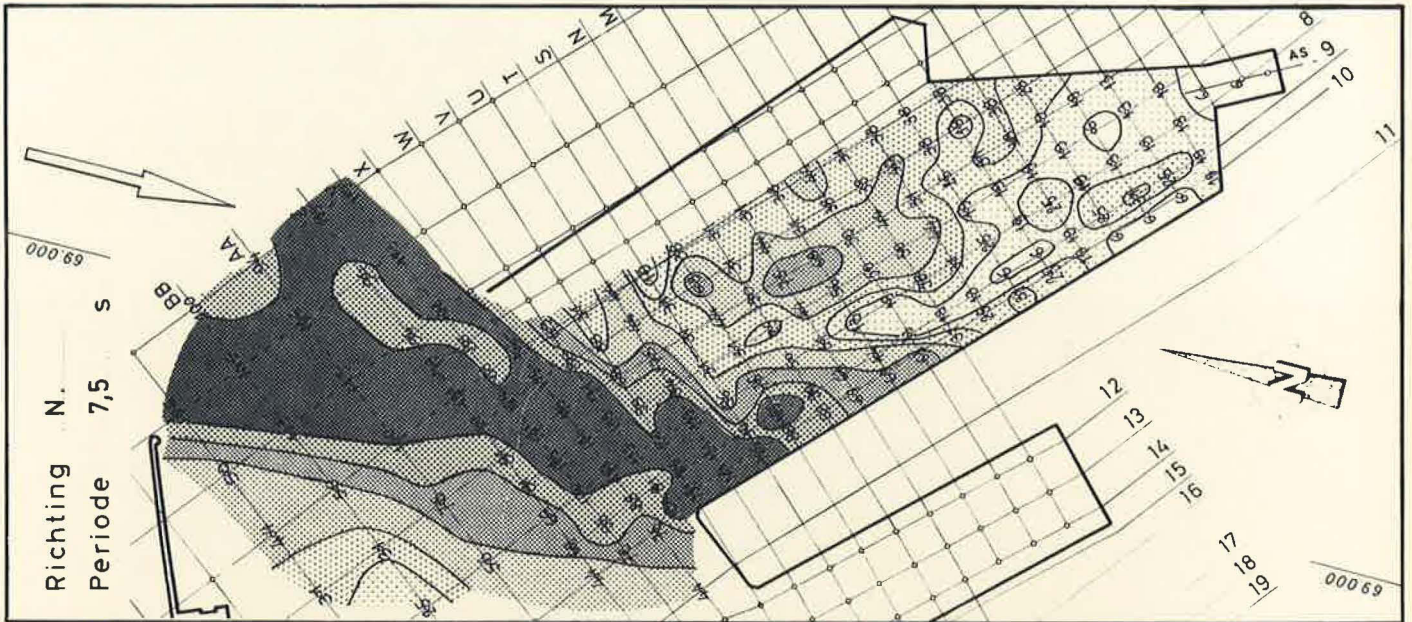
Toestand T7

GOLFPATROON IN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS



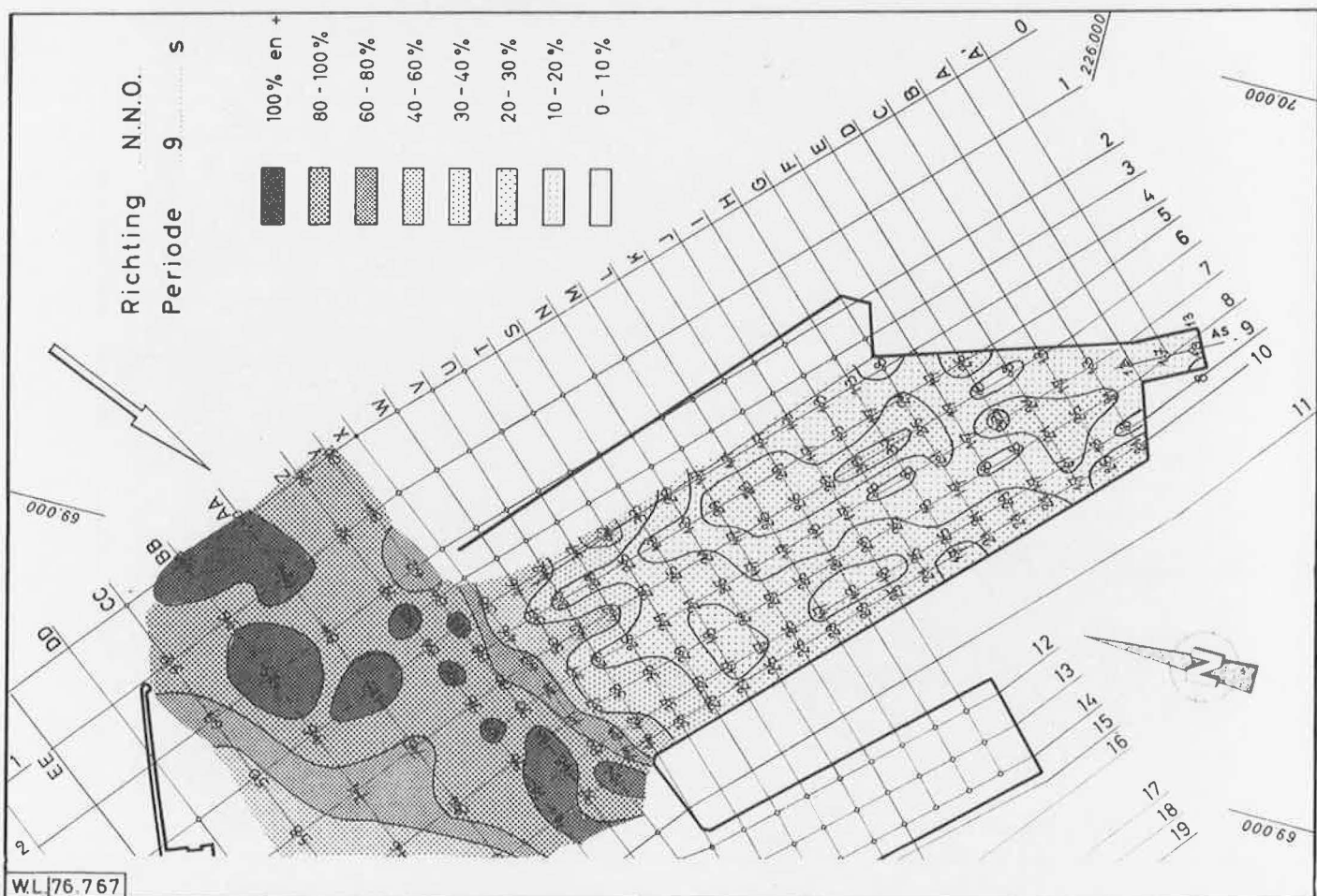
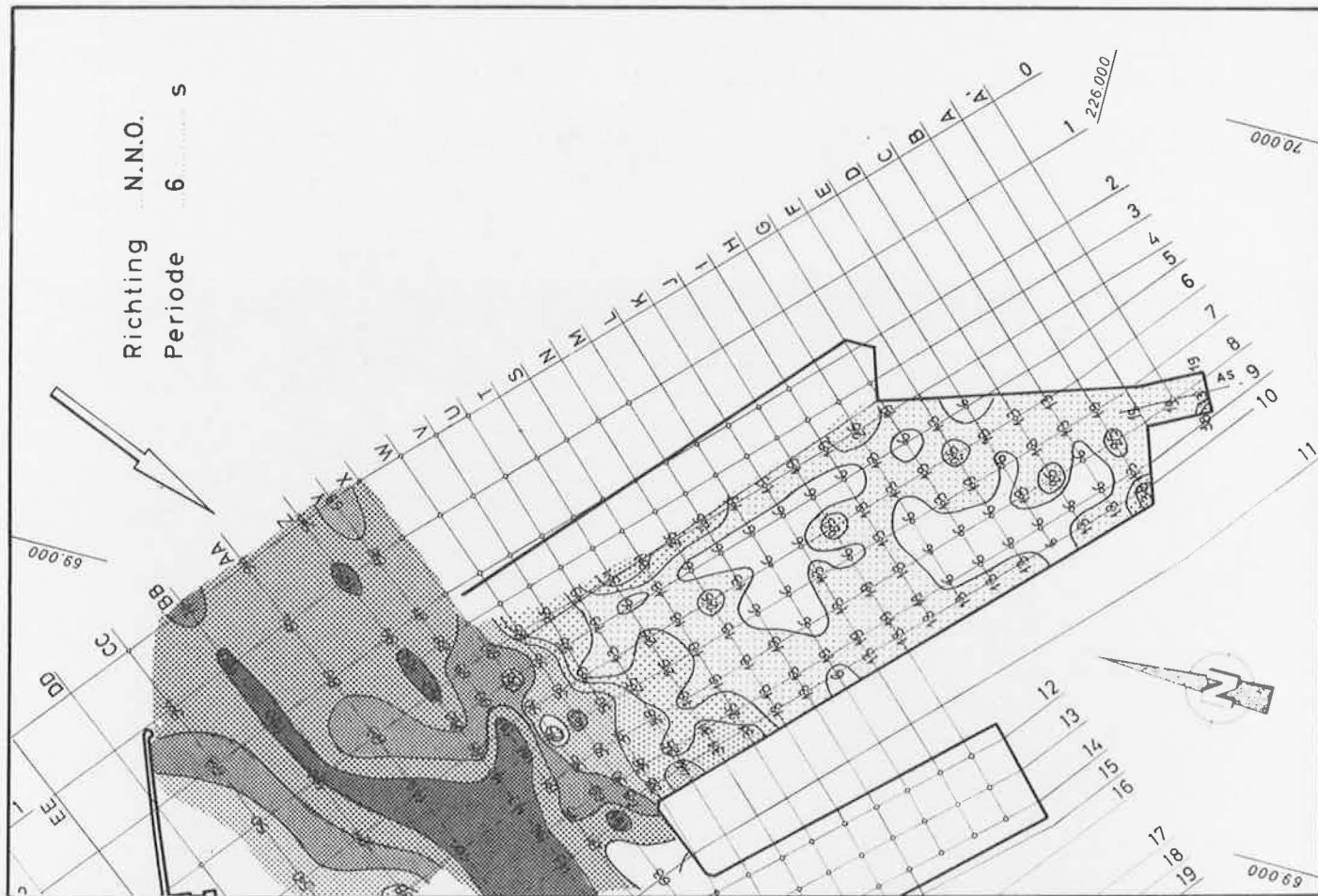
Toestand T7

