

NOTA 567

24 juli 1970

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA

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

DE RESULTATEN VAN HET WATERBALANSONDERZOEK IN
1968 VOOR DE OBJECTEN MET EEN CONSTANT SLOOTPEIL
IN HOENKOOP

J. Pankow en P. E. Rijtema

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**



ISBN 90 7100 000 0

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemidde-
len, 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.

Instituut voor Cultuurwetenschap en Wetenschappelijke
Wageningen

Algemeen
Directie van de
Landbouwkundige
Onderzoekingen
Postbus 330
Wageningen

INHOUD VAN DE OEFENTEN MET EEN GOEST VAN SLOOTBEEM
IN HONKROOP

E. P. Blok en P. H. Rijkman

De oorspronkelijke afhandeling is verschenen in de
Tijdschrift voor Landbouwkunde, 1930, 1, 1-10.
De afhandeling is ook verschenen in de
Tijdschrift voor Landbouwkunde, 1930, 1, 1-10.
De afhandeling is ook verschenen in de
Tijdschrift voor Landbouwkunde, 1930, 1, 1-10.
De afhandeling is ook verschenen in de
Tijdschrift voor Landbouwkunde, 1930, 1, 1-10.

INHOUD

	blz
INLEIDING	1
BESCHIKBARE GEGEVENS	1
Neerslaggegevens	1
Verdampingsgegevens	3
Vochtmetingen	4
Grondwaterstandsmetingen	5
BEWERKING VAN DE MEETGEGEVENS	5
Bepaling van de gemiddelde grondwaterstand per balans- periode	5
Berekening van afvoer en kwel	7
DISCUSSIE	11
LITERATUUR	16
BIJLAGE 1	

INHOUD

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

1. Inleiding

2. Doel van de studie

3. Methodologie

4. Resultaten

5. Conclusies

6. Aanbevelingen

7. Literatuurverwijzingen

8. Bijlagen

9. Samenvatting

10. Dankwoord

11. Auteursbiografie

12. Contactgegevens

13. Verklaring van de afkorting

14. Verklaring van de afkorting

15. Verklaring van de afkorting

16. Verklaring van de afkorting

17. Verklaring van de afkorting

18. Verklaring van de afkorting

19. Verklaring van de afkorting

20. Verklaring van de afkorting

21. Verklaring van de afkorting

22. Verklaring van de afkorting

23. Verklaring van de afkorting

24. Verklaring van de afkorting

25. Verklaring van de afkorting

26. Verklaring van de afkorting

27. Verklaring van de afkorting

28. Verklaring van de afkorting

29. Verklaring van de afkorting

30. Verklaring van de afkorting

31. Verklaring van de afkorting

32. Verklaring van de afkorting

33. Verklaring van de afkorting

34. Verklaring van de afkorting

35. Verklaring van de afkorting

36. Verklaring van de afkorting

37. Verklaring van de afkorting

38. Verklaring van de afkorting

39. Verklaring van de afkorting

40. Verklaring van de afkorting

41. Verklaring van de afkorting

42. Verklaring van de afkorting

43. Verklaring van de afkorting

44. Verklaring van de afkorting

45. Verklaring van de afkorting

46. Verklaring van de afkorting

47. Verklaring van de afkorting

48. Verklaring van de afkorting

49. Verklaring van de afkorting

50. Verklaring van de afkorting

51. Verklaring van de afkorting

52. Verklaring van de afkorting

53. Verklaring van de afkorting

54. Verklaring van de afkorting

55. Verklaring van de afkorting

56. Verklaring van de afkorting

57. Verklaring van de afkorting

58. Verklaring van de afkorting

59. Verklaring van de afkorting

60. Verklaring van de afkorting

61. Verklaring van de afkorting

62. Verklaring van de afkorting

63. Verklaring van de afkorting

64. Verklaring van de afkorting

65. Verklaring van de afkorting

66. Verklaring van de afkorting

67. Verklaring van de afkorting

68. Verklaring van de afkorting

69. Verklaring van de afkorting

70. Verklaring van de afkorting

71. Verklaring van de afkorting

72. Verklaring van de afkorting

73. Verklaring van de afkorting

74. Verklaring van de afkorting

75. Verklaring van de afkorting

76. Verklaring van de afkorting

77. Verklaring van de afkorting

78. Verklaring van de afkorting

79. Verklaring van de afkorting

80. Verklaring van de afkorting

81. Verklaring van de afkorting

82. Verklaring van de afkorting

83. Verklaring van de afkorting

84. Verklaring van de afkorting

85. Verklaring van de afkorting

86. Verklaring van de afkorting

87. Verklaring van de afkorting

88. Verklaring van de afkorting

89. Verklaring van de afkorting

90. Verklaring van de afkorting

91. Verklaring van de afkorting

92. Verklaring van de afkorting

93. Verklaring van de afkorting

94. Verklaring van de afkorting

95. Verklaring van de afkorting

96. Verklaring van de afkorting

97. Verklaring van de afkorting

98. Verklaring van de afkorting

99. Verklaring van de afkorting

100. Verklaring van de afkorting

INLEIDING

Een volledige beschrijving van het ontwateringsproefobject te Hoenkoop is door SCHOTHORST (1969) gegeven. Het object werd in de eerste plaats opgezet in verband met de verbetering van de draagkracht van dit klei-op-veenprofiel. Er kon worden verwacht, dat de diepere ontwatering de wateropname door het gewas zou beïnvloeden, waardoor vooral onder droge omstandigheden, extra droogteschade zou kunnen optreden. De natte omstandigheden in de zomer van 1968 waren de oorzaak, dat tussen de verschillende objecten geen verschillen in wateropname tengevolge van droogte konden worden aangetoond. Het waterbalansonderzoek heeft zich over dit jaar, daarom vooral gericht op de ontwateringsaspecten van dit project.

BESCHIKBARE GEGEVENS

Voor dit waterbalansonderzoek werden op het proefobject zelf relatief weinig gegevens bepaald. Beschikbaar waren één keer per week waargenomen grondwaterstandsdiepten, vochtmetingen in de profielen en gewashoogten. De overige gegevens moesten alle worden ontleend aan waarnemingsstations in de omgeving. De gebruikte gegevens zullen in de volgende punten achtereenvolgens worden besproken.

Neerslaggegevens

De neerslaggegevens werden niet op het proefobject zelf gemeten maar ontleend aan het meest nabij gelegen regenstation te Benschop. Om een indruk te verkrijgen van de variabiliteit van de neerslag, werden de gegevens van Benschop per balansperiode vergeleken met een aantal andere stations uit de directe omgeving van het proefobject.

Deze gegevens zijn vermeld in tabel 1 als neerslagtotalen per balansperiode. In deze tabel is tevens het gemiddelde van de stations weergegeven alsmede de fout van de enkele waarneming.

Tabel 1. De hoeveelheid neerslag in mm per balansperiode op een aantal waarnemingsstations, de gemiddelde waarde en de te verwachten fout in het enkele station

Balansperiode	Waarnemingsstation							Gem. waarde
	Ben-schop	Zegveld	Boskoop	Vleuten	Gouda	Groot-Ammers		
1/5 - 9/5	20,7	33,4	24,2	22,1	26,5	27,9	25,8	4,2
9/5 - 15/5	29,8	28,2	24,8	25,0	19,2	31,2	26,3	4,0
15/5 - 22/5	16,3	24,9	21,0	15,7	17,5	15,9	18,6	3,4
22/5 - 30/5	4,6	7,6	12,8	7,1	6,5	5,9	7,4	2,6
30/5 - 12/6	21,7	18,2	16,9	18,3	16,4	22,8	19,0	2,4
12/6 - 19/6	18,5	13,1	15,6	11,4	14,6	22,2	15,9	3,7
19/6 - 26/6	19,6	22,1	23,5	23,0	26,2	28,6	23,8	2,9
26/6 - 3/7	23,6	22,8	25,4	18,8	27,1	21,6	23,2	2,7
3/7 - 10/7	31,5	37,1	40,5	37,8	42,8	39,6	38,2	3,5
10/7 - 17/7	30,6	38,0	48,8	30,4	28,3	43,8	36,6	7,6
17/7 - 24/7	16,4	7,2	7,2	15,6	6,8	20,2	12,2	5,4
24/7 - 7/8	53,0	52,8	62,1	51,5	31,3	33,9	47,4	11,0
7/8 - 14/8	33,7	35,9	40,5	49,5	43,1	43,6	41,0	5,2
14/8 - 22/8	31,5	41,0	32,6	36,6	47,8	47,4	39,5	6,5
22/8 - 28/8	0,1	0	0	0	0	0	0	0
28/8 - 3/9	18,3	9,2	10,2	12,5	24,6	24,0	16,5	6,2
3/9 - 12/9	19,5	35,4	11,2	16,0	10,7	16,7	18,3	8,3

Hoewel de waarde van $\sqrt{\quad}$ geen absolute betekenis heeft, geven de waarden voor de verschillende balansperioden wel een indruk van de variabiliteit van de neerslag rond het proefobject.

De beschikbare neerslaggegevens hebben betrekking op dagwaarden. Een verdeling van de neerslag binnen een periode van 24 uur is niet bekend. Vooral voor de dagen waarop de balansperioden worden afgesloten is

dat gegeven van belang, omdat de vochtmetingen in het profiel een gehele dag in beslag nemen. De neerslag op deze dagen zou in feite over deze balansperioden moeten worden verdeeld. Hier staat echter tegenover, dat een te grote hoeveelheid neerslag in de ene balansperiode automatisch wordt gecompenseerd door een te kleine neerslaghoeveelheid in de volgende balansperiode.

Verdampingsgegevens

De waarden voor de verdamping werden berekend volgens de door RIJTEMA (1965) gegeven methode. De basis meteorologische gegevens werden ontleend aan de maandoverzichten van het K. N. M. I. voor het station De Bilt. De op 6 m hoogte gemeten waarden van de windsnelheid, werden met behulp van een reductieformule uitgerekend voor 2 m hoogte. De gemiddelde waarden van de meteorologische gegevens zijn per balansperiode vermeld in tabel 2.

Tabel 2. De waarden van de basis meteorologische gegevens gedurende de balansperioden

Balansperiode	Relatieve zonnenschijnduur n/N	Temperatuur T °C	Relatieve vochtigheid	Windsnelheid op 2 m U ₂₀₀ m/sec.
1/5 - 9/5	0,17	10,0	0,80	2,2
9/5 - 15/5	0,24	10,2	0,80	3,0
15/5 - 22/5	0,22	8,5	0,76	2,1
22/5 - 30/5	0,36	14,2	0,75	2,4
30/5 - 12/6	0,42	14,1	0,74	2,2
12/6 - 19/6	0,40	17,6	0,76	2,0
19/6 - 26/6	0,20	14,9	0,79	3,1
26/6 - 3/7	0,43	18,6	0,76	2,5
3/7 - 10/7	0,40	16,2	0,79	2,1
10/7 - 17/7	0,32	15,2	0,77	2,2
17/7 - 24/7	0,34	14,9	0,79	1,9
24/7 - 7/8	0,28	17,3	0,81	1,9
7/8 - 14/8	0,33	17,0	0,82	2,0

(vervolg tabel 2)

14/8 - 22/8	0,36	15,4	0,80	2,1
22/8 - 28/8	0,66	19,4	0,79	2,6
28/8 - 3/9	0,18	16,8	0,85	2,1
3/9 - 12/9	0,45	45,9	0,82	1,5

De voor de verdampingsberekening benodigde gegevens van de gewas-
 hoogte werden éénmaal per week op de verschillende objecten geme-
 ten. De metingen werden zowel in de graskooien als buiten de kooien
 verricht. De verdampingsberekeningen werden voor beide situaties
 uitgevoerd, om een indruk te verkrijgen van de verschillen in verdam-
 ping op grond van de gewasontwikkeling binnen en buiten de kooi. Er
 konden voor de verschillende objecten geen systematische verdampings-
 verschillen in de tijd worden aangetoond. De verschillen per balans-
 periode waren in de orde van 0,3 mm/etm.

Door de grote neerslaghoeveelheden trad geen sterke uitdroging in de
 wortelzone van het gras op. De gemiddelde zuigspanning in de wortel-
 zone bleef de hele zomer zodanig laag, dat het optreden van reducties
 in de verdamping niet kon worden aangetoond.

