

INSTITUUT VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA 421, d. d. 29 september 1967

**ALTERRA**

Wageningen Universiteit & Research centre  
Omgevingswetenschappen  
Centrum Water & Klimaat  
Team Integraal Waterbeheer

Veranderingen in waterverbruik door gewassen  
op zandgrond tengevolge van veranderingen  
in grondwaterstand

dr. L. F. Ernst

---

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties. Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten. Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

---

Terwijl in Nederland vrij veel onderzoek is gedaan naar het verband tussen grondwaterstand en opbrengsten, zowel voor akkerbouwgewassen als voor gras (zie bijv. de rapporten van de Commissie voor het Onderzoek van de Landbouwwaterhuishouding in Nederland), werd veel minder aandacht besteed aan het verband tussen grondwaterstand en waterverbruik. Voor het onderzoek betreffende het proefgebied bij Deurne werd het wenselijk geacht om het laatstgenoemde verband wat nader te bestuderen en wat betreft de verhouding tussen grondwaterstandsveranderingen en waterverbruiksveranderingen tot een min of meer concrete uitspraak te komen.

Een uitweg werd hier gevonden door naast de resultaten van het C.O.L.N. onderzoek ook gebruik te maken van resultaten van ander onderzoek, dat betrekking had op het verband tussen waterverbruik en opbrengsten. Een andere manier van onderzoek naar dit verband kan worden gevonden in een combinatie van enerzijds verdampingsbepalingen volgens de methode van de grondwaterstandsanalyse (BLOEMEN, 1967) met anderzijds bepalingen van vochtgehalte en vochtspanning. Dit onderzoek, dat momenteel nog aan de gang is, werd niet bij de volgende beschouwingen betrokken.

Uit de rapporten van de C.O.L.N. is voor bouwland en grasland op verschillende bodemtypen het verband tussen grondwaterstand en opbrengst met redelijke nauwkeurigheid bekend geworden (VISSER, 1958; voor Noord Brabant en Limburg: KOUWE en VRIJHOF, 1958; HELLINGS, 1958). ~~De gegeven~~ Figuur 1 toont dit verband gemiddeld voor zandgronden als voorkomend in het gebied tussen Eindhoven en Venlo met 50% bouwland en 50% grasland (KOUWE, 1968).

In deze figuur zijn langs de horizontale as zowel waarden uitgezet voor de zomergrondwaterstandsdiepte  $Z_z$  overeenkomstig de C.O.L.N.-rapporten, als ook waarden voor gemiddelden voor het gehele jaar  $Z_j^g$  en gemiddelden voor de groeiperiode (april-september)  $Z_g^g$ . Daarbij werd aangenomen dat grondwaterstandsdiepte en jaarfluctuatie evenredig zijn. Het C.O.L.N.-onderzoek geeft aan deze veronderstelling enige steun, doordat naarmate de zomergrondwaterstanden minder diep zijn meestal ook kleinere verschillen met de wintertoeestand zijn gevonden. Het is duidelijk dat een dergelijk verband niet algemeen geldig kan zijn, daar een kleinere bergingscoëfficiënt bij minder diepe grondwaterstanden een tegengesteld effect moet hebben. Een nauwkeurige uitspraak op dit punt wordt niet vereist, daar de nauwkeurigheid van de einduitkomst niet in belangrijke mate hiervan afhangt.

Een groter bezwaar kan men zien in het feit, dat in de meeste publica-

*g aangenomen werd*  
 $Z_g^g = 0,85 Z_j^g$   
 $Z_z = 0,75 Z_j^g$

ties als parameters in het verband tussen opbrengst en grondwaterstand alleen grondsoort (vochthoudend vermogen) en gewas werden opgenomen. Het is duidelijk dat de neerslag in de zomer van overwegende invloed moet zijn: in droge zomers een grote invloed van de grondwaterstand tegenover een kleine invloed in natte zomers. Het gegeven verband (zie figuur) moet dus worden beschouwd als geldig te zijn voor een gemiddelde zomer (zie C.O.L.N. rapporten)