**GOLFPATROON IN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS**



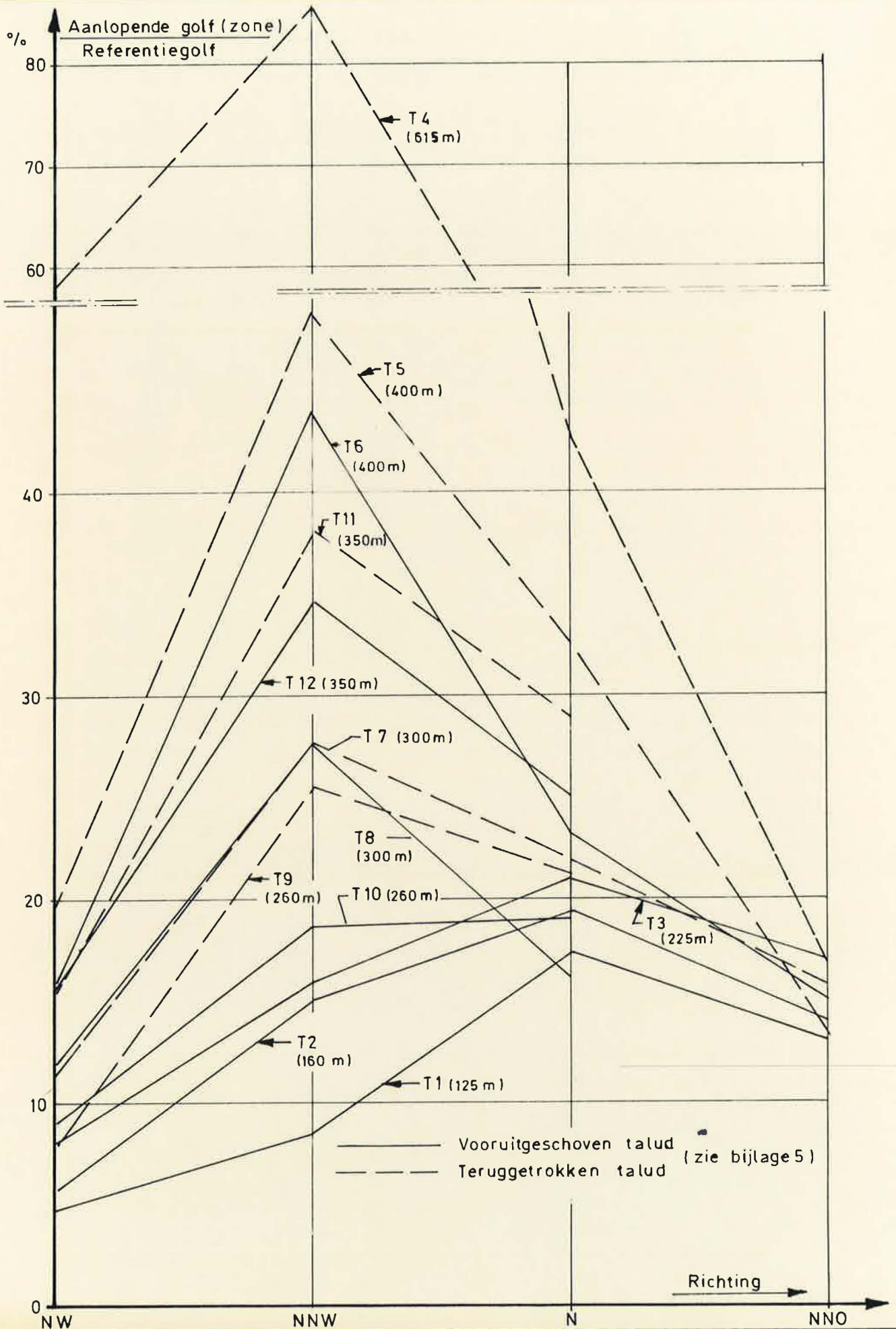
Toestand T7

GOLFPATROON IN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS





GOLFGAGITATIE IN DE ZONE VOOR DE ZEESLUIS  
PER RICHTING EN PER TOESTAND