Vochtmetingen

De vochtmetingen werden uitgevoerd volgens de gamma transmissie-
 methode. Een uitvoerige beschrijving van de apparatuur en van de meet-
 techniek werd gegeven door RIJHINER en PANKOW (1969). De gemeten
 waarden van het nat volumegewicht worden gecorrigeerd op niet even-
 wigdigheid van de standbuizen volgens de door RIJTEMA (1969) en PAN-
 KOW (1970) beschreven methode.

De vochtmetingen werden zoveel mogelijk éénmaal per week in duplo
 per object uitgevoerd. De vochtonttrekking per profiel is in fig. 1 per
 balansperiode en per meetpunt tegen elkaar uitgezet. Per laag en per
 meetpunt werd de meting 2 tot 3 maal herhaald, waarbij de verschil-
 len tussen de metingen in elke laag varieerden van 0,2 tot 1,0 mm
 water. Door de herhalingen wordt de vochtinhoud per laag vastgesteld
 als het gemiddelde van de metingen \pm 0,4 mm. Bij de berekening van

de totale vochtinhoud van het profiel werd geïntegreerd over 10 lagen. De nauwkeurigheid van de bepaling van de totale vochtinhoud per meetdatum moet dus worden gesteld op de geïntegreerde waarde $\pm \sqrt{13 \times (0,4)^2} = \pm 1,4$ mm. De vochtonttrekking per balansperiode wordt dan bepaald met een fout van $\pm \sqrt{2 \times 2,08} = \pm 2,0$ mm. In fig. 1 is met stippellijnen aan weerszijden van de getrokken lijn 2x de fout weergegeven. De waarnemingen, die buiten deze grenzen liggen zijn niet toe te schrijven aan meetfouten met de apparatuur maar moeten typisch worden toegeschreven aan de heterogeniteit van het bodemprofiel, waardoor de lagen bij het ene meetpunt een andere vocht karakteristiek hebben dan bij het andere meetpunt in hetzelfde object.

Aangezien de vochtmetingen op twee plaatsen per object werden uitgevoerd is de meettechnische fout bij de berekening van de vochtonttrekking per profiel $\pm \frac{1}{2} \sqrt{8,32} = \pm 1,5$ mm. De onzekerheid in de bepaling van de vochtonttrekking aan het profiel tengevolge van het niet representatief zijn van de twee meetplaatsen voor het hele object blijft een onbekende factor.

Grondwaterstandsmetingen

De grondwaterstanden werden één keer per week gemeten. De nauwkeurigheid van deze metingen was niet bijzonder groot. Als voorbeeld hiervan zijn in fig. 2 de meetgegevens van het A-object voor de buizen op 5, 10 en 14 meter uit de sloot tegen elkaar uitgezet. De spreiding van de gegevens is zodanig, dat alleen typische meetfouten in de grondwaterstandsmeting, die groter zijn dan 10 cm konden worden achterhaald. Deze duidelijk foutieve metingen werden gecorrigeerd op de lijnen, die door de puntenzwermen zijn getrokken.

BEWERKING VAN DE MEETGEGEVENS

Bepaling van de gemiddelde grondwaterstand per balansperiode

Voor de bepaling van de gemiddelde grondwaterstand gedurende de

balansperioden werden de gemeten grondwaterstanden tegen de tijd uitgezet. Er werd als eerste benadering aangenomen dat de verandering in de grondwaterstand tussen twee meetdata lineair met de tijd verliep. Op deze wijze kon voor elke balansperiode een eerste benadering worden verkregen voor de gemiddelde grondwaterstand. De op deze wijze verkregen gemiddelde grondwaterstand werd uitgezet tegen de gemiddelde gesommeerde vochtonttrekking van het begin en het einde van de betreffende balansperiode. Een voorbeeld van deze benadering is in fig. 3 gegeven voor één van de gamma meetplaatsen van het B-object. Door deze punten werd een lijn getrokken. Het verloop van deze lijn werd tot een grondwaterstand van 40 cm-mv berekend uit de vocht karakteristieken van de lagen tot 40 cm -mv. Met behulp van de in deze figuur getrokken lijn werd voor de meetdagen van de vochtinhoud van het profiel een waarde van de grondwaterstand tussen de grondwaterstandsmeetdagen geïnterpoleerd. Deze via interpolatie verkregen grondwaterstanden werden bij de tweede benadering van de gemiddelde grondwaterstand in de berekening mede opgenomen. De op deze wijze opnieuw verkregen gemiddelde grondwaterstand werd weer uitgezet tegen de gemiddelde gesommeerde vochtonttrekking van het begin en het einde van de balansperiode. Bij deze tweede benadering trad aanzienlijk minder spreiding op en kon de ligging van de curve worden herzien.

Uit de gammametingen bleek, dat de meetplaatsen op het A- en B-object een vrijwel gelijke dikte van het kleidek hadden. Om deze reden zijn in fig. 4 de gegevens betreffende de gemiddelde grondwaterstand per balansperiode en de gemiddelde gesommeerde vochtonttrekking van beide objecten gecombineerd.

Voor een nadere controle van de uitgevoerde bewerking werden de gemiddelde waarden van N-E in mm/dag per balansperiode, de totale vochtonttrekking in mm, en het verloop van de grondwaterstand in cm-mv in de figuren 5a en 5b uitgezet tegen de tijd. Voor het verloop van de vochtonttrekking uit het profiel werden met behulp van fig. 4 uit de gemeten grondwaterstanden waarden voor de vochtonttrekking tussen de meetpunten geïnterpoleerd. Hetzelfde geldt ten aanzien van de grondwaterstanden voor de data, dat de vochtmetingen werden uitgevoerd. Tussen de drie gegevens blijkt een be-

$$\begin{aligned}
 \text{Toeren} &= A(\text{over} + \text{Verdamping}) + \text{Verweestroming} \\
 \text{Neerslag} + \text{Kwel} + \text{Inhuut} &= \text{Verdamping} + \text{Uitloot} + \text{Beijngstroming} + \text{Beijngstroming} \\
 &\quad \text{in de pons} \quad \text{in de sloten} \\
 N + K + I &= E + U + W + Q_N + Q_S
 \end{aligned}$$

hoorlijke overeenstemming in gedrag te zijn. Een duidelijke uitzondering hierop vormt de balansperiode van 22/8 tot 28/8, waar- bij gedurende één van de meetdagen van de vochtinhoud een aanzienlijke hoeveelheid neerslag viel. Bovendien lijkt het aannemelijk, dat de grondwaterstanden, die in deze periode zijn gemeten te hoge waarden geven door een te traag reageren van de buizen na de zeer natte voorafgaande perioden.

Berekening van afvoeren en kwel

Voor de berekening van de afvoer en de kwel werd gebruik gemaakt van de waterbalansvergelijking:

$$N = A - K + E + \Delta V$$

$$A - K = N - E - \Delta V \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

Hierin is:

+ $U = A =$ afvoer in mm per balansperiode.

- $Q = K =$ kwel in mm per balansperiode.

$N =$ neerslag in mm per balansperiode, bekend uit neerslaggegevens van het waarnemingsstation Benschop.

$E =$ verdamping in mm per balansperiode, berekend uit meteorologische gegevens van De Bilt en gemeten gegevens van gewasontwikkeling en vochtspanning in de wortelzone

$\Delta V =$ verandering in de vochtinhoud van het profiel in mm per balansperiode, bekend uit gammametingen

In deze waterbalansvergelijking zijn zowel de afvoer als de kwel onbekend, zodat hieruit alleen de som van beide termen kan worden bepaald. De beide termen kunnen worden gesplitst door voor de gemiddelde waarde van de som van beide termen per balansperiode uitgedrukt in m/dag uit te gaan van de afvoervergelijking.

Bij de analyse werd gebruik gemaakt van de in de bijlage afgeleide afvoervergelijking voor percelen met kwel, waarbij de kwelverdeling afhankelijk is van de verdeling van de grondwaterstand in afhankelijkheid van de afstand tot de sloot. Bij de analyse werd gebruik gemaakt van de grondwaterstandsmetingen die dicht bij de plaats van de gammametingen werden waargenomen. Voor de afvoer A in m/dag geldt de volgende vergelijking:

$$-U - Q_{\text{kwel}} - E + N - \Delta W = 0$$

$$u = -q_a + q_{sl}$$

$$A = \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h_x) \right] = \frac{(h_x - h_{sl}) \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}}}{(h_x - h_{sl}) \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}}} \quad (2)$$

num: 28

$$wl \left\{ \frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} \right\} + \frac{l^2}{8KD} \left\{ \frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} + 1) \right\} - \frac{x^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x^2} (\cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\}$$

Hierin is:

- $q_a =$ q_0 = de afvoersnelheid (+) of de capillaire opstijging (-) vanuit het grondwater in m. dag⁻¹
- $c =$ verticale weerstand van het afdekkende pakket in dagen
- $h_d =$ stijghoogte diepe grondwater in m
- $h_x =$ stijghoogte ondiepe grondwater in m op afstand x uit het midden van het perceel
- $h_{sl} =$ slootpeil in m
- $l =$ breedte van het perceel in m
- $x =$ afstand uit het midden van het perceel in m
- $K =$ horizontale doorlatendheid van het bovenste pakket in m. dag⁻¹
- $D =$ dikte van het bovenste pakket in m
- $w =$ slootweerstand in dag. m⁻¹

Voor de kwel op het meetpunt x van de vochtmetingen geldt:

$$-q_{sk} = K = \frac{1}{c} (h_d - h_x) \quad (\text{m. dag}^{-1}) \quad (3)$$

De vergelijkingen (2) en (3) kunnen worden gecombineerd zodat geldt:

$$u + q_{sk} = A - K = \alpha (h_x - h_{sl}) + \frac{1}{c} (h_d - h_x) \quad (\text{m. dag}^{-1}) \quad (4)$$

Deze vergelijking kan worden herschreven als:

$$q_0 \rightarrow A - K = \left(\alpha + \frac{1}{c} \right) h_x - \alpha h_{sl} - \frac{1}{c} h_d \quad (\text{m. dag}^{-1}) \quad (5)$$

Uit vergelijking (5) volgt, dat tussen de term A-K en de grondwaterstand h_x een lineair verband bestaat, indien de waarden van h_{sl} en h_d constant zijn. De objecten A en B van het proefveld worden op een constant slootpeil gehouden, terwijl bij gebrek aan gegevens

(m.dag⁻¹)

wordt verondersteld, dat de stijghoogte h_d van het diepe grondwater constant is. De als restterm uit de waterbalansvergelijking (1) berekende waarden (A-K) kunnen worden uitgedrukt in een snelheid, door deling door het aantal dagen van de balansperiode. Deze waarden zijn in de figuren 6a en 6b uitgezet tegen de berekende gemiddelde grondwaterstanden. De spreiding in deze figuren is vrij groot, omdat alle fouten in de andere termen van de waterbalans in deze restterm tot uiting komen. De berekende waarden van A-K voor de balansperiode van 22/8 - 28/8 komen ook in deze figuren als typische uitschieters naar voren. Bij de berekening van de hellingen van de lijnen is met deze sterk afwijkende waarde, dan ook geen rekening gehouden. De getrokken lijnen zijn berekend onder de aanname, dat zowel de grondwaterstand h_x als de restterm A-K fout zijn. *in waarden die verrekend worden*

Uit de berekende lijnen kunnen nu de waarden van α en c worden benaderd. Voor de situatie dat h_x gelijk is aan h_{sl} is per definitie de afvoer gelijk aan nul, zodat de waarde die door extrapolatie van de lijn voor A-K wordt afgelezen precies de kwel in deze situatie geeft.

de kwel die uit de balansvergelijking

Volgens WESSELING (1969) varieert de stijghoogte van het diepe grondwater, gebaseerd op gegevens van SCHOLTE UBING (1963) in de omgeving van het proefobject, respectievelijk van 1,70 tot 1,50 m -NAP voor de zomer en de winter. Deze variatie in h_d is afhankelijk van de waterstand in de Lek. De aanname van een constante stijghoogte h_d van het diepe grondwater is dus enigszins aanvechtbaar. Om deze reden worden in tabel 3 grenzen voor c -waarden aangegeven.

