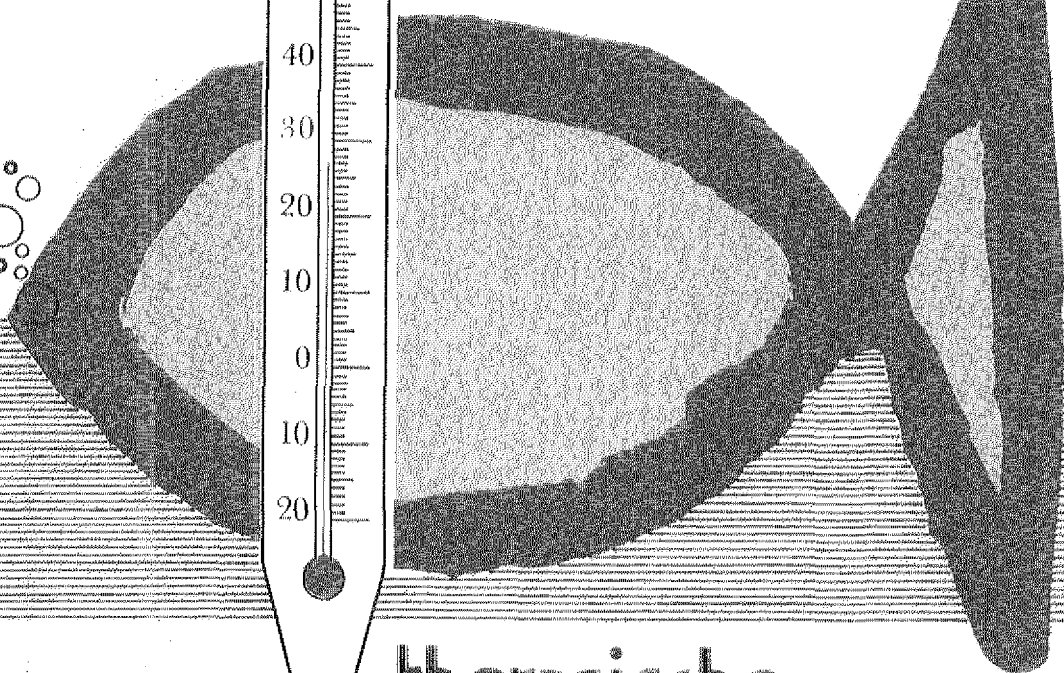
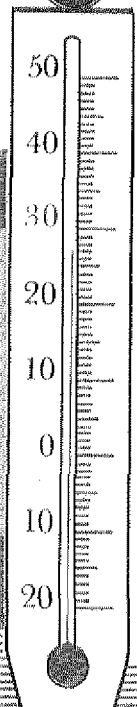
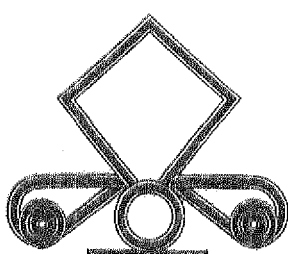


24 FEB. 1982

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
nr. C-6933  
bibliotheek  
638

rijkswaterstaat-deltadiens  
milieu en inrichting  
waterbouwkundig laboratorium  
documentatie  
postbus 439 - 4330 AK middelburg  
tel.: 01180-11851



mod.  
295-5

# thermische waterverontreiniging in de westerschelde

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

---

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen



ministerie van openbare werken  
bruggen en wegen  
bestuur der waterwegen

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

## ALGEMENE INLEIDING.

### 1. ONDERZOEK IN HET FYSISCH MODEL.

#### 1.1. Beschrijving van het model en de apparatuur.

##### 1.1.1. Het model en de gebruikte schalen.

##### 1.1.2. Gebruikte apparatuur en verrichtte proeven.

#### 1.2. Bepaling van de ideale proefomstandigheden en de natuurlijke temperatuur.

##### 1.2.1. Doel van de proeven.

##### 1.2.2. Bepaling van de ideale proefomstandigheden.

##### 1.2.3. Bepaling van de natuurlijke temperatuur.

#### 1.3. Warmteuitwisselingscoëfficiënt en diffusiecoëfficiënt.

##### 1.3.1. Warmteuitwisselingscoëfficiënt.

##### 1.3.2. Diffusiecoëfficiënt.

#### 1.4. Eigenlijke lozingsproeven.

##### 1.4.1. Proefresultaten met het springtij van 11 mei 1971 (tijfactor 1,08).

##### 1.4.2. Vergelijkende proeven met getijen over een veertiendaagse periode.

##### 1.4.3. Temperatuurstijgingen in natuur en beperking van de lozingen.

##### 1.4.4. Beschouwingen.

### 2. ONDERZOEK OP HET MATHEMATISCH MODEL.

#### 2.1. Aanpassing modeluitbreiding naar opwaarts.

#### 2.2. Aanpassing van het lozingsvak Doel.

#### 2.3. Spreiding van de lozing.

#### 2.4. Aanpassing van de diffusiecoëfficiënten.

#### 2.5. Berekeningen met warmte-verliescoëfficiënten $G = 2, 2$ en $3, 7$ cm/h.

### 3. VERGELIJKING DER RESULTATEN VAN HET FYSISCH EN HET MATHEMATISCHE MODEL.

#### 3.1. Toelaatbare lozingen.

#### 3.2. Kritische bemerkingen.

##### 3.2.1. Fysisch model.

##### 3.2.2. Mathematisch model.

#### 3.3. Conclusie.

## BIBLIOGRAFIE.

## LIJST DER BIJLAGEN.

ALGEMENE INLEIDING.

=====

Teneinde de invloed van koelwaterlozingen op de temperatuur van het Scheldewater op lange termijn na te gaan, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium een ééndimensionaal mathematisch diffusiemodel opgebouwd, waarvan de beschrijving en een samenvatting der resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in het rapport "Thermische waterverontreiniging in de Westerschelde Mod. 295-4" (W.L. okt. 1974). In het hoofdstuk IV van voormeld rapport werden de opvatting, de parameters en de hypothesen die aan het mathematisch model ten grondslag lagen kritisch onderzocht, wat resulteerde in een aantal voorstellen ter verbetering van hogervernoemd ééndimensionaal wiskundig model. (Hfdst. IV § 4.)

x x

x

Een gedeelte van deze opmerkingen werden reeds in het mathematisch model ingewerkt en hebben geleid tot de resultaten, vermeld in het tweede hoofdstuk van dit rapport. Teneinde de vroegere en deze nieuwe resultaten van het wiskundig model beter op hun absolute waarde te kunnen beoordelen werden eveneens op het bestaande fysisch model van de Westerschelde te Borgerhout, mits inachtneming van bepaalde schaalfactoren, koelwaterlozingen te Kallo en te Doel gesimuleerd. De hiertoe gebruikte proefmethoden alsook de resultaten van dit onderzoek zijn vermeld in het eerste hoofdstuk van dit rapport.

1. ONDERZOEK IN HET FYSISCH MODEL.

1.1. Beschrijving van het model en de apparatuur.

1.1.1. Het model en de gebruikte schalen.

Het bestaande model van de Westerschelde omvat gans het aan tij onderworpen gedeelte van het Scheldebekken opwaarts Baarland-Ossensisse waarbij het getij afzonderlijk in het gat van Ossensisse (L.O.) en het Middelgat (R.O.) wordt opgelegd. (Bijl. 1.).

De modelschalen bedragen 3/1000 horizontaal en 1/100 ver-

ticaal en de algemene bodemconfiguratie is deze overeenkomstig de lodingen van 1971. De studie werd verricht bij een gemiddeld springtij overeenkomstig de natuurmetingen van 11 mei 1971. (Dit getij heeft een amplitude van 1,08 maal de gemiddelde tijamplitude op de Schelde te Antwerpen.) (Bijl. 2.) Aandacht dient besteed aan het feit dat de bocht-afsnijding bij Bath en de toegangsgeul tot de sluis bij Baalhoek in model waren ingebouwd.

In de veronderstelling dat bij evenwicht de ingebrachte warmte ( $H_1$ ) gelijk is aan de afgegeven warmte langs het wateroppervlak ( $H_g$ ) vindt men

$$Q_L \cdot \Delta T_L \cdot C_p \cdot \rho = F \cdot G \cdot \Delta T \quad (1) \quad [ 2 ]$$

met  $Q_L$  debiet van de koelwaterlozing ( $m^3/s$ )

$\Delta T_L$  opwarming van het koelwater ( $^{\circ}C$ )

$C_p$  soortelijke warmte van het water ( $cal/^{\circ}C \cdot kg$ )

$\rho$  soortelijke massa van het water ( $kg/m^3$ )

$F$  wateroppervlakte, beschikbaar voor warmteuitwisseling ( $m^2$ )

$G$  warmteuitwisselingscoëfficiënt ( $cal.^{\circ}C s m^2$ )

$\Delta T$  temperatuurstijging van het goed gemengd rivierwater ( $^{\circ}C$ )

Vermits  $\frac{\rho_M}{\rho_N} = 1$   $\frac{C_{pM}}{C_{pN}} = 1$  en we stellen dat  $\frac{\Delta T_{LM}}{\Delta T_{LN}} = 1$

(index M = Modelwaarde)

(index N = Natuurwaarde)

vindt men met (1)  $\frac{Q_{LM}}{Q_{LN}} = \frac{F_M G_M \Delta T_M}{F_N G_N \Delta T_N} \quad (2)$

met  $\lambda_H = \frac{l_{HM}}{l_{HN}} = \frac{3}{1000}$  en  $\lambda_v = \frac{l_{vM}}{l_{vN}} = \frac{1}{100}$  wordt (2)

$$\lambda_H \lambda_v^{3/2} = \lambda_H^2 \frac{G_M \Delta T_M}{G_N \Delta T_N}$$

$$\text{of nog } \Delta T_N = 3 \frac{G_M}{G_N} \Delta T_M \quad (3)$$

Zodoende zouden de op model waargenomen temperatuurstijgingen  $\Delta T_M$ , tengevolge van een lozing met een debiet  $Q_{LM}$  en een temperatuuropvoer  $\Delta T_{LM} = \Delta T_{LN}$ , met een factor  $3 G_M/G_N$  vermenigvuldigd moeten worden om de overeenkomstige temperatuurstijgingen in natuur  $\Delta T_N$  tengevolge van een lozing met debiet  $Q_{LN}$  te verkrijgen in zoverre echter dat de diffusie en de menging bepaald door de intensiteit van de turbulentie in model op schaal wordt weergegeven. In paragraaf 1.3.2. wordt hierop verder teruggekomen.

#### 1.1.2. Gebruikte apparatuur en verrichte proeven.

- Teneinde de temperatuurstijgingen tengevolge van een lozing te kunnen bepalen diende vooreerst de natuurlijke temperatuur van het modelwater bepaald. Hiertoe werden op verschillende plaatsen in het model termistorsonden geplaatst (temperatuursgevoelige NTC-weerstanden - weerstanden met negatieve temperatuurscoëfficiënt - ingeschakeld in een Wheatstonebrug) welke de temperatuur in functie van de tijd registreerden. Deze sonden met een meetbereik van 0 tot 25°C waren voordien geijkt bij middel van ijktermometers tot een nauwkeurigheid van 1/20°C. (foto 1)

De temperatuur van het water werd steeds opgemeten even onder het L.W.-peil ter plaatse, waarbij de plaats zodanig werd gekozen dat ze overeenkwam met het midden van een vak uit de indeling van het wiskundig model. (zie bijl. 3.) De aldaar gemeten temperatuur in het model werd beschouwd als zijnde de gemiddelde temperatuur van het overeenkomstige vak. De resultaten van deze proeven, evenals de ideale proefom-

standigheden welke moeten in acht genomen worden staan vermeld in 1.2.

- Teneinde van de in model ingemeten temperatuurstijgingen te kunnen overgaan naar de overeenstemmende natuurwaarden diende de warmteuitwisselingscoëfficiënt van het model te worden bepaald. (zie formule (3).)

Hiertoe werden twee bakjes geconstrueerd, een houten bakje waarvan wanden en bodem werden geïsoleerd met een laag van 6 cm geëxpandeerd polystyreen, en een stenen bakje, elk met een oppervlakte van 50 x 50 cm en een hoogte van 20 cm. Met behulp van ijktermometers werd hierin het verloop van de afkoeling van kunstmatig opgewarmd water in functie van de tijd en van de luchttemperatuur gevolgd. (foto 2) Later, teneinde een betere overeenkomst te verkrijgen met het eigenlijke model (verlies naar lucht + verlies naar bodem!) werd overgegaan tot proeven op een gemetste bak met een oppervlakte van  $\pm 10 \times 5$  m en een diepte van 20 cm.

De proeven hierop verricht verliepen analoog aan de hierboven vernoemde proeven, met behulp van ijktermometers en termistorsonden op verscheidene plaatsen en verscheidene diepten. De beschrijving evenals de resultaten van deze proeven staan vermeld in 1.3.

- Voor de eigenlijke lozingsproeven werd uitgegaan van een lozing van 1000 Mcal/s teneinde voldoende nauwkeurig meetbare resultaten te bekomen. (1000 Mcal/s komt overeen met een debiet van  $66 \text{ m}^3/\text{s}$  of 0,2 l/s model beide opgewarmd met  $15^\circ\text{C}$ ). Teneinde dit opgewarmde water te kunnen leveren werden twee gasboilers met nauwkeurige temperatuurs- en debietsregeling aangesloten op de waterleiding. Het opgewarmde water kwam terecht in een overlaatbak met uitlaat waardoor het debiet van de lozing zeer nauwkeurig kon geregeld en bepaald worden (foto 3). Tegelijkertijd werd eenzelfde hoeveelheid water uit het model gepompt teneinde door de lozing geen kunstmatig bovendebiet in te brengen, hierbij in acht nemend dat het verschil in temperatuur tussen het geloosde en uitgepompte water  $15^\circ\text{C}$  bedroeg.

Met termistorsonden op verscheidene plaatsen in model werd de opwarming gevolgd, de gemiddelde temperatuur over het getij werd bepaald wanneer evenwicht was opgetreden.

De wijze van uitwerking evenals de modelresultaten staan vermeld in 1.4.

## 1.2. Bepaling van de ideale proefomstandigheden en de natuurlijke temperatuur van het water in het model.

---

### 1.2.1. Doel van de proeven.

Vooraleer de eigenlijke lozingsproeven aan te vatten, werden verscheidene watertemperatuurmetingen op model verricht zonder lozing. De bedoeling van deze proeven was tweeërlei :

- a) De ideale proefomstandigheden bepalen waaronder de lozingsproeven dienden plaats te vinden. De normale temperatuur van het modelwater bleek immers aan grote schommelingen onderhevig, zowel in plaats als in tijd, en zeer afhankelijk te zijn van de in de hal heersende luchttemperatuur.
- b) De natuurlijke temperatuur van het water alsmede de buiten-temperatuur op verscheidene plaatsen in model bepalen uitgaande van referentietemperaturen op plaatsen waar de invloed van de lozing als onbestaand kon beschouwd worden. Men dient immers tijdens de lozing op elke plaats en elk tijdstip de natuurlijke temperatuur van het water te kunnen bepalen (temperatuur die er zou heersen zonder lozing) om de stijging van de temperatuur tengevolge van de lozing te kunnen bepalen.

### 1.2.2. Bepaling van de ideale proefomstandigheden.

Uit de eerste proeven, verricht bij vrij zonnige weersomstandigheden (september 1974) bleek er in de hal overdag een grote schommeling in de luchttemperatuur op te treden ; ook was de temperatuur van het benodigde modelwater, in de reservoirs onder het model gelegen, vrij hoog (gemiddeld hoger dan de luchttemperatuur). Hieruit volgde dat bij het aanzetten van het model de watertemperatuur naar opwaarts toe afnam



(2 à 3°C) en dat bovendien de watertemperatuur grote schommelingen vertoonde ingevolge variaties in de luchttemperatuur. Teneinde de watertemperatuur zo constant mogelijk te houden in tijd en plaats dienden volgende maatregelen te worden genomen :

- a) De nacht welke een proef voorafging (ongeveer vijftien uur) werd opwaarts in het model een debiet van 5 l/sec. (gelijk aan 1500 m<sup>3</sup>/s natuur) ingebracht hetgeen zorg droeg voor een doorstroming model - reservoir, zodat de temperatuurafname van het modelwater naar opwaarts toe bij het aanzetten van het model herleid werd tot ongeveer 0,5 à 1,5°C.
- b) Het zo constant mogelijk houden van de luchttemperatuur in de hal kon slechts bereikt worden door alle ramen afgesloten te houden voor het zonnelicht, geen verwarming op te zetten en door de proeven steeds te verrichten na een week-end gedurende hetwelk er zich een stabilisatie- en evenwichtstemperatuur in de hal kon instellen. Bij voorkeur dienden de proeven te geschieden bij regenachtig weder en bij geringe verschil tussen dag en nacht temperatuur.

Door deze maatregelen was het mogelijk een aanvaardbare stabilisatie van de watertemperatuur in plaats en tijd te verkrijgen na ongeveer 15 tijen (zie tabel I en bijl. 4.).

### 1.2.3. Bepaling van de natuurlijke temperatuur.

Als referentietemperaturen werden aangenomen  $T_{HA}$ , de temperatuur in Hansweert (vak 18 van het mathematische model en ongeveer 34 km afwaarts Kallo) en  $T_{HE}$ , temperatuur in Hemiksem (vak 45 van het mathematisch model en 20 km opwaarts Kallo). Er doet zich nog steeds een afname van de temperatuur van afwaarts naar opwaarts voor zodat de temperatuur op een bepaalde plaats tijdens een getijcyclus een bijna sinusoidaal verloop vertoonde. Aldus kon met benadering gesteld worden :

$$T_{\text{gem}} = \frac{T_{\text{KHW}} + T_{\text{KLW}}}{2}$$

(KHW = kentering hoog water, KLW = kentering laag water.)

Om de drie tijden werd dan  $T_{\text{KHW}}$  en  $T_{\text{KLW}}$  ingemeten in Hansweert, B - NL-grens, Doel, Kallo, Antwerpen en Hemiksem. Bovendien werd de temperatuur van het water in de reservoirs genoteerd, de vochtigheidsgraad van de lucht alsook de luchttemperatuur afwaarts en opwaarts het model in de hal. (zie tabel I)

Getij	Luchttemperatuur		Vochtig- heidsgraad	Watertemperatuur						
	Afwaarts $T_{L1}$	Opwaarts $T_{L2}$	%	Hansweert $T_{HA}$	Grens $T_{GR}$	Doel $T_D$	Kallo $T_{SM}$	Antwerpen $T_{AN}$	Hemiksem $T_{HE}$	$T_{HA} - T_{HE}$
2 KHW	17.60	17.10	100	18.60	18.20	18.25	17.70	17.90	17.55	1.05
KLW	17.70	17.40	100	18.40	18.00	18.05	17.50	17.80	17.25	1.15
5 KHW	18.10	17.95	98	18.80	18.20	18.20	17.75	17.80	17.50	1.30
KLW	18.30	18.15	98	18.45	18.00	17.95	17.50	17.80	17.30	1.15
8 KHW	18.90	18.60	97	18.90	18.30	18.30	17.90	17.90	17.50	1.40
KLW	19.00	18.90	95	18.50	18.10	18.00	17.65	17.95	17.45	1.05
11 KHW	19.40	19.30	94	18.95	18.40	18.40	18.05	17.90	17.65	1.30
KLW	19.50	19.40	92	18.70	18.20	18.10	17.75	17.90	17.60	1.10
14 KHW	19.90	19.70	92	19.05	18.60	18.50	18.25	18.10	17.75	1.30
KLW	20.10	20.00	92	18.85	18.40	18.25	18.05	18.00	17.80	1.05
15 KHW	20.25	20.20	90	19.10	18.60	18.65	18.35	18.20	17.95	1.25
KLW	20.40	20.30	89	18.85	18.45	18.30	18.05	18.00	17.80	1.05
17 KHW	20.60	20.30	90	19.15	18.70	18.65	18.45	18.30	17.95	1.20
KLW	20.70	20.45	89	18.95	18.50	18.40	18.15	18.10	17.90	1.05
20 KHW	21.00	20.60	90	19.25	18.85	18.80	18.60	18.45	18.10	1.15
KLW	21.10	20.70	88	19.10	18.70	18.55	18.30	18.25	18.05	1.05
23 KHW	21.10	20.70	89	19.35	19.00	18.95	18.70	18.60	18.25	1.10
KLW	21.10	20.70	88	19.25	18.80	18.65	18.40	18.35	18.15	1.10
26 KHW	20.80	20.30	86	19.40	19.10	19.00	18.80	18.65	18.30	1.10
KLW	20.70	20.25	86	19.30	18.85	18.75	18.50	18.40	18.20	1.10
29 KHW	20.40	19.95	86	19.45	19.15	19.05	18.90	18.70	18.35	1.10
KLW	20.40	19.85	86	19.40	19.90	18.75	18.50	18.45	18.25	1.15

Vervolgens werd voor de verschillende meetpunten B - NL-Grens, Doel, Kallo en Antwerpen (verder aangeduid met x) en telkens voor kentering hoogwater alsmede voor kentering laagwater volgende formule uitgewerkt en in grafiek uitgezet :

$$C = \frac{T_x - T_{HE}}{T_{HA} - T_{HE}} \times 100$$

Deze formule laat toe bij een constant blijvend percentage, de natuurlijke temperatuur in een bepaald punt van het model te bepalen. Zoals blijkt uit bijl. 5 wordt deze factor C na de 15e tij wel constant voor de metingen bij KLW (op 2% nauwkeurig) doch minder voor de metingen bij KHW (afwijkingen van 5 tot 12%). Verscheidene metingen toonden aan dat hetzelfde fenomeen zich steeds herhaalde.

Uitgaande van deze vaststelling werd alsdan volgende werkwijze aangenomen :

De op een bepaalde plaats x ingemeten temperatuur bij KHW werd vergeleken met de temperatuur bij KLW van hetzelfde tij te Hansweert :

$$C_1 = T_{HA(KLW)} - T_{x(KHW)}$$

De op een bepaalde plaats x ingemeten temperatuur bij KLW werd vergeleken met de temperatuur bij KLW te Hemiksem :

$$C_2 = T_{x(KLW)} - T_{HE(KLW)}$$

$C_1$  en  $C_2$  werden uitgezet in functie van de tijd en leiden zoals men merkt in bijl. 6 tot een vrij constant verloop vanaf het 15e tij. Bij deze formulering is gesteld geworden dat de temperatuur in Hemiksem bij KLW geen invloed meer onderzond van de lozing, terwijl bij KLW te Hansweert niet alleen de invloed van de lozing, maar ook deze van het reservoirwater kon verwaarloosd worden.

Teneinde tijdens de lozing op een bepaalde plaats  $x$  de gemiddelde natuurlijke temperatuur over een getij te bepalen ging men als volgt te werk :

Het model werd zonder koellozing ingestroomd gedurende vijftien tijen, op dat moment werd bij KHW en KLW voor de verschillende meetpunten  $C_1$  en  $C_2$  bepaald en vervolgens werd gestart met de koelwaterlozingen.

Om de natuurlijke watertemperatuur op de plaats  $x$  bij elk getij tijdens de lozing te kennen werd te Hansweert en te Hemiksem de temperatuur ingemeten bij KLW en stelt men dat de natuurlijke watertemperatuur in het punt  $x$  van het model gegeven wordt door volgende formules

$$T_{x(\text{KHW})} = T_{\text{HA}(\text{KLW})} - C_1$$

$$T_{x(\text{KLW})} = C_2 + T_{\text{HE}(\text{KLW})}$$

$$\text{en } T_x = \frac{T_{x(\text{KHW})} + T_{x(\text{KLW})}}{2}$$

Tevens werd uitgaande van de plaatselijke registratie der temperatuur in functie van de tijd de werkelijke gemiddelde temperatuur  $T_{x(\text{GEM})}$  over het getij (met lozing) bepaald en aldus verkreeg men :

$$\Delta T_x = T_{x(\text{GEM})} - T_x$$

met  $\Delta T_x$  de gemiddelde temperatuursstijging in het punt  $x$  over het getij tengevolge van de lozing.

NB. Uit hogervernoemde proeven bleek dat het onmogelijk was stabilisatie te verkrijgen en de natuurlijke temperatuur te bepalen wanneer gestroomd werd met bovendebiet. Daarom werd besloten alle proeven zonder bovendebiet te verrichten.

### 1.3. Warmteuitwisselingscoëfficiënt en diffusiecoëfficiënt.

#### 1.3.1. Warmteuitwisselingscoëfficiënt.

Teneinde de formule

$$\Delta T_N = 3 \frac{G_M}{G_N} \Delta T_M \quad (1)$$

te kunnen toepassen op de tijdens de lozingsproeven op model verkregen temperatuurstijgingen, diende de warmteuitwisselingscoëfficiënt  $G_M$  in de modelhal te worden bepaald; m.a.w. diende men de snelheid te bepalen waarmee warmte aan de lucht werd afgegeven.

Zoals hoger vermeld werden hiertoe twee bakjes geconstrueerd (zie foto 2) en gevuld met opgewarmd water (watertemperatuur  $\pm 20^\circ\text{C}$  hoger dan de luchttemperatuur.)

Vervolgens werd de watertemperatuur  $T_W$  en de luchttemperatuur  $T_L$  gevolgd i.f.v. de tijd met behulp van ijktermometers en in tabel uitgezet. (zie voorbeeld in tabel II.)