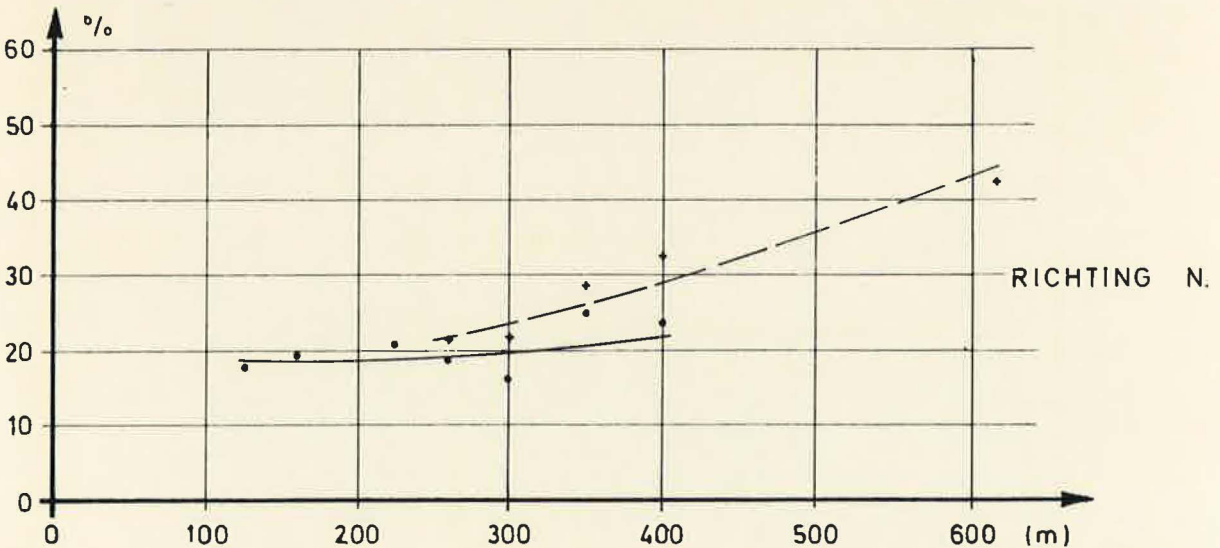
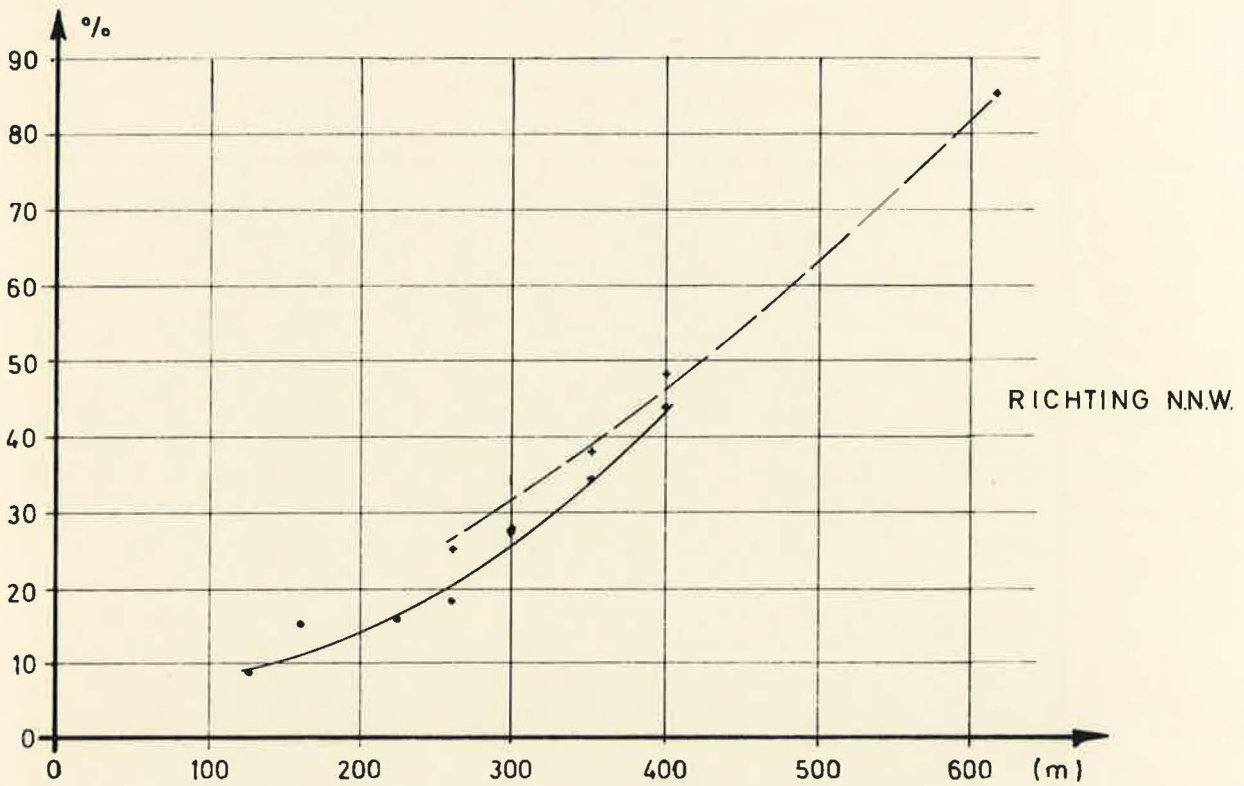
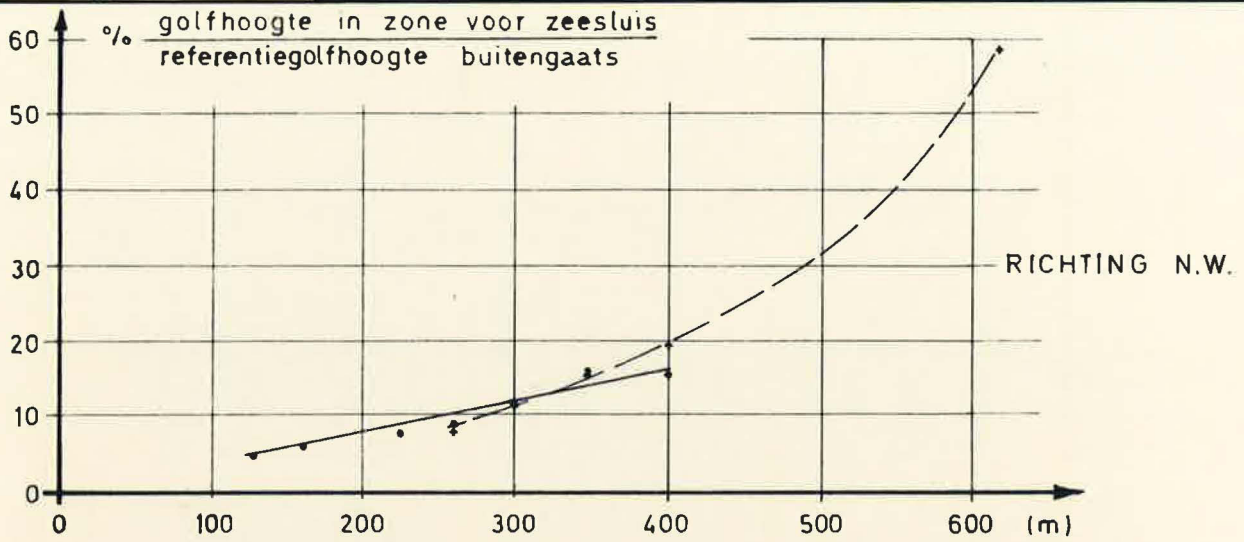






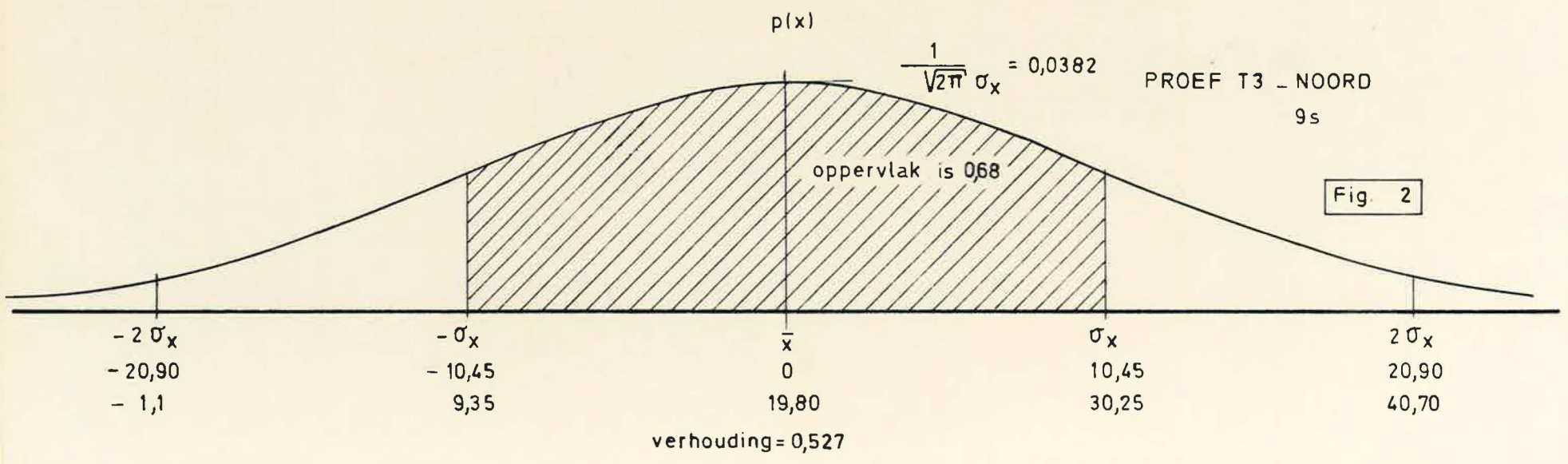
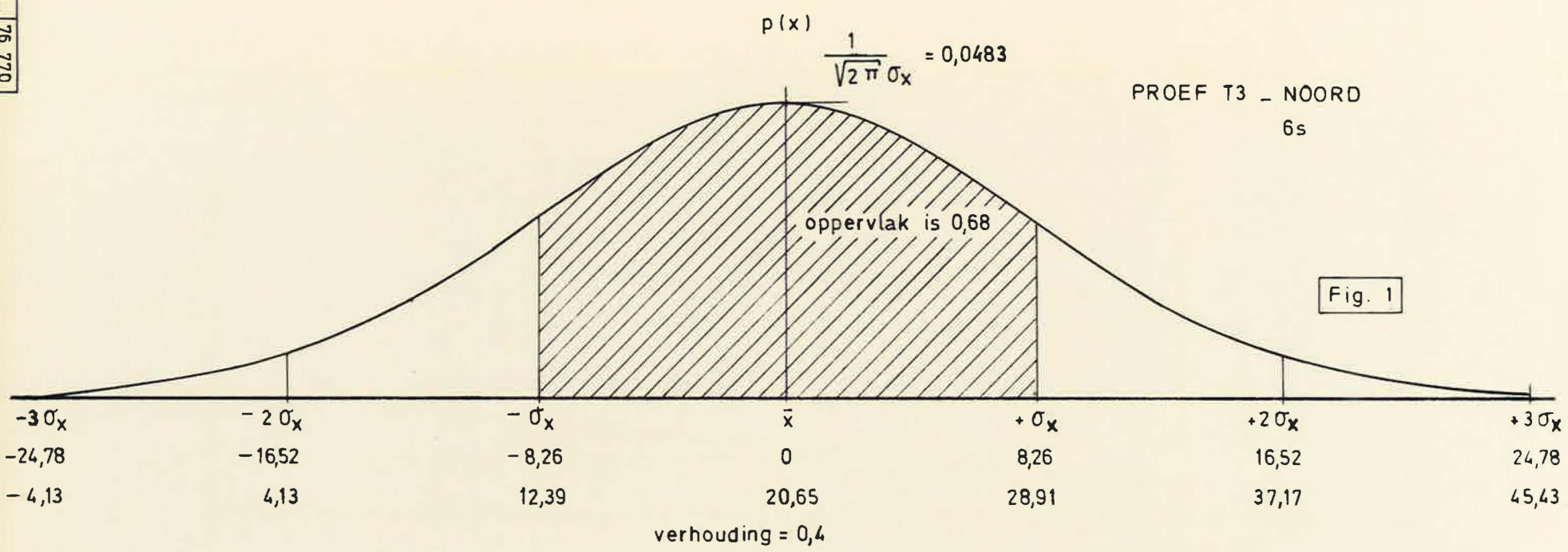
— vooruitgeschoven talud  
- - - teruggetrokken talud