Tabel 3. Waarden voor h_d en h_x in m -NAP, de kwel K in m.dag⁻¹ en de c -waarden in dagen

Object	h_d	h_x	K	Δh	c	
A-oost	-1,70	-2,35	0,0030	0,65	217	Zomer
	-1,50	-2,35	0,0030	0,85	283	winter
B-west	-1,70	-2,55	0,0039	0,85	218	Zomer
	-1,50	-2,55	0,0039	1,05	269	winter

Uit de hellingen van de lijnen kan nu ook een benadering worden gegeven van de α -waarden. Deze berekening is weergegeven in tabel 4;

Tabel 4. Berekende waarden van α in dagen⁻¹, als μ en c aanneemt als zijde bekend

Object	$\mu \alpha + \frac{1}{c}$	$\frac{1}{c}$	α	$1/\alpha$
A-oost	0,01162	0,00461	0,00701	143
B-oost	0,01162	0,00353	0,00809	124
B-west	0,01067	0,00459	0,00608	164
C-west	0,01067	0,00372	0,00695	144

Voor de berekening van de KD-waarde en de waarde van de slootweerstand w is aangenomen dat de slootweerstand de stroming niet meer beïnvloedt op drie meter afstand uit de sloot. Aangezien de balansperioden betrekking hebben op het zomerhalfjaar is de c -waarde gesteld op 220 dagen. Voor de horizontale stroming tussen twee punten in het perceel geldt de in de bijlage afgeleide stromingsformule:

$$A = \frac{(h_1 - h_2) \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDc}}}{\frac{x_2^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x_2^2} (\cosh \frac{x_2}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\} - \frac{x_1^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x_1^2} (\cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\}} \quad (6)$$

In deze vergelijking is x_1 de afstand van het meetpunt bij de gammabuizen ten opzichte van het midden van het perceel en $x_2 = \frac{1}{2} l - 3,0$. Met behulp van de berekende regressielijn voor het verband tussen de waargenomen grondwaterstanden tussen de punten x_1 en x_2 kon voor elke balansperiode de gemiddelde waarde van h_1 en h_2 worden bepaald. Aangezien tevens de gemiddelde waarde van A per balansperiode bekend is kan met behulp van vergelijking (6) de KD-waarde voor elk perceel worden berekend. Aangezien in tabel 4 de α wordt gegeven, kunnen hieruit ook de slootweerstand worden berekend. De resultaten van deze berekening zijn gegeven in tabel 5.

Tabel 5. De berekende gemiddelde waarden van de afvoer, $h_1 - h_2$, KD en de slootweerstand w

Object	Perceels- breedte m	Afvoer m. dag ⁻¹	$h_1 - h_2$ m	KD m. dag ⁻¹	w dag. m ⁻¹
A-oost	30	0,00286	0,09	1,9	2,8
B-west	60	0,00396	0,11	5,8	2,2

↓
m. dag⁻¹

DISCUSSIE

Door de grote hoeveelheden neerslag in de zomer van 1968 kon de oorspronkelijke vraagstelling naar de invloed van de diepe ontwatering op de watervoorziening van het grasland niet direct worden beantwoord. Bij de bewerking van de gegevens werd daarom vooral aandacht geschonken aan de bepaling van de hydrologische gegevens.

Gezien de grote onnauwkeurigheden in het basismateriaal zullen de conclusies uit deze bewerking met de nodige voorzichtigheid moeten worden gehanteerd.

Bij de bepaling van de hoeveelheid neerslag in een balansperiode speelde naast de variatie van de neerslaggegevens van de verschillende stations vooral de neerslaghoeveelheden op de meetdagen van de vochtinhoud van het profiel een belangrijke rol, omdat de vochtmetingen over alle objecten een volledige dag in beslag namen. De regenhoeveelheden op de meetdagen varieerden van 0 tot 23 mm. Door de relatief korte balansperioden kan een dergelijke variatie grote invloed uitoefenen op de als restterm berekende waarden van A-K.

Voor enkele dagen met grote hoeveelheden neerslag en een grote variatie in de dagneerslagen van de in tabel 1 gegeven regenstations werd met behulp van een groter aantal stations nagegaan of de neerslag van het station Benschop representatief mocht worden geacht voor het proefobject. Slechts in één geval kon met vrij grote zekerheid worden aangetoond, dat een grote neerslaghoeveelheid van 30 mm in Benschop niet representatief was voor

het proefobject. Een groot aantal stations oostelijk en noord-oostelijk van het proefobject gaven neerslaghoeveelheden van dezelfde orde of groter. De waarnemingsstations ten noorden, ten westen en ten zuiden van het proefobject gaven neerslaghoeveelheden die varieerden van 10 tot 15 mm. Ook uit de gegevens van de vochtmetingen in het profiel en uit grondwaterstands-waarnemingen kon een neerslaghoeveelheid van 30 mm voor die betreffende dag niet aannemelijk worden gemaakt. Op grond van al deze gegevens werd de neerslag voor die betreffende dag voor het proefobject gesteld op 13,5 mm.

Wordt er rekening gehouden met de variabiliteit van de neerslag zoals deze in tabel 1 is gegeven, terwijl bovendien de moeilijkheden bij de bepaling van de neerslagverdeling op de grenzen van de balansperioden een belangrijk aandeel heeft in de bepaling van de totale hoeveelheid, lijkt het zeker verantwoord om de onzekerheid in de neerslaghoeveelheid per balansperiode te stellen op ± 7 mm. Bij de lengte van de balansperioden van 1 week komt dit overeen met een fout van ± 1 mm. dag⁻¹.

Voor de berekening van de verdamping werd gebruik gemaakt van de meteorologische gegevens van De Bilt. Hoewel van dag tot dag verschillen in straling voorkomen tussen De Bilt en het proefobject, hebben deze voor de bepaling van de gemiddelde globale straling per balansperiode minder invloed. Een vergelijking van de gegevens van de globale straling gemeten in De Bilt en op het proefterrein Sinderhoeve te Renkum gaf voor de bij het onderzoek betrokken balansperioden ook geen grote verschillen in straling. Op grond van dit resultaat mag worden aangenomen dat een gelijke situatie optreedt voor De Bilt en het proefobject Hoenkoop. Hetzelfde geldt ten aanzien van temperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid.

De voornaamste oorzaak van fouten in de berekening van de verdamping zal zijn gelegen in de verschillen in gewashoogte in en buiten de graskooien. Uit berekeningen bleek, dat dit effect maximaal in de orde van grootte van 0,3 mm. dag⁻¹ was. Hierbij blijft een eventueel effect van de kooi zelf, door afremming van de windsnelheid als onbekende factor buiten beschouwing.

Uit andere onderzoeken (RIJTEMA, 1965) waarbij de bereken-

de verdamping van grasland met de verdamping volgens de waterbalans van lysimeters werd vergeleken bleek dat de mogelijke fout in de berekende verdamping in de orde van grootte van $0,3 \text{ mm. dag}^{-1}$ was. Door combinatie van de foutenbronnen kan de onnauwkeurigheid in de berekende verdamping worden gesteld op $\pm 0,4 \text{ mm. dag}^{-1}$.

Bij de bespreking van de vochtmetingen werd aangetoond, dat de meettechnische fout in de bepaling van de vochtonttrekking $\pm 1,5 \text{ mm}$ was. Bij een gemiddelde lengte van de balansperiode van 7 dagen komt dit neer op een onzekerheid van $\pm 0,2 \text{ mm. dag}^{-1}$.

Op grond van deze beschouwingen kan de fout in de restterm A-K van de waterbalansvergelijking gesteld worden op $\sqrt{(1,0)^2 + (0,4)^2 + (0,2)^2} = \pm 1,1 \text{ mm. dag}^{-1}$. Uit de bespreking van de grondwater-

standsmetingen bleek, dat deze metingen een aanzienlijke fout kunnen veroorzaken. De spreiding die in de figuren 6a en 6b aanwezig is, is op grond van deze beschouwingen volledig te verklaren.

Gezien de onnauwkeurigheid in het materiaal is het noodzakelijk om de uit fig. 6 afgeleide waarden van c , KD en w te vergelijken met resultaten van ander onderzoek. SCHOLTE UBING (1963) geeft als gemiddelde c -waarde van het afdekkende pakket (klei + veen + klei) 2800. Volgens een persoonlijke mededeling van WESSELING (1970) zou deze c -waarde tengevolge van een foutieve berekeningswijze zeker een factor 7 te hoog zijn. Bovendien wordt in de huidige berekening de c -waarde bepaald door de afdekkende laag tot ongeveer 80 cm maaiveld, waarbij de bovenste kleilaag niet in de berekening is betrokken. Op grond aan deze overwegingen lijkt de gevonden c -waarde tussen 200 en 300 beslist niet onaannemelijk.

Ten aanzien van de berekende waarden van KD en w is een vergelijking mogelijk met de door WESSELING (1969) berekende gegevens.

Op grond van de analyse van grondwaterstandsgegevens berekende Wesseling voor B-west een KD- en een w -waarde van resp. 15,8 en 2,8 en voor C-west resp. 4,6 en 4,5. Gegevens voor A-oost worden door Wesseling niet vermeld. Vergelijken we de gegevens van B-west van Wesseling met de in tabel 5 vermelde gegevens, dan blijkt er een zeer goede overeenstemming te zijn. De sterk afwijkende KD-waarde van het A-object, zal vermoedelijk door een andere profielopbouw worden veroorzaakt. Op basis van deze resul-

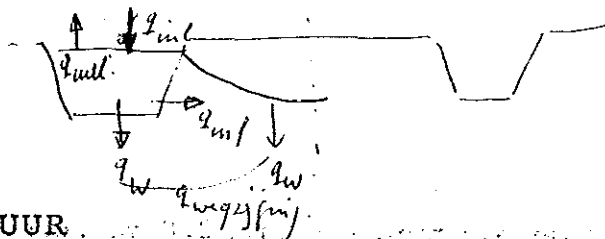
taten kan worden geconstateerd, dat de gevolgde werkwijze tot acceptabele waarden van de hydrologische constanten heeft geleid.

Nu de hydrologische constanten van de beide objecten op een redelijke wijze bekend zijn, is het mogelijk om een indicatie te geven van de gevolgen van peilverlaging op de waterhuishouding van de percelen. Bij de berekeningen is uitgegaan van een maaiveldhoogte van 1,50 m -NAP een effectieve wortelzone gelijk aan de dikte van het kleidek van 0,40 m, slootpeilen op resp. 2,55, 2,30, 2,05 en 1,80 m -NAP. Verder is aangenomen, dat de door RIJTEMA (1965) bepaalde waarden voor het capillair van veengrond uit Kamerik (Utrecht) ook kunnen worden toegepast voor het geleidingsvermogen van het veenprofiel in Hoenkoop. De resultaten van de berekeningen zijn voor een aantal perceelsbreedten weergegeven in fig. 7. Langs de verticale as is de afvoer (q_0) van de neerslag (positieve waarden) en de capillaire opstijging van het grondwater (negatieve waarden) uitgezet tegen de stijghoogte (H) van het ondiepe grondwater in m -NAP. De rechte lijnen geven het verband tussen afvoer en hoogte boven het grondwater voor verschillende slootpeilen. De curve in deze figuren geeft de lijn voor de maximale capillaire opstijging indien de wortelzone volledig uitgeput is. De snijpunten tussen deze curven en de rechte lijnen geven de diepste grondwaterstanden die op het midden van het perceel kunnen optreden. Als het maaiveld op een ander peil ligt of de diepte van het kleidek kleiner is, kan door verschuiving van de curve voor maximale capillaire opstijging naar links of naar rechts de situatie voor andere maaiveldhoogten op eenvoudige wijze worden geanalyseerd. Het valt in alle figuren op, dat bij een hoog polderpeil, de afvoer van overtollige neerslag, door middel van oppervlakteafvoer moet geschieden. Alleen bij de smalle percelen worden bij een diep polderpeil met de hydrologische constanten van B-west redelijke afvoerintensiteiten door het profiel bereikt. Bij een aangenomen slootpeil van 2,55 m -NAP blijft de diepste grondwaterstand in alle gevallen boven het slootpeil. Bij de andere slootpeilen kan de grondwaterstand beneden het polderpeil dalen. De daling van de grondwaterstand tengevolge van een peilverlaging van 1,80 m -NAP tot 2,55 m -NAP is maximaal 0,24 m. De consequenties voor de maximale capillaire opstijging zijn belangrijk. In het uiterste geval loopt deze waarde terug van 7 mm dag^{-1} tot $2,3 \text{ mm dag}^{-1}$. Indien de waarden van A-oost aanwezig zijn, dan loopt deze

waarde terug van $4,2 \text{ mm. dag}^{-1}$ tot $2,8 \text{ mm. dag}^{-1}$.