Een lineair verband tussen waterverbruik en opbrengst wordt door verscheidene onderzoekers als een redelijke benadering beschouwd (MAKKINK, 1952, 1963; DE WIT, 1958). Dit kan nader geïllustreerd worden met behulp van enkele verdampings- en opbrengstgegevens. Door het K.N.M.I. wordt voor de verdamping van open water over de groeiperiode april-september voor het station Gemert als langjarig gemiddelde een waarde opgegeven van 580 mm berekend volgens de methode van Penman. Met een reductie-coëfficiënt van  $0,9$  volgt hieruit als optimale verdamping voor landbouwgewassen een waarde van 522 mm.

Uit de beregeningspraktijk voor het gebied Eindhoven-Roermond-Venlo volgt een gemiddeld tekort van 80 mm (gemiddelde jaarlijkse gift 120 mm volgens mondelinge mededeling van ir. A.J. HELLINGS; interceptie en verandering in eindwaarde van bodemvochtinhoud in mindering te brengen). De gemiddelde werkelijke verdamping is dus  $\frac{384}{442} \text{ mm} : \frac{464}{522} \text{ mm} = 85\%$  van de optimale verdamping.

Bewerking van uitkomsten van het C.O.L.N.-onderzoek voor het onderzoeksgebied bij Deurne leverde op dat de opbrengst van bouwland en grasland daar gemiddeld 84% is van wat had kunnen worden bereikt bij optimale grondwaterstanden (KOUWE, 1968). Dit leidt tenslotte tot de conclusie dat er in eerste benadering een evenredigheid mag worden verwacht tussen opbrengst en waterverbruik.

Het genoemde lineaire verband tussen de opbrengst (in het bijzonder van de akkerbouwgewassen) en het waterverbruik geldt niet voor de hoge grondwaterstanden (DE WIT, 1955). Voor een gegeven gewas zal bij een boven het optimum stijgende grondwaterstand de groei geleidelijk aan minder worden. Het waterverbruik van de planten gaat hierbij ook achteruit, maar in mindere mate. In de praktijk zal men echter een aanpassing vinden, zowel in de keuze der cultuurgewassen (grasland, griendhout) als in de groei van onkruiden (moerasplanten).

Verdampingsbepalingen (bijv. met behulp van lysimeters) bij zeer hoge grondwaterstanden (vanaf maaiveld tot enkele decimeters diepte) zijn niet bekend. Een daling van het waterverbruik evenredig met een opbrengstdaling

0,9 is niet  
goed voor  
grasland?

Dit is  
conclusie  
ook in  
fig. 1

als voorgesteld in de gegeven figuur is niet aannemelijk wegens de te verwachten plantengroei. Bij een voortgaande stijging van het waterpeil komt het land door het relief eerst gedeeltelijk en tenslotte geheel onder water te staan. Aan de linkerzijde van de gegeven figuur dicht bij de verticale as moet men dus op hoge verdampingswaarden uitkomen en wel  $\approx E_0 = 580$  mm.

Om deze reden is in de figuur voor de hoge grondwaterstanden geëxtrapoleerd volgens de gebroken lijn. Het getoonde kromlijnige verband mag voorlopig wel als aanvaardbaar worden beschouwd, al mag niet de minste aanspraak op hoge nauwkeurigheid worden gemaakt. Ook bij de diepe grondwaterstanden zou men nog voorbehoud kunnen maken, als men denkt aan het waterverbruik van diepwortelende loof- en naaldbomen, die men op de hoogste gronden nog vrij veel vindt en waarmee in het voorgaande in het geheel geen rekening is gehouden.