RELATIE GOLFHOOGTE - BREEDTE TOEGANGSGEUL  
ZEESLUIS



breedte van de de ingang van de toegangsgeul tot de zeesluis

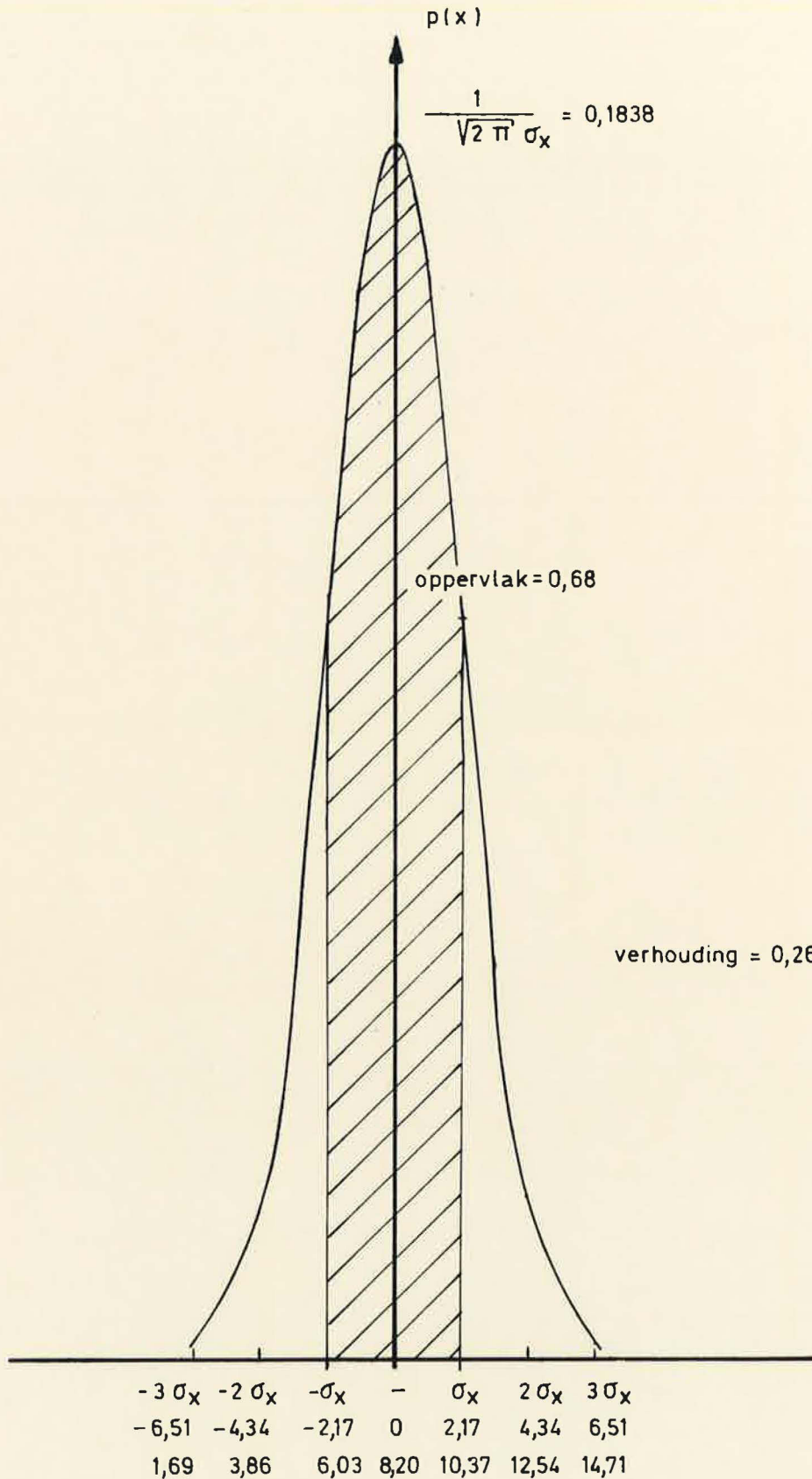
W.L. 76.770