Het verschil  $\theta = T_W - T_L$  gedeeld door het oorspronkelijk temperatuursverschil  $\theta_o = (T_W - T_L)_o$  werd in grafiek uitgezet (zie bijl. 7) en  $G$  werd bepaald met de formule

$$G = -\ln \frac{\theta}{\theta_o} \cdot \frac{D}{t} \quad (4) \quad [1]$$

Voor de eenvoudigheid van werken werd uit de grafiek

$\frac{\theta}{\theta_o}$  i.f.v. de tijd de tijdsduur bepaald om het oorspronkelijk

temperatuursverschil tussen lucht en water te herleiden tot 90, 80, 70, ..... 10% (m.a.w.  $\frac{\theta}{\theta_o} = 0,9 \dots 0,8 \dots 0,1$ )

en werd dan telkens de  $G$ -waarde bepaald met formule (4). Al deze  $G$ -waarden werden uiteindelijk gemiddeld (zie vb. in tab. III).

Deze proeven gebeurden achtereenvolgens voor een waterdiepte van 4, 8 en 16 cm in de bakjes en leidden tot volgende resultaten :

Waterdiepte	Geïsoleerd houten bakje	Stenen bakje
4 cm	$0,71 \times 10^{-5}$	$0,96 \times 10^{-5}$
8 cm	$0,78 \times 10^{-5} \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}}$	$1,12 \times 10^{-5} \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}}$
16 cm	$0,86 \times 10^{-5}$	$1,36 \times 10^{-5}$

TABEL II. Proef nr. 2A. Bak : geïsol. hout. Waterdiepte : 4 cm.

Uur t(min)	Watertemperatuur $T_W$	Luchttemperat. $T_L$	Verschil $\theta = T_W - T_L$	$\theta/\theta_0$	Water- diepte D(cm)
0	36.05	15.5	20.55 = $\theta_0$	1	3.94
10	34.05	15.7	18.35	0.893	3.92
20	32.60	16.1	16.50	0.803	3.91
30	30.75	16.1	14.65	0.713	3.91
40	29.70	16.1	13.60	0.662	3.91
50	28.35	16.4	11.95	0.582	3.91
60	27.45	16.8	10.65	0.518	3.91
70	26.65	17.0	9.65	0.470	3.91
80	25.80	17.1	8.70	0.423	3.88
90	25.25	17.2	8.05	0.391	3.87
100	24.60	17.3	7.30	0.355	3.87
110	24.05	17.5	6.55	0.319	3.87
120	23.60	17.8	5.80	0.282	3.87
130	23.10	18.1	5.00	0.243	3.86
140	22.65	18.3	4.35	0.212	3.86
150	22.35	18.3	4.05	0.197	3.85
160	22.00	18.2	3.80	0.185	3.85
170	21.65	18.2	3.45	0.168	3.84
180	21.40	18.4	3.00	0.146	3.84
190	21.15	18.4	2.75	0.134	3.84
200	21.05	18.4	2.65	0.129	3.84
210	20.60	18.3	2.30	0.112	3.83

TABEL III. Bepaling van de G-waarde in  $\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}}$  :  $G = -\ln \frac{\theta}{\theta_0} \cdot \frac{D(\text{m})}{t(\text{sec})}$

$\theta/\theta_0$	$-\ln \theta/\theta_0$	t(min)	D(cm)	G
0.9	0.105	9.5	3.92	$0.722 \times 10^{-5}$
0.8	0.223	20.5	3.91	0.709
0.7	0.357	32	3.91	0.727
0.6	0.511	47	3.91	0.709
0.5	0.693	63.5	3.91	0.711
0.4	0.961	86.5	3.875	0.718
0.3	1.204	115	3.87	0.675
0.2	1.609	147	3.855	0.703

$G_{\text{gem}} = 0.709 \times 10^{-5} \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}}$



Deze G-waarden uitgezet in functie van de waterdiepte leiden tot de grafieken van bijlage 8. Zij geven het totaal van de warmteuitwisseling naar de lucht ( $G_L$ ), naar de wanden ( $G_W$ ) en naar de bodem ( $G_B$ ). Daar de bakjes een oppervlak hebben van 50 x 50 cm kan men stellen dat het wandoppervlak, en dus het verlies langs de wanden gelijk is aan het bodemoppervlak, dus het verlies langs de bodem wanneer de waterdiepte gelijk is aan 12,5 cm.

$$12,5 \text{ cm} \times 200 \text{ cm} = 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2.500 \text{ cm}^2.$$

Dus met  $D = 12,5 \text{ cm}$  hebben we  $G_W = G_B$ .

Anderzijds kan men stellen dat er bij het hypothetisch geval 0 cm water geen verlies langs de wanden voorkomt, zodat we met  $D = 0 \text{ cm}$  hebben  $G = G_L + G_B$ .

Hieruit kunnen we dan  $G_L$  bepalen (zie bijl. 8).

Voor het geïsoleerde houten bakje :

$$G_L = 0.515 \times 10^{-5} \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}} = 1.85 \text{ cm/h}$$

Voor het gemetste stenen bakje :

$$G_L = 0.425 \times 10^{-5} \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C}} = 1.53 \text{ cm/h}$$

Gezien het verschil tussen de warmteuitwisselingscoëfficiënt naar de lucht bij beide bakjes, en ook om de proefomstandigheden beter met die van het Scheldemodel te doen overeenkomen werd in de hal naast het Scheldemodel een bak gemetst van 10 m x 5 m en 20 cm hoog.

Ook deze bak werd gevuld met opgewarmd water en weer werd lucht- en watertemperatuur gevolgd in functie van de tijd.

De G-waarde werd bepaald met hogervernoemde formule, maar tevens met de formule gebruikt door Wemelsfelder [3]

$$G = \frac{\Delta T_W}{T_L - T_W} \cdot \frac{D}{\Delta t}$$

Deze formule, in natuur toegepast met tussenperiodes ( $\Delta t$ ) van 24 hr., waarvoor telkens  $\Delta T_W$ , het gemiddelde verschil  $T_L - T_W$  en de gemiddelde waterdiepte werd bepaald, werd voor hogervermelde proeven toegepast met een  $\Delta t$  van 30 minuten.

Gezien er geen menging voorzien was, ging er zich rechts in de bak een andere evenwichtstemperatuur instellen dan links in de bak, terwijl ook de luchttemperatuur niet dezelfde was.

Dit alles leidde tot volgende resultaten :

a)  $D = \pm 5$  cm, water opgewarmd tot ongeveer  $10^\circ$  boven de luchttemperatuur :

	Rechts	Links
1° formule	$G = 1.55$	1.76 cm/h
2° formule	1.40	1.48

b)  $D = \pm 10$  cm, water opgewarmd tot ongeveer  $10^\circ$  boven de luchttemperatuur :

	Rechts	Links
1° formule	$G = 1.87$	2.32 cm/h
2° formule	1.70	1.79

c)  $D = \pm 20$  cm, water gedurende drie dagen in evenwicht laten komen met de luchttemperatuur. (Formule van Wemelsfelder)

$$G_{\text{gem}} = 1.81 \text{ cm/h.}$$

Als conclusie van deze proeven kan gesteld worden dat er zich in de resultaten een spreiding voordoet.

Daar op model echter ook moet rekening gehouden worden met het warmteverlies naar de bodem, en alle hogervermelde proeven met stilstaand waterspiegel verricht werden, werd voor de laboratoriumtoestand gesteld dat :

$$1.7 \text{ cm/h} . < G_M < 2.2 \text{ cm/h.}$$

Voor de warmteuitwisselingscoëfficiënt bij het prototype wordt verwezen naar het rapport 295-4 [1] en worden volgende waarden aangenomen :

gemiddeld over een jaar  $G_N = 3.7 \text{ cm/h}$

bij winteromstandigheden  $G_N = 2.2 \text{ cm/h}$ .

### 1.3.1. Diffusiecoëfficiënten.

De lozingsproeven worden uitgevoerd op Froude schaal in een model met vertrekking 3.33, dientengevolge zou de spreiding in horizontale zin te groot kunnen zijn ten opzichte van de spreiding in verticale zin en zou een minder vertrokken model meer aangewezen zijn.

Bovendien wordt spreiding en menging echter in een hydraulisch model slechts juist weergegeven zo de intensiteit van de turbulentie van de stroming in model op schaal is.

Voor een juiste weergave van de turbulente diffusie in een vertrokken model moeten de horizontale en verticale schalen aan hiernavolgende betrekking voldoen

$$\lambda_V = \lambda_H^{4/3} \quad \text{met} \quad \lambda_V = \text{verticale schaal en}$$

$$\lambda_H = \text{horizontale schaal.} \quad [4]$$

Deze vergelijking leidt voor het Scheldemodel met  $\lambda_H = \frac{3}{1000}$  tot een ideale verticale schaal  $\lambda_V = \frac{1}{77}$  (i.p.v.  $\lambda_V = \frac{1}{100}$ ) - dus een grotere vertrekking dan deze welke het model heeft.

Uit hogervermelde beschouwingen blijkt dus de noodzaak na te gaan in hoeverre spreiding en diffusie op model overeenstemmen met dezelfde verschijnselen in prototype. Dit zou kunnen gebeuren bij middel van tracer-proeven (bvb. radio-actieve tracers), welke op hun beurt zouden kunnen vergeleken worden met deze reeds uitgevoerd in het prototype [6].

#### 1.4. Lozingsproeven.

-----

##### 1.4.1. Proefresultaten met getij van 11 mei 1971 (getijfaktor 1.08).

Zoals hoger vermeld werd het model telkens vóór de eigenlijke proef gedurende 15 tijen ingestroomd. Tijdens het vijftiende tij werden bij KHW en KLW de  $C_1$  en  $C_2$  -waarden bepaald voor de verschillende meetpunten terwijl men bij HW van het zestiende tij met de koelwaterlozing begon. Er werd 1000 Mcal/s geloosd wat overeenkomt met  $66 \text{ m}^3/\text{s}$  koelwater (= 12 l/min.model) opgewarmd met  $15^\circ$ , terwijl een hoeveelheid water aan het model werd onttrokken, gelijk aan de hoeveelheid ingebracht warm water. Voor de koelwaterlozing in het model werd steeds in acht gehouden dat het temperatuurverschil tussen het geloosde en uitgedompte water  $15^\circ\text{C}$  bedroeg. Verder werd er in het model steeds zonder bovendebiet gestroomd. De temperatuur in de verschillende meetpunten werd continu geregistreerd in functie van de tijd, maar bovendien werd om de drie tijen op de verschillende meetpunten de temperatuur  $T_{x(\text{KHW})}$  en  $T_{x(\text{KLW})}$  rechtstreeks gemeten, teneinde te kunnen nagaan wanneer de evenwichtstoestand in het model ging bereikt worden. De stabilisatie deed zich telkens voor na ongeveer 25 tijen lozen.

Na de instelling van de evenwichtstoestand werd nog twee tijen gestroomd waarvoor uiteindelijk de gemiddelde temperatuursstijging over het getij voor de verschillende meetpunten werd bepaald (zie hoger). Een voorbeeld van  $t^\circ$  verloop over het getij met lozing te Kallo wordt gegeven in bijl. 9. Tevens bepaalde men de temperatuursstijgingen bij KHW en KLW teneinde een idee te bekomen van het over- en-weerbewegen van de warmwatermassa.

Bij de lozingsproeven te Kallo werden metingen verricht in volgende punten : Hansweert (midden vak 18), afwaarts de bochtafsnijding (midden vak 25), aan de grens (midden vak 29), Doel (midden vak 31), Liefkenshoek (midden vak 33), 1 km afwaarts en 1 km opwaarts het lozingspunt (beide grenzen van

vak 35), Pijptabak (midden vak 37), Antwerpen (midden vak 39), Hemiksem (midden vak 45) en 4 km opwaarts Hemiksem (midden vak 47). Alle meetpunten stonden opgesteld in het vaarwater.

Bij de lozingsproeven te Doel stonden de meetsonden opgesteld in volgende punten : Hansweert (midden vak 18), afwaarts de bochtafsnijding (midden vak 25), aan de grens in de overlaat van de bochtafsnijding (midden vak 28), aan de grens, zowel in het vaarwater (RO) als op de plaat van de ouden Doel (LO) (beide midden vak 29), 1 km afwaarts en 1 km opwaarts het lozingspunt (beide grenzen van vak 31), Liefkenshoek (midden vak 33), Kallo (midden vak 35) en Hemiksem (midden vak 45).

Zowel voor Kallo als voor Doel werd elke proef drie maal herhaald wat leidde tot de resultaten van tabel IV. (Bijl. 10 en 11).

Nota :

1. De plotse temperatuursdaling voor de lozingsproeven van Doel tussen vak 28 en 29 komen voort uit het feit dat in vak 28 niet in het vaarwater, doch in de overlaat van de bochtafsnijding gemeten werd (ter hoogte van de B-NL grens). Vandaar de stippellijn (veronderstelde temperatuurstijging) op bijlage 11.
2. In de onmiddellijke nabijheid van het lozingspunt KALLO werd, tengevolge van de plaatsing der meetpunten, enkel de opwarming ingemeten die een gevolg was van de koelwaterlozing voorafgaand aan de laatste kentering (HW of LW) en die gespreid terug voorbij het lozingspunt kwam. De opwarming door de koelwaterlozing gedurende de aan gang zijnde eb of vloed werd niet meegemeten wat opgemerkt werd door aan het lozingswater een kleurstof toe te voegen waarbij het geloosde debiet zijdelings langs het meetpunt passeert.

Teneinde een schatting te maken van de bijkomende opwarming van het lozingspunt, gaat men als volgt te werk : gedurende een eb of vloed (tussen twee kenteringen) komt aan het lozingspunt een volume water voorbij gelijk aan het tijvolume ter plaatse. Ter hoogte van KALLO is dit ongeveer gelijk aan 80 milj. m<sup>3</sup> (Stormvloeden op de Schelde Deel IV)

De hoeveelheid warmte, geloosd gedurende een eb of vloed is bij benadering gelijk aan 1000 Mcal/s gedurende 6 hr. of 21,6 milj. Mcal.

Wanneer we deze warmte verdelen over het tijvolume zou dit leiden tot een bijkomende opwarming van  $\pm 0,28^{\circ}\text{C}$  (natuur) in de omgeving van het lozingspunt. Daar hetzelfde fenomeen zich voordoet gedurende de eb en gedurende de vloed dient de gemiddelde temperatuursstijging over een getij in de nabijheid van de lozing te Kallo met ongeveer  $0,3^{\circ}\text{C}$  verhoogd te worden.

TABEL IV. Temperatuurstijgingen gemiddeld per getijcyclus opgemeten in model bij lozing van 1000 Mcal/s.

Lozingspunt →		KALLO (Bijl. 10)				DOEL (Bijl. 11)			
Proef	Vak	1	2	3	gem.	1	2	3	gem.
	18	0, -	0, -	0, -	0, -	0, -	0, -	0, -	0, -
	25	0, -	0, 20	0, 10	0, 10	0, 45	0, 50	0, 60	0, 52
	28	-	-	-	-	(0, 50)	(0, 60)	(0, 65)	(0, 58) *
RO	29	0, 60	0, 60	0, 55	0, 58	0, 80	0, 95	0, 95	0, 94
LO		-	-	-	-	0, 85	1, 05	1, 05	
AFW	31	-	-	-	-	1, 20	1, 30	1, 30	
MID		0, 75	0, 90	0, 85	0, 83				1, 35
OPW		-	-	-	-	1, 35	1, 45	1, 50	
	33	1, 15	1, 20	1, 05	1, 13	1, 40	1, 40	1, 50	1, 42
AFW	35	1, 50	1, 50	1, 40		-	-	-	-
MID					1, 50	0, 75	0, 80	0, 90	0, 82
OPW		1, 60	1, 55	1, 45		-	-	-	-
	37	1, 65	1, 55	1, 45	1, 55	-	-	-	-
	39	1, 35	1, 40	1, 25	1, 33	-	-	-	-
	45	0, 30	0, 45	0, 40	0, 38	0, -	0, -	0, -	0, -
	47	-	-	0, 20	0, 20	-	-	-	-

□ Temperatuurstijging aan de B - NL grens.

▣ Maximale temperatuurstijging.

1.4.1. Vergelijkende proeven met getijden over een veertiendaagse periode.

Alle hierboven beschreven proeven werden verricht bij een gemiddeld springtij van 11 mei 1971 (zie bijl. 2). Teneinde na te gaan in hoeverre dit getij (tijfactor 1.08) representatief kan gesteld worden voor een gans jaar inzake spreiding van de warmte werd de lozingsproef hernomen met als randvoorwaarde een tijcyclus van 14 dagen, in natuur ingemeten tussen 29 oktober en 22 november 1967.

Het temperatuursverloop gedurende het 28e tij van deze cyclus werd gemiddeld en leidde tot de resultaten van tabel V, tevens weergegeven in bijlage 12. Ook de temperatuursstijgingen bij KHW en KLW worden vermeld.

TABEL V . Temperatuursstijgingen ten gevolge van een lozing van 1000 Mcal/s te KALLO.

temperatuursstijging } randvoorwaarde vak	gem. over getij		bij KHW		bij KLW	
	11 mei'71	okt-nov'67	11 mei'71	okt-nov'67	11 mei'71	okt-nov'67
25	0.10	0.25	0.00	0.05	0.15	0.30
29	0.58	0.45	0.28	0.15	1.20	1.15
31	0.83	0.70	0.42	0.20	1.58	1.55
33	1.13	1.00	0.58	0.50	1.82	1.90
35	1.50	1.55	1.06	1.00	1.65	1.75
37	1.55	1.65	1.44	1.55	0.74	0.90
39	1.33	1.20	1.78	2.00	0.52	0.45
41	0.99	0.85	1.95	1.95	0.38	0.20
45	0.38	0.35	1.05	0.70	0.13	0.00

Uit deze resultaten blijkt dat de curve der gemiddelde temperatuursstijgingen over het getij, bekomen met het springtij van 11 mei '71 iets meer gespreid is, waardoor het maximum iets lager komt te liggen. Het maximum verschil is echter van de orde van 0.15°C, waarbij bovendien moet aangestipt dat de proef "tijcyclus '67" slechts eenmaal werd uitgevoerd. De verschillen tussen



de verscheidene proeven uitgevoerd bij het getij van 11 mei 1971 zijn immers van dezelfde orde van grootte (zie tabel IV).

Aldus kan gesteld dat een lozing bij het springtij van 11 mei 1971 slechts geringe afwijkingen t.o.v. het gemiddelde over een jaar oplevert en als maatgevend over een jaar kan aanzien worden.

1.4.3. Temperatuursstijgingen in natuur en maximum toelaatbare koelwaterlozingen.

Zoals vermeld in 1.1. dienen de temperatuursstijgingen  $\Delta T_M$  opgemeten op model vermenigvuldigd met een factor

$3 \frac{GM}{GN}$  teneinde de overeenkomstige temperatuursstijgingen

$\Delta T_N$  te bekomen in het prototype.

Zoals vermeld in 1.3. hebben we  $1.7 \text{ cm/h} < G_M < 2.2 \text{ cm/h}$

en  $2.2 \text{ cm/h} < G_N < 3.7 \text{ cm/h}$

Dit leidt tot de resultaten van tabel VI, welke tevens zijn weergegeven in bijlage 13 en 14.

TABEL VI . Temperatuursstijgingen tengevolge van een lozing van 1000 Mcal/s.

hyp. →	I	II	III	IV	
$G_M$ (cm/h)	1.7	2.2	1.7	2.2	
$G_N$	3.7	3.7	2.2	2.2	
$3G_M/G_N$	1.38	1.78	2.32	3.0	

vak	$\Delta T_M$ (°C)	$\Delta T_N$	$\Delta T_N$	$\Delta T_N$	$\Delta T_N$	
25	0.10	0.14	0.18	0.23	0.30	<u>KALLO</u>
29	0.58	<u>0.80</u>	<u>1.03</u>	<u>1.35</u>	<u>1.74</u>	
31	0.83	1.15	1.48	1.93	2.49	
33	1.13	1.56	2.01	2.62	3.39	
35	1.50	2.07(+0.28)	2.67(+0.28)	3.48(+0.28)	4.50(+0.28)	
37	1.55	<u>2.14(+0.28)</u>	<u>2.76(+0.28)</u>	<u>3.60(+0.28)</u>	<u>4.65(+0.28)</u>	zie 1.4.1. nota 2.
39	1.33	1.84	2.37	3.09	3.99	
45	0.38	0.52	0.68	0.88	1.14	
47	0.20	0.28	0.36	0.46	0.60	

25	0.52	0.72	0.93	1.21	1.56	<u>DOEL</u>
28	(0.58)	(0.80)	(1.03)	(1.35)	(1.74)	zie 1.4.1. nota 1.
29	0.94	<u>1.30</u>	<u>1.67</u>	<u>2.18</u>	<u>2.82</u>	
31	1.35	1.86	2.40	3.13	4.05	
33	1.42	<u>1.96</u>	<u>2.53</u>	<u>3.29</u>	<u>4.26</u>	
35	0.82	1.13	1.46	1.90	2.46	

Zo betreffende de toelaatbare koelwaterlozingen te Doel en te Kallo volgende twee grenzen gesteld worden (zie rapport 295-4): [1]

1° De toelaatbare temperatuursstijging aan de grens (vak 29), gemiddeld over een getij-cyclus mag de 3 °C niet overschrijden. Daar we rekening houden met een background (opwarming ten gevolge van andere lozingen dan deze te Kallo en Doel zoals SIBP, ESSO, SCHELLE, enz...) van 0.25°C, beschouwen we als toelaatbare stijging aan de grens 2.75°C.

2° De locale opwarming in de omgeving van het lozingspunt (m.a.w. de maximale gemiddelde temperatuursstijging over een getij) moet kleiner blijven dan 5°C.

leiden deze twee voorwaarden, uitgaande van de waarden van tabel V die gelden voor een lozing van 1000 Mcal/s tot volgende toelaatbare koelwaterlozingen te Kallo en te Doel voor de verschillende combinaties van warmte-uitwisselingscoëfficiënten :

TABEL VII. Toelaatbare koelwaterlozingen in Mcal/s.

	KALLO		DOEL	
	$\Delta T_{GR} < 2.75^\circ (\text{vak}29)$	$\Delta T_{MAX} < 5^\circ C (\text{vak}37)$	$\Delta T_{GR} < 2.75^\circ (\text{vak}29)$	$\Delta T_{MAX} < 5^\circ (\text{vak}33)$
hyp I	3438	2336 (2066)	2115	2551
II	2670	1812 (1645)	1647	1976
III	2037	1389 (1289)	1261	1520
IV	1580	1075 (1014)	975	1174

Deze beperkingen zijn voor een gezamenlijke koelwaterlozing te Kallo én te Doel weergegeven in bijlage 15.

De waarden tussen haakjes houden rekening met een bijkomende temperatuursstijging in de nabijheid van het lozingspunt Kallo van 0.28°C zoals vermeld in 1.4.1. nota 2. Zij leiden in bijlage 15 tot de verticale stippellijnen.

#### 1.4.4. Beschouwingen.

Bij de aanname  $G_N = 3,7$  cm/h liggen de ingemeten en berekende temperatuurstijgingen aan de lage kant. Men kan echter stellen dat de modelcondities, gezien de heersende vochtigheidsgraad en luchttemperaturen tijdens de proeven, de wintercondities vrij dicht benaderen, zodat een aanname  $G_N = 2,2$  cm/h gerechtvaardigd is. Bij de keuze van  $G_M$  moet in rekening gebracht worden dat alle proeven ter bepaling van  $G_M$  geschieden met stilstaande waterspiegel zodat deze waarde aan de lage kant kan liggen. Een gedetailleerder onderzoek ter nadere bepaling van  $G_M$  lijkt wenselijk niet alleen voor wat de modelwaarde maar ook voor wat de natuurwaarde aangaat.

Er kan gesteld worden dat  $G_M$  niet groter zal zijn dan  $G_N$  zodat de factor  $3\frac{G_M}{G_N}$  nooit groter zal zijn dan 3. Aldus kunnen, enkel rekening houdend met de spreiding in de warmteuitwisselingscoëfficiënten, de curven IV op bijlage 13 en 14 toch als bovenste grens beschouwd worden.

Er dient echter bovendien rekening gehouden met de invloed van de distortie van het model op de spreiding en diffusie, waarvoor, zoals vroeger vermeld, ook bijkomende studie wenselijk zou zijn.

Onafhankelijk van hogervermelde beschouwingen kunnen volgende conclusies getrokken worden :

- De maximale gemiddelde temperatuurstijging over een getijcyclus doet zich in beide lozingen voor enkele kilometers opwaarts van het lozingspunt.
- Voor Doel is de beperking aan de Belgisch-Nederlandse grens strenger dan de eis voor lokale opwarming, voor Kallo stelt dit zich omgekeerd.

## 2. ONDERZOEK OP HET MATHEMATISCH MODEL.

### 2.1. Aanpassing modeluitbreiding naar opwaarts.

Reeds in het eerste verslag [1] over de thermische verontreiniging werd gewezen op het belang van de keuze van de randvoorwaarde aan de opwaartse modelgrens (vak 50, Temse). Inderdaad, drie vakken afwaarts deze grens ligt het lozingsvak van de elektriciteitscentrale van Schelle, met een lozing van 240 Mcal/s. Gesteld dat het model zover naar opwaarts moet uitgebreid worden, tot de keuze tussen de randvoorwaarden  $\theta = 0$  en  $\frac{\delta\theta}{\delta X} = 0$  geen invloed meer heeft voor de berekeningsresultaten, hoever moet het model dan worden uitgebreid?