Verder geven de 0-waarden van de afvoer van de neerslag de grondwaterstand aan waarbij de kwel en de totale afvoer met elkaar in evenwicht zijn. Deze waarden geven de diepste grondwaterstanden in het perceel wanneer de verdamping gelijk is aan 0. Indien wordt aangenomen, dat de waarde van de stijghoogte van het diepe grondwater in de winter niet stijgt geven deze waarden de diepste grondwaterstanden in de winter.

Uitgezonderd de smalle percelen met gunstige hydrologische eigenschappen, tonen alle gegevens aan, dat de ontwatering van de percelen ook bij een diep polderpeil matig tot slecht is bij langdurige natte perioden. Een verlaging van het polderpeil beïnvloedt de watervoorziening van het gewas, maar door de kwel is bij het diepste polderpeil in het ongunstigste geval toch altijd nog een maximale capillaire opstijging van 2 mm dag^{-1} te verwachten, waardoor een sterke verdroging in redelijk droge zomers niet is te verwachten.



LITERATUUR.

RIJTEMA, P.E., 1965, An analysis of actual evapotranspiration. Agric. Res. Rep. 659, Pudoc Wageningen : 107 p.

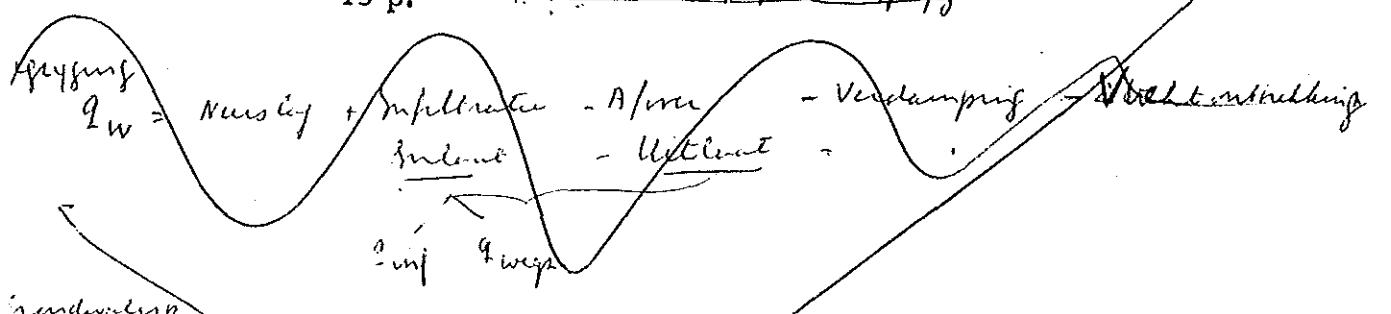
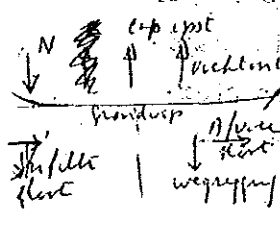
RIJTEMA, P.E., 1969, The calculation of non-parallelism of gamma access tubes, using soil sampling data. Inst. Land and Water Man. Res. Techn. Bull. 67: 6 p.

RIJHINER, A.H. and J. PANKOW, 1969, Soil moisture measurement by the gamma transmission method. Inst. Land and Water Man. Res. Techn. Bull. 66: 11 p.

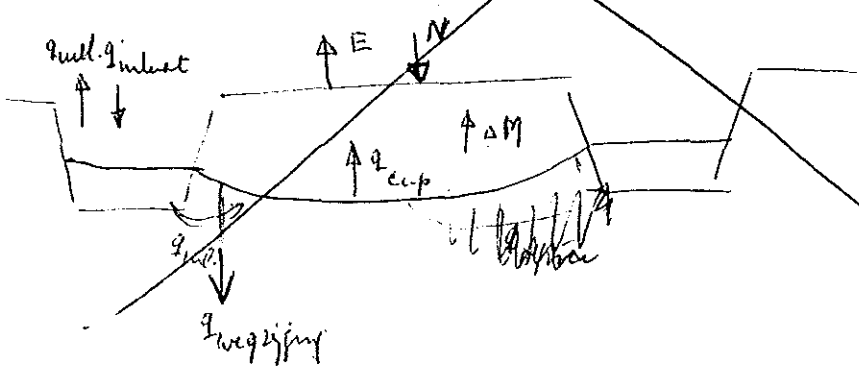
SCHOLTE UBING, D.W., Agro-hydrologische onderzoekingen ten behoeve van de landbouwwaterhuishouding en waterbeheersing in Utrecht. Deel I. ZW Utrecht, Lopikerwaard, Prov. Waterstaat Utrecht, 78 p.

SCHOTHORST, C.J., 1968, Verslag van het ontwateringsproefobject in de Lopikerwaard over 1968, ICW Nota 503, 18 p.

WESSELING, J., 1969, Enkele resultaten van het hydrologisch onderzoek op het ontwateringsobject Hoenkoop. ICW Nota 510, 13 p.



$$Nurslag (N) = \text{infiltratie} + \text{cap opst. } (q_c) + \text{vochtinhoud } (\Delta M) + \text{A/over} + \text{wiegrijping} \text{ (uitlaat)} \text{ } (q_w)$$



$$q_{\text{wezijning}} = q_{\text{wezijning}} \frac{h_d - h_x}{c}$$

$$q_{\text{inf}} = \frac{h_s - h_x}{\gamma}$$

$$q_{\text{inlaat}} = q_{\text{inf}} + q_{\text{wezijning}}$$

$$q_{\text{netto}} = q_{\text{inl}} - q_{\text{outl}} = q_{\text{inf}} + q_{\text{wezijning}} - q_{\text{inlaat}}$$

bijlage 1-1

VERBAND TUSSEN DE GEMIDDELDE GRONDWATERSTAND EN DE GEMIDDELDE AFVOER VOOR PERCELEN MET KWEL

Voor de berekening van de gemiddelde afvoer per balansperiode uit percelen met kwel kan worden uitgegaan van de volgende vergelijking voor stationaire stroming:

$$u = -q_u - q_w$$

$$V_K = \underbrace{q_o}_{\text{afvoer neerslag}} + \underbrace{\frac{1}{c}(h_d - h_x)}_{\text{wezijning}} = KD \frac{d^2 h}{dx^2} \quad (\text{m dag}^{-1}) \quad (1)$$

Hierin is:

- q_o = afvoer neerslag in m/dag
- c = weerstand afdekkend pakket in dagen
- h_d = stijghoogte diepe grondwater in m
- h = stijghoogte ondiepe grondwater in m
- K = horizontale doorlatendheid van het bovenste pakket in m/dag
- D = dikte van het bovenste doorlatende pakket in m

De algemene oplossing van vergelijking (1) is:

$$h = C_1 e^{\frac{x}{\sqrt{KDc}}} + C_2 e^{-\frac{x}{\sqrt{KDc}}} + cq_o + h_d \quad (2)$$

Deze vergelijking kan als volgt worden herschreven:

$$h = A \sinh \frac{x}{\sqrt{KDc}} + B \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} + cq_o + h_d \quad (3)$$

+ Kwel
d_{kw}

Voor de bepaling van de integratie constanten A en B gelden voor het midden van het perceel de volgende voorwaarden:

$$\downarrow$$

$$x = 0 \quad \frac{dh}{dx} = 0 \quad (4)$$

$$x = 0 \quad h = H \quad (5)$$

Uit (3) volgt:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{A}{\sqrt{KDc}} \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} + \frac{B}{\sqrt{KDc}} \sinh \frac{x}{\sqrt{KDc}} \quad (6)$$

Uit voorwaarde (4) volgt dat de integratieconstante $A = 0$.
 Voorwaarde (5) geeft in (3):

$$H = B + cq_0 + h_d \quad (7)$$

$$\text{of: } B = H - h_d - cq_0 \quad (7a)$$

Invullen van de constanten in (3) geeft:

$$q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h) = \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \cosh \frac{x}{KDc} \quad (8)$$

Voor de horizontale stroming geldt nu:

$$\frac{x}{c} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h) \right] = - KD \frac{dh}{dx} \quad (9)$$

Combinatie met (8) geeft:

$$\frac{x}{c} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} = - KD \frac{dh}{dx} \quad (10)$$

Hieruit volgt:

$$\sqrt{KDc} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \sinh \frac{x}{\sqrt{KDc}} = - KD \frac{dh}{dx} \quad (11)$$

Integratie van deze vergelijking geeft:

$$\frac{1}{2} \sqrt{KDc} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \sinh \frac{x}{\sqrt{KDc}} = - KD \frac{h_1}{H} dh \quad (12)$$

$$KDc \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \left(\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1 \right) = KD (H - h_1) \quad (13)$$

Hieruit volgt:

$$\sqrt{K} = q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) = \frac{8 KD}{1 + \frac{8 KDc}{1} \left(\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1 \right)} (H - h_1) \quad (14)$$

Voor de radiale slootweerstand volgt uit (11):

$$2\sqrt{KDc} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} = \frac{h_1 - h_c}{W} \quad (15)$$

Hieruit volgt:



$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{h_1 - h_s}{wl \left\{ \frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} \right\}} \quad (16)$$

Combinatie van de vergelijkingen (14) en (16) geeft:

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{H - h_{s1}}{wl \left\{ \frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} \right\} + \frac{1^2}{8KD} \frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1)} \quad (17)$$

→ Vergelijking (17) geeft de invloed van de aanname van een constante kwel over het profiel op de gevonden waarden van de w en $\frac{1}{8KD}$. In tabel 1 worden de waarden van de twee hyperbolische functies gegeven in afhankelijkheid van de waarde van $\frac{1}{KDc}$.

Tabel 1. Waarden van $\frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}}$ en $\frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1)$ in afhankelijkheid van $\frac{1}{KDc}$

$\frac{1^2}{KDc}$	$\frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}}$	$\frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1)$
0,0004	1,00	1,00
0,0036	1,00	1,00
0,01	1,00	1,00
0,04	1,00	1,00
0,09	1,00	1,00
0,16	1,01	1,00
0,36	1,02	1,01
0,64	1,03	1,01
<u>1,00</u>	1,04	<u>1,02</u>
√ 1,44	1,06	1,03
√ 1,96	1,08	1,04
2,56	1,11	1,05
3,24	1,14	1,07
4,00	1,18	1,09
5,76	1,26	1,13
7,84	1,36	1,17

(vervolg tabel 1)

10,24	1,48	1,23
12,96	1,63	1,30
16,00	1,81	1,38

→ Uit deze tabel blijkt, dat eerst voor waarden van $\frac{l^2}{K D c}$ groter dan 1,00 de invloed van de niet homogene kwelverdeling belangrijk gaat toenemen bij de bepaling van de afvoerconstanten.

Indien de grondwaterstand niet midden op het perceel wordt gemeten is een andere uitwerking van de relaties noodzakelijk.