**SPREIDING VAN DE MEETRESULTATEN**

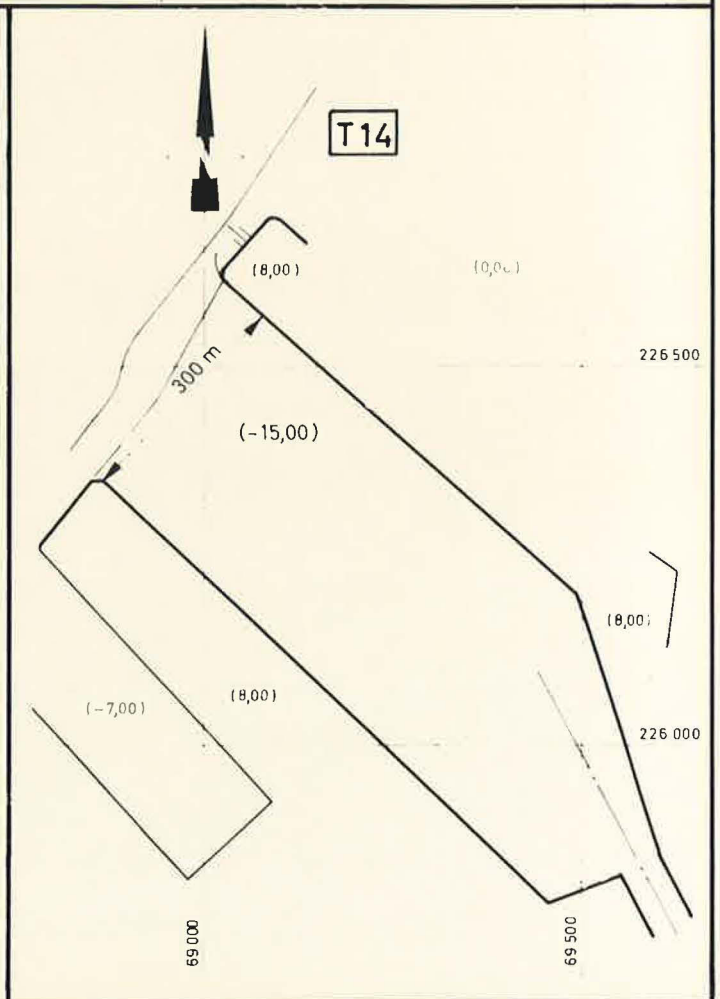
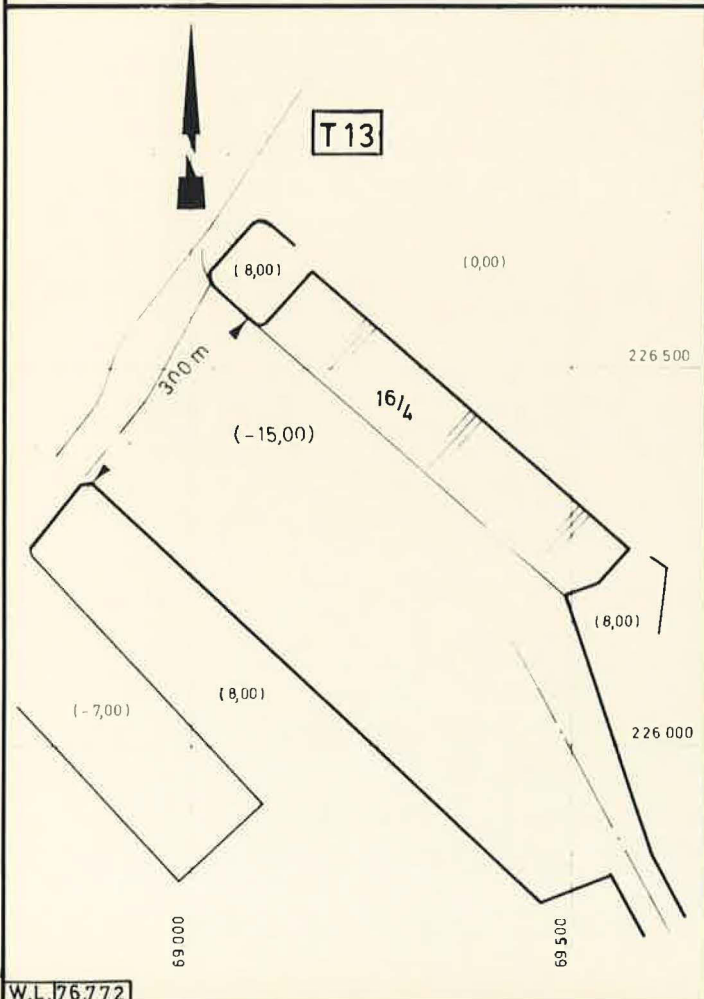
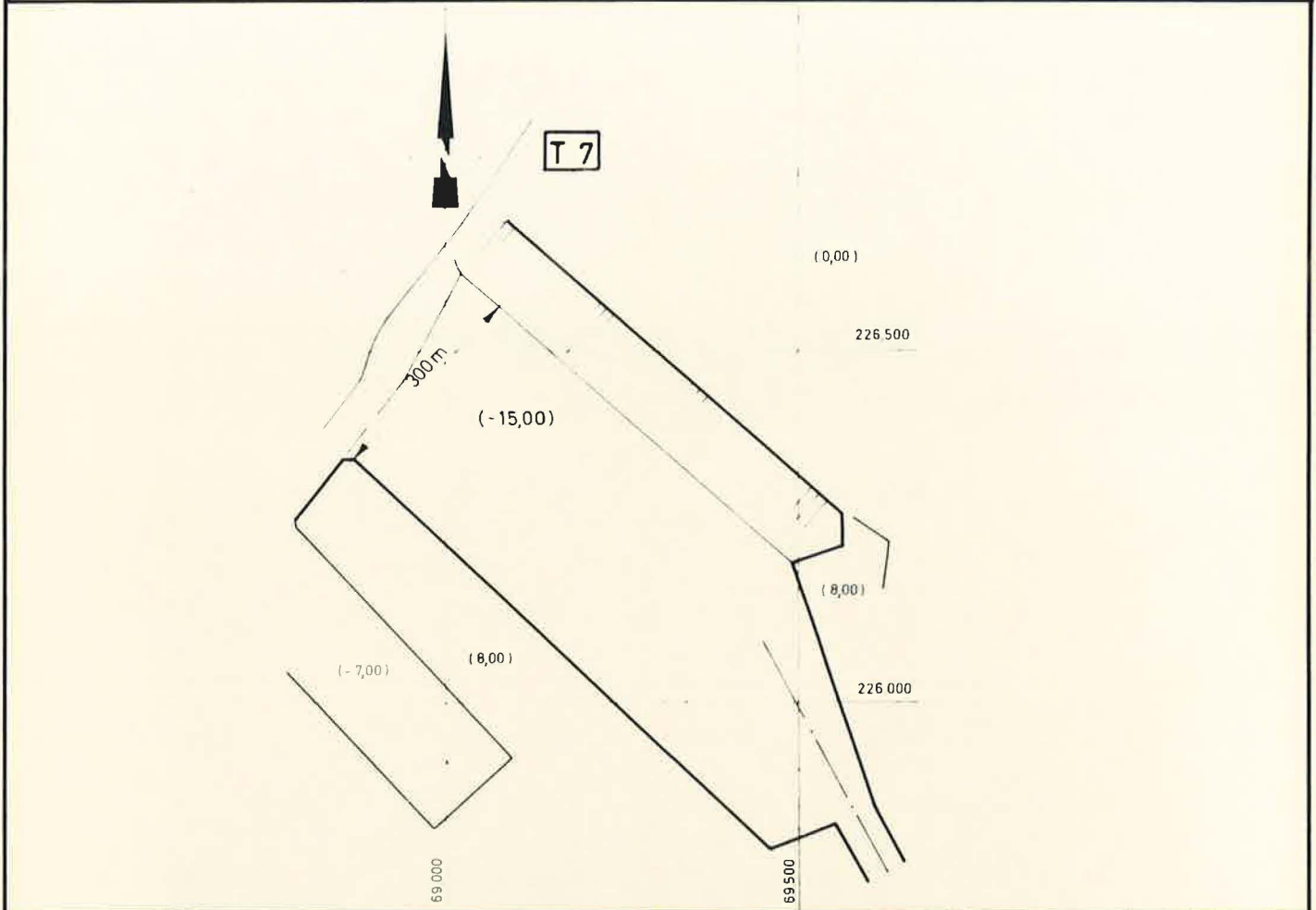
PROEF T3