Om de invloed van de uitbreiding na te gaan, werden opwaarts 10 vakken, t.t.z. 20 km, aan het model toegevoegd; hierbij werd gebruik gemaakt van de geometriegegevens uit "Stormvloed, Deel 5" [7] rekening houdend met de halftijcota's 1950 (bijlage 14 van [1]). Er werd geen rekening gehouden met de bijrivieren. De geometriegegevens van de vakken 50 tot 60 vindt men in tabel VIII.

Bij gebrek aan gegevens werd voor de diffusiecoëfficiënten in deze vakken een geleidelijke daling met  $2 \text{ m}^2/\text{s}$  per vak aangenomen, vanaf vak 50.

Het berekeningsprogramma werd voor deze test zodanig aangepast dat men de berekeningen kan uitvoeren voor elk aantal vakken, kleiner dan 60.

TABEL VIII. Geometriegegevens voor de uitbreiding van het model.

Vaknr.	Natte doorsnede A (m <sup>2</sup> )	Vakvolume V (m <sup>3</sup> )	Diepte H (m)	Diffusie K (m <sup>2</sup> /s)
50	1579	3.158.150	5,00	82
51	1289	2.593.000	4,62	80
52	891	1.924.500	4,50	78
53	1085	2.062.430	4,00	76
54	899	1.792.480	3,92	74
55	1093	1.844.800	3,97	72
56	803	1.596.500	4,15	70
57	715	1.474.000	5,19	68
58	662	1.344.000	4,22	68
59	667	1.305.500	6,44	64
60	734	1.252.000	4,80	62

Voor deze testberekeningen werden volgende lozingen ingebracht :

Vaknr.	Debiet Q (m <sup>3</sup> )	Temp. stijging Δt (°C)	
47	30.	8	(Schelle)
37	0.5	10	(ESSO)
36	2.5	10	(SIBP)
35	25.	15	(KALLO)
30	44.	15	(Doel)

Volgende bovendebiten R en modellengten werden beproefd :

- a. R = 40 m<sup>3</sup>/s , 50 vakken
- b. R = 40 m<sup>3</sup>/s , 55 vakken
- c. R = 40 m<sup>3</sup>/s , 60 vakken
- d. R = 100 m<sup>3</sup>/s , 55 vakken.

Voor elke berekening werden andere randvoorwaarden aangelegd :

ofwel  $\theta = 0$  aan de bovenrand

ofwel  $\frac{\delta\theta}{\delta x} = 0$

Voor alle berekeningen was de tijdstap 12h25, de verliescoëfficiënt was  $G = 3,7$  cm/h.

Het onderzoek leverde op wat volgt : (bijlage 16)

1. Uit vergelijking van tests a en b blijkt dat de temperatuur tussen de vakken 50 en 37 inderdaad stijgt bij uitbreiding, met randvoorwaarde  $\theta = 0$  in 55,

In het model met 50 vakken, waar in vak 50, dicht bij de lozing,  $\theta$  nul gesteld wordt, is  $\frac{\delta\theta}{\delta x}$  opwaarts de lozing groot, en veroorzaakt aldus een overdreven diffusief transport uit het model. Door de grens verder van de lozing te leggen daalt  $\frac{\delta\theta}{\delta x}$ , en blijft er meer warmte in het model (afgezien van het verlies in de vakken 50 - 55).

2. Bij bovendebiet  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  (test b) geeft de berekening met de randvoorwaarde  $\frac{\delta\theta}{\delta x} = 0$  nog een excestemperatuur van  $0,13^\circ\text{C}$  in vak 55. Bij bovendebiet  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (test d) nog slechts  $0,01^\circ\text{C}$ . Hieruit blijkt dat hoe groter het bovendebiet, des te kleiner de invloed van de randvoorwaarde aan de bovengrens.

3. De uitbreiding van 55 naar 60 vakken, bij  $\theta = 0$  als randvoorwaarde en  $R = 40 \text{ m}^3/\text{s}$  geeft geen verdere wijziging.

4. Bij een lengte van 60 vakken is het model invariant voor de randvoorwaarde.

Besluit : - De afstand tussen de meest opwaartse lozing en de bovengrens van het model, nodig opdat het berekeningsresultaat onafhankelijk van de gekozen vorm van randvoorwaarde zou zijn, is een functie van :

- de grootte van de lozing

- het bovendebiet.

- Voor de aangenomen lozing te Schelle is de uitbreiding tot vak 60 voldoende. Deze uitbreiding zal ook voldoende zijn indien men het effect van lozingen te Doel en Kallo berekent.

2.2. Aanpassing van het lozingsvak Doel.

De vroegere studie werd uitgevoerd voortgaand op de studie, die in het laboratorium geschiedde voor de koelwateruitlaat van de centrale van Doel, waarbij voorzien was dat de uitlaat (diffusor) ongeveer in het midden van de zone achter de strekdam op de Plaat van den Ouden Doel zou worden gebouwd. Na verificatie blijkt dat een volledig ander type uitlaat werd gebouwd aan de wortel van de strekdam, t.t.z. in vak 31.

Met de vroegere hypothese ligt de uitlaat in vak 30.

Gezien de nabijheid van de grens, wordt in de verdere studie de lozing van Doel in vak 31 ingebracht.

In alle hier volgende berekeningsgevallen worden enkel de lozingen van de centrales van Doel en Kallo beschouwd. De toelaatbare temperatuurstijging aan de rijksgrens wordt  $3^{\circ}\text{C}$  verondersteld, waarvan  $0,25^{\circ}\text{C}$  wordt voorbehouden voor andere lozingen. Zodoende mag aan de grens het samengesteld effect van de lozingen in de vakken 31 en 35 niet meer dan  $2,75^{\circ}\text{C}$  bedragen.

De maximale opwarming van de rivier, in de invloedszone van één enkele lozing, wordt tot  $5^{\circ}\text{C}$  beperkt, overeenkomstig de reglementering op het lozen van afvalwater in oppervlaktewateren.

In het voorgaand verslag over de thermische verontreiniging [1] werd in bijlage 10, figuur 1 een grafiek van de toelaatbare koelwaterlozingen gegeven. Voor een bovendebiet van  $100\text{ m}^3/\text{s}$ , een verliescoëfficiënt  $G = 3,7\text{ cm/h}$  en puntlozingen te Kallo in vak 35 en te Doel in vak 30, werd deze grafiek opgesteld zowel voor de huidige Schelde als voor de Schelde met bochtafsnijding (B.A.) te Bath. De plaatselijke beperking tot  $5^{\circ}\text{C}$  werd berekend bij een bovendebiet van  $20\text{ m}^3/\text{s}$  en was enkel van belang te Kallo, rekening houdend met een maximaal toelaatbare gemiddelde opwarming van  $3^{\circ}\text{C}$  aan de grens.

	Beperking aan de grens		Plaatselijke beperking Kallo ( $20\text{ m}^3/\text{s}$ )
	Doel (vak 30)	Kallo (vak 35)	
zonder B.A.	835 Mcal/s	of 1478 Mcal/s	570 Mcal/s
met B.A.	700 Mcal/s	of 1256 Mcal/s	



In bovenstaande tabel worden deze toelaatbare lozingen hernomen. In bijlage 17 worden zij vergeleken met de toelaatbare lozingen als Doel in vak 31 loost, en de plaatselijke beperking bij  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  geldt.

	Grensbep. Doel (vak 31)	plaatsel. beperking	grens- bep. Kallo	plaatsel. beperking
zonder B.A.	948 Mcal/s	853	1478	538
met B.A.	804	801	1256	534

Daar voor de toestand zonder B.A. te Doel de plaatselijke beperking van belang is, is er bijna geen winst. Met B.A. is er in Doel een winst van circa 100 Mcal/s geboekt.

De invloedscoëfficiënt voor de temperatuur aan de grens (vak 29) ten gevolge van een lozing in vak 31 bedraagt bij  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  bovendebiet :

zonder B.A.       $0,29 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{Mcal/s}$     t.o.v.  $0,33^\circ\text{C}$  bij lozing in vak 30  
 en met B.A.       $0,34 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{Mcal/s}$     t.o.v.  $0,39^\circ\text{C}$  bij lozing in vak 30

### 2.3. Spreiding van de lozing.

In alle berekeningen die tot hiertoe werden uitgevoerd werd de lozing als een puntlozing ingebracht, t.t.z. slechts in het volume water van één enkel vak.

Omdat gedurende een tijcyclus het water van de rivier tussen kentering laagwater en kentering hoogwater naar opwaarts stroomt, en van KHW tot KLW ditzelfde water terug voorbij de uitlaat naar afwaarts stroomt, wordt de lozing in feite verdeeld over een veel groter volume. Dit volume is gelijk aan het verschil tussen het volume water opwaarts van de uitlaat op het ogenblik van KHW aan de uitlaat en het volume water opwaarts van de uitlaat op het ogenblik van KLW aan de uitlaat, wat met het tijvolume overeenstemt.

Om dit fenomeen in het mathematisch model zeer schematisch na te bootsen wordt de lozing over 4 vakken (8 km) gespreid.

Door het spreiden van de lozing daalt het maximum exces, en stijgt het exces in de naastgelegen vakken. Bij bovendebiet  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  zal het maximum zich voordoen in het vak opwaarts van de lozing, zoals ook op het fysisch model wordt gevonden, omwille van de keuze van de vakken. De lozing te Doel wordt verdeeld over de vakken 30, 31, 32, 33 en die te Kallo over de vakken 34, 35, 36, 37. (zie bijlage 18.)  
 Voor de gespreide lozingen werden eveneens invloedscoëfficiënten berekend. Voor een eenheidslozing van 1000 Mcal/s of 1 Gcal/s, een verliescoëfficiënt  $G = 3,7 \text{ cm/h}$ , en het model met 60 vakken, vindt men :

voor  $R = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

		(GRENS)	lozingsvak (max.)
<u>zonder B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	$1,86^\circ\text{C/Gcal/s}$	$6,31^\circ\text{C/Gcal/s}$
	Doel	2.90	4.70
gespreide lozing	Kallo	1.79	5.20
	Doel	2.77	3.84
<u>met B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	2.19	6.33
	Doel	3.42	4.92
gespreide lozing	Kallo	2.11	5.22
	Doel	3.27	4.05

voor  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$

		(GRENS)	lozingsvak (max.)
<u>zonder B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	$0,99^\circ\text{C/Gcal/s}$	$9,29^\circ\text{C/Gcal/s}$
	Doel	2.69	5.86
gespreide lozing	Kallo	0.91	7.18 (7.60)
	Doel	2.48	4.50 (4.94)

<u>met B.A.</u>		(GRENS)	lozingsvak (max.)
puntlozing	Kallo	1.23°C/Gcal/s	9.35°C/Gcal/s
	Doel	3.32	6.24
gespreide lozing	Kallo	1.13	7.23 (7.70)
	Doel	3.06	4.85 (5.21)

Omgerekend naar mogelijke lozingen (zie bijlage 19) betekent dit dat bij 100 m<sup>3</sup>/s door de spreiding de lokale beperking te Doel verdwijnt, en te Kallo van 538 Mcal/s tot 658 Mcal/s wordt verlegd.

## 2.4. Aanpassing van de diffusiecoëfficiënten.

2.4.1. Bij de aanvang van de studie der waterverontreiniging in de Westerschelde werden de diffusiecoëfficiënten overgenomen uit de studie van ir. CLAEYS over het "Diffusieverschijnsel in de Westerschelde" [8] [1] .

Voor de narekening van het zoutgehalte maakte deze gebruik van een geschematiseerde Schelde met een vaklengte van 1 km.

Daar de vaklengte in ons model 2 km bedraagt, werden de diffusiecoëfficiënten zeer summier getest (zie vorig verslag 295-4 [1] , Hfst. I, § 4) aan de hand van 14-daagse zoutmetingen bij KLW, en tiendaagse Scheldedebieten. Daar ondanks de berekening met gespreide lozingen de vorm van het berekende temperatuursverloop verschilt met het temperatuursverloop in het fysisch model, dienden deze diffusiecoëfficiënten onderzocht. Bij het berekende exces is het maximum te hoog, en daalt de temperatuur te snel, zodat te lage waarden worden gevonden op grotere afstand van de lozing.

2.4.2. Voor de nieuwe controle werd met het mathematisch model de lozing van Broom-82 te Belgische Sluis, uitgevoerd in 1967, nagerekend. De natuurmetingen zijn samengevat in het verslag van ir. ROOVERS over de "Collector Afvalwater Noorderkempen" [6] . Deze lozing was ook door ir. CLAEYS nagerekend.

Als beginwaarde voor de berekening werd de waarneming bij halftij, op 25.9.1967 te 16u15 genomen. (zie bijlage 20)

Als bovendebiet werd de gemiddelde waarde van  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  genomen, zoals in de herrekening van ir. CLAEYS [8] , om de berekeningen ook onderling te vergelijken. Omdat de berekeningsresultaten op tijdstippen halftij-natuur zouden vallen, werd een tijdstip van 15 minuten gekozen.

Daar normaal met een tijdstap van 12 uur of 12u25 wordt gerekend werd ook nagegaan welke invloed de tijdstap op de resultaten heeft. Inderdaad, al is het eindresultaat in regimetoestand onafhankelijk van de tijdstap, de wijze waarop

men tot de eindtoestand komt is afhankelijk van de tijdstap. Een proef met tijdstappen van 12 uur, 4 uur en 15 minuten bracht aan het licht dat het grootste verschil in concentraties 5% bedroeg (tussen  $\Delta t = 12$  uur en  $\Delta t = 15$  minuten).

2.4.3. Allereerst werd de berekening uitgevoerd met de huidige diffusiecoëfficiënten (zie tabel in bijlage 2 in (1) ) (zie bijlage 21, grafieken 1, 2 en 3). De maxima concentraties zijn nagenoeg 25% te hoog, dus dient de diffusie verhoogd.

Door alle diffusiecoëfficiënten met 50% te verhogen, werden de door ir. CLAEYS berekende waarden nagenoeg teruggevonden. Hierin is de diffusie naar opwaarts te klein (zie grafieken 3 e.v.).

Met verdubbelde diffusiecoëfficiënten vindt men voor de eerste vier tijden een betere overeenkomst, doch hoe verder men doorrekenet, hoe groter wordt het verschil tussen gemeten en berekende maxima. (zie bijlage 22)

Om de diffusie naar opwaarts te vergroten, naar afwaarts iets kleiner te maken, en toch waarden te behouden tussen 1,5 en 2 maal de oude coëfficiënten, werd een berekening gedaan met een konstante waarde  $100 \text{ m}^2/\text{s}$  vanaf vak 21 tot de bovenrand. De resultaten van deze berekening zijn weer te vergelijken met de berekening van ir. CLAEYS. Met een konstante waarde  $110 \text{ m}^2/\text{s}$  vindt men echter een betere overeenkomst. Voor de maximum concentraties is dit voorgesteld in bijlage 22, waar de kromme 4 de natuurmeting het best benaderde. Ook na verloop van tijd wijken de berekende maxima niet van de meetwaarden af.

2.4.4. Door de aanname van de konstante waarde  $110 \text{ m}^2/\text{s}$  wordt het verloop van de diffusiecoëfficiënt langs de rivier drastisch gewijzigd. Daarom werd een vergelijkende berekening gemaakt voor het jaargemiddelde langsverloop zoutgehalte (gegeven door Codde in Revue C, 1-6-1958) voor een sta-

tionnaire toestand, met een (jaargemiddeld) bovendebiet van  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . De gemeten zoutkromme werd vergeleken met een berekening met diffusie  $110 \text{ m}^2/\text{s}$  en met diffusie gelijk aan 1,5 maal de oude coëfficiënten. Voor  $110 \text{ m}^2/\text{s}$  is de vorm van opgemeten en berekende kromme dezelfde, en de afwijking is klein. Bij 1.5K is de driedelige vorm van de zoutkromme (bijna vlak deel, steile gradiënt, bijna vlak deel) meer uitgesproken, maar is de afwijking van de gemeten waarde te groot.

Bijgevolg werd besloten alle verdere berekeningen uit te voeren met volgend verloop van diffusiecoëfficiënten :

- van vak 1 t.e.m. vak 21 : de oude coëfficiënten
- van vak 21 t.e.m. vak 60 : konstant  $110 \text{ m}^2/\text{s}$

2.4.5. Voor een eenheidslozing van  $1000 \text{ Mcal/s}$  ( $1 \text{ Gcal/s}$ ) werden de invloedscoëfficiënten herrekend met deze diffusiecoëfficiënten. De waarden zijn vermeld in onderstaande tabel, tussen haakjes de waarden voor de oude diffusiecoëfficiënten. De waarde van de verliescoëfficiënt is  $3,7 \text{ cm/h}$ .

Bovendebiet  $R = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

		GRENS	MAXIMUM
<u>zonder B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	1.74 (1.86) °C/Gcal/s	5.20 (6.31)
	Doel	2.50 (2.90)	3.79 (4.70)
gespreide lozing	Kallo	1.68 (1.79)	4.50 (5.20)
	Doel	2.40 (2.77)	3.24 (3.84)
<u>met B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	2.11 (2.19)	5.26 (6.33)
	Doel	3.03 (3.42)	4.09 (4.92)
gespreide lozing	Kallo	2.04 (2.11)	4.56 (5.22)
	Doel	2.92 (3.27)	3.53 (4.05)

Bovendebiet  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$

<u>zonder B.A.</u>		GRENS	MAXIMUM
puntlozing	Kallo	1.23 (0.99)°C/Gcal/s	6.62 (9.29)
	Doel	2.41 (8.69)	4.35 (5.86)
gespreide lozing	Kallo	1.15 (0.91)	5.87 (7.60)
	Doel	2.26 (2.48)	3.86 (4.94)
<u>met B.A.</u>			
puntlozing	Kallo	1.55 (1.23)	6.74 (9.35)
	Doel	3.03 (3.32)	4.78 (6.24)
gespreide lozing	Kallo	1.43 (1.13)	5.96 (7.70)
	Doel	2.85 (3.06)	4.21 (5.25)

Met bovendebiet  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  is de diffusie alleen verantwoordelijk voor het transport. Men merkt dat de spreiding naar afwaarts voor lozing te Kallo groter geworden is, evenals de spreiding naar opwaarts voor lozing te Doel, zodat aan de grens hogere temperaturen t.g.v. lozingen te Kallo en lagere temperaturen t.g.v. lozingen te Doel worden gevonden. De maxima waarden zijn overal gevoelig lager.

2.4.6. Voor deze toestand werden ook de toelaatbare lozingen herrekend. We beschouwen hier voor enkel de gespreide lozingen (zie bijlage 23) :

<u>zonder B.A.</u>	<u>toelaatbare lozing</u>	<u>lokale begrenzing</u>
Kallo $0 \text{ m}^3/\text{s}$	2391 Mcal/s	852 Mcal/s
$100 \text{ m}^3/\text{s}$	1637	
Doel $0 \text{ m}^3/\text{s}$	1216	1295
$100 \text{ m}^3/\text{s}$	1146	

<u>met B.A.</u>	<u>toelaatbare lozing</u>	<u>lokale begrenzing</u>
Kallo 0 m <sup>3</sup> /s	1923 Mcal/s	839 Mcal/s
100 m <sup>3</sup> /s	1348	
Doel 0 m <sup>3</sup> /s	965	1188
100 m <sup>3</sup> /s	942	

Voor Doel blijkt de lokale beperking zonder belang. De lokale beperking te Kallo laat echter grotere koelwaterlozingen toe.



2.5. Berekeningen met warmte-verliescoëfficiënten  $G = 3,7$  en  $2,2$  cm/h.

Daar de coëfficiënt  $G = 3,7$  cm/h een jaargemiddelde waarde is, en gelegen aan de optimistische kant (zie vorig verslag, Hfst. IV § 3, blz. 45 - 46 [1]), is het nodig de berekening een keer te herhalen voor de ongunstige wintervoorwaarden, nl. met  $G = 2,2$  cm/h. Deze berekening met Bochtafsnijding, met de nieuwe diffusiecoëfficiënten, en gespreide lozingen van 1 Gcal/s te Kallo en te Doel levert volgende opwarming :

<u>bovendebiet</u> $R = 100 \text{ m}^3/\text{s}$	<u>grens</u>	<u>maximum</u>
Kallo	3.11°C/1Gcal/s	5.53
Doel	3.90	4.46

<u>bovendebiet</u> $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$		
Kallo	2.51	7.98
Doel	4.09	4.36

In bijlage 24 vindt men het langsverloop temperatuur voor

- a. lozing van 1Gcal/s te Kallo,  $G = 3,7$  cm/h
- b. lozing van 1Gcal/s te Doel,  $G = 3,7$  cm/h
- c. lozing van 1Gcal/s te Kallo,  $G = 2,2$  cm/h
- d. lozing van 1Gcal/s te Doel,  $G = 2,2$  cm/h

De maximaal toelaatbare lozingen bedragen dan :

		<u>toelaatbare lozing</u>	<u>lokale beperking</u>
Kallo	$0 \text{ m}^3/\text{s}$	1095 Mcal/s	626 Mcal/s
	$100 \text{ m}^3/\text{s}$	884	
Doel	$0 \text{ m}^3/\text{s}$	672	1146
	$100 \text{ m}^3/\text{s}$	705	

In bijlage 25 worden de grafieken van de toelaatbare lozingen bij  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  bovendebiet voor  $G = 3,7 \text{ cm/h}$  en  $G = 2,2 \text{ cm/h}$  vergeleken met de grafiek uit vorige verslag [1] en vindt men eveneens voor  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$  de toelaatbare lozingen voor  $G = 3,7$  en  $2,2 \text{ cm/h}$ .

Uit de vergelijking en de interpretatie van de grafieken op bijlage 25 blijkt dat de uitspraken betreffende de uitbreidingsmogelijkheden van koelwaterlozingen te Doel en Kallo, in de meest ongunstige omstandigheden en rekening houdend met de opgelegde normen i.v.m. lokale opwarming en maximaal toelaatbare stijging van de temperatuur van het Scheldewater ter plaatse van de grens, geformuleerd in het vorig rapport M 295/4 blijven gelden.

### 3. VERGELIJKING DER RESULTATEN VAN HET FYSISCH EN HET MATHEMATISCH MODEL.

#### 3.1. Toelaatbare lozingen te KALLO en te DOEL.

In bijlage 26 en 27 werden de toelaatbare lozingen volgens de resultaten van de modelproeven en volgens berekeningen van het mathematische model (onder dezelfde randvoorwaarden) samen gebracht : Bijlage 26 geldt voor een aanname  $G_N = 3,7 \text{ cm/h}$ , bijlage 27 voor een aanname  $G_N = 2,2 \text{ cm/h}$ .

Men merkt op dat de veronderstelling  $1,7 \text{ cm/h} < G_M < 2,2 \text{ cm/h}$  leidt tot toelaatbare lozingen volgens de modelproeven die 1,5 à 2 maal groter zijn dan deze bekomen met het mathematische model. Als conclusie kan dan ook gesteld worden dat veiligheidshalve de beperking der lozingen voortvloeiend uit het mathematische model als maatgevend moet beschouwd worden.

Nader onderzoek, voortgaand op de hiernavolgende kritische bemerkingen, is noodzakelijk teneinde na te gaan op welke wijze de resultaten van het mathematische en het hydraulische model mekaar dichter kunnen benaderen.

#### 3.2. Kritische bemerkingen.

##### 3.2.1. Het fysische model.

Bij de proefresultaten van het fysische model dienen volgende opmerkingen gemaakt :

- De keuze van de warmteuitwisselingscoëfficiënt is van zeer grote invloed op de resultaten. Een bepaling van  $G_M$ , waarbij in model eveneens rekening wordt gehouden met het warmteverlies door de modelbodem, lijkt noodzakelijk.
- Het model heeft een distortie van 3,33 waardoor de intensiteit der turbulentie alsook de diffusie kan afwijken van de werkelijkheid. Een vergelijkende studie tussen model en prototype, met behulp van tracers, kan meer inzicht brengen in dit probleem.

- De resultaten van de hydraulische modelproeven komen voort uit puntmetingen, die men laat gelden voor een vak van 2 km lengte. Speciaal in de onmiddellijke omgeving van het lozingspunt is de plaatsing van het meetpunt van zeer groot belang, terwijl ook de diepte waarop de temperaturen werden ingemeten, zeer belangrijk is.

### 3.2.2. Het mathematische model.

- Het grootste gebrek dat het wiskundig model vertoont, is zijn hydraulisch permanent karakter. Dit heeft tot gevolg dat de wijze van inbrengen van de lozing door spreiding moet aangepast worden aan de werkelijkheid. De afstand waarover deze spreiding gebeurt hangt in feite enkel af van het tijvolume op de plaats van de lozing. Doch daar in het model wordt aangenomen dat de warmte zich onmiddellijk over een volledig vak spreidt (zowel in lengte als in de breedte!) werd de spreiding van de lozing tot 8 km beperkt.

Door deze afstand verder te vergroten zou men dichter bij de resultaten van de fysische modelproeven komen, maar de vraag stelt zich of men in die toestand dan ook de natuur benadert.

Een ander gevolg van het hydraulisch-permanent-zijn van het model is het gebruik van zeer grote diffusiecoëfficiënten, waardoor het mengingseffect van het getij en het diffusiever- schijnsel in de enge zin niet van elkaar te scheiden zijn.