Uitgaande van:

Analoog aan
verf. 12: →

$$\int_0^x \sqrt{K D c} \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \sin' \frac{x}{\sqrt{K D c}} = - K D \frac{h}{H} x \quad dh \quad (18)$$

Integratie geeft:

$$K D c \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] (\cosh \frac{x}{\sqrt{K D c}} - 1) = - K D (h_x - H) \quad (19)$$

$$\text{of: } \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{h_x - H}{- \frac{x^2}{2 K D} \left\{ \frac{2 K D c}{x^2} (\cosh \frac{x}{\sqrt{K D c}} - 1) \right\}} \quad (20)$$

Tevens geldt:

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{H - h_1}{\frac{l^2}{8 K D} \left\{ \frac{8 K D c}{l^2} (\cosh \frac{l}{2 \sqrt{K D c}} - 1) \right\}} \quad (21)$$

Combinatie van beide vergelijkingen geeft:

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{h_x - h_1}{\frac{l^2}{8 K D} \left\{ \frac{8 K D c}{l^2} (\cosh \frac{l}{2 \sqrt{K D c}} - 1) - \frac{x^2}{2 K D} \left\{ \frac{2 K D c}{x^2} (\cosh \frac{x}{\sqrt{K D c}} - 1) \right\} \right\}} \quad (22)$$

Nemen we tevens het effect van de slootweerstand in beschouwing dan geldt:

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] = \frac{h_x - h_{sl}}{w_1 \left\{ \frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} \right\} + \frac{1^2}{8KD} \left\{ \frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1) \right\} - \frac{x^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x^2} (\cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\}} \quad (23)$$

Aangezien tevens geldt:

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h_x) \right] = \left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - H) \right] \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} \quad (24)$$

kan deze vergelijking worden herschreven als:

②

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h_x) \right] = \frac{(h_x - h_{sl}) \cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}}}{w_1 \left\{ \frac{2\sqrt{KDc}}{1} \sinh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} \right\} + \frac{1^2}{8KD} \left\{ \frac{8KDc}{1^2} (\cosh \frac{1}{2\sqrt{KDc}} - 1) \right\} - \frac{x^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x^2} (\cosh \frac{x}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\}} \quad (25)$$

Uit vergelijking 20 kan op eenvoudige wijze het verband tussen de horizontale stroming en de grondwaterstanden op twee meetpunten op een afstand van resp. x_1 en x_2 uit het midden van het perceel worden bepaald. De afgeleide relatie is als volgt:

⑥

$$\left[q_0 + \frac{1}{c} (h_d - h_1) \right] = \frac{(h_1 - h_2) \cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDc}}}{\frac{x_2^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x_2^2} \cosh \frac{x_2}{\sqrt{KDc}} - 1 \right\} - \frac{x_1^2}{2KD} \left\{ \frac{2KDc}{x_1^2} (\cosh \frac{x_1}{\sqrt{KDc}} - 1) \right\}} \quad (26)$$

→ KD

Fig. 1

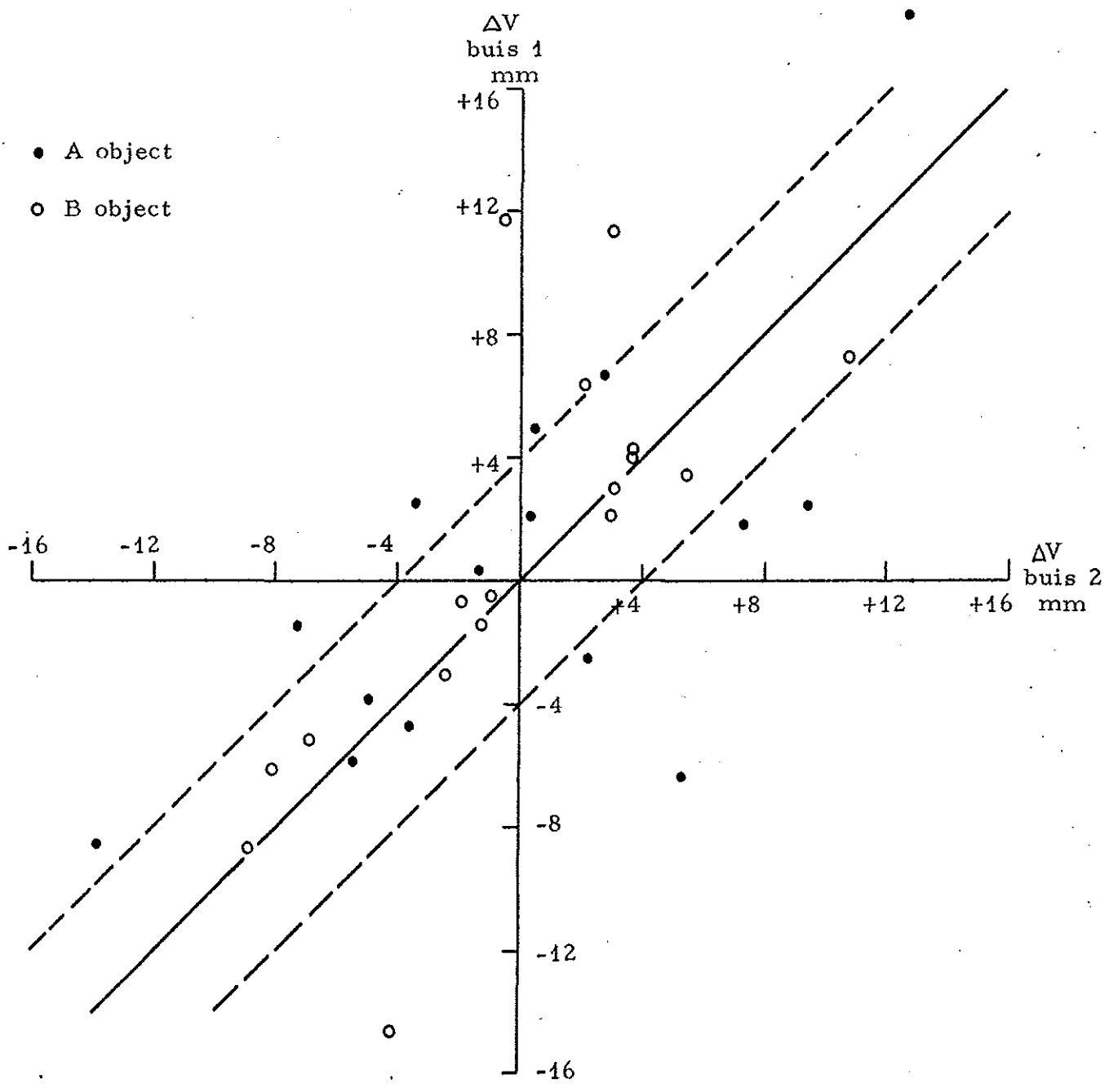


Fig. 2

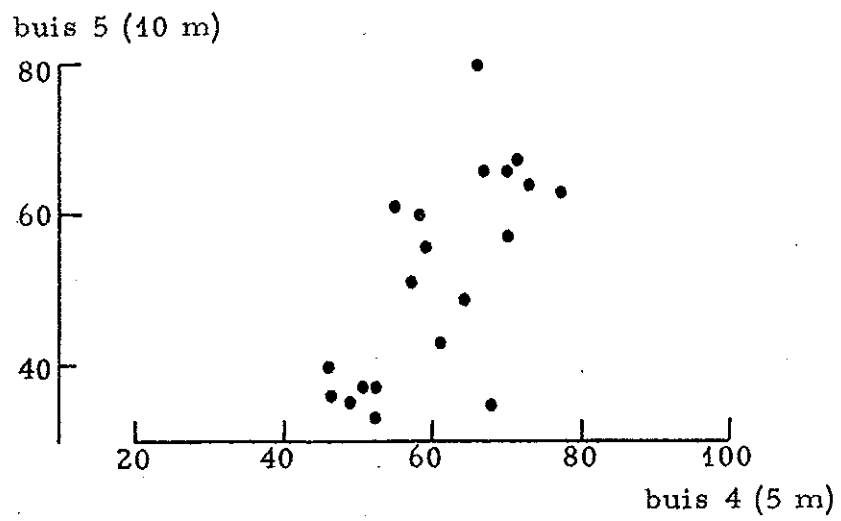
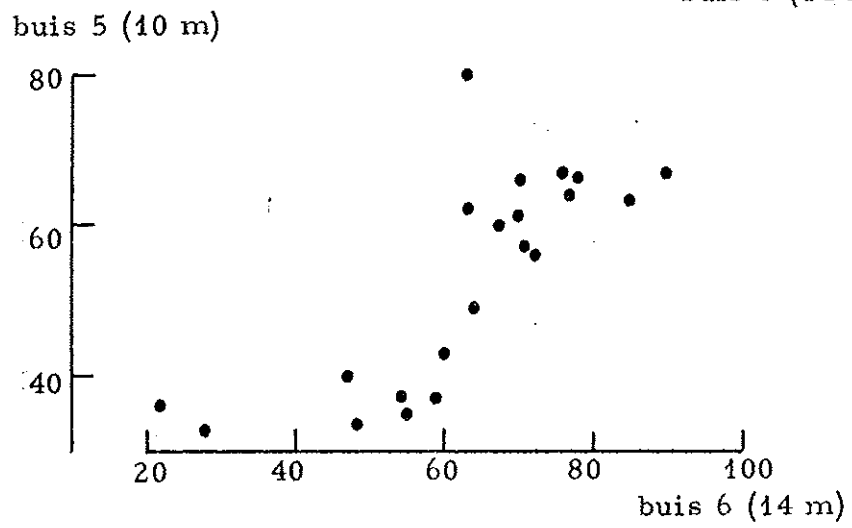
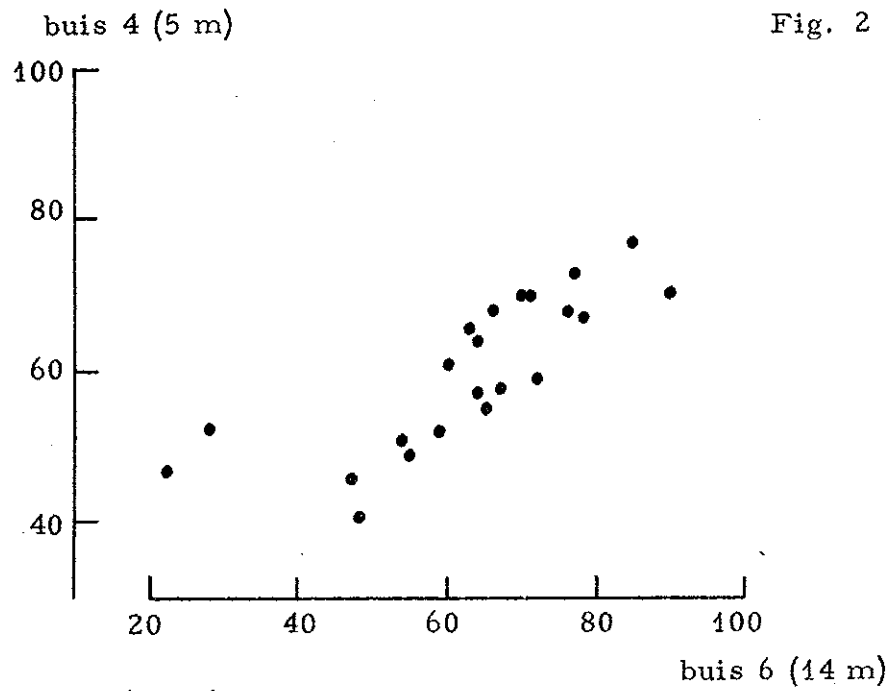