NW 9s



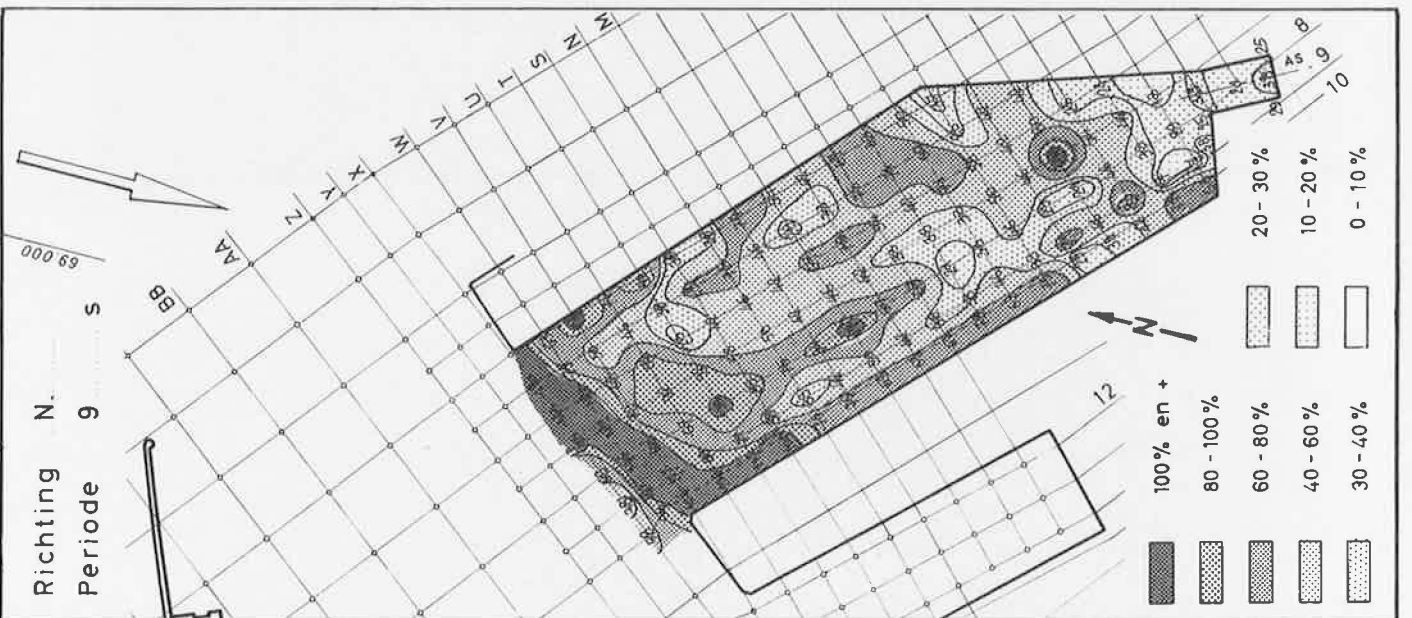
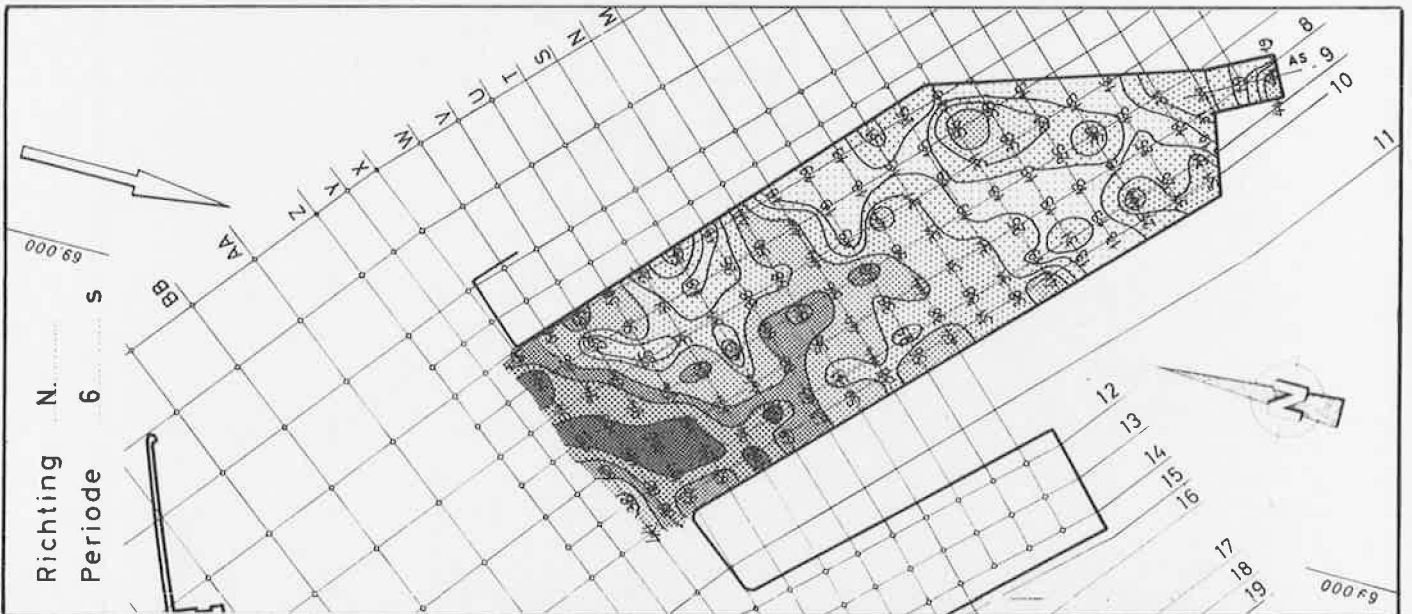
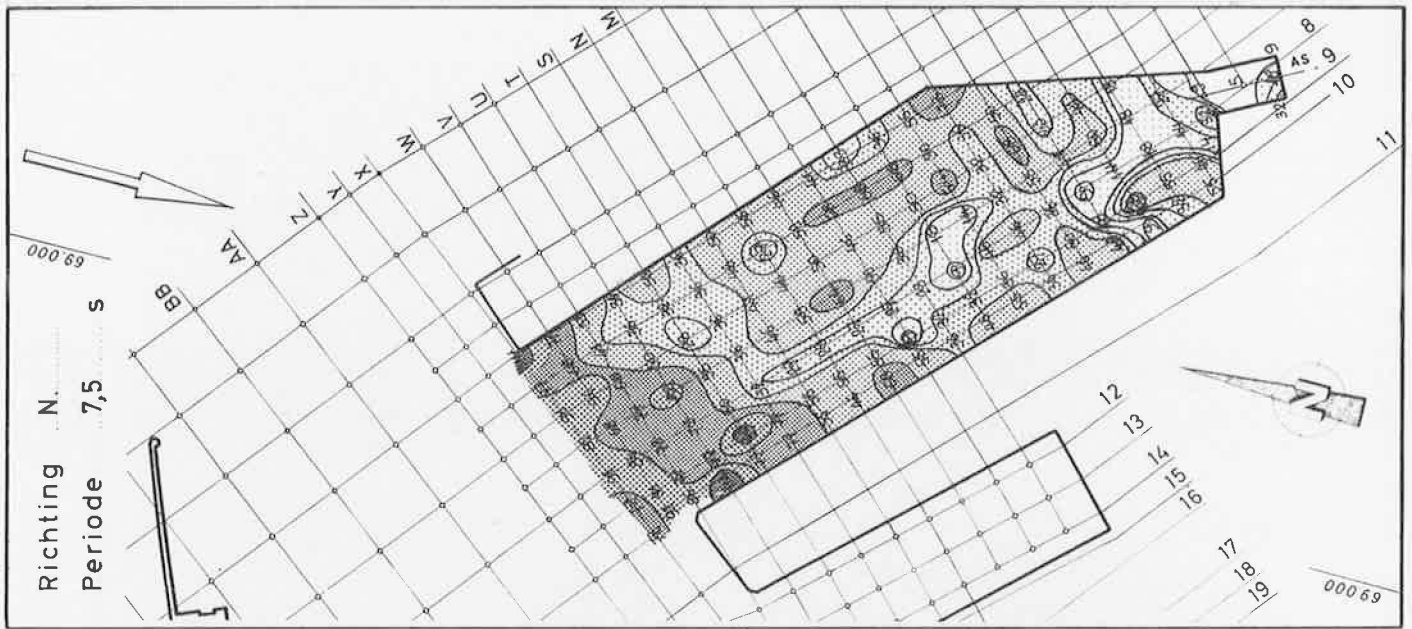
Schaal 1/10000  
Cota's in m t.o.v. Z-vlak