- Voor de bochtafsnijding werd de aanname gemaakt dat enkel de vaargeul van de afsnijding zelf een rol speelt. Hierdoor werd het ganse noordelijke bekken verwaarloosd, zowel qua volume als qua wateroppervlakte. Nochtans zal ongeveer 25% van het tijvermogen door het noordelijk bekken stromen. Deze hypothesen zijn dus van aard om te grote opwarming te veroorzaken, ook aan de grens, zodoende dat de toelaatbare lozingen te Doel enigszins onderschat zijn voor de B.A.

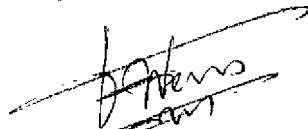
3.3. Algemene conclusies.

-----  
De nieuwe resultaten der berekeningen (bijlage 25) vertonen voor  $G_N = 3,7$  cm/h een verruiming der mogelijkheden, voor  $G_N = 2,2$  cm/h een lichte afname ten opzichte van de eerste resultaten vermeld in rapport 295-4 (1), maar blijven onder de mogelijkheden voortvloeiend uit de resultaten der proeven op het fysische model (bijlage 26 - 27). Gezien er zowel voor de berekeningsresultaten als voor de fysische proeven nog verschillende kritische bemerkingen geformuleerd werden lijkt het voorshands aangewezen de resultaten van het mathematisch model als maatgevend te beschouwen, gezien deze leiden tot de meest veilige situatie.

Teneinde de resultaten van het fysische model en het mathematische model dichter bij mekaar te kunnen brengen is meer onderzoek van warmteuitwisseling en diffusie in natuur en op het hydraulische model noodzakelijk terwijl anderzijds de berekeningen op een tijafhankelijk mathematisch model dienen te worden uitgevoerd in plaats van op een hydraulisch permanent model.

Borgerhout, februari 1975.

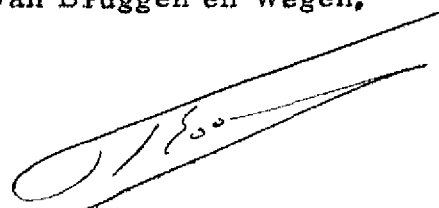
De tijdelijke ir. belast  
met de fysische modelstudie

  
ir. F. WENS.

De stagedoend ir. van Bruggen en Wegen,  
belast met de mathematische modelstudie

  
ir. E. LAFORCE.

De Hoofdingenieur-Directeur  
van Bruggen en Wegen,

  
ir. P. ROOVERS.

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

  
ir. A. STERLING.

## BIBLIOGRAFIE

---

- 1 "Thermische Waterverontreiniging in de Westerschelde". Intern rapport, Model 295-4.  
Ministerie van Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium.  
Borgerhout, oktober 1974.
- 2 FLUGGE G. en SCHWARZE H. : "Similarity Conditions for Thermal Hydraulic Model Test of Tidal Estuaries" 14e International Conference on Coastal Engineering, Kopenhagen, juni 1974.
- 3 WEMELSFELDER P.J. "Wordt warmtelozing door centrales in de toekomst een probleem?". De Ingenieur, Bouw- en Waterbouwkundé 15, Koelwaternummer, Den Haag, December 1968.
- 4 OHLMEYER F. en BERNDT D. "Field and Model Data on Spreading in Estuaries". 14th International Conference on Coastal Engineering Kopenhagen, juni 1974.
- 5 OHLMEYER F. en VOLLMERS H. "Thermal and Sewage Pollution on Tidal Areas" Proceedings 15th Congress International Association for Hydraulic Research.
- 6 ROOVERS P. "Collector Afvalwaters Noorderkempen. Lozing van Broom-82 in de Westerschelde. Metingen van 25/9 t.e.m. 3.10.1967." Intern rapport, Model 119. Ministerie van Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, januari 1968.
- 7 "Stormvloed op de Schelde." Deel 5. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen. Brussel, december 1966.
- 8 CLAEYS G. "Het diffusieverschijnsel in de Westerschelde". Intern rapport, Model 119. Ministerie van Openbare Werken, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout, 1968.

## LIJST VAN DE BIJLAGEN.

---

- Foto 1 Ternistorsonde met registreertoestel.
- Foto 2 Bakjes ter bepaling van de warmteverliescoëfficiënt.
- Foto 3 Installatie ter opwarming van het te lozen water.
- 
- Bijlage 1 Situatieplan fysisch Westerscheldemodel.
- 2 Tijkromme Bath 11 mei 1971.
- 3 Vakindeling Wiskundig Scheldemodel.
- 4 Verloop van de basistemperaturen i.f.v. de tijd.
- 5 C - factor i.f.v. de tijd.
- 6  $C_1$  en  $C_2$  - factor i.f.v. de tijd.
- 7 Afkoelingskromme ter bepaling van G (houten bakje - 4 cm).
- 8 Warmte-uitwisselingscoëfficiënt i.f.v. waterdiepte.
- 9 Temperatuursverloop over het getij na 26 tijen lozen te Kallo  
(Proef 3D).
- 10 Stijging van de watertemperatuur (model) tengevolge van een lozing van 1000 Mcal/s te Kallo.
- 11 Stijging van de watertemperatuur (model) tengevolge van een lozing van 1000 Mcal/s te Doel.
- 12 Temperatuursstijging (model) ten gevolge van een lozing te Kallo met een tijcyclus van 14 dagen (28 tijen).
- 13 Temperatuursstijgingen in natuur ten gevolge van een lozing te Kallo.
- 14 Temperatuursstijgingen in natuur ten gevolge van een lozing te Doel.
- 15 Toelaatbare koelwaterlozingen te Kallo en te Doel .
- 16 Invloed van de opwaartse randvoorwaarde.
- 17 Aanpassing lozingsvak Doel - Mogelijke lozingen bij beperkte temperatuursstijging aan de grens.
- 18 Spreiding van de lozing - Vgl. temperatuursstijging bij puntlozing en bij gespreide lozing.
- 19 Spreiding van de lozing - Toelaatbare lozingen bij beperkte temperatuursstijging aan de grens.
- 20 Narekening lozing Br 82 (Beginvoorwaarden).
- 21 " " " (spreiding i.f.v. de tijd).
- 22 " " " (vergelijking der maxima).
- 23 Toelaatbare lozingen te Kallo en te Doel met nieuwe diff. coëff.
- 24 Langsverloop temperatuursstijgingen.
- 25 Toelaatbare lozingen te Kallo en te Doel bij  $G = 3, 7$  en  $2, 2$  cm/h.
- 26 Vergelijking der mogelijke lozingen bij mathematisch en fysisch model met  $G_N = 3, 7$  cm/h.
- 27 Vergelijking der mogelijke lozingen bij mathematisch en fysisch model met  $G_N = 2, 2$  cm/h.

FOTO'S



FOTO 1 : Termistorsonde  
met registreertoestel

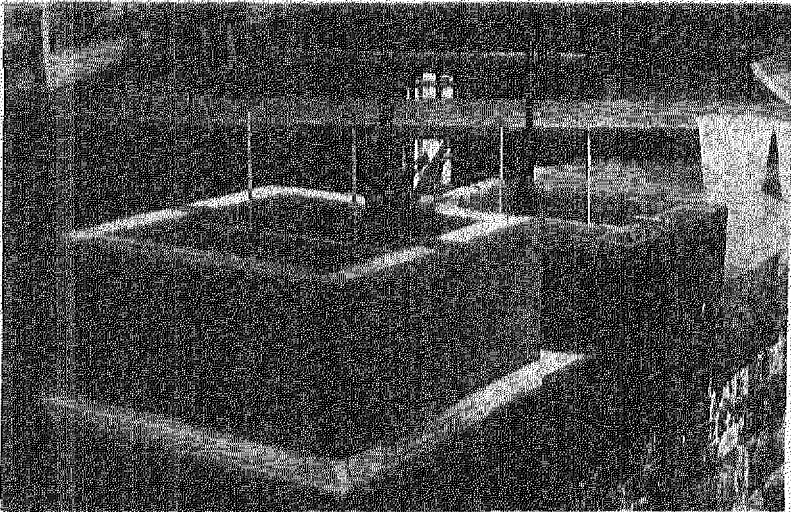


FOTO 2 : Bakjes ter  
bepaling van de  
verliescoëfficiënt

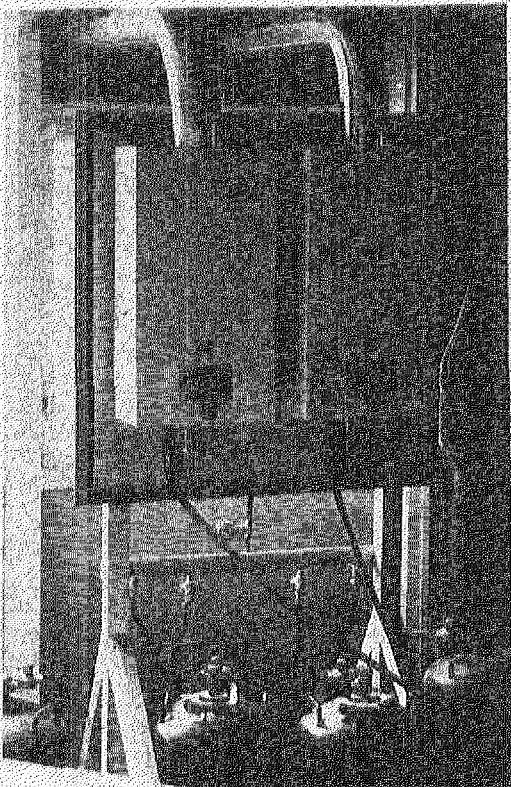
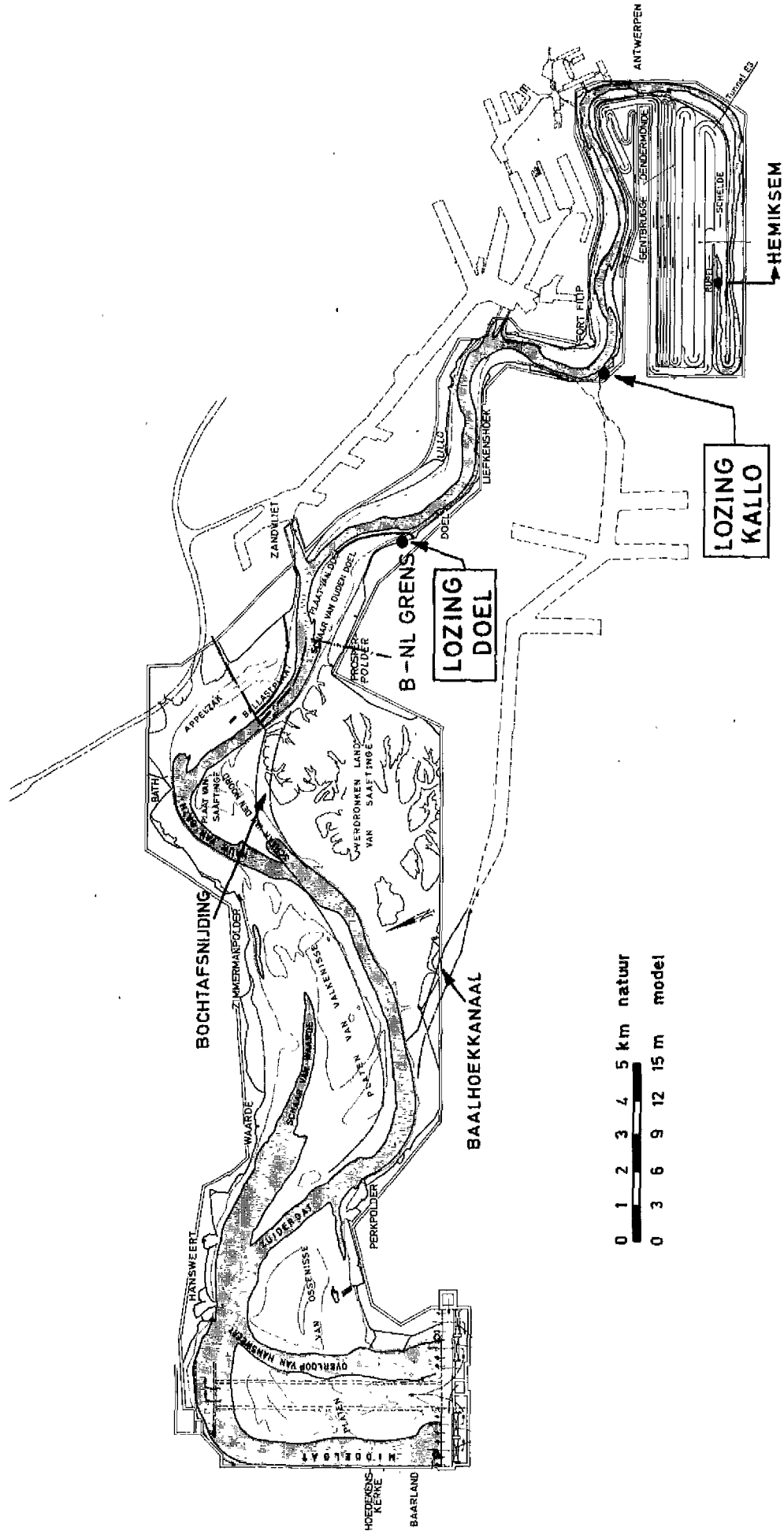