Fig. 3

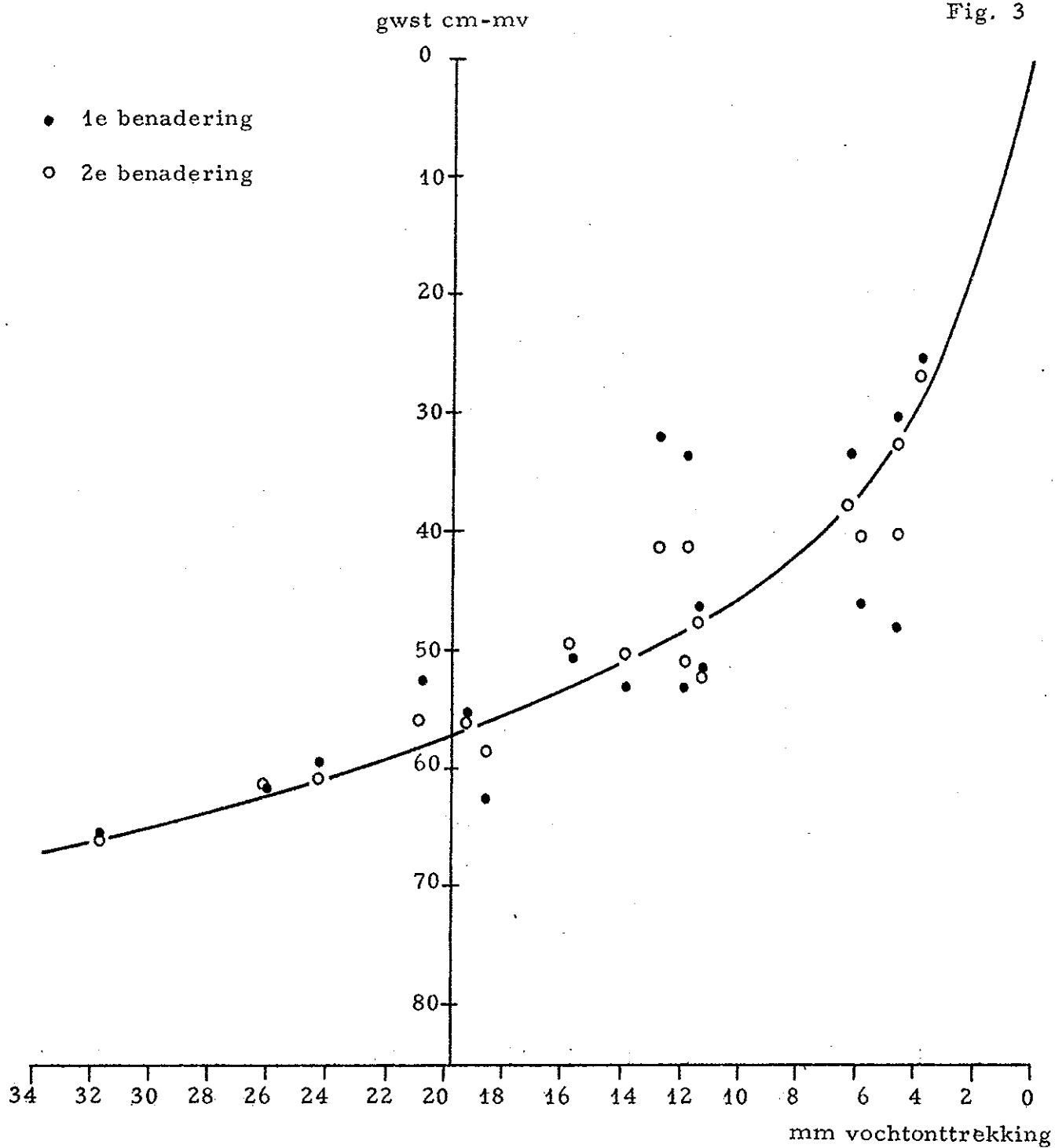


Fig. 4

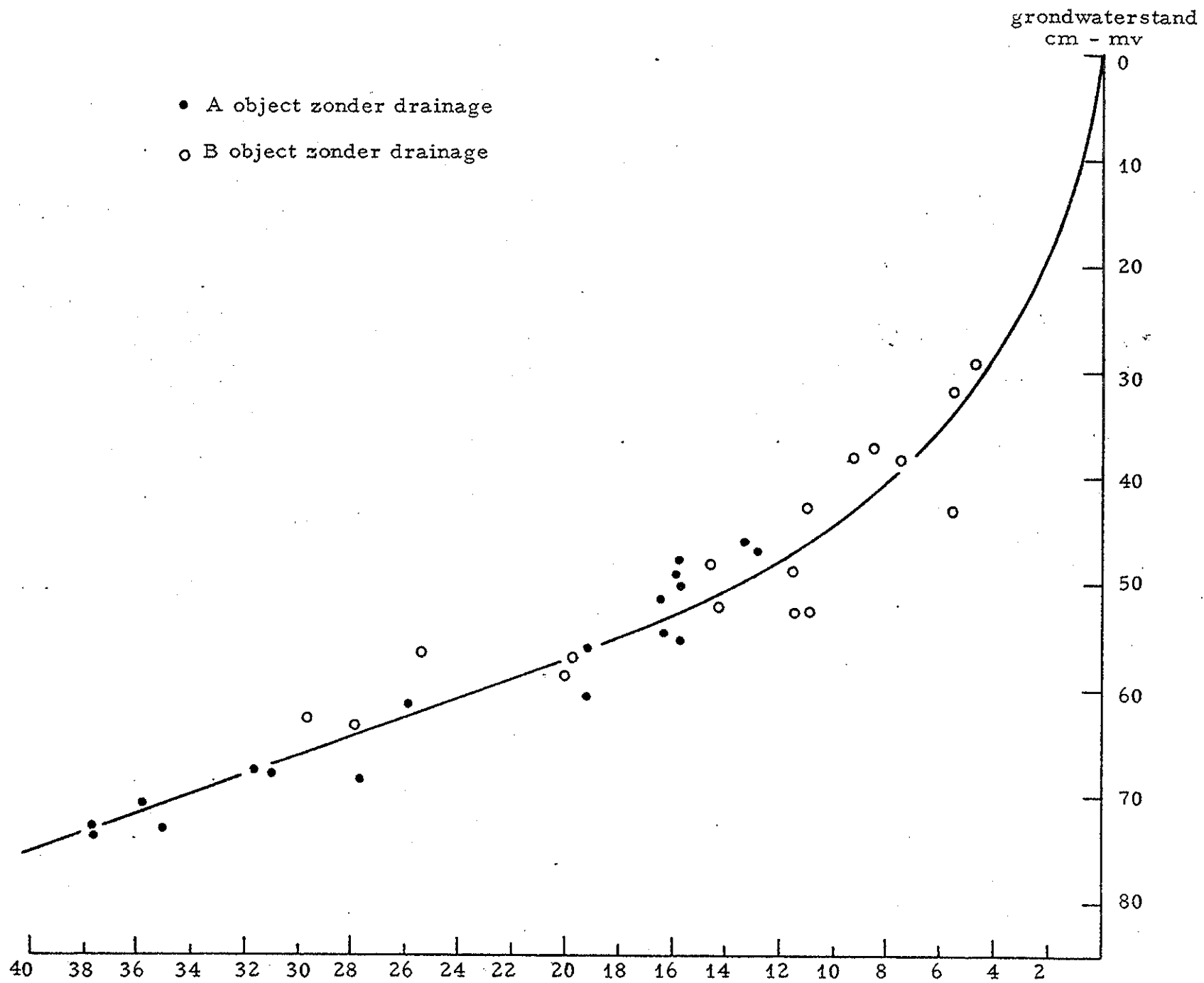


Fig. 5a

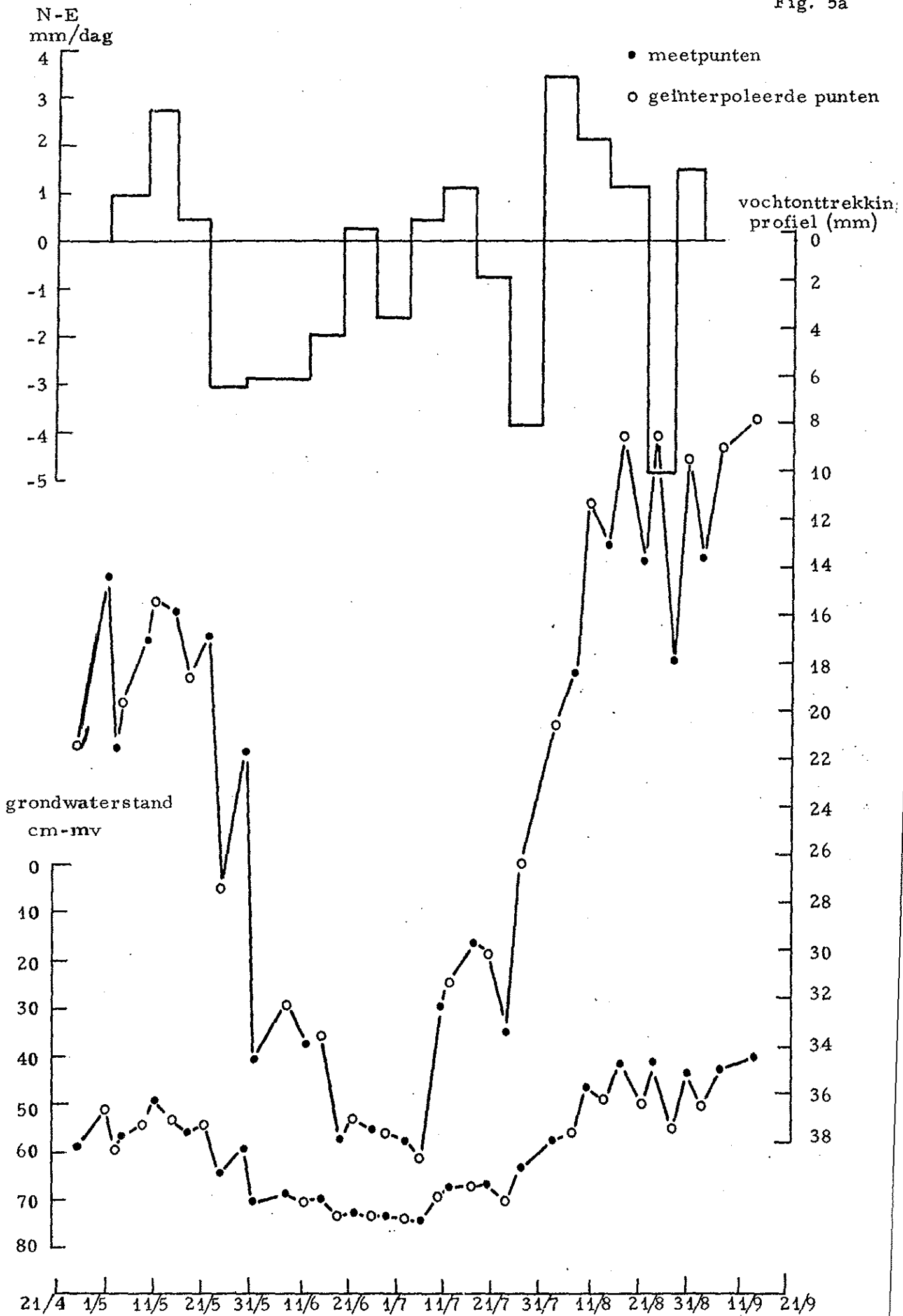