TOESTANDEN MET OPENINGSBREEDTE VAN DE  
TOEGANGSGEUL = 300 m

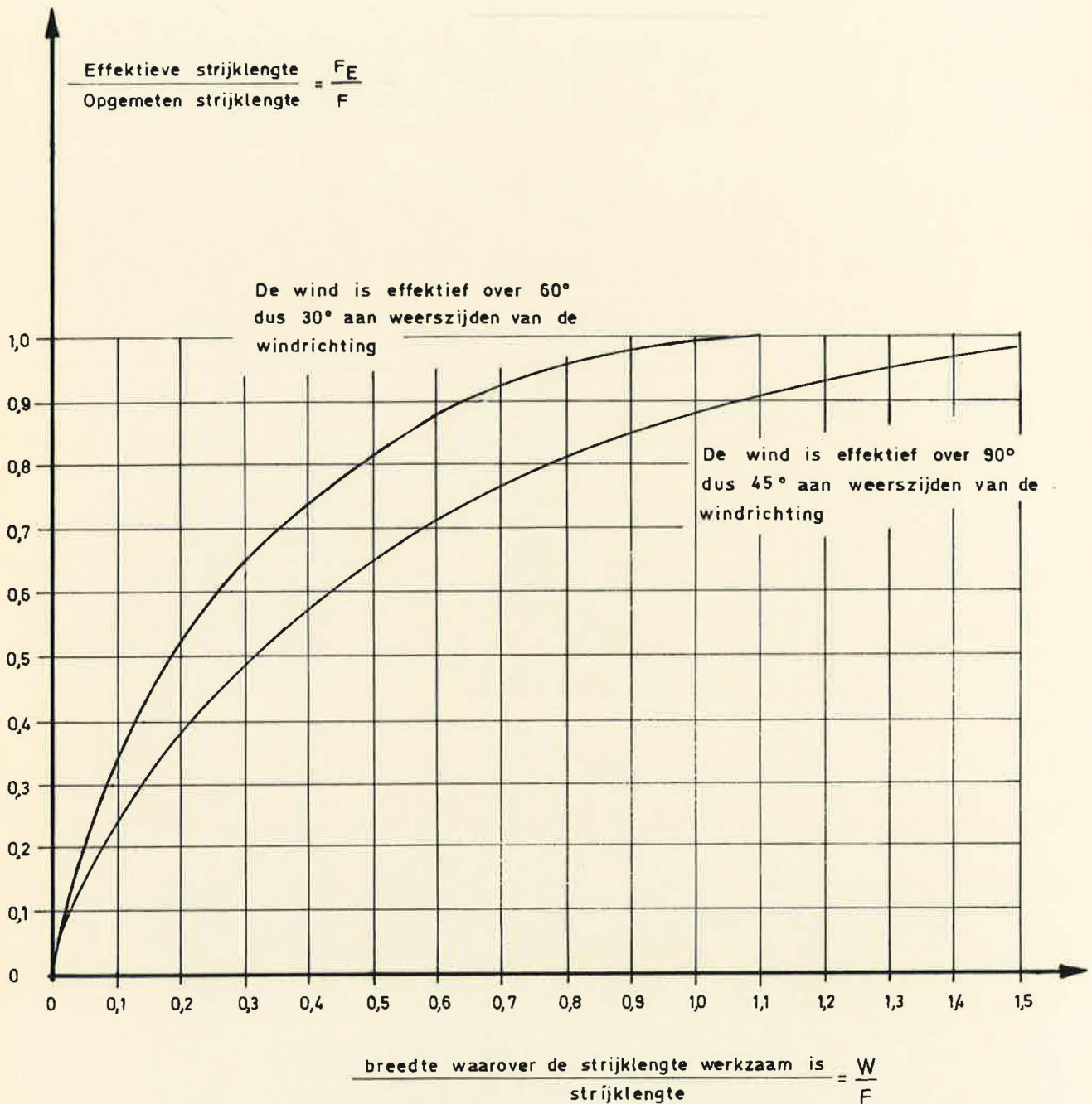


Toestand T14

**GOLFPATROON IN DE TOEGANGSGEUL TOT DE ZEESLUIS**



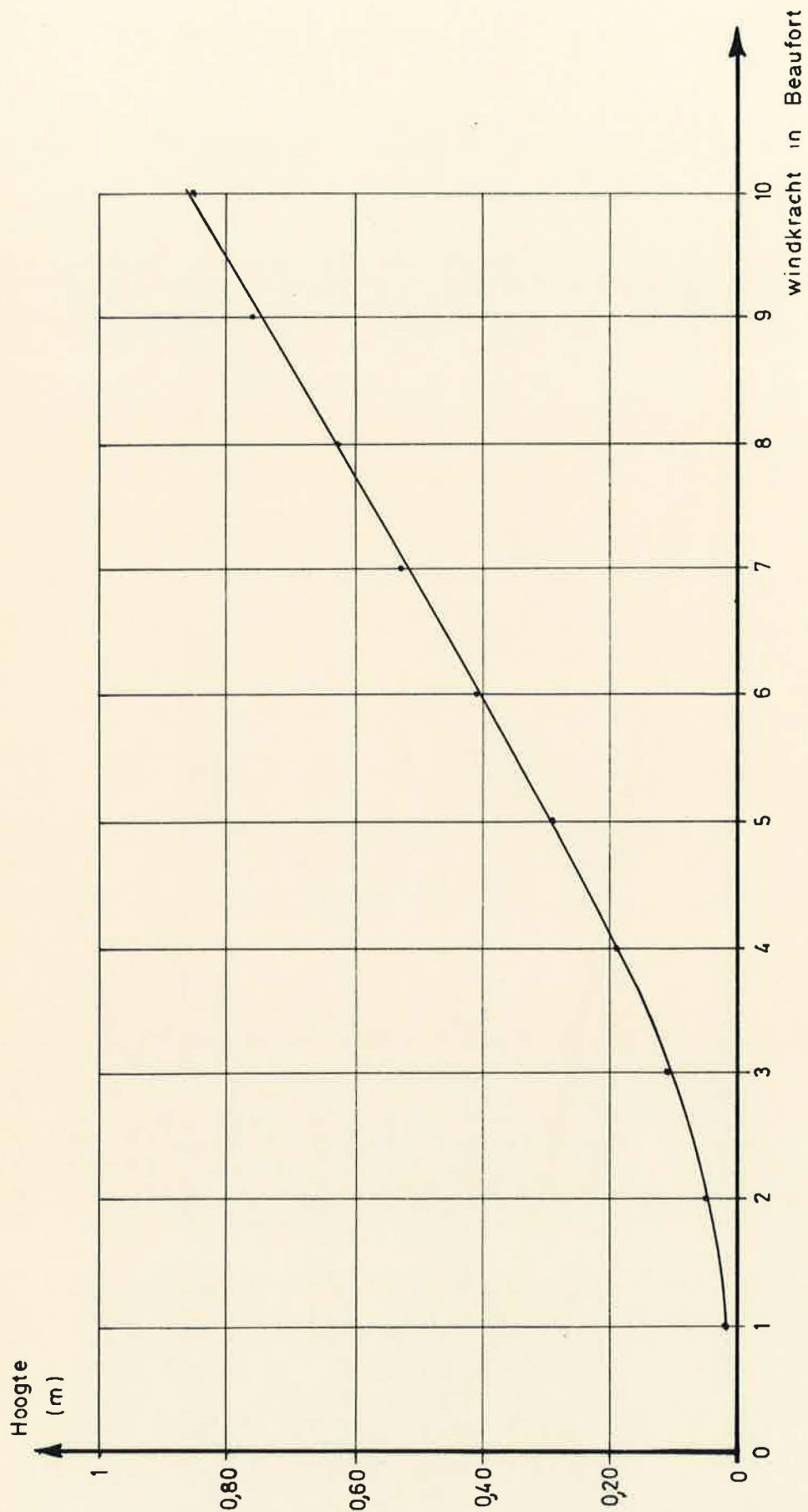
**RELATIE TUSSEN DE EFFECTIEVE STRIJKLENGTE  
EN DE BREEDTE-LENGTE VERHOUDING**





Richting : N.W.  
Strijklengte : 1225 m

GOLFHOOGTE VOOR DE ZEESLUIS IN FUNCTIE  
VAN DE WINDKRACHT

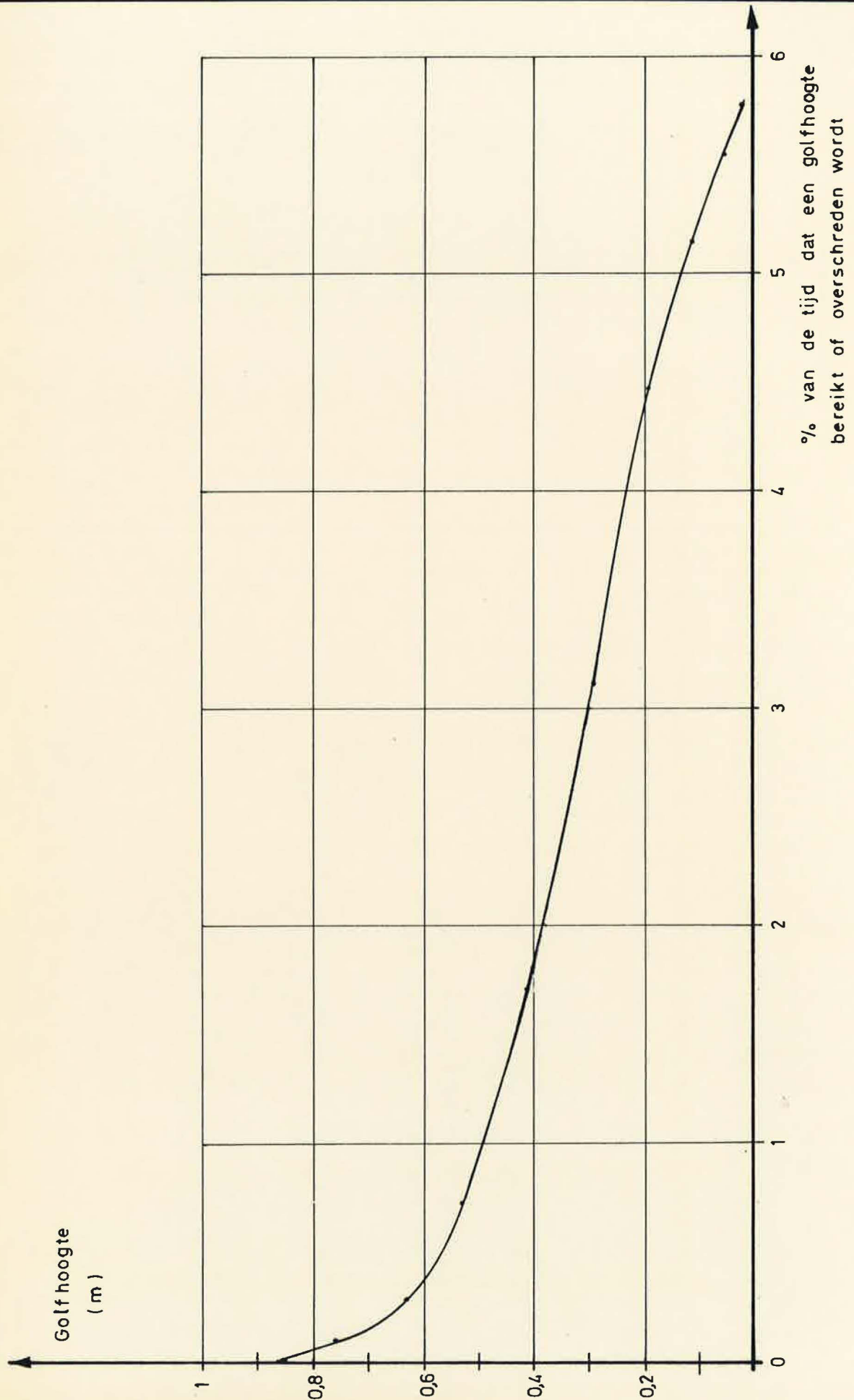






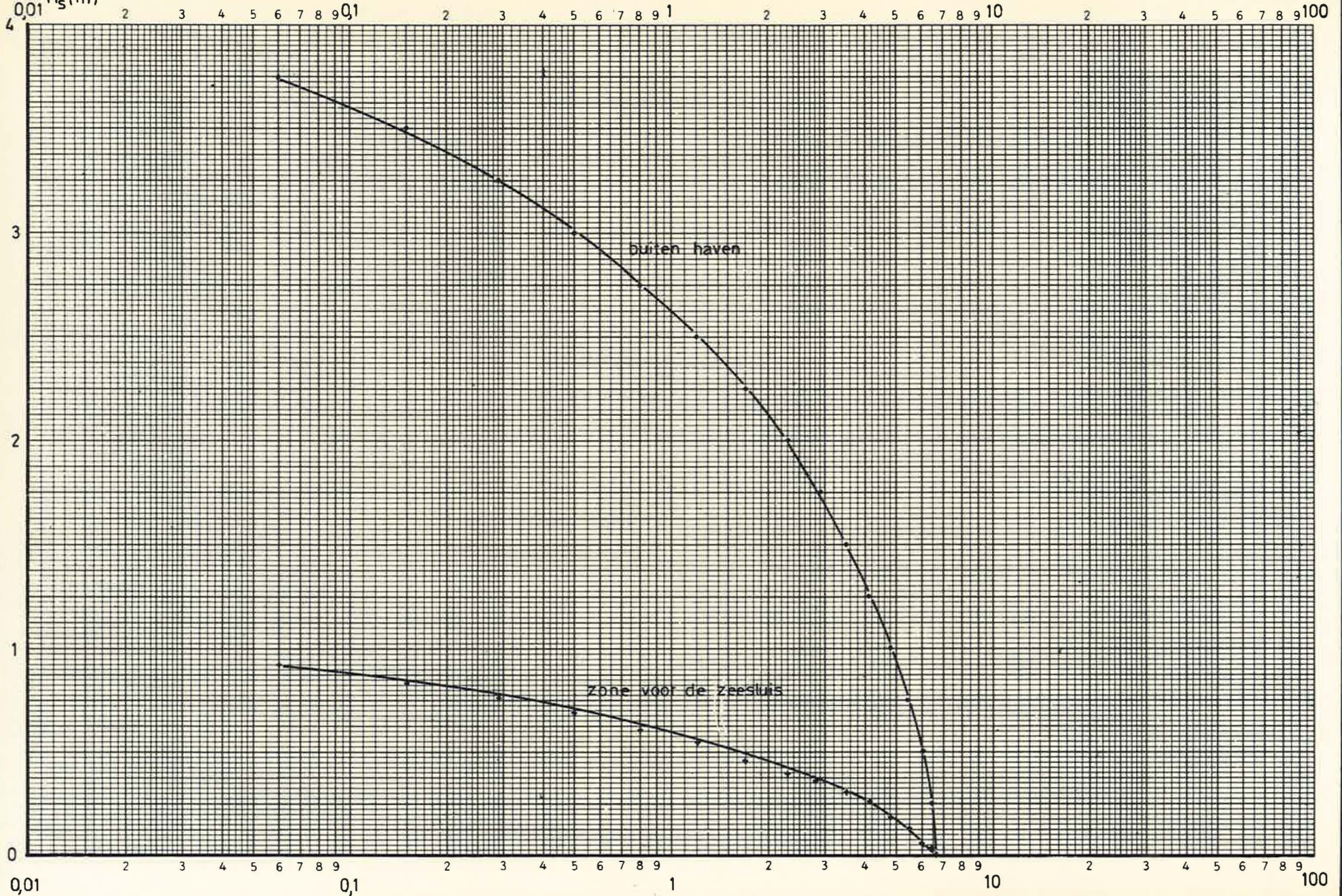
Richting N.W.

VOORKOMEN VAN GOLFHOOGTEN TEN GEVOLGE  
VAN DE PLAATSELIJKE STRIJKLENGTE