FOTO 3 : Installatie ter opwarming  
van het te lozen water



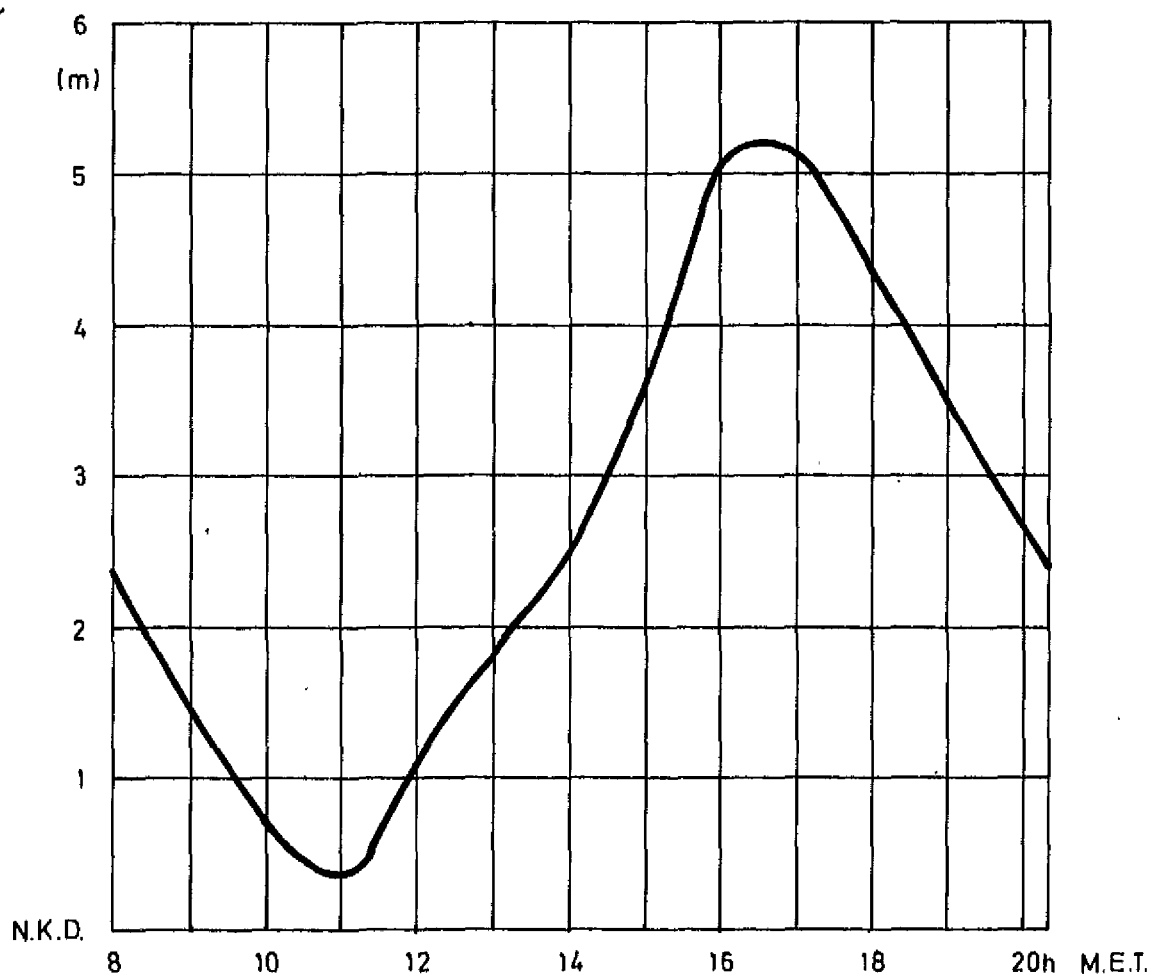


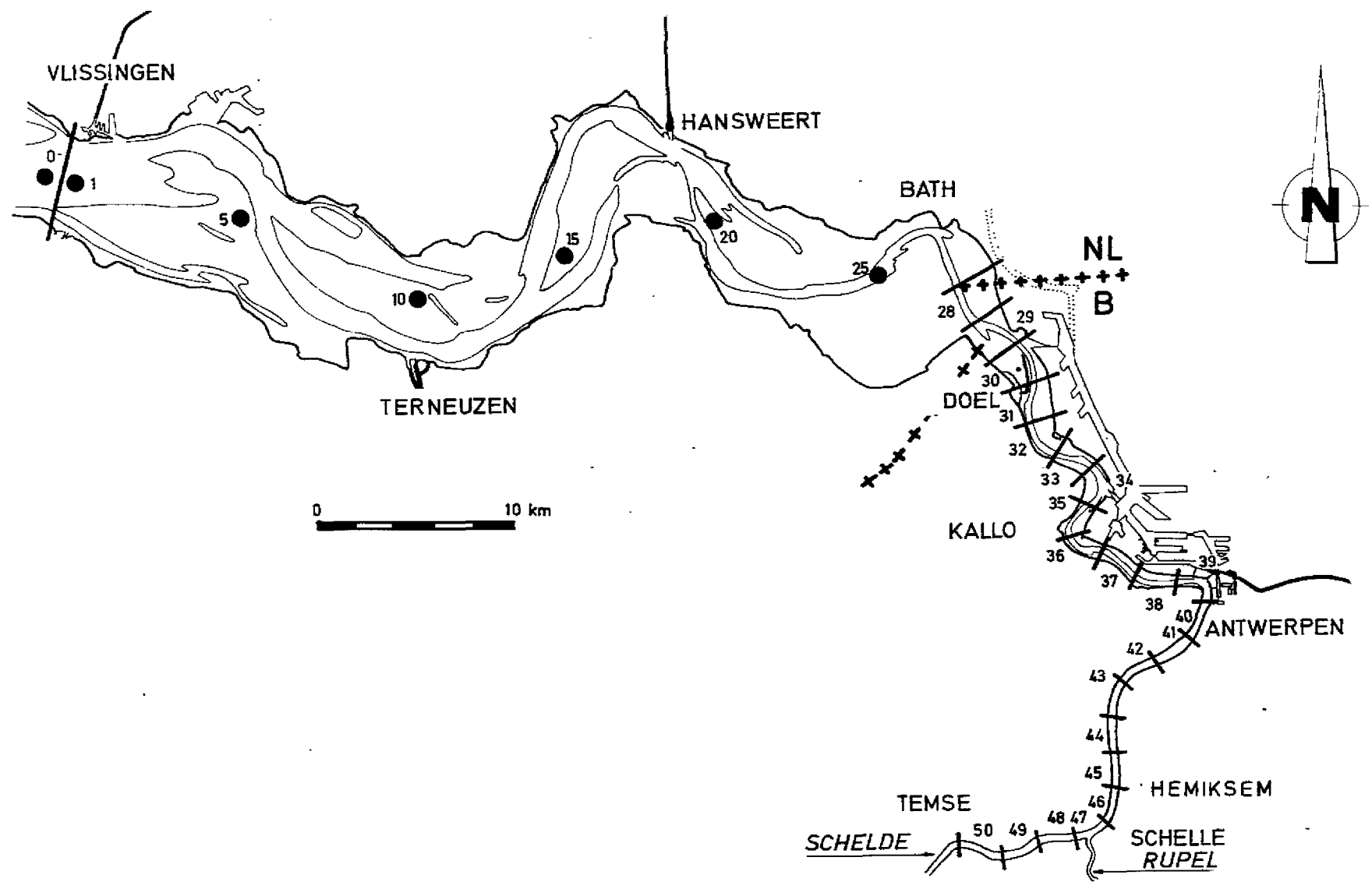
SITUATIEPLAN FYSISCH WESTERSCHELDEMODEL





TIJKROMME BATH 11 MEI 1971

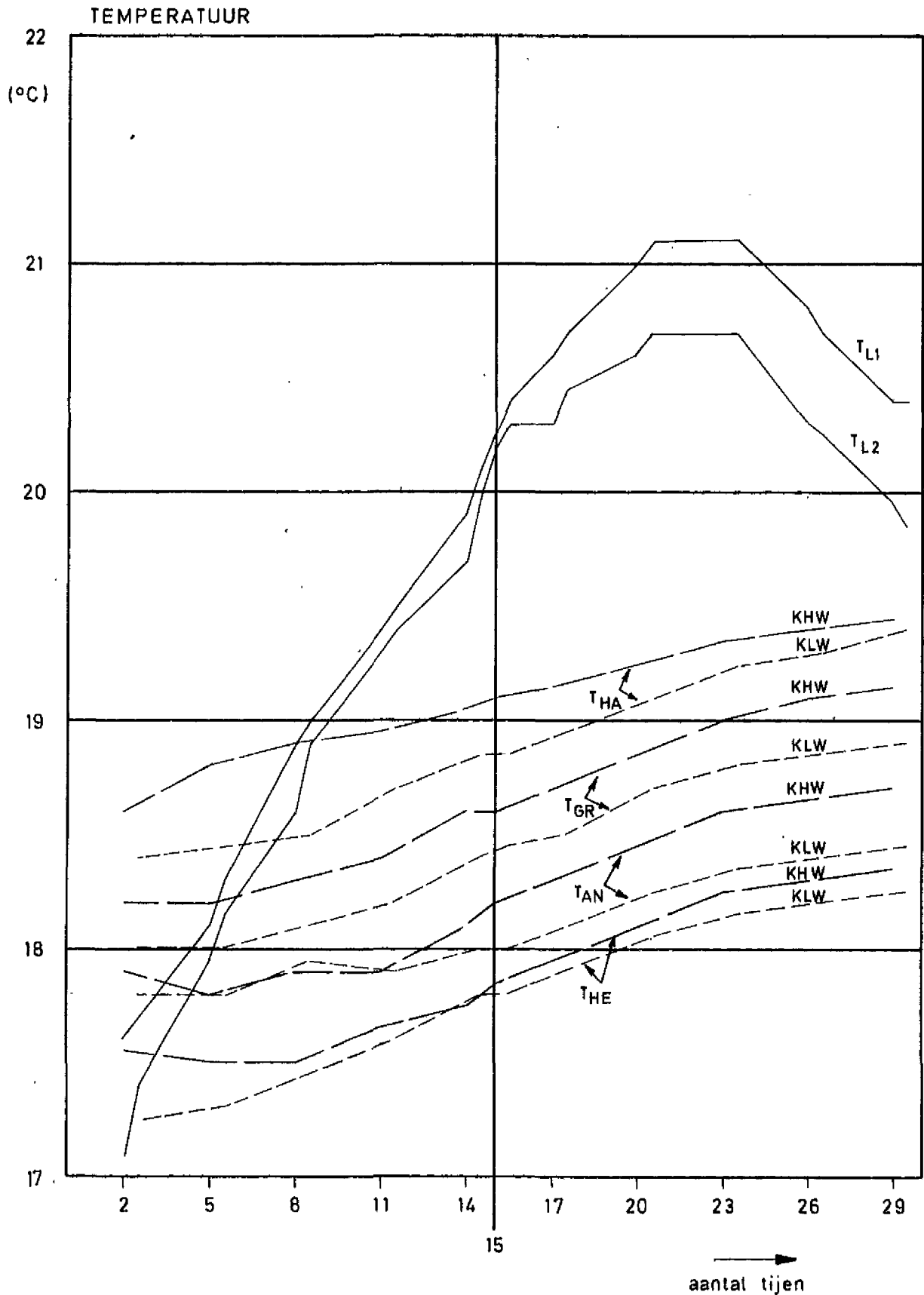




W.L. 75.102

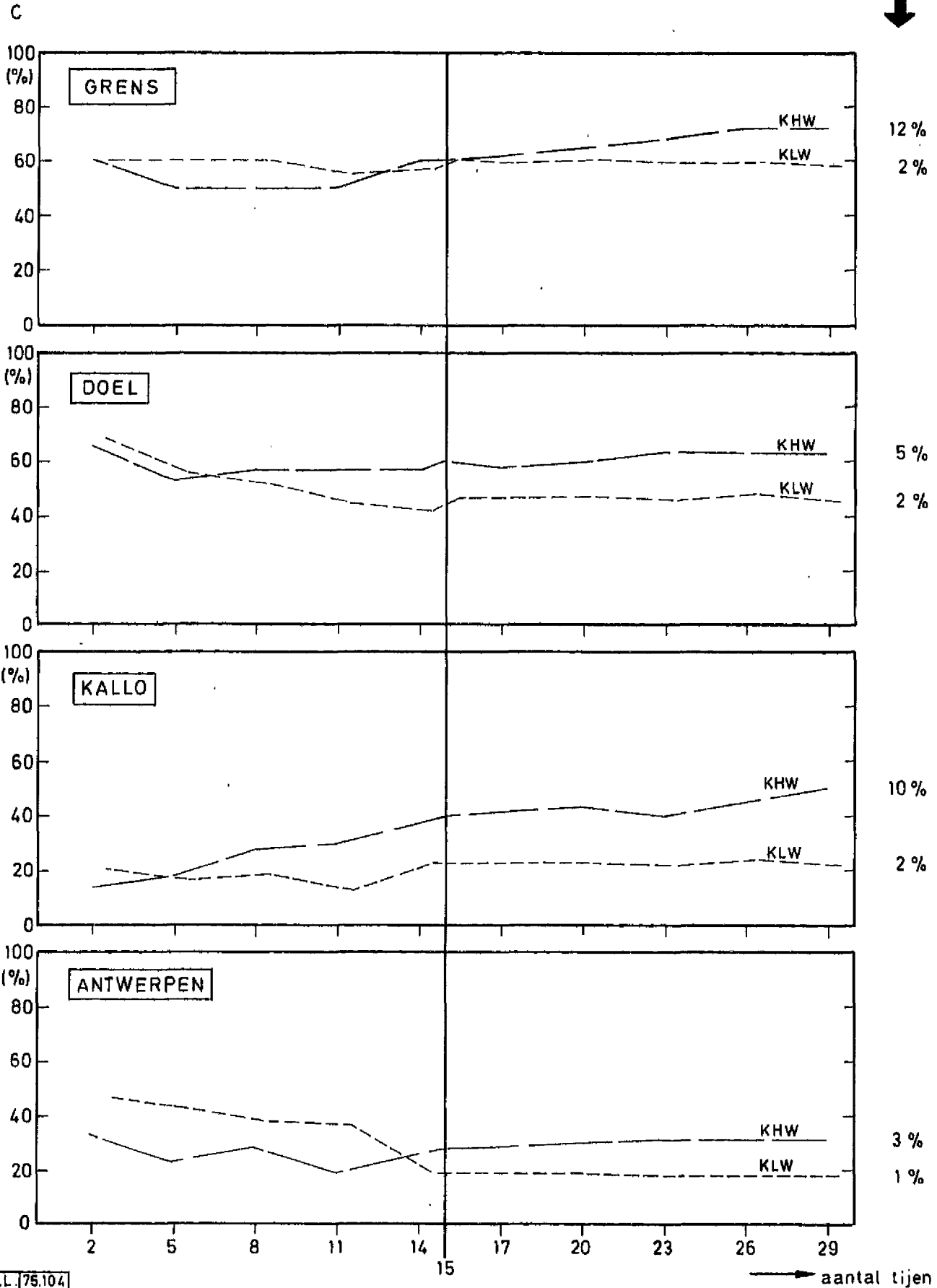


VERLOOP VAN DE BASISTEMPERATUREN  
I.F.V. DE TIJD

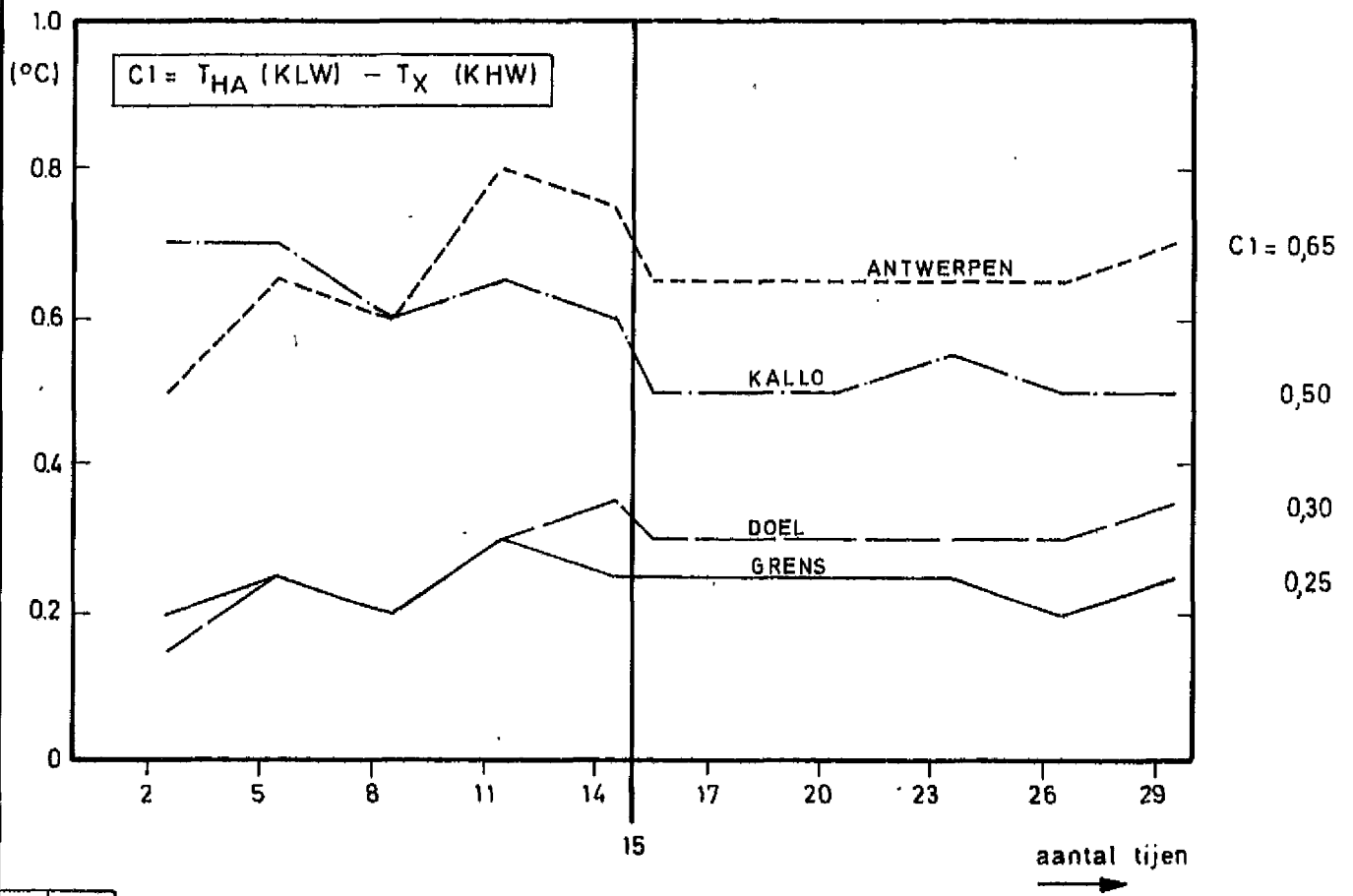
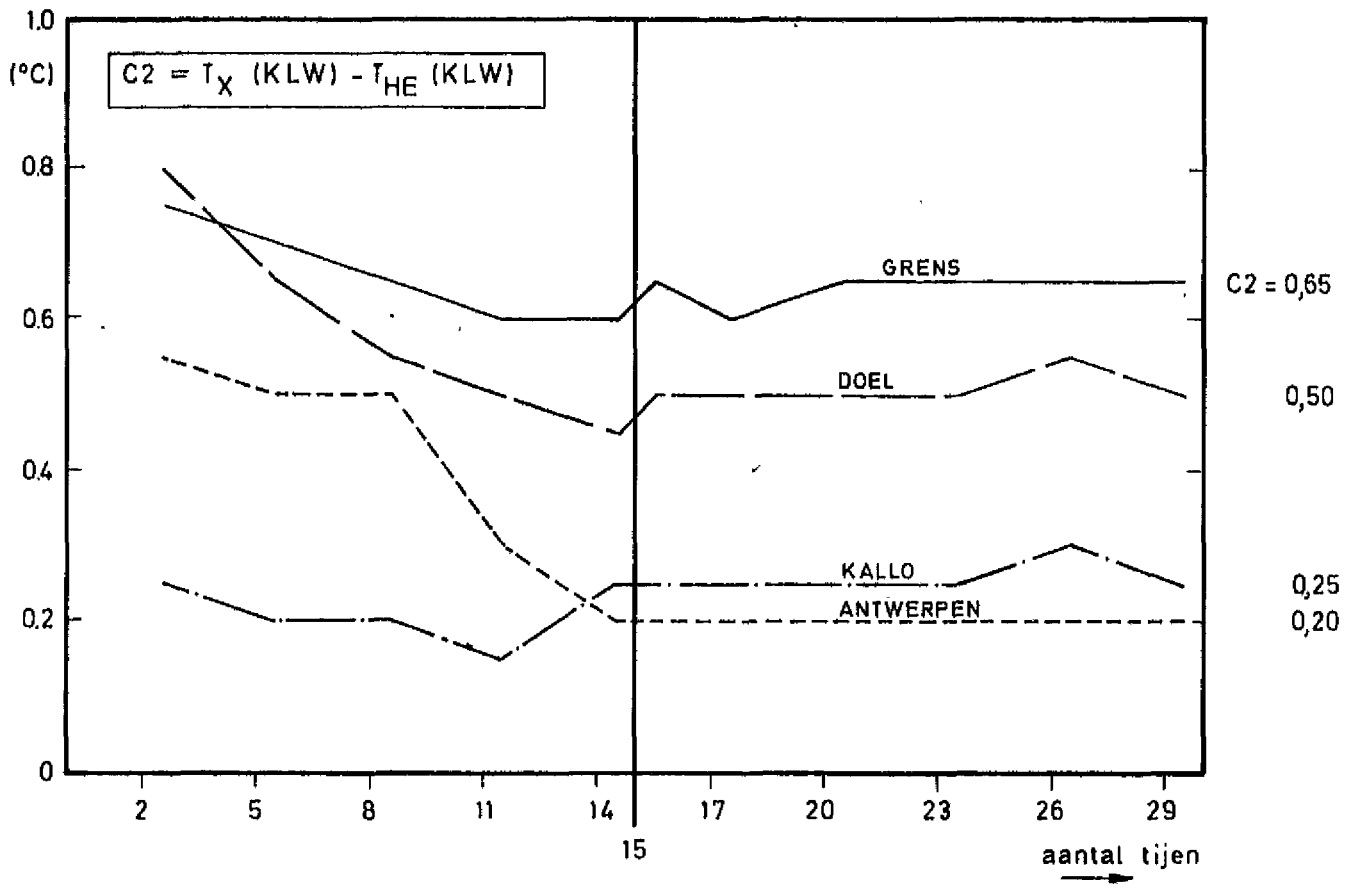


C - FACTOR I.F.V. DE TIJD

VERSHUIVING  
C-WAARDEN TUS-  
SEN 15° EN 29°GETIJ

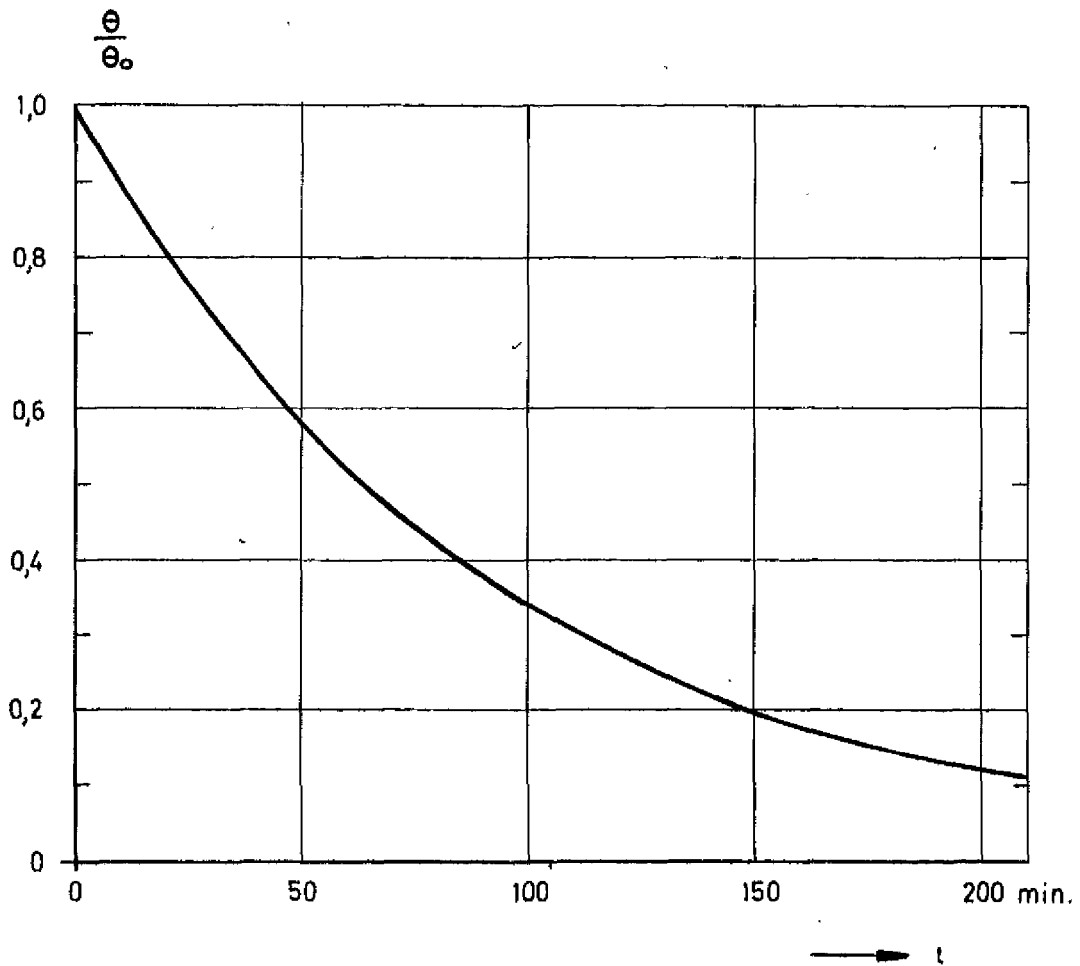


C1 EN C2 - FACTOR I.F.V. DE TIJD



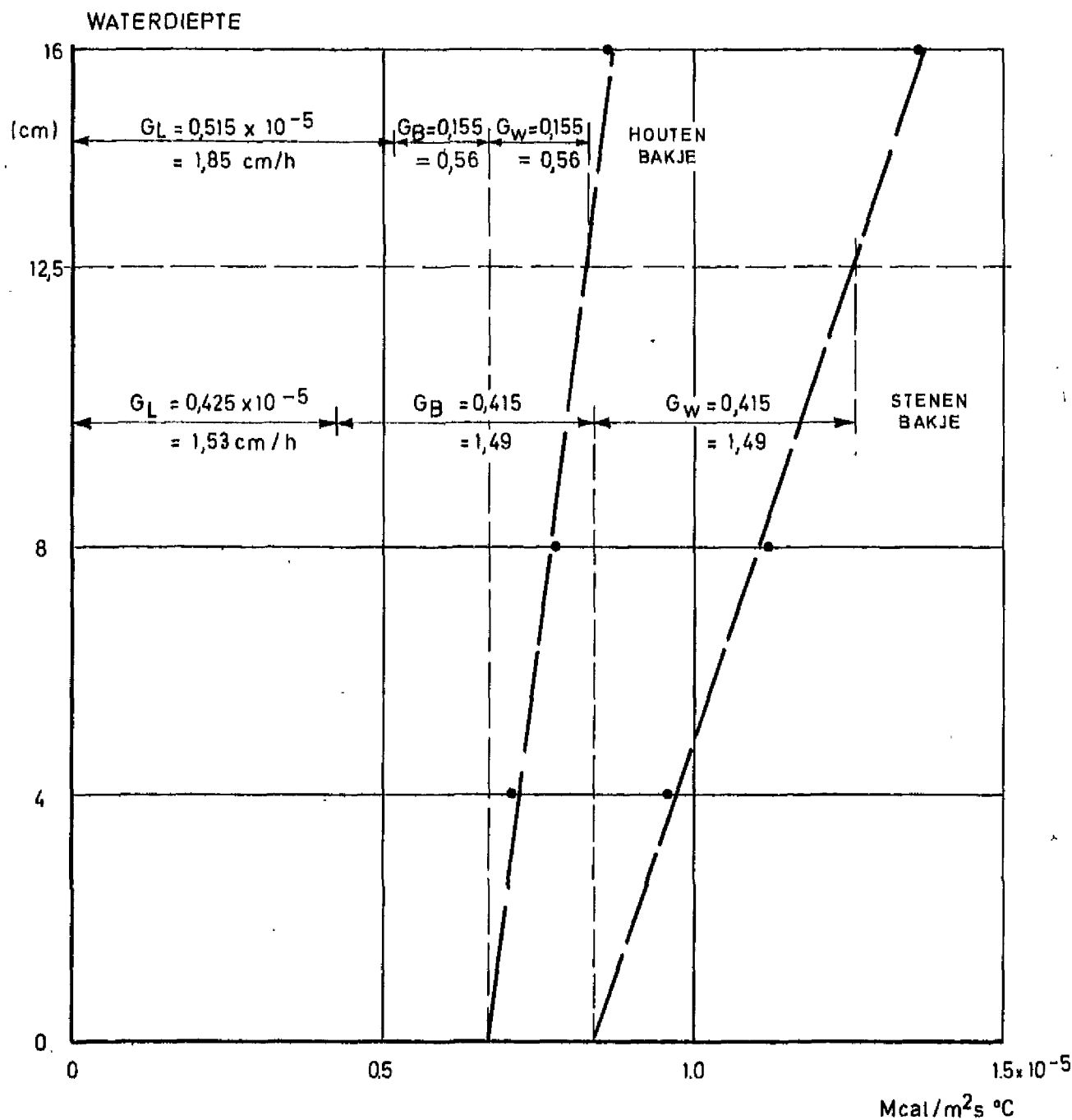


AFKOELINGSKROMME TER BEPALING VAN G  
(HOUTEN BAKJE - 4 cm)





WARMTEUITWISSELINGS-COEFFICIENT  
I.F.V. WATERDIEPTE

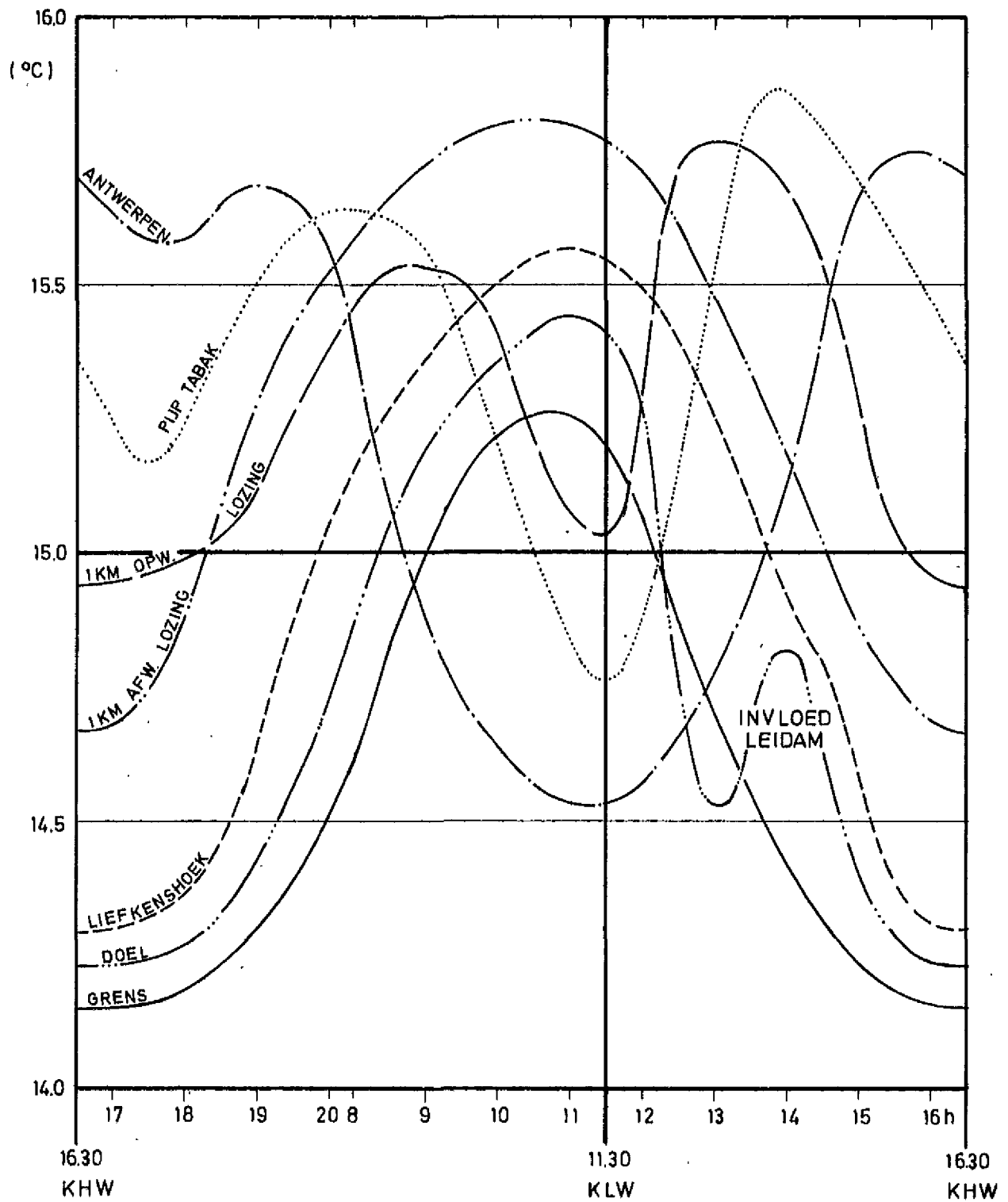






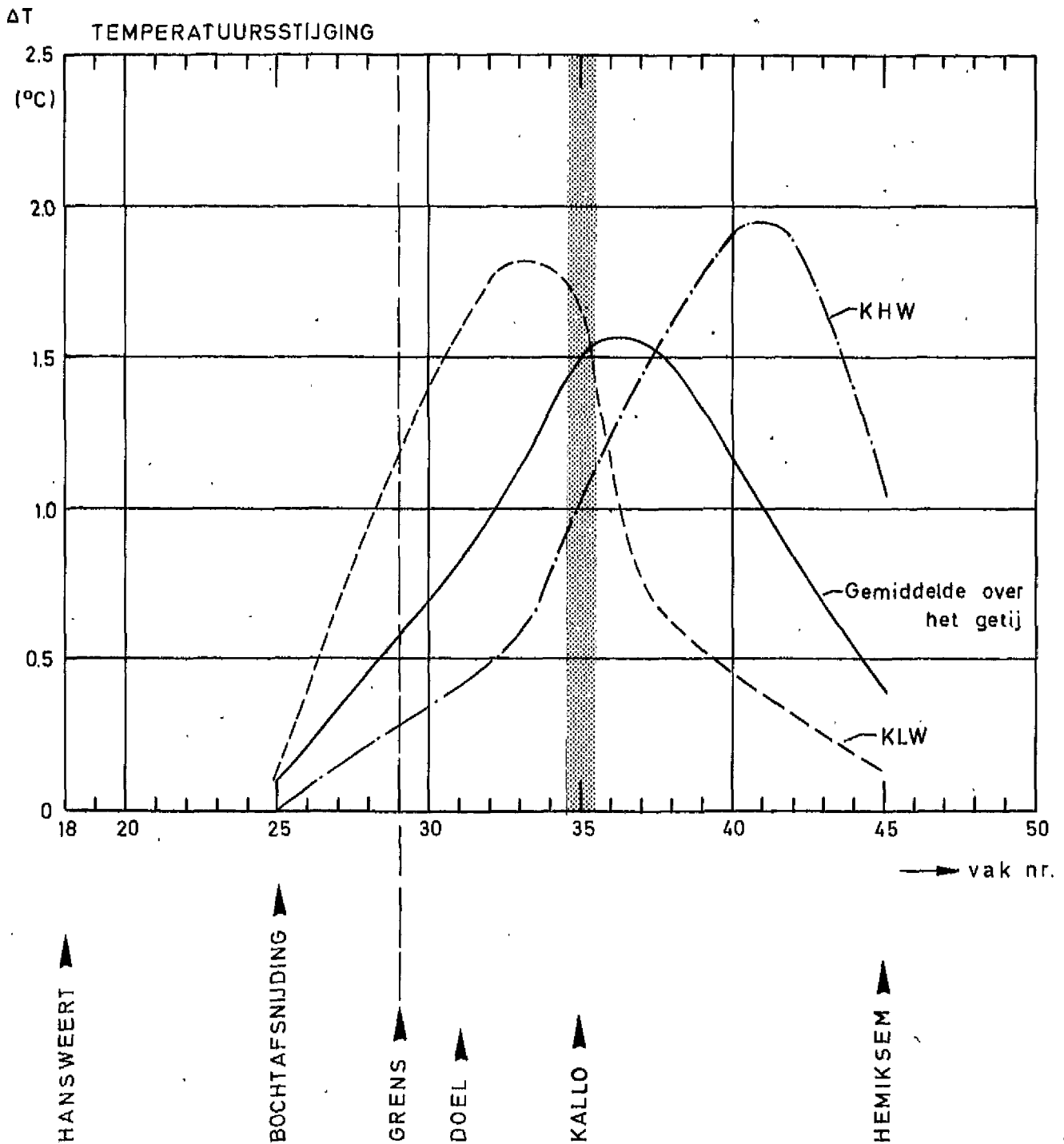
TEMPERATUURVERLOOP OVER HET GETIJ NA  
26 TIJEN LOZEN TE KALLO (PROEF 3D)