Fig. 5b

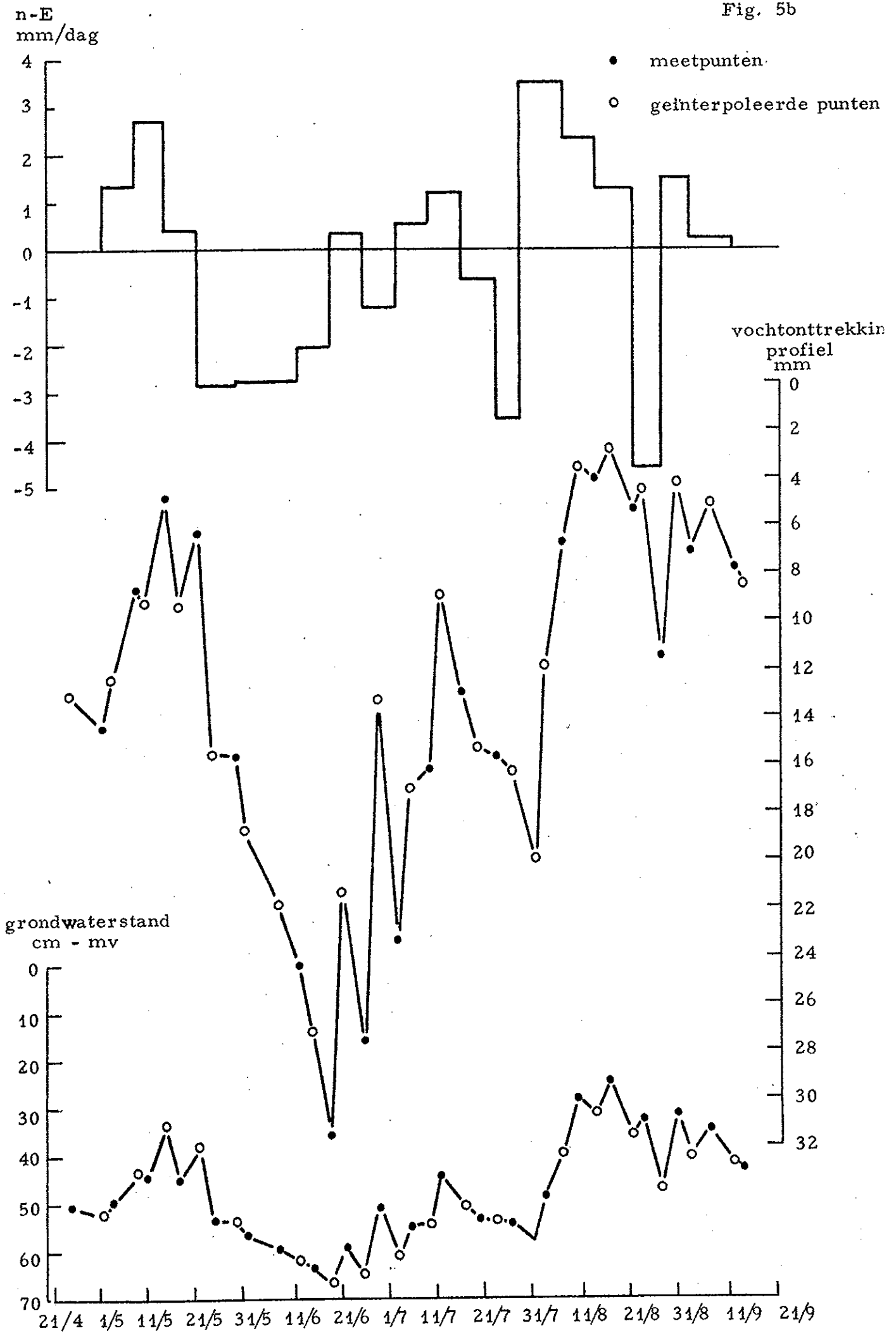


Fig. 6

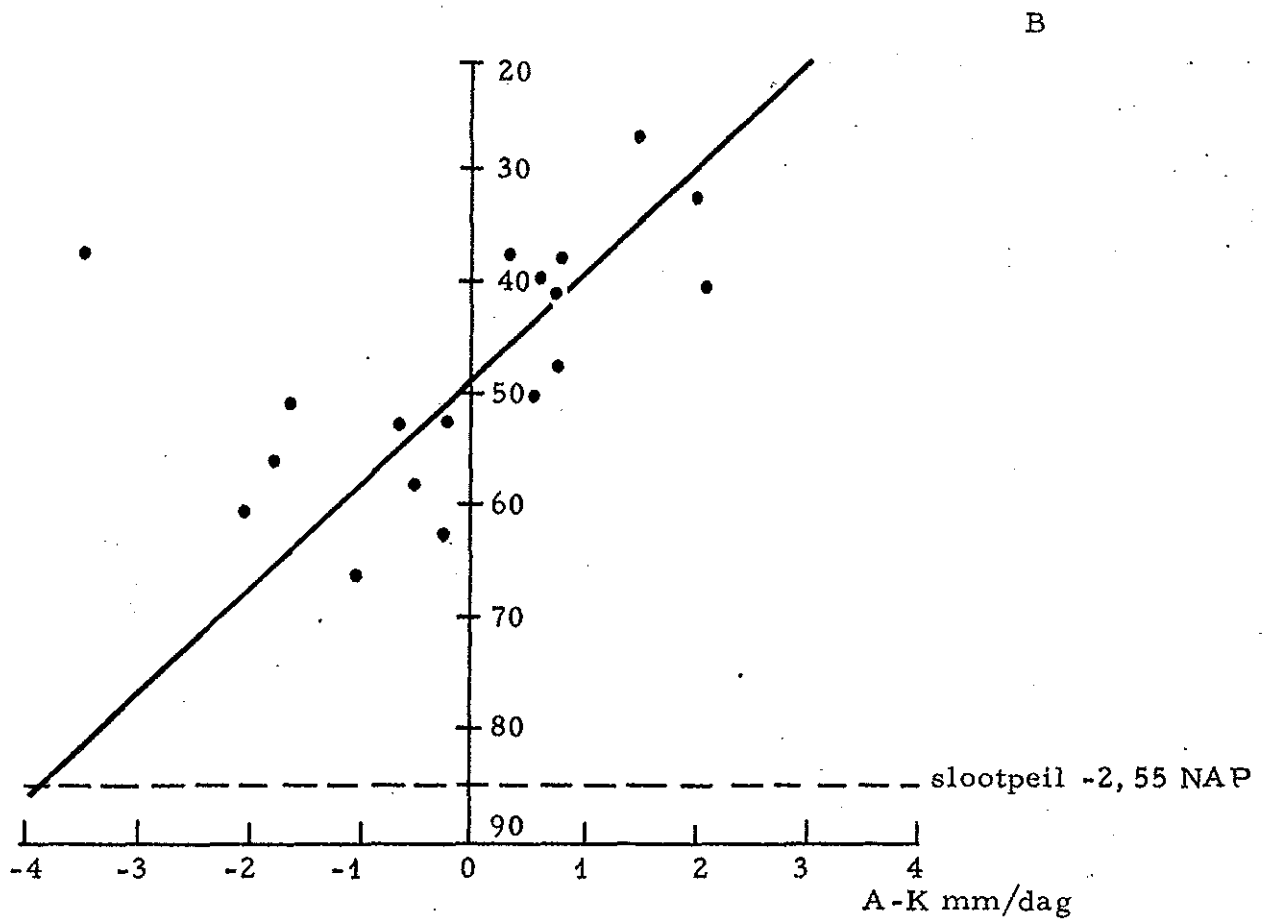
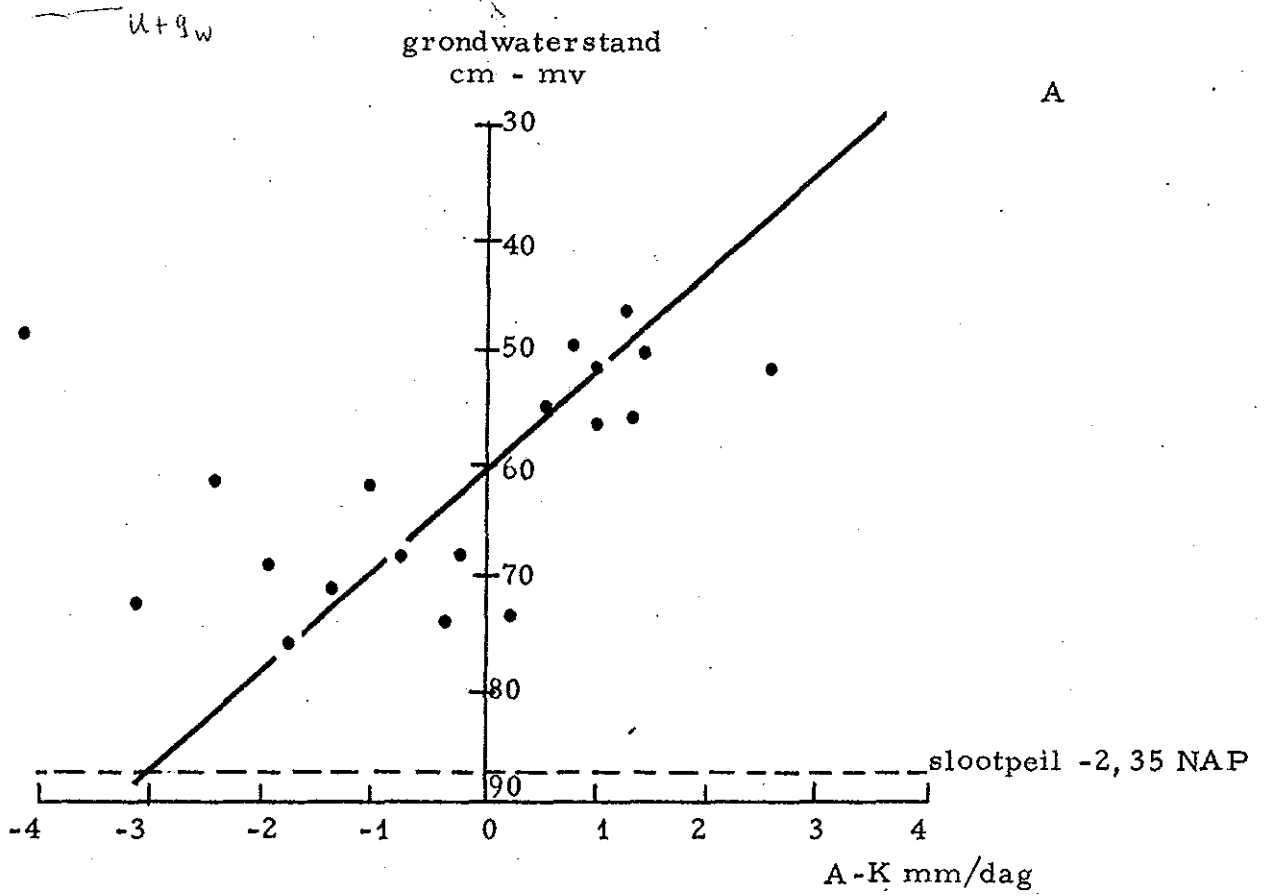