signifikante golfhoogte

$H_s(m)$



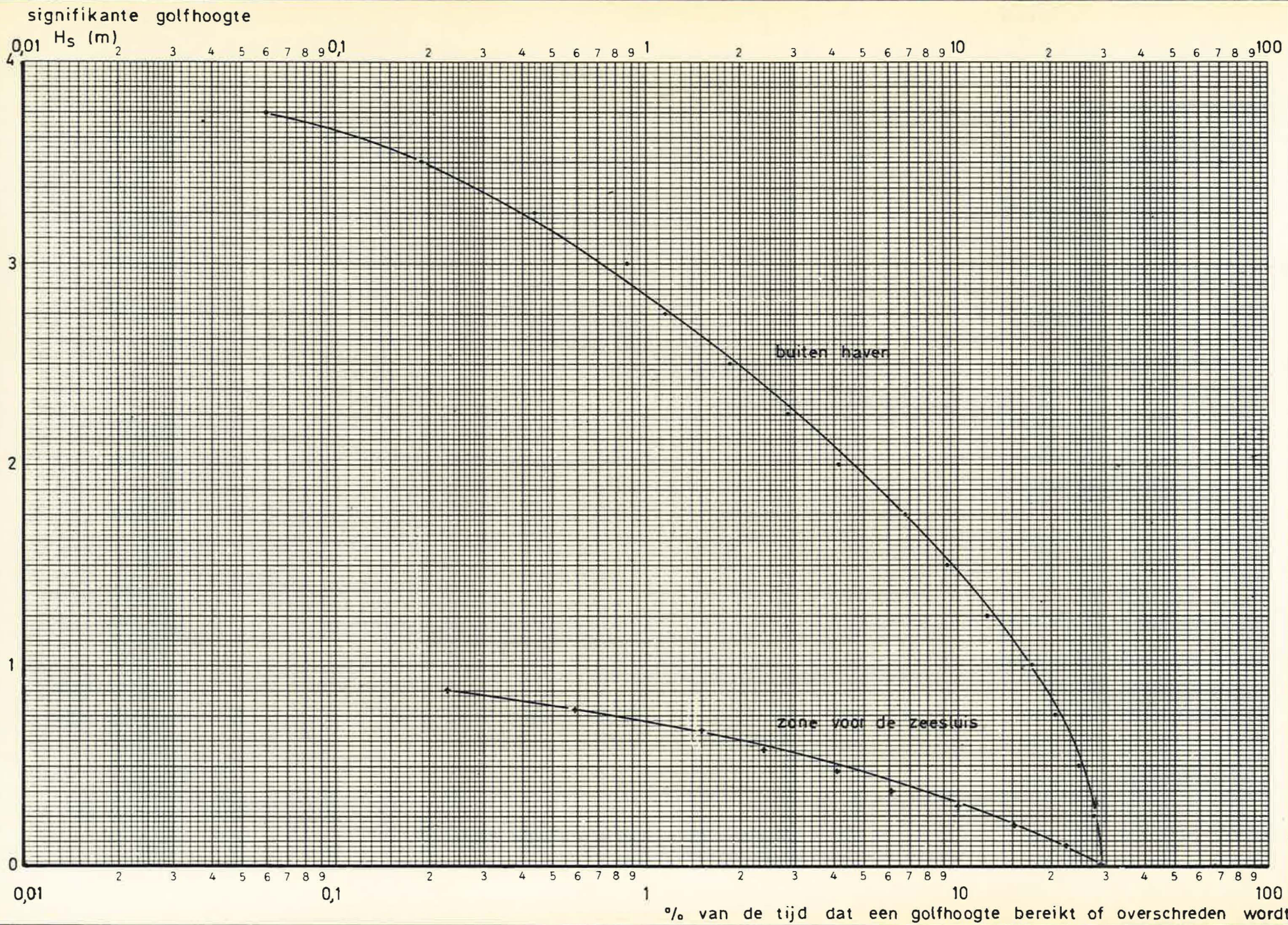
% van de tijd dat een golfhoogte bereikt of overschreden wordt



WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

Richting N.W.

MOD. 320-4 DIFFRACTIEMODEL  
VOORHAVEN VAN ZEEBRUGGE  
GOLFTOESTAND IN DE ZONE VOOR DE ZEESLUIS  
EN BUITENGAATS — GOLFWAARNEMINGEN L.S. WESTHINDER



Richting NW - NNW - N-NO  
Windkracht 6 Beaufort  
Winterperiode

MOD. 320-4 DIFFRACTIEMODEL  
VOORHAVEN VAN ZEEBRUGGE

Bijlage 37

GOLFTOESTAND IN DE ZONE VOOR DE ZEESLUIS  
EN BUITENGAATS — GOLFWAARNEMINGEN BOL V. HEIST