Wegens het overal voorkomende relief kan er weinig bezwaar tegen zijn om voor wat grotere gebieden (vanaf 100 ha) een lineair verband tussen grondwaterstand en waterverbruik aan te nemen voor zover tenminste de zomergrondwaterstand  $Z_z$  niet dieper is dan - 200 cm. Voor de zandgronden van Zuid-Oost-Nederland vindt men nu met behulp van de gegeven figuur de coëfficiënt  $\gamma_d$ , die de verhouding van dit lineaire verband bepaalt. De index d moet er op duiden dat de grootheden betrekking hebben op dat deel van de groeiperiode (mei-augustus met  $Z_d \approx Z_g$ ) waarin de meeste kans op verdroging:

$$\gamma_d = \frac{\Delta Z_d}{\Delta E_d} = \frac{200 \text{ cm}}{188 \text{ mm} : 123 \text{ dagen}} = 1300 \text{ dagen}$$

Voor het Deurne rapport werd een iets <sup>hogere</sup> waarde gebruikt namelijk  $\gamma = 1500$  dagen (ERNST, 1968). Uit lysimeteronderzoek (MAKKINK, 1963) over de jaren 1955 en 1956 waarin respectievelijk een vrij droge en een vrij natte zomer zijn gevallen, konden de volgende waarden worden afgeleid voor gras op zandgrond:

$$\gamma_{1955} = 1500 \text{ dagen} \quad \gamma_{1956} = 8000 \text{ dagen}$$

Om een indruk te krijgen van de invloed welke de wateronttrekking door de planten heeft bij zekere veranderingen in het grondwater-regime, werden de volgende formules gebruikt: (zie fig. 2):

Grondwaterstand - waterverbruik - coëfficiënt  
146  
geschikte naam voor  $\gamma$  ?

$$\delta \bar{h}_j = \alpha \delta (WS_j) + \delta h_o = \alpha S_j \delta W + \alpha W \delta S_j + \delta h_o$$

$$\delta S_j = - \delta P + \delta N_j = - \delta P - \delta E_j$$

$$\delta E_j = \frac{1}{2} \delta E_z = \frac{1}{3} \delta E_d = \frac{\delta Z_d}{3\gamma_d}$$

$$\delta Z_d = \frac{1}{2} (\delta \bar{h}_j + \delta \bar{h}_z)$$

$h_z = \bar{h}_j - \bar{h}_a$   
 $\delta Z_d = \delta \bar{h}_j - \frac{1}{2} \delta \bar{h}_a$

$$\delta \bar{h}_a = \alpha \delta \left\{ \frac{H_a^T}{\sqrt{T^2 W^2 + 4\pi^2 \mu^2}} \right\}$$

(ERNST, 1963, pag. 143)

- h = grondwaterstand ten opzichte van willekeurig, maar vast niveau
- $\delta h$  = verandering in h door wateronttrekking door diepe putten of slootpeilverandering
- $\bar{h}_j$  = grondwaterstand gemiddeld over het jaar en over het betrokken gebied
- $\bar{h}_z$  = zomergrondwaterstand gemiddeld over het betrokken gebied
- $\bar{h}_a$  = jaar-amplitude van  $\bar{h} \approx \bar{h}_j - \bar{h}_z$
- $h_o$  = slootpeil
- $\alpha$  = reductie-coëfficiënt voor grondwaterspiegelvorm  $\approx \frac{5}{6}$
- W = drainage-weerstand (<sup>opstelling grondwaterspiegel</sup> totale weerstand:  $h'' - h_o = AW$ )
- A = afvoer (in duikt op midden van drainagestrook)
- N = overtollige neerslag of capillaire opstijging (winter  $N_w = R_w - E_w$ )
- $N_a$  = jaar-amplitude van N  $\approx N_w - N_j$
- R = neerslag
- E = verdamping
- P = intensiteit van wateronttrekking door diepe putten aangenomen als homogeen verspreid door het gebied en onafhankelijk van seizoen
- S = naar sloten af te voeren hoeveelheid = N - P
- $S_a$  = amplitude van S  $\approx N_a$
- $\mu$  = bergingscoëfficiënt
- T = 365 dagen