KOELWATERLOZING (1000 Mcal) TE KALLO

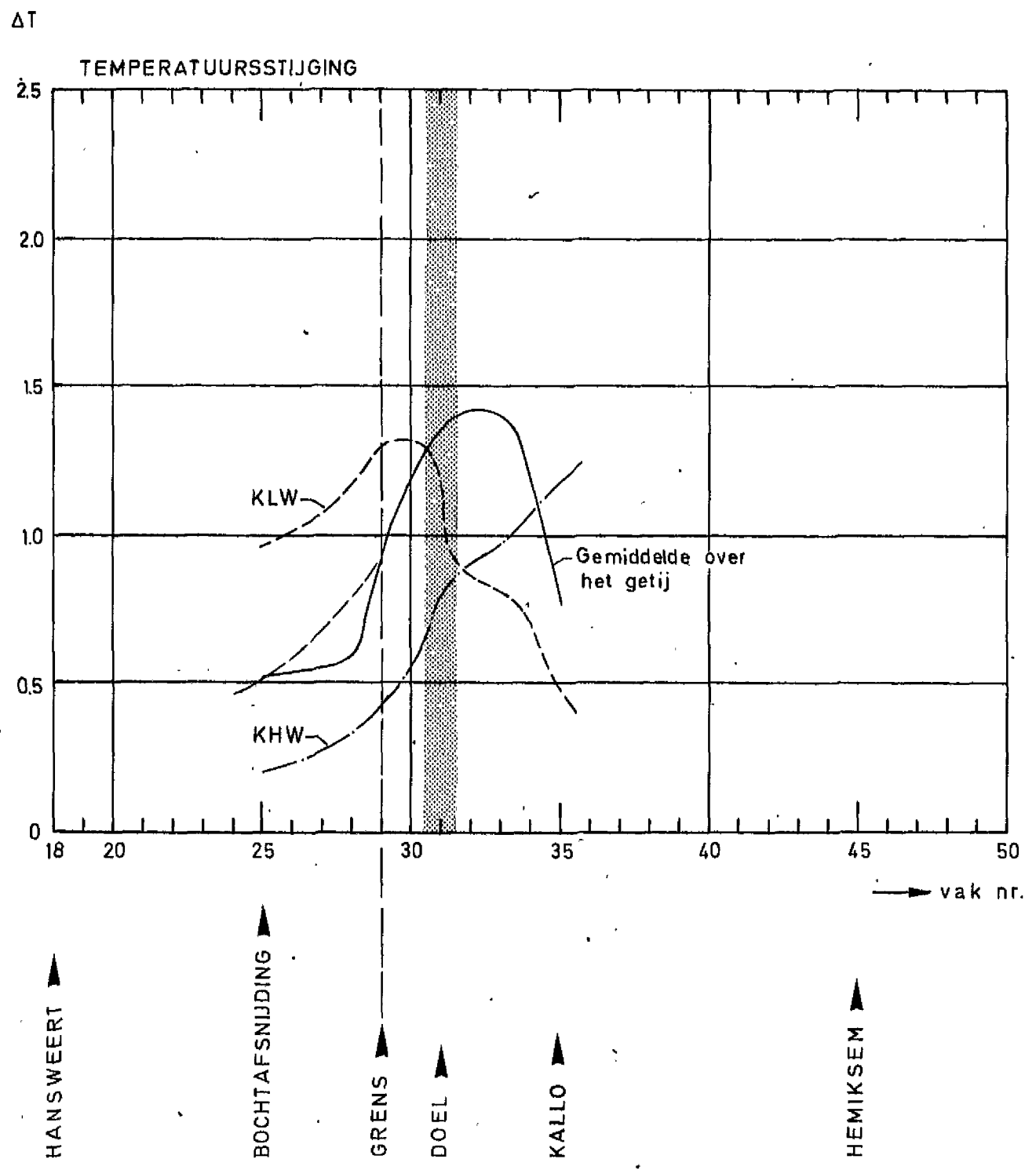




STIJGING VAN DE WATERTEMPERatuur (MODEL) TEN  
GEVOLGE VAN EEN LOZING VAN 1000 Mcal/s TE KALLO



STIJGING VAN DE WATERTEMPERatuur (MODEL) TEN  
GEVOLGE VAN EEN LOZING VAN 1000 Mcal/s TE DOEL

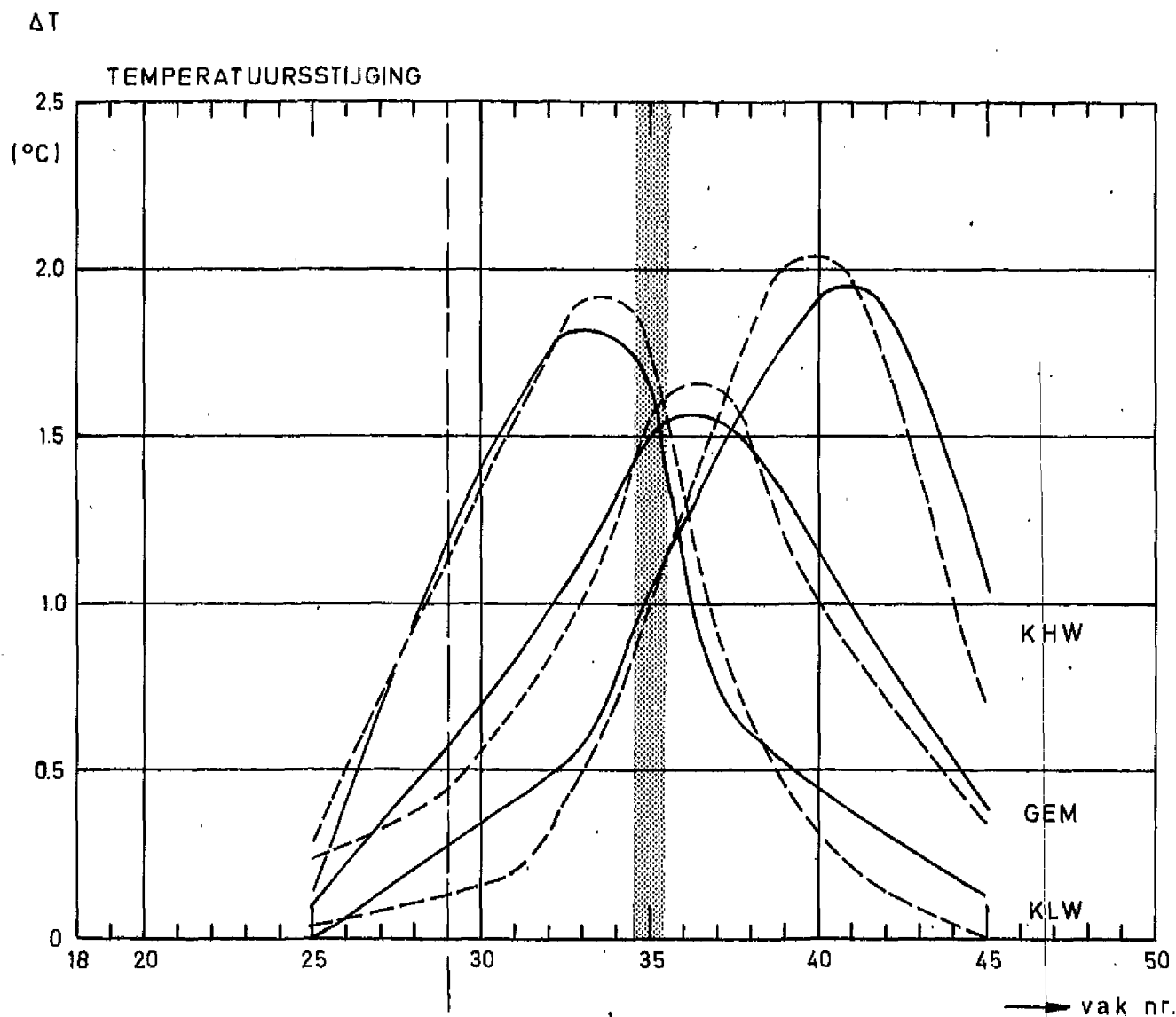




STIJGING VAN DE WATERTEMPERatuur (MODEL) TEN  
GEVOLGE VAN EEN LOZING VAN 1000 Mcal/s TE KALLO

TIJCYCLUS VAN 14 DAGEN (28 TIJEN)

— 11 MEI 1971  
- - - - - OKT. - NOV. 1967



HANSWEERT

BOCHTAFSNIJDING

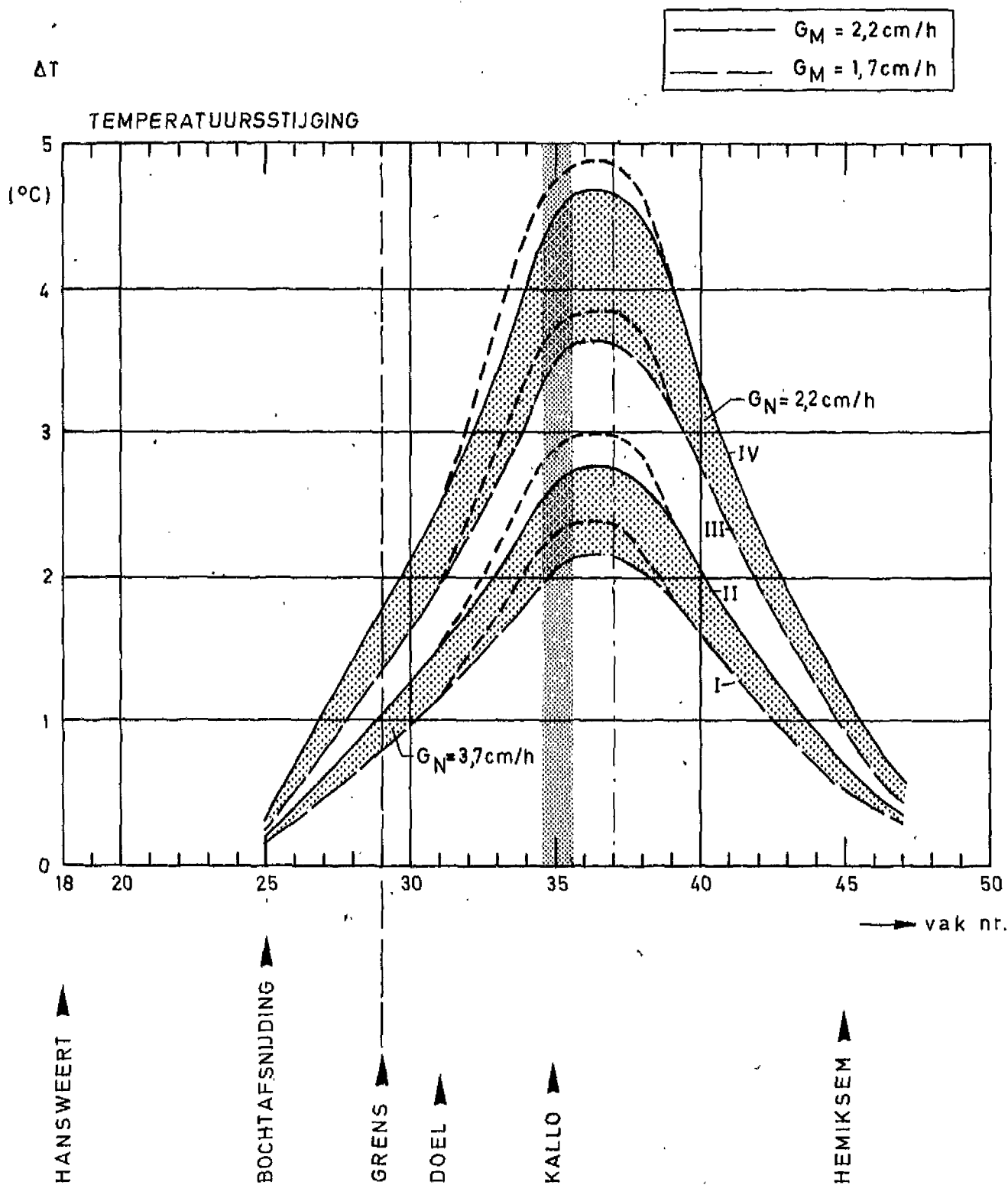
GRENS

DOEL

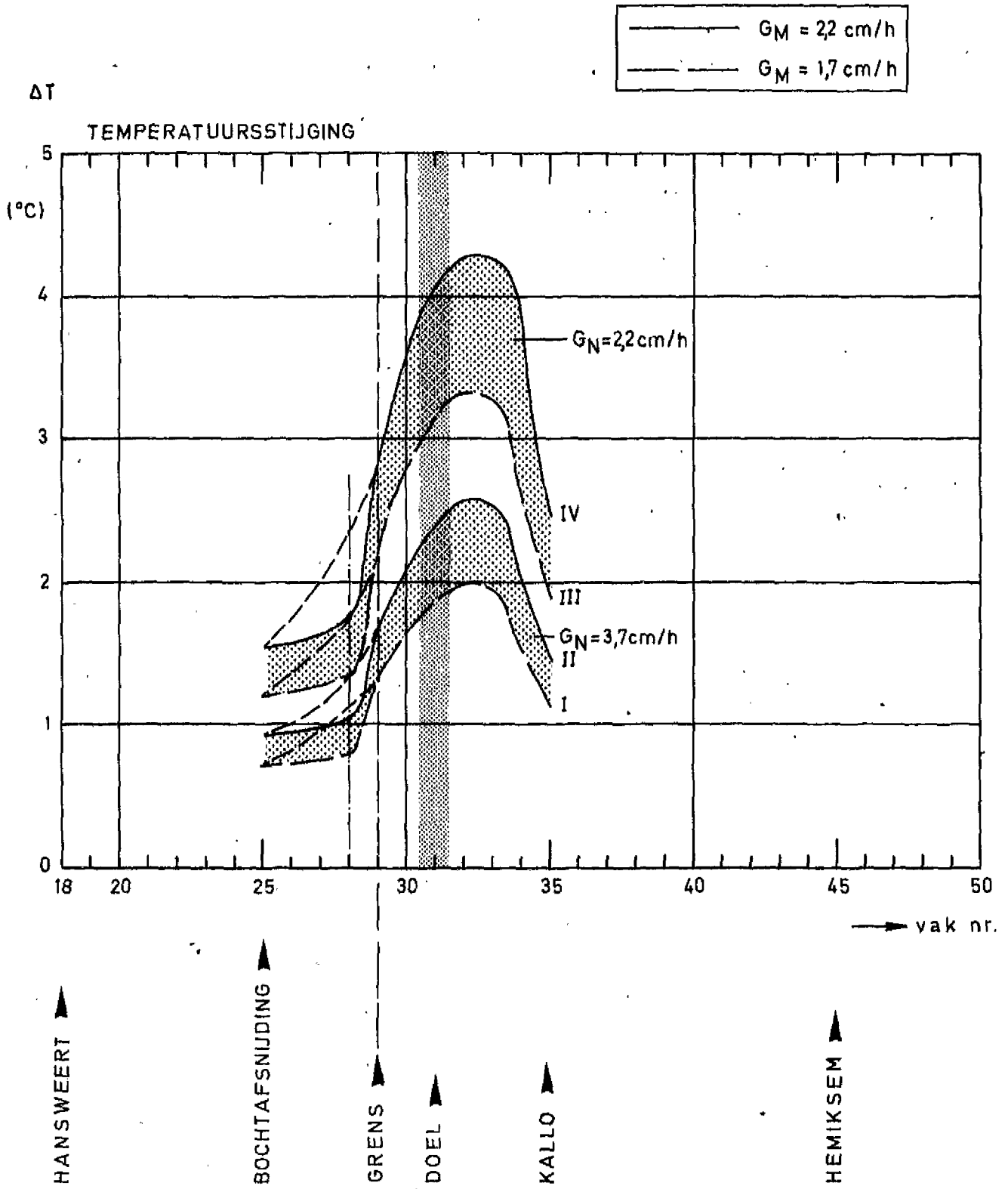
KALLO

HEMIKSEM

STIJGING VAN DE WATERTEMPERatuur (NATUUR) TEN  
GEVOLGE VAN EEN LOZING VAN 1000 Mcal/s TE KALLO



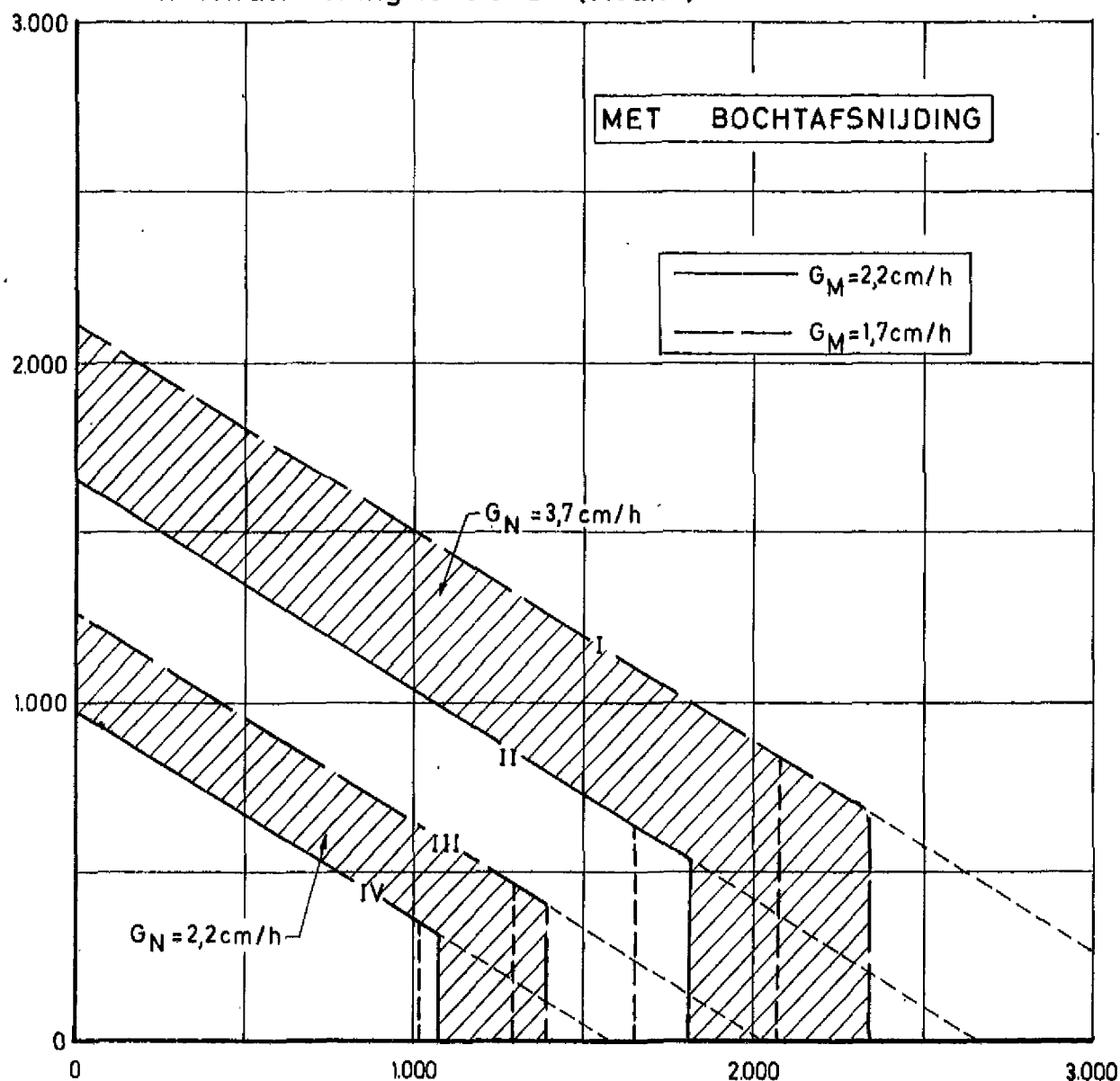
STIJGING VAN DE WATERTEMPERatuur (NATUUR) TEN  
GEVOLGE VAN EEN LOZING VAN 1000 Mcal/s TE DOEL



TOELAATBARE KOELWATERLOZINGEN TE KALLO  
EN TE DOEL

BOVENDEBIET  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$   
TEMPERATUURSEXCES : LOKAAL  $< 5^\circ\text{C}$   
GRENS  $< 2,75^\circ\text{C}$

Koelwaterlozing te DOEL (Mcal/s)



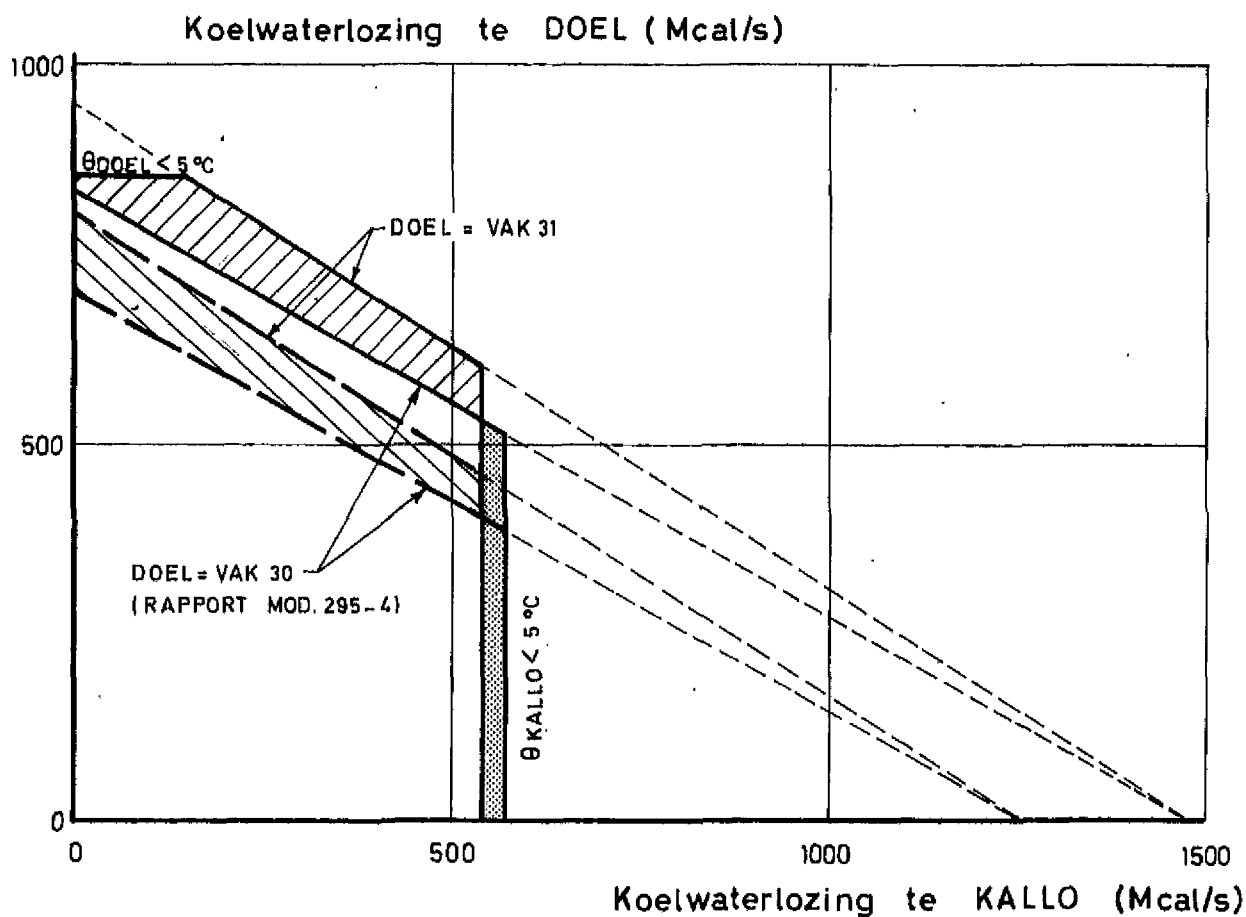
Koelwaterlozing te KALLO (Mcal/s)





AANPASSING LOZINGSVAK DOEL.  
MOGELIJKE LOZINGEN BIJ BEPERKTE TEMPERATUURS-  
STIJGING AAN DE GRENS

BOVENDEBIET  $R = 100 \text{ m}^3/\text{s}$   
 TEMPERATUURSEXCES GRENS  $\leq 3^\circ\text{C}$   
 VERLIESCOEFFICIENT  $G = 3,7 \text{ cm/h}$   
 PUNTLOZINGEN



NOTA: -De plaatselijke beperking voor de kromme uit Rapport Mod. 294-4 is genomen bij  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  bovendebiet.