Fig. 7a

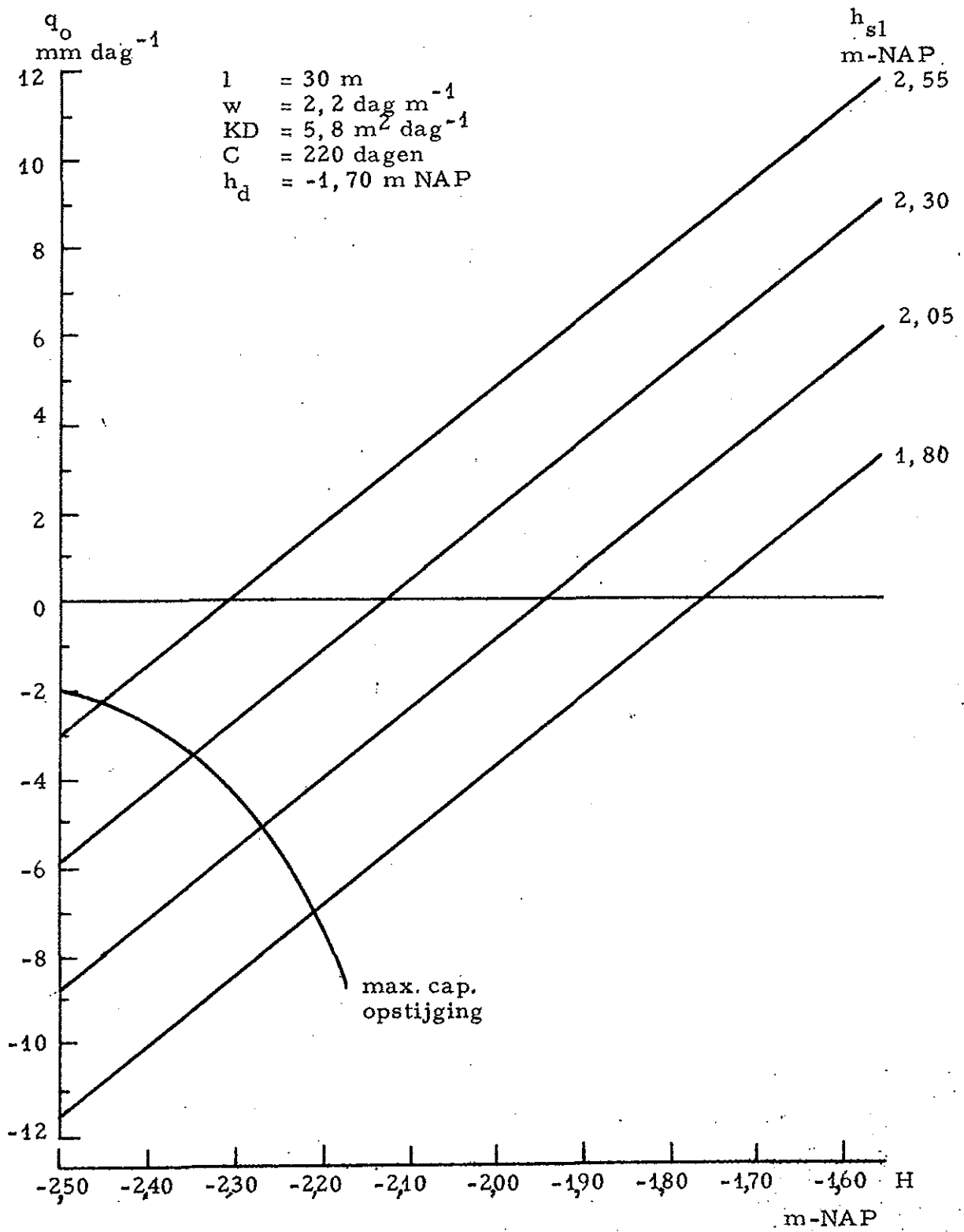


Fig. 7b

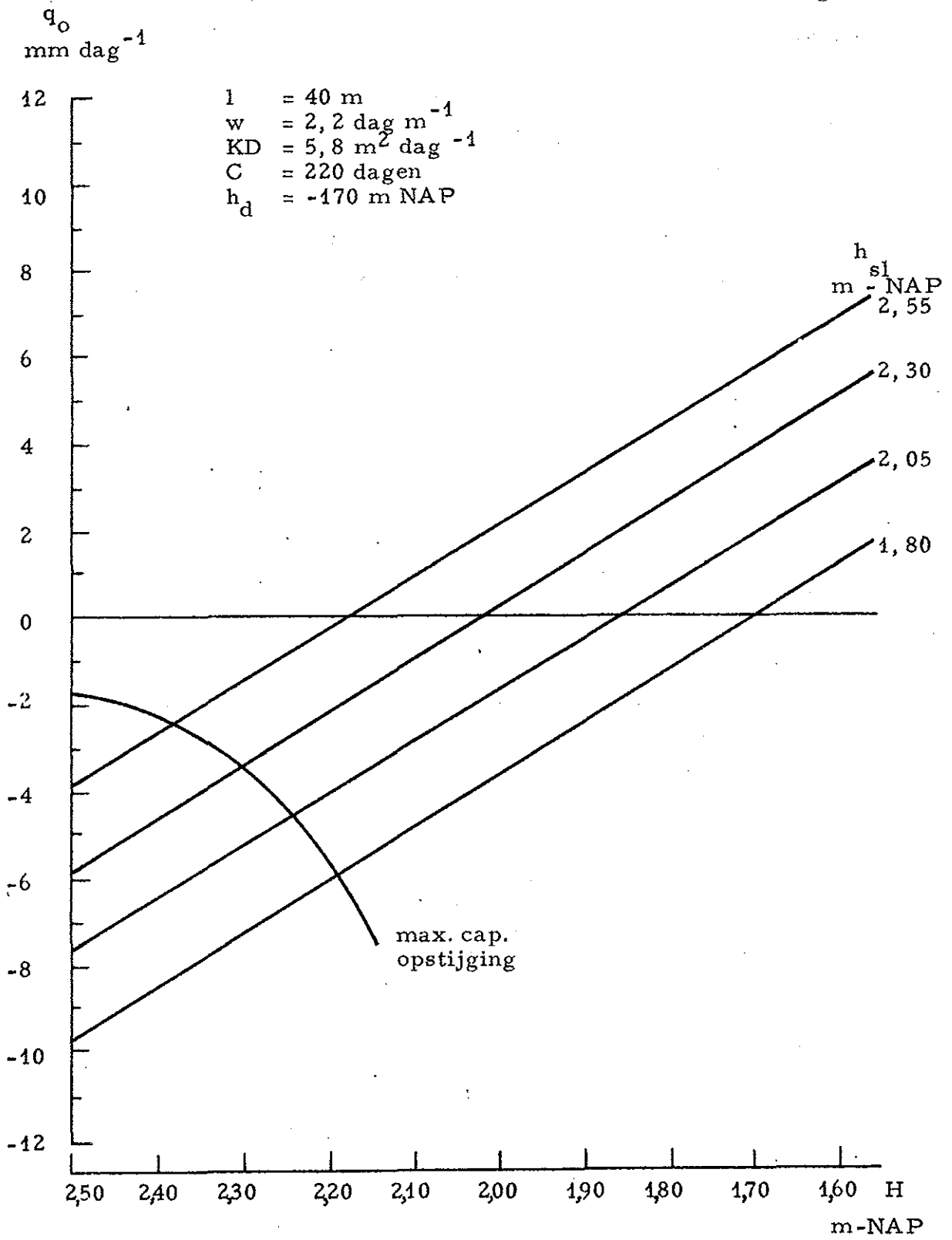


Fig. 7c

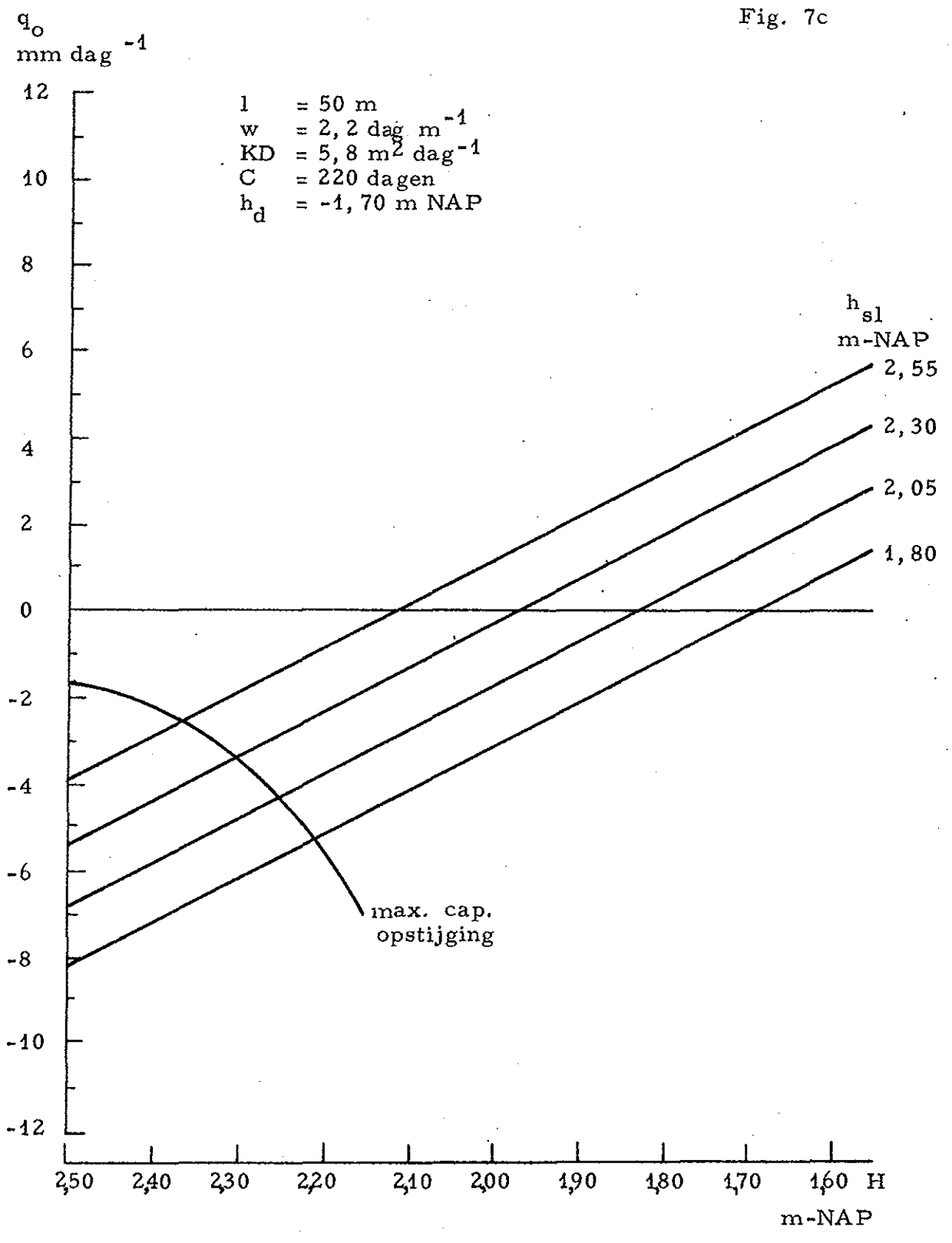


Fig. 7d

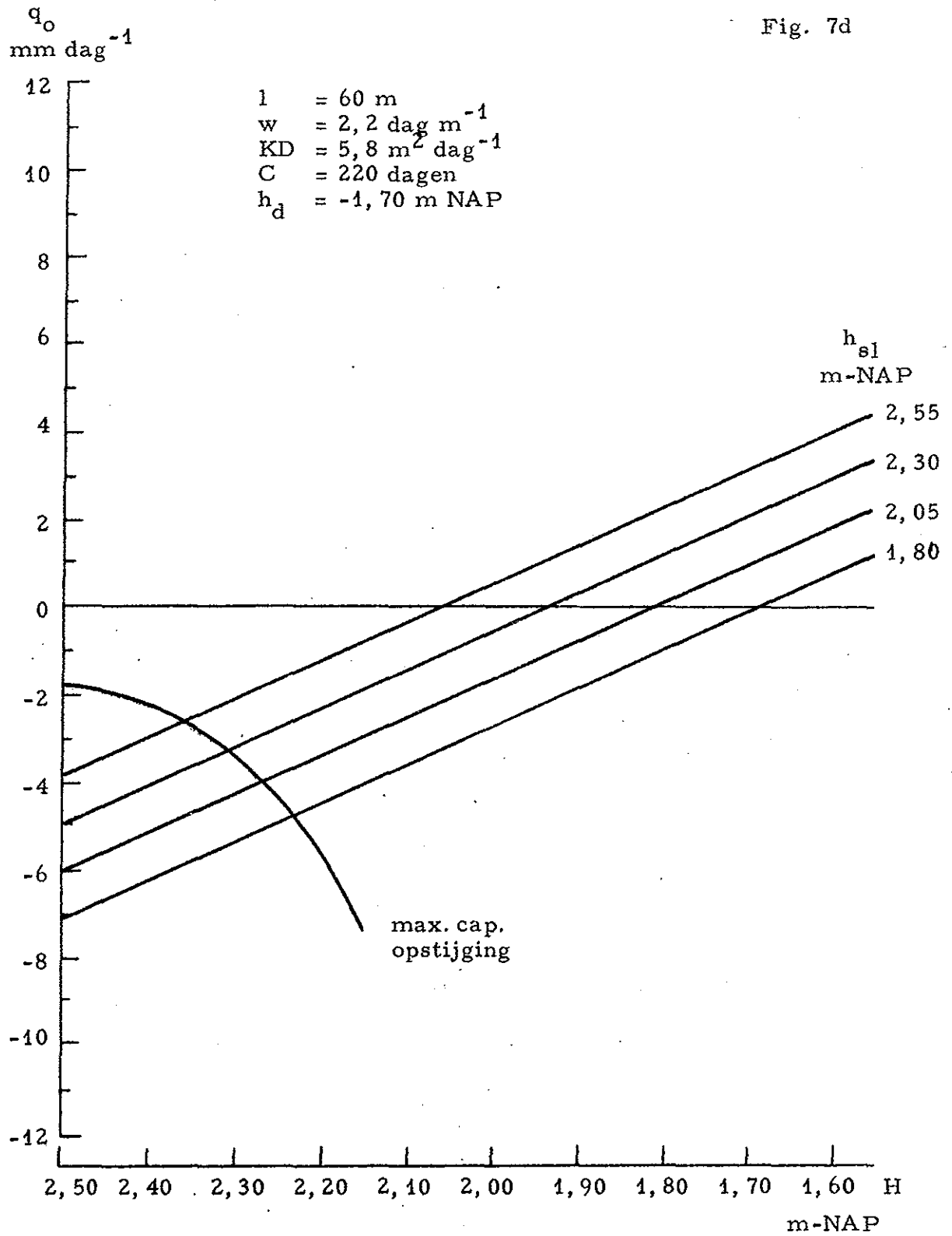


Fig. 7g