Uit bovenstaande vergelijkingen kan men door eliminering van onbekenden en verwaarlozing van enkele kleine termen de volgende uitkomsten vinden:

$$\delta \bar{h}_j = \alpha S_j \delta W - \alpha W \left\{ -\delta P - \frac{\delta \bar{h}_j - \frac{1}{2} \delta \bar{h}_a}{3\gamma_d} \right\} + \delta h_o$$

$$\delta \bar{h}_j = \alpha S_j \delta W + \alpha W \delta P + \frac{\alpha W}{3\gamma_d} \delta \bar{h}_j - \frac{\alpha W}{3\gamma_d} \left( \frac{H_a^T}{\sqrt{T^2 W^2 + 4\pi^2 \mu^2}} \right) + \delta h_o$$

$$\left(1 + \frac{\alpha W}{3\gamma_d}\right) \delta \bar{h}_j - \alpha S_j \delta W + \frac{2\pi^2 \alpha^2 \mu N T W}{3\gamma_d \sqrt{(T W^{-2} + 4\pi^2 \mu^2)^3}} \delta \mu = \delta h_o - \alpha W \delta P$$

$$\left(1 + \frac{\alpha W}{3\gamma_d}\right) \delta \bar{h}_z - \alpha \left\{ S_j - \frac{N_a T W^{-3} \left(1 + \frac{\alpha W}{3\gamma_d}\right)}{\sqrt{(T W^{-2} + 4\pi^2 \mu^2)^3}} \right\} \delta W - \frac{4\pi^2 \alpha \mu N T}{\sqrt{(T W^{-2} + 4\pi^2 \mu^2)^3}} \delta \mu = \delta h_o - \alpha W \delta P$$

$$\left(\gamma_d + \frac{1}{3} \alpha W\right) \delta E_d - \alpha \left\{ S_j - \frac{N_a T W^{-3}}{2 \sqrt{(T W^{-2} + 4\pi^2 \mu^2)^3}} \right\} \delta W + \frac{\pi \alpha^2 \mu N T W}{3\gamma_d \sqrt{(T W^{-2} + 4\pi^2 \mu^2)^3}} \delta \mu = \delta h_o - \alpha W \delta P$$

De veranderingen in slootpeil en wateronttrekking door diepe putten (zie  $\delta h_o$  en  $\delta P$  in rechterleden van laatste 3 formules) moeten zijn gegeven om de veranderingen  $\delta \bar{h}_j$ ,  $\delta \bar{h}_z$  en  $\delta E_d$  te kunnen berekenen.  $\delta W$  en  $\delta \mu$  zijn niet onafhankelijk veranderlijk, maar hangen af van de andere veranderingen.  $\delta W$  kan worden gezien zowel afhankelijk van een gegeven slootpeilverandering  $\delta h_o$  als van een gemiddelde grondwaterstandsverandering  $\delta \bar{h}_j$ , welke een niet a priori bekende slootpeilverandering kan veroorzaken (ERNST, 1967, pag. 6). Daar de bergingscoëfficiënt bij langzame grondwaterstandsfluctuaties in eerste benadering alleen van de grondwaterstandsdiepte afhangt (ERNST, 1963, pag. 65 - 74; BLOEMEN, 1966, 1967) is  $\delta \mu$  als alleen afhankelijk van  $\delta \bar{h}_j$  te beschouwen.

De termen in de linkerleden van de laatste 3 formules zijn gerangschikt naar volgorde van belangrijkheid. De coëfficiënten van  $\delta \bar{h}_j$  en  $\delta \bar{h}_z$  duiden erop, dat er grondwaterstandsveranderingen worden berekend schijnbaar alsof er kleinere drainage-weerstanden zijn (geleidend vermogen  $W^{-1} + \frac{1}{3} \alpha \gamma_d^{-1}$  in plaats van  $W^{-1}$ ).