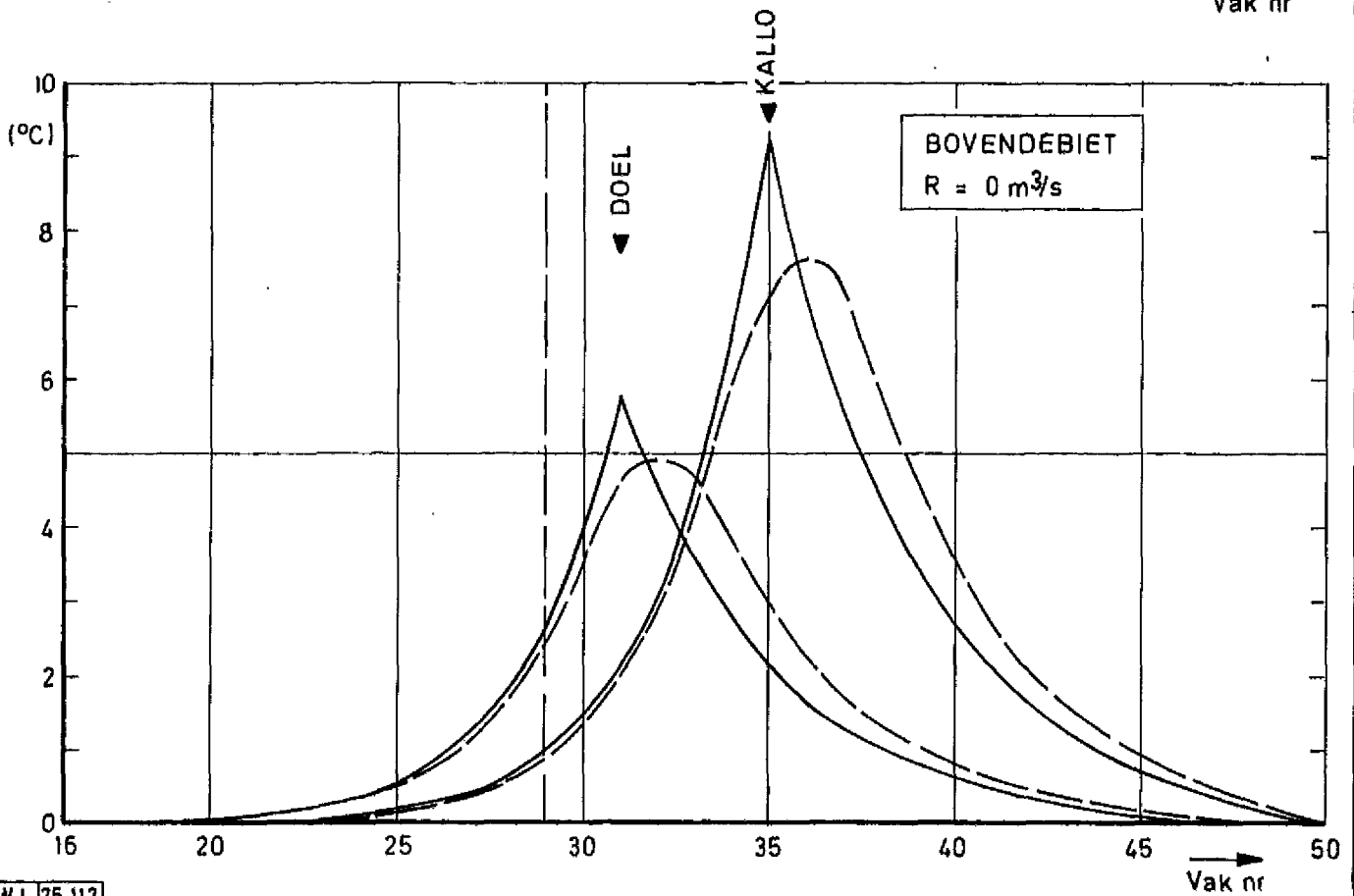
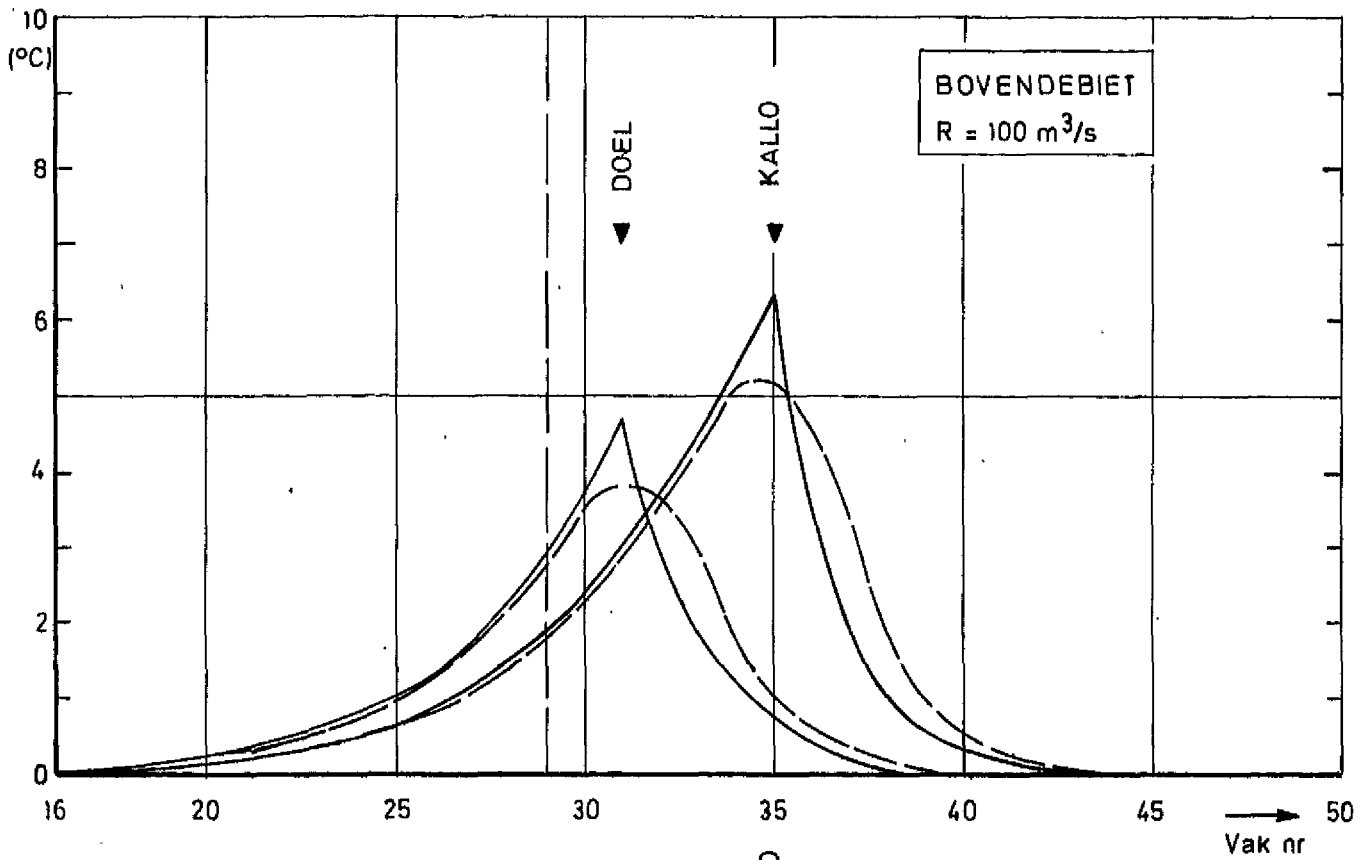
: voor alle nieuwe berekeningen bij  $0 \text{ m}^3/\text{s}$

— ZONDER BOCHTAFSNIJDING      WINST  
 - - - MET BOCHTAFSNIJDING      VERLIES

SPREIDING VAN DE LOZING.  
VERGELIJKING TEMPERATUURSSTIJGING BIJ  
PUNTLOZING EN BIJ GESPREIDE LOZING

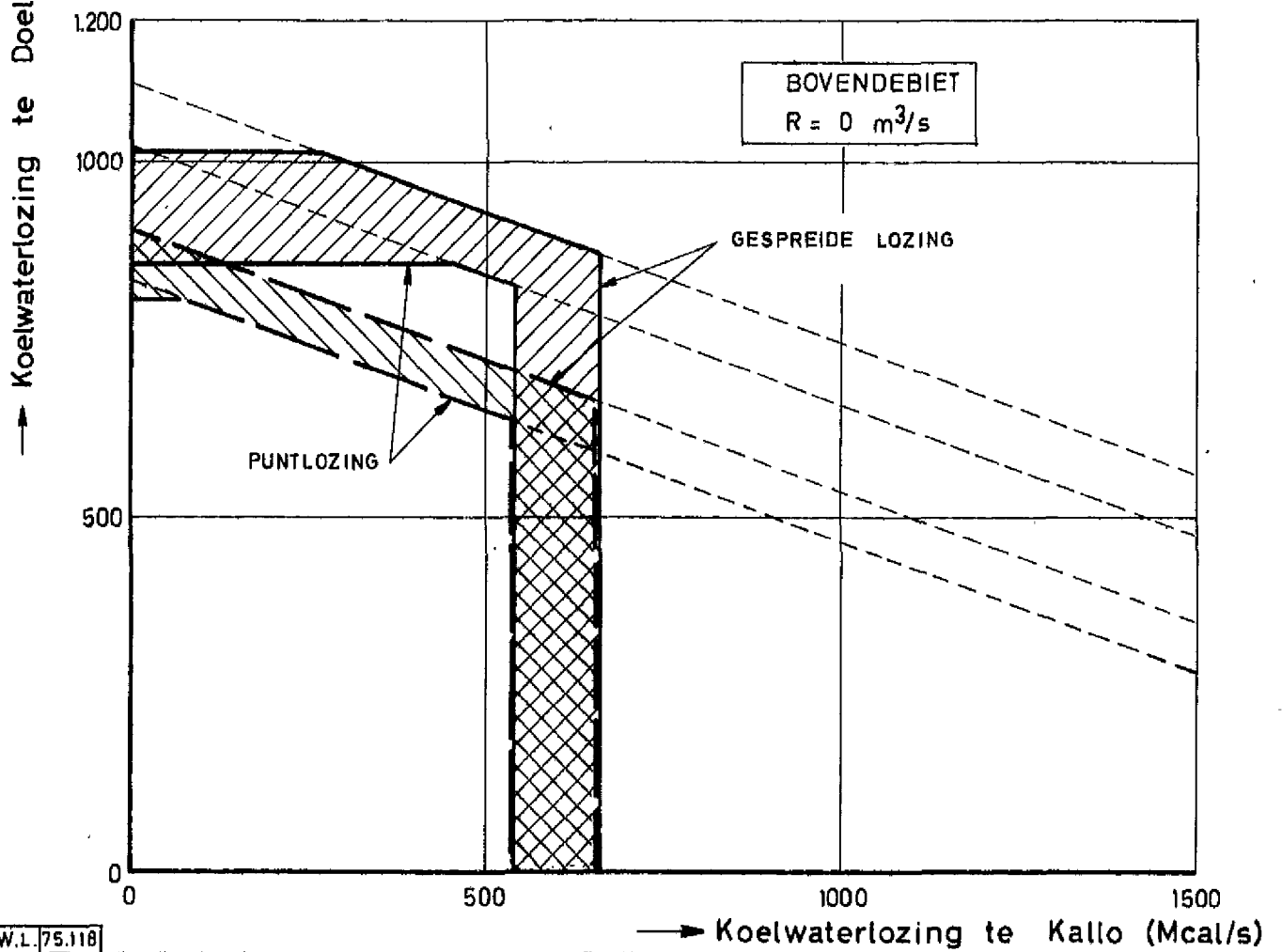
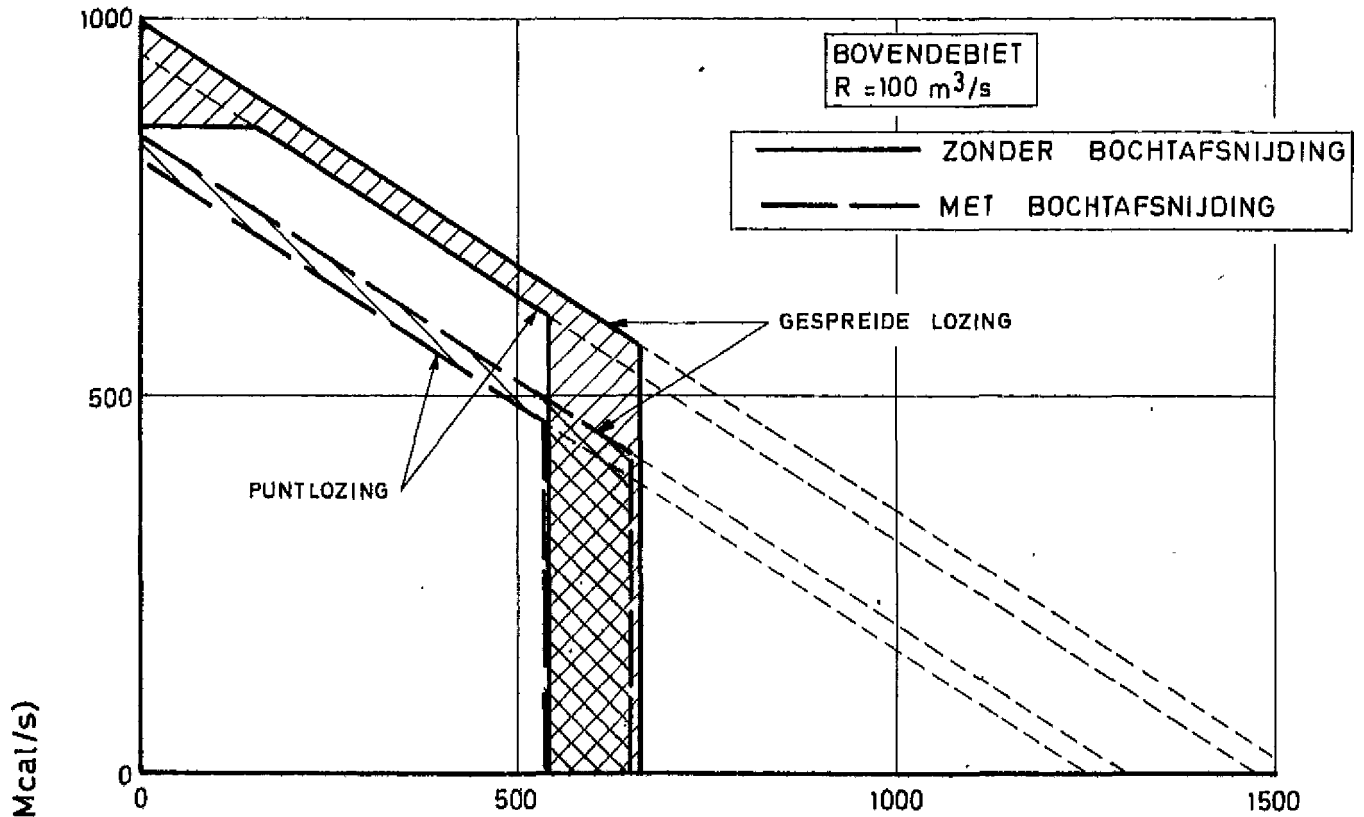
— PUNTLOZING  
- - - GESPREIDE LOZING

G = 3,7 cm/h  
TOESTAND ZONDER BOCHTAFSNIJDING



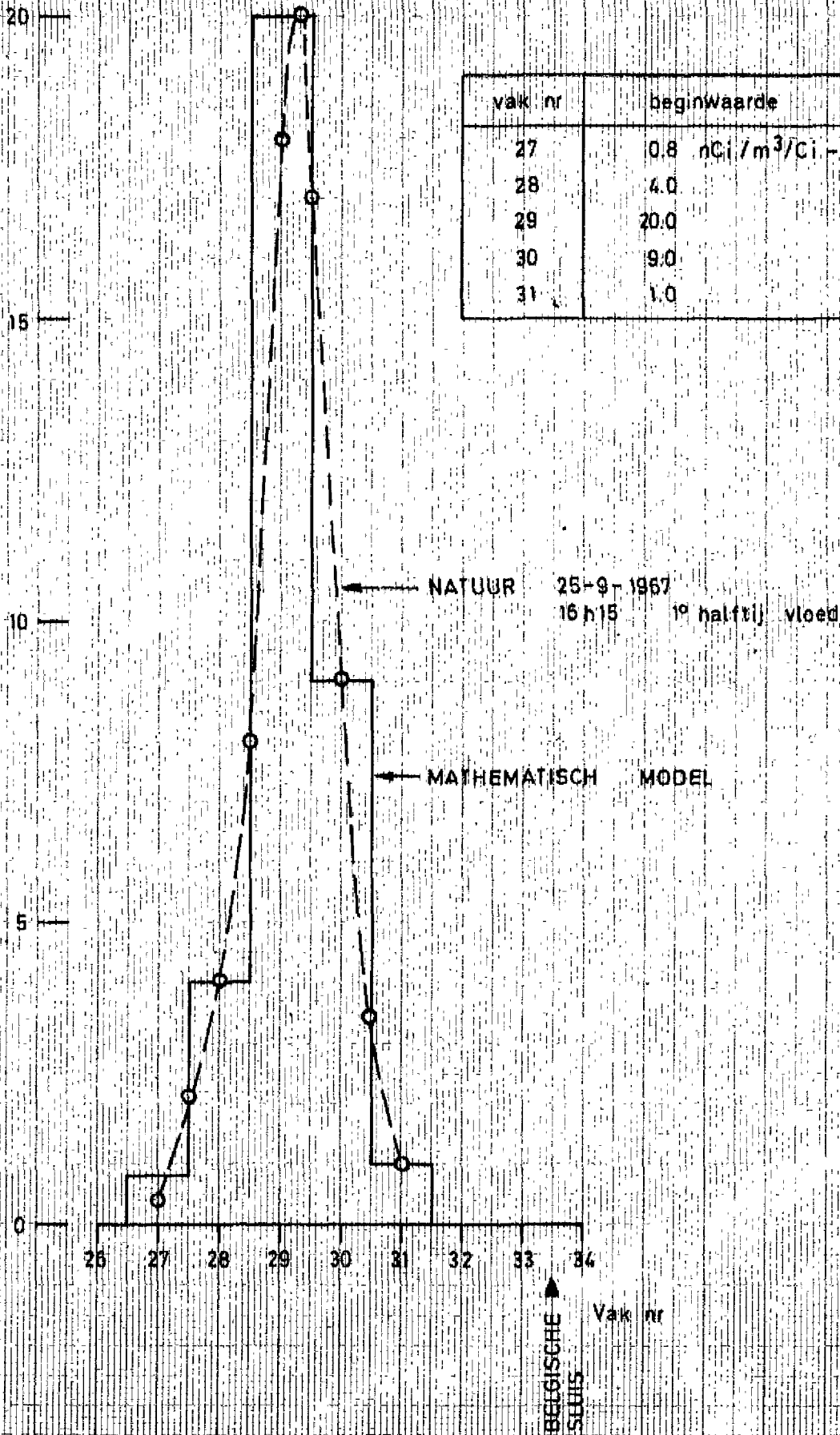
SPREIDING VAN DE LOZING .  
TOELAATBARE LOZINGEN BIJ BEPERKTE TEMPERATUURS-  
STIJGING AAN DE GRENS

$G = 3,7 \text{ cm/h}$        $\theta_{\text{GRENS}} \leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$

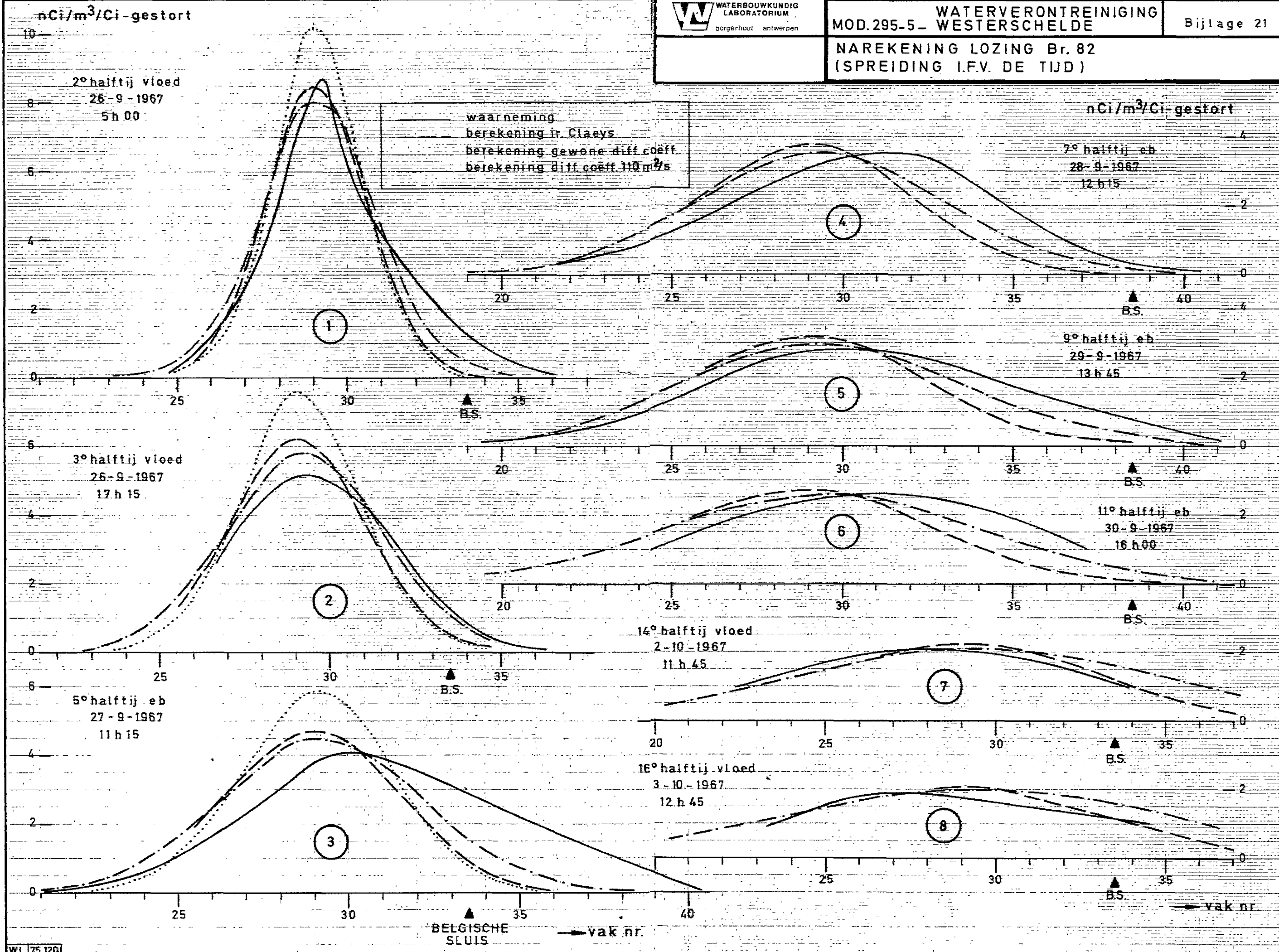


**NAREKENING LOZING Br. 82  
(BEGINVOORWAARDEN)**

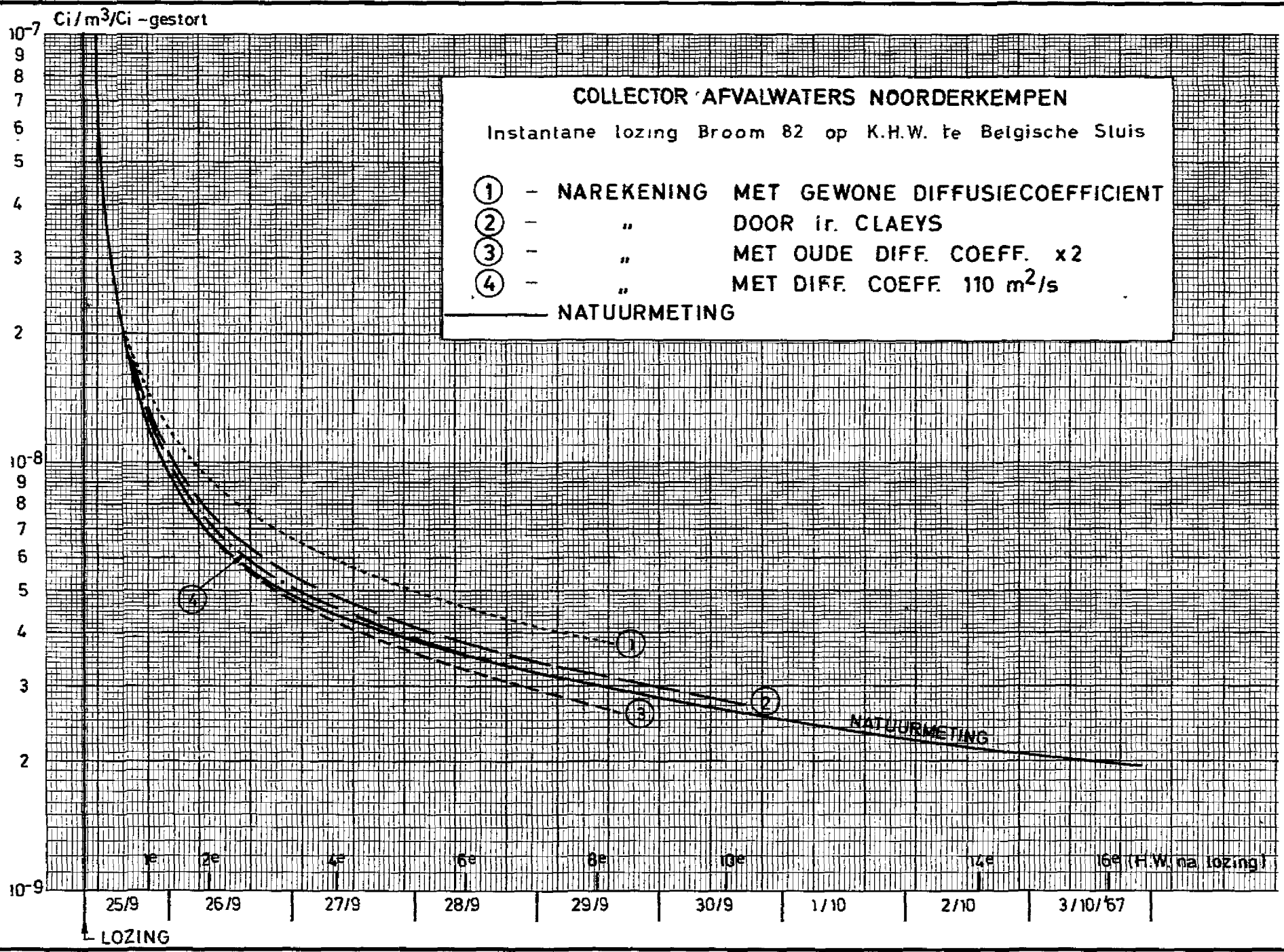
(nano Curie / m<sup>3</sup> / Curie - gestort)



vak nr	beginwaarde
27	0.8 nCi / m <sup>3</sup> / Ci - gestort
28	4.0
29	20.0
30	9.0
31	1.0