Door in de laatste formule de minder belangrijke termen weg te laten en geen vooropgezette verandering in de slootpeilen aan te nemen, verkrijgt men de volgende benadering:

$$\delta E_j = \frac{1}{3} \delta E_d = - \frac{\alpha W}{3\gamma_d + \alpha W} \delta P$$

Deze uitkomst, welke ook had kunnen worden bereikt zonder bovenstaande formules volledig door te werken, geeft in grootte-orde de verhouding  $\delta E_j : \delta P$ . Indien bijvoorbeeld wordt gegeven  $\gamma_d \approx 1500$  dagen en  $W \approx 1000$  dagen, dan volgt hieruit na substitutie in de laatste formule dat voor niet al te grofzandige gronden met een gewassenkeuze als voorkomende in het oosten van de provincie Noord-Brabant rond  $15\%$  van de waterwinning uit diepe putten wordt onttrokken aan de plantengroei.

Het is duidelijk, dat deze uitkomst, evenals de voorafgaande behandeling met nauwkeuriger formules, alleen geldig is voor zover er geen dalingen van de zomergrondwaterstanden ontstaan over relatief grote gebieden tot belangrijk beneden - 200 cm. Voor dergelijke diepe grondwaterstanden wordt algemeen aangenomen (zie figuur) dat de invloed op de opbrengst vrijwel nul is.

De gekozen waarden voor  $\gamma_d$  en  $W$  zijn in grootte-orde voor de zuid oostelijke helft van Nederland wel aanvaardbaar. Een nadere uitspraak over gemiddelde waarden of over spreiding in de waarden van deze parameters is moeilijk, daar op deze punten nog weinig gegevens beschikbaar zijn.

Literatuur

BLOEMEN, G.W. 1966 - Afvoeronderzoek met behulp van grondwaterstandsgegevens.  
I.C.W. nota 333.

\_\_\_\_\_ 1967 - De grondwaterstandsanalyse als middel om de verdamping te leren  
kennen. I.C.W. nota 382.

ERNST, L.F. 1963 - Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun bere-  
kening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen  
(Proefschrift Utrecht 1962). Versl. Landbouwk. Onderz. 67.15.

\_\_\_\_\_ 1968 - The average change in groundwater level induced by simultaneous  
application of different methods of water supply: Chapter IV from  
'Determination of the optimum combination of water management  
systems in areas with a micro relief' by a Working Party of the  
Institute for Land and Water Management Research. Versl. Landbouwk.  
Onderz. (in druk).

\_\_\_\_\_ 1967 - Wateronttrekking door diepe putten. I.C.W. nota 353.

HELLINGS, A.J. 1958 - De landbouwwaterhuishouding in de provincie Limburg.  
Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.

KOUWE, J.J. en B. VRIJHOF, 1958 - De landbouwwaterhuishouding in de provincie  
Noord-Brabant. Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Neder-  
land T.N.O.

\_\_\_\_\_ 1968 - The effect of the micro relief on the possibilities of sub-  
surface irrigation: Chapter VI from 'Determination of the optimum  
combination of water management systems in areas with a micro relief'  
by a Working Party of the Institute for Land and Water Management  
Research. Versl. Landbouwk. Onderz. (in druk)

MAKKINK, G.F. 1952 - Betrekkingen tussen cultuurgewassen en bodemvocht. Ver-  
slagen Technische Bijeenkomsten 1-6. Commissie voor Hydrologisch  
Onderzoek T.N.O.