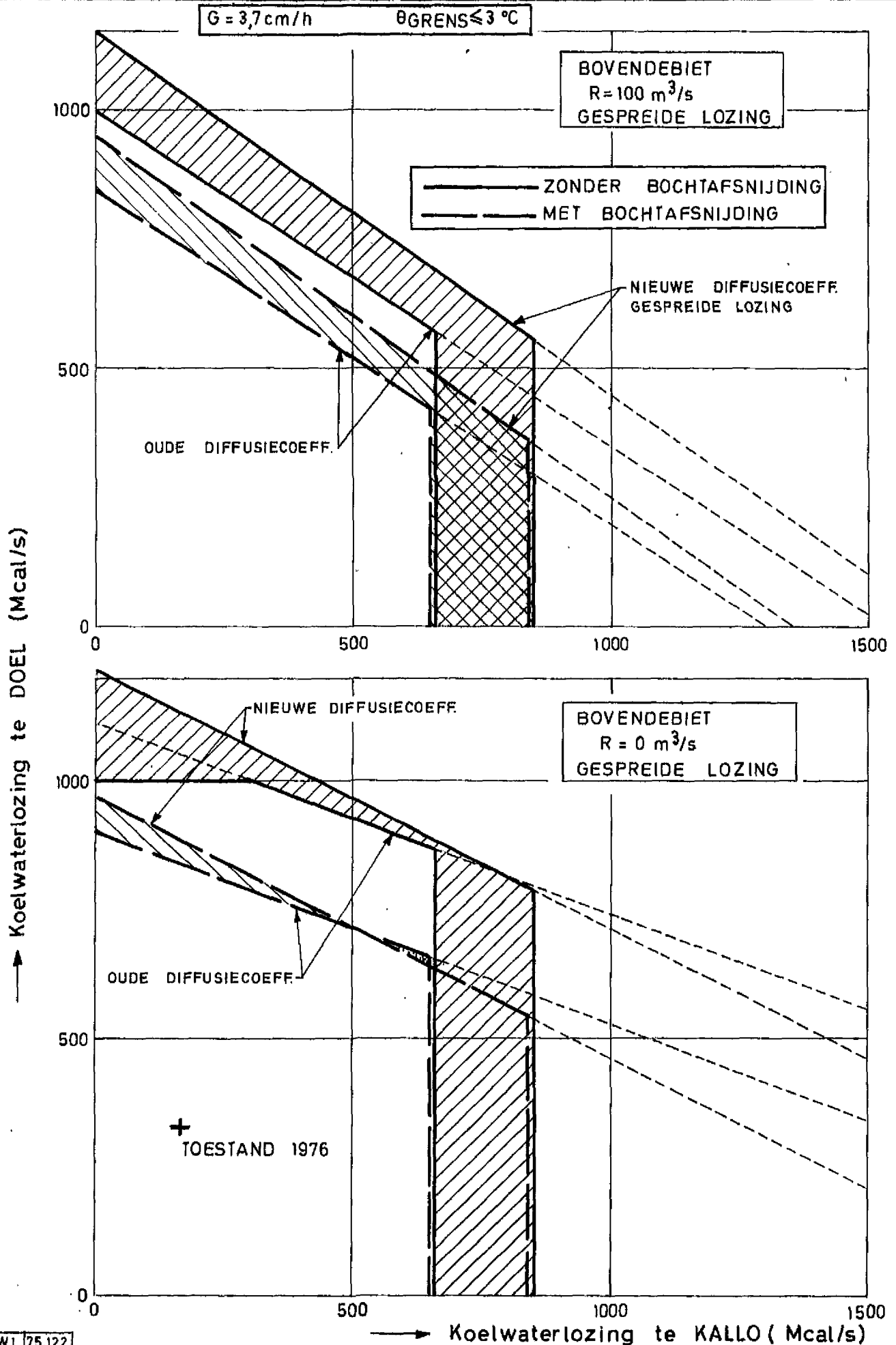


W.L. 75/121





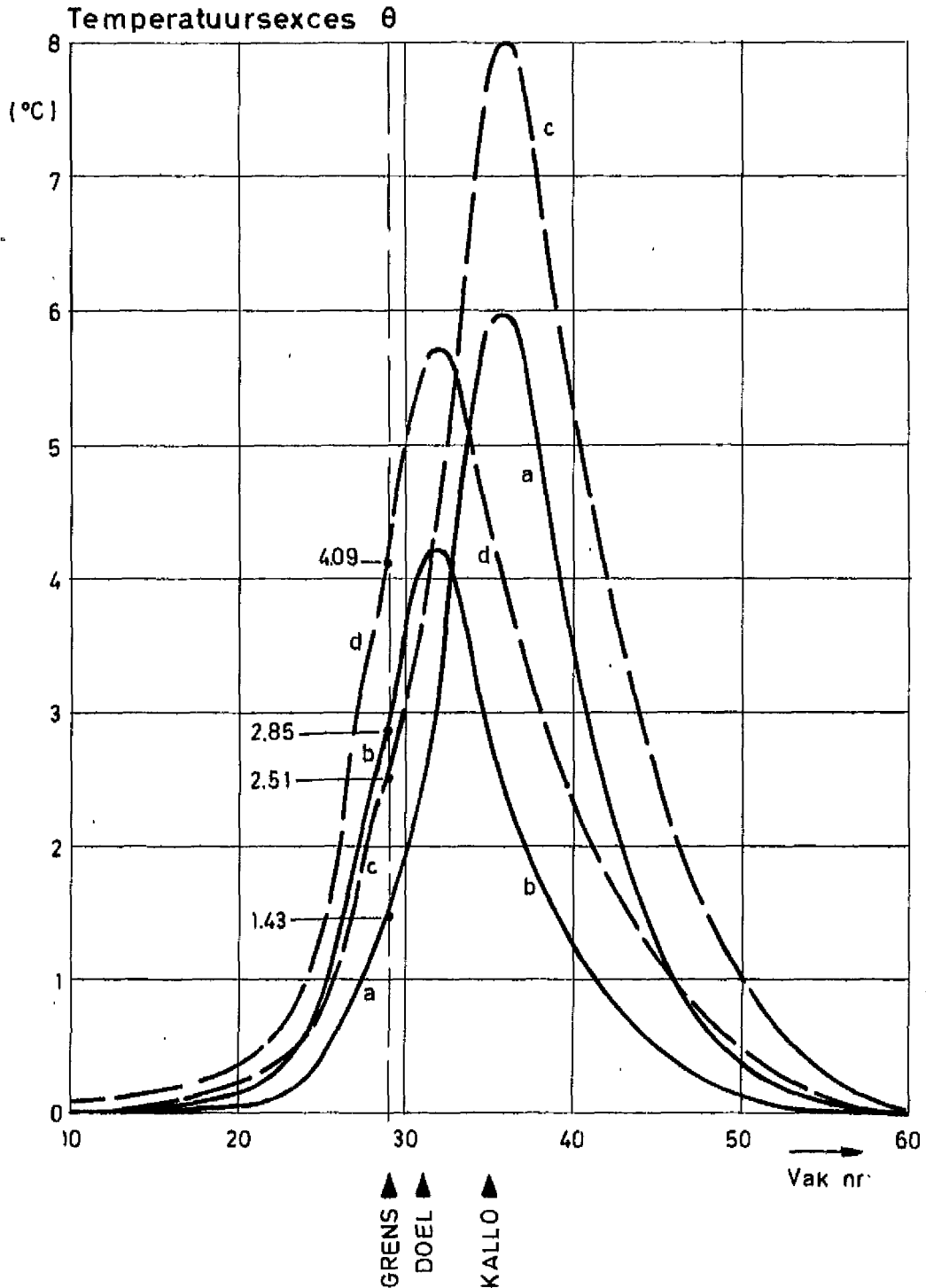
TOELAATBARE LOZINGEN TE KALLO EN TE DOEL  
MET NIEUWE DIFFUSIECOEFFICIENT





LANGSVERLOOP TEMPERATUURSTIJGINGEN

BOVENDEBIET  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$   
NIEUWE DIFFUSIECOEFFICIENT  
a en b :  $G = 3,7 \text{ cm/h}$   
c en d :  $G = 2,2 \text{ cm/h}$   
MET BOCHTAFSNIJDING

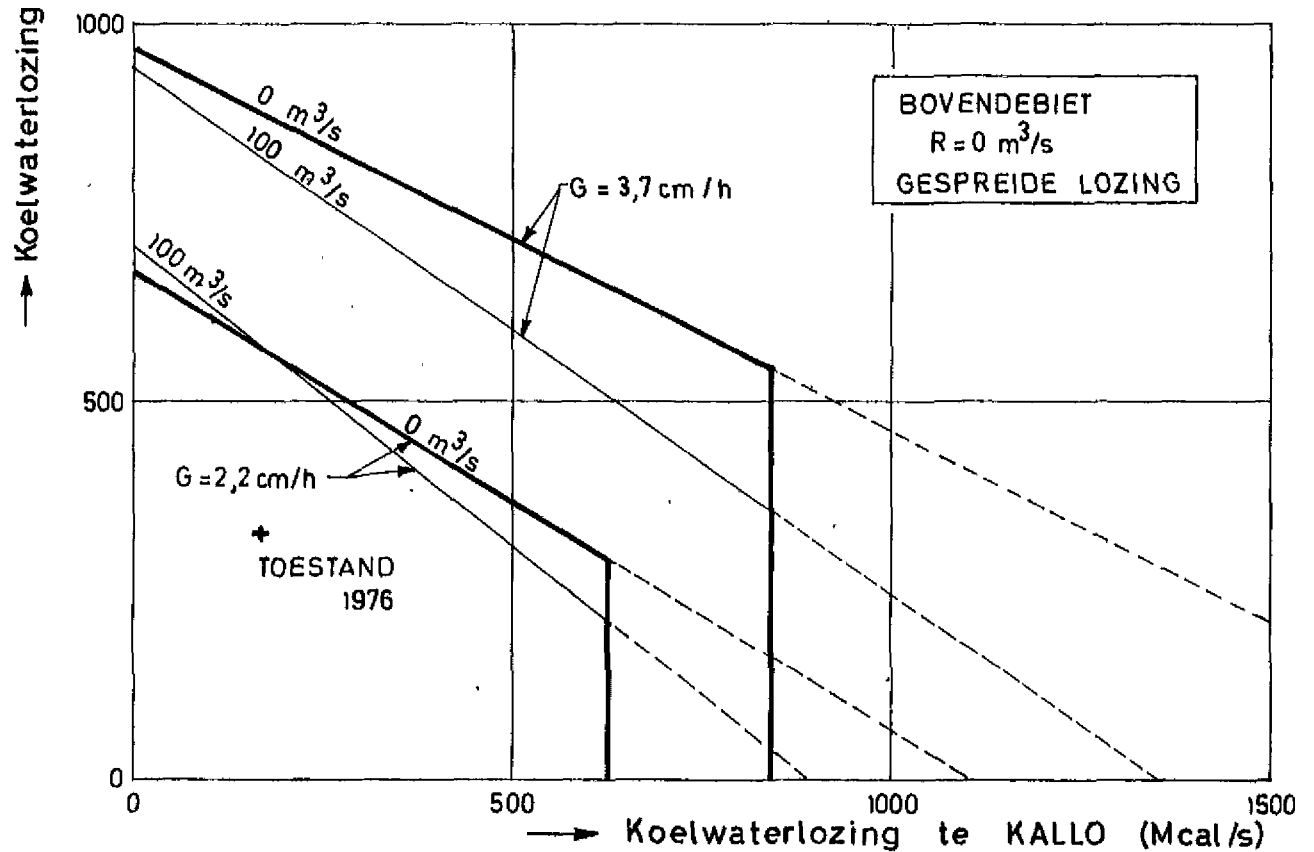
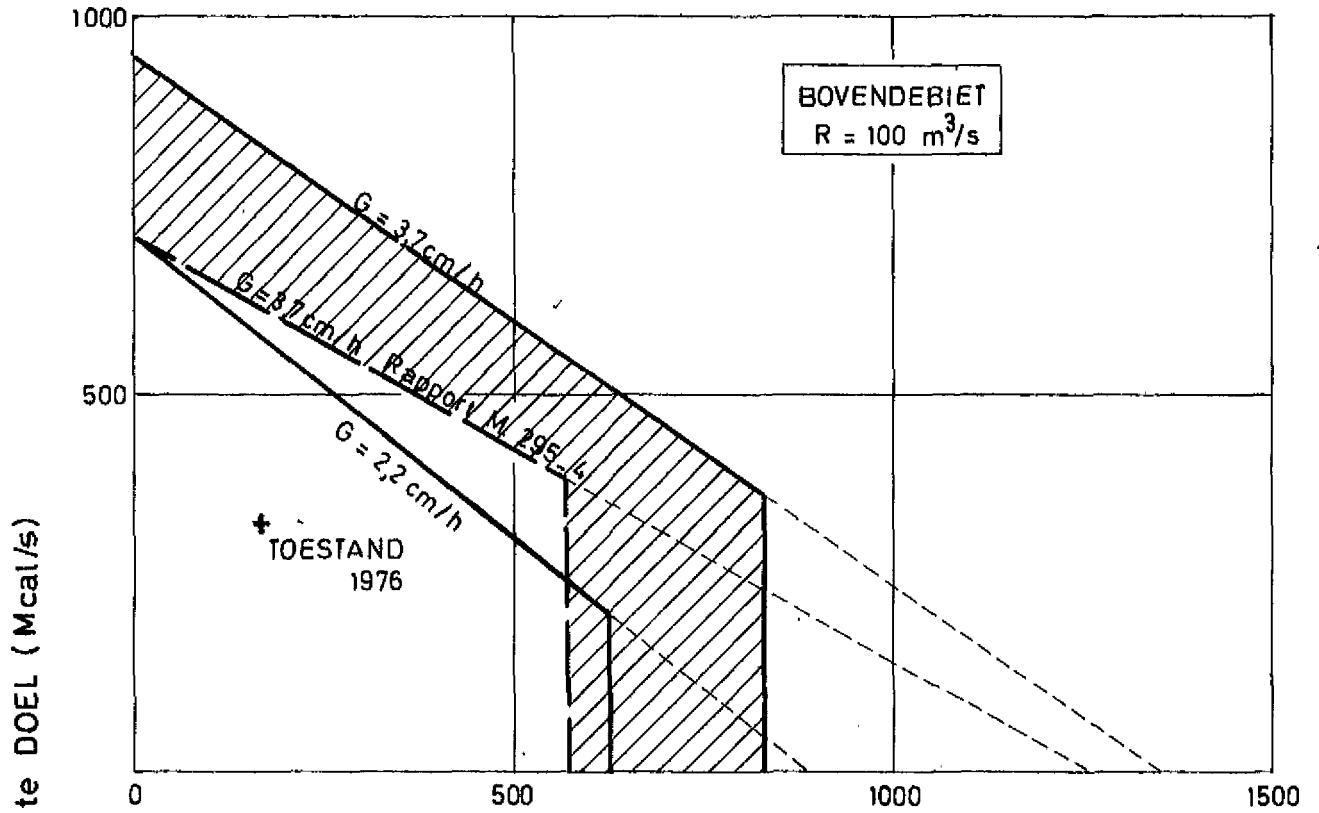






TOELAATBARE LOZINGEN TE KALLO EN TE DOEL  
BIJ  $G = 3,7$  EN  $G = 2,2$  cm/h

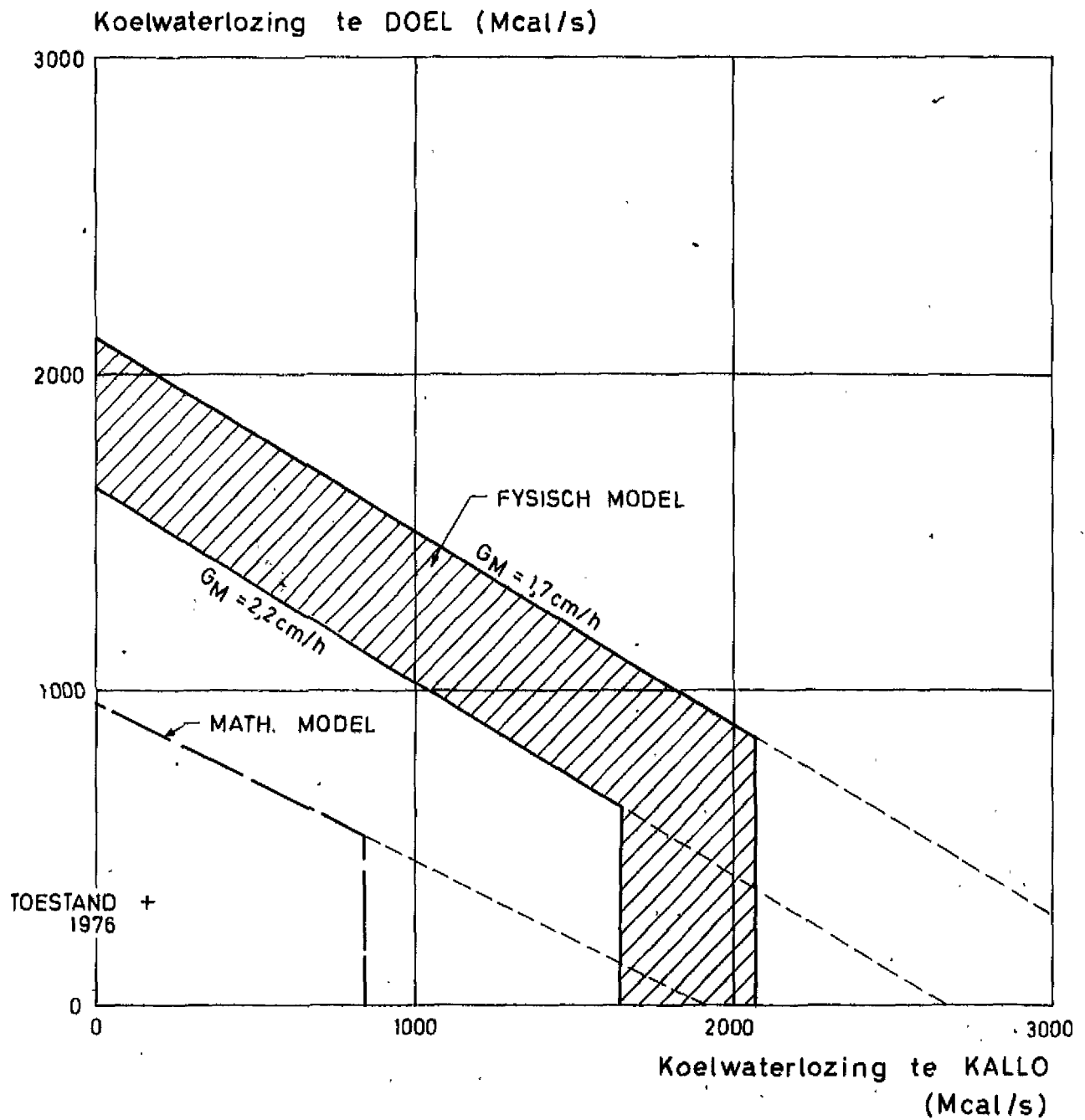
TOESTAND MET BOCHTAFSNIJDING





VERGELIJKING DER MOGELIJKE LOZINGEN BIJ  
MATH. EN FYSISCH MODEL MET  $G_N = 3,7 \text{ cm/h}$

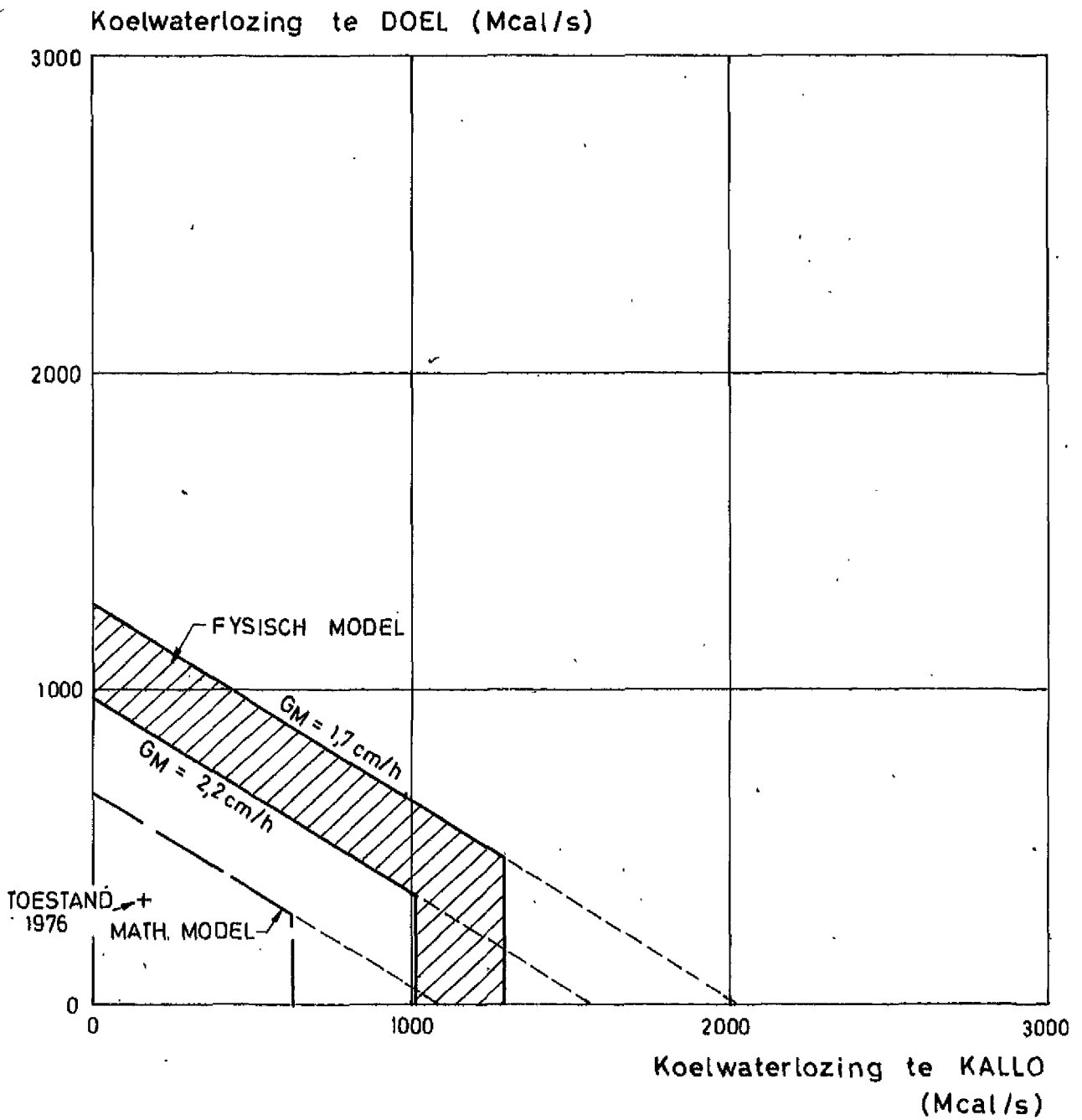
BOVENDEBIET  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $G_N = 3,7 \text{ cm/h}$  (jaargemiddelde)





VERGELIJKING DER MOGELIJKE LOZINGEN BIJ  
MATH. EN FYSISCH MODEL MET  $G_N = 2,2 \text{ cm/h}$

BOVENDEBIET  $R = 0 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $G_N = 2,2 \text{ cm/h}$  (wintergemiddelde)



editie

---

BERCHEMLEI 118  
2200 BORGERHOUT  
BELGIE  
TELEFOON 031/36.18.50.