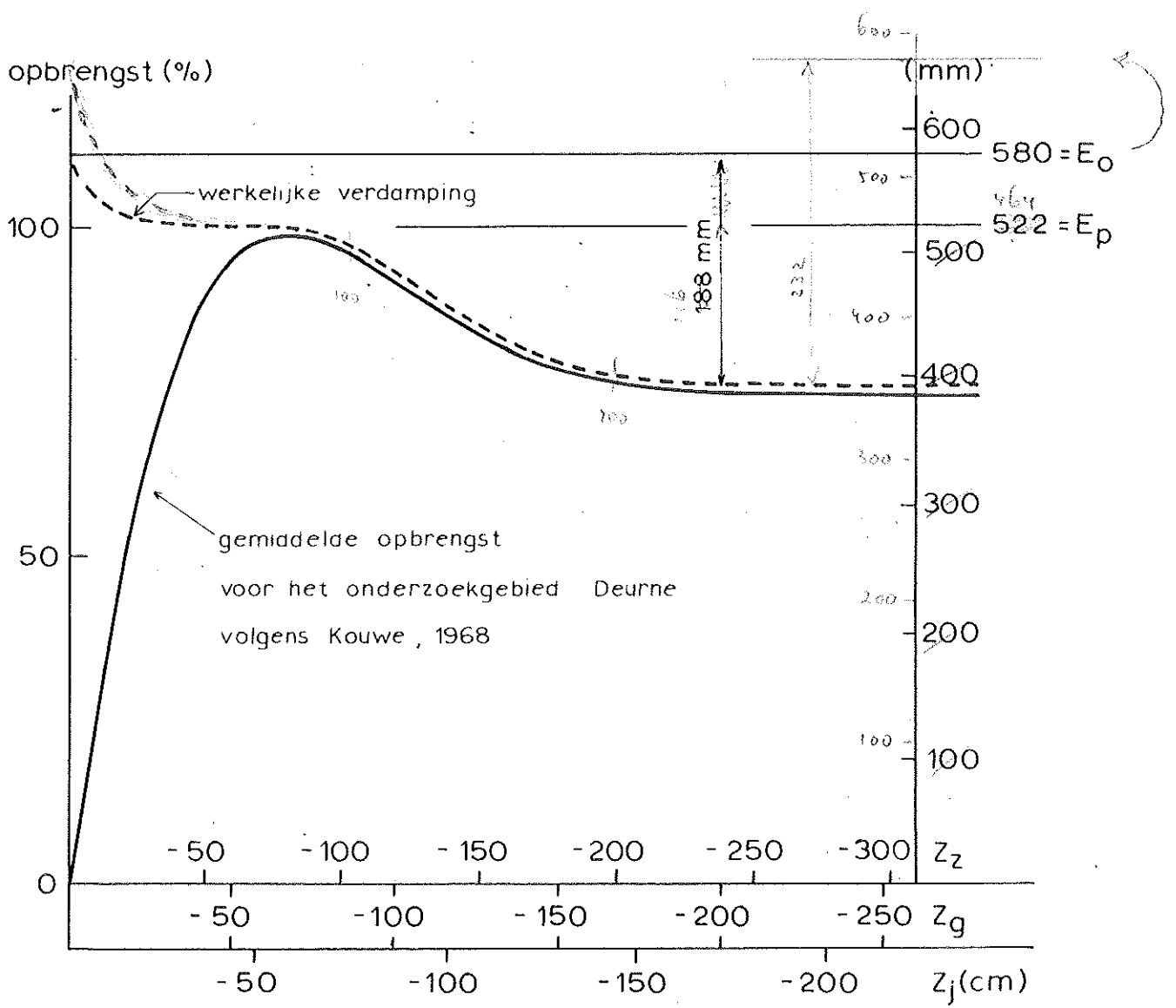
\_\_\_\_\_ 1963 - Vijf jaren lysimeteronderzoek. Versl. Landbouwk. Onderz. no.  
68.1

VISSER, W.C. 1958 - De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Commissie On-  
derzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland T.N.O.

WIT, C.T. DE, 1958 - Transpiration and crop yields. Versl. Landbouwk. Onderz.  
no. 64.6.



OPBRENGST EN WATERVERBRUIK IN AFHANKELIJKHEID VAN GRONDWATERSTAND VOOR EEN ZOMER MET NORMALE NEERSLAG



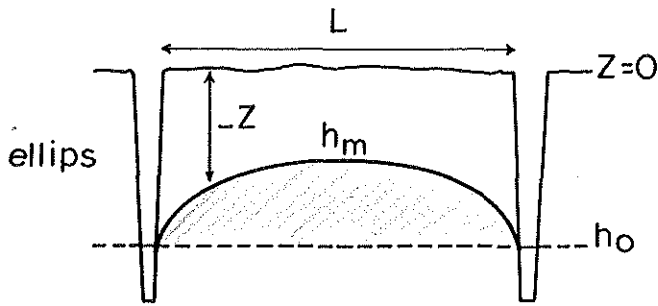
Zz = zomergrondwaterstand (15 juni - 15 september)

Zg = grondwaterstand gemiddeld over groeiperiode (1 apr - 15 sept)

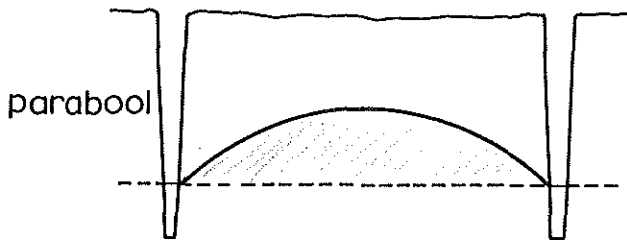
Zj = grondwaterstand gemiddeld over het gehele jaar

(evenredigheid van Zz, Zg en Zj alleen te gebruiken als eerste benadering van gemiddelde van huidige toestand)

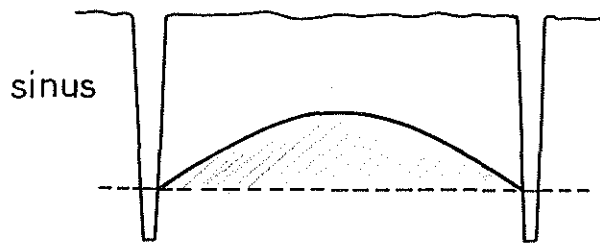
REDUCTIE-COEFFICIENT  $\alpha$  VOOR VORM GRONDWATERSPIEGEL



gearceerd opp.  $\frac{\pi}{4}(h_m-h_0)L$   
 $\alpha = \frac{\pi}{4}$

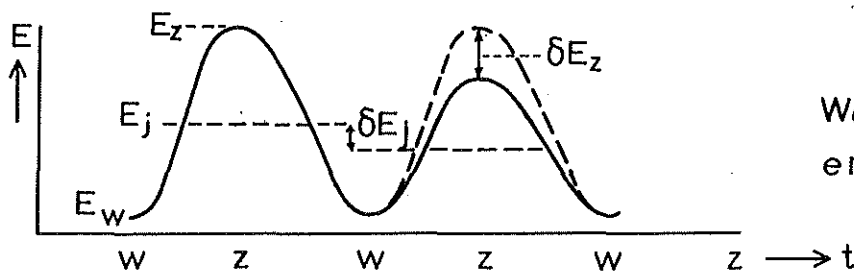
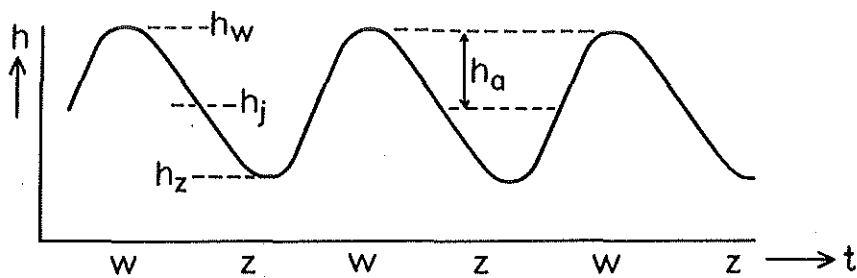


gearceerd opp.  $\frac{2}{3}(h_m-h_0)L$   
 $\alpha = \frac{2}{3}$



gearceerd opp.  $\frac{2}{\pi}(h_m-h_0)L$   
 $\alpha = \frac{2}{\pi}$

SEIZOENSFLUCTUATIES VAN GRONDWATERSTAND EN VERDAMPING



$\delta E_z \approx 2 \delta E_j$   
 Wegens  $T_d = 123$  dagen  
 en  $T = 365$  dagen;  
 $\delta E_d \approx \frac{1}{3} \delta E_j$