

ICW Nota 1884 II  
Juli 1988

BIBLIOTHEEK  
STARINGEBOUW



nota

instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen

BEREKENING VAN DE WEGZIJGING UIT HET HOOFDKANAAL  
VAN DE TWENTHEKANALEN

(trajekt Eefde - Lochem)

ing. K.E. Wit  
J.G. te Beest  
ing. H.Th.L. Massop



Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatie-  
middelen, 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

25 AUG. 1989

ISBN 276645\*

INHOUD

	blz.
1. INLEIDING	2
2. LIGGING VAN DE STROKEN	3
3. GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING	4
4. INDELING IN ELEMENTEN	5
5. BENODIGDE INVOERGEGEVENS	6
5.1 Algemeen	6
5.2 Invoergegevens per knooppunt	6
5.3 Bepaling van de drainageweerstand	8
6. DE KANAALWEERSTAND	12
7. UITGEVOERDE BEREKENINGEN	16
8. SAMENVATTING	21
LITERATUUR	22
LIJST MET BIJLAGEN	23

## 1. INLEIDING

In het kader van de voorgenomen verruiming van het Hoofdkanaal van de Twenthekanalen wordt door Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/Rijks Instituut voor Zuivering van Afvalwater (DBW/RIZA), onderzoek uitgevoerd in een 500 m brede strook aan weerszijden van het kanaal tussen Eefde en Lochem. Het onderzoek is met name gericht op de berekening van de wegzijging vanuit het kanaal in zowel de huidige situatie als in de toekomstige, wanneer het kanaal zal zijn verbreed van 50 tot 60 meter, met tegelijkertijd een aanpassing van het kanaalprofiel.

De mogelijke consequenties voor de landbouw tengevolge van kwel in de aanliggende gronden langs het kanaal worden bij het onderzoek betrokken. Bij het onderzoek door DBW/RIZA wordt gebruik gemaakt van het model GELGAM. Als aanvulling op de met dit model uit te voeren berekeningen, met het accent op een nadere precisering alsmede gevoeligheid van de benodigde hydrologische parameters, zijn door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) met de stationaire versie van het model FEMSAT; (FEMSATS) (QUERNER, 1984) berekeningen uitgevoerd in een tweetal stroken loodrecht op het kanaal.

## 2. LIGGING VAN DE STROKEN

In bijlage 1 is de ligging van de stroken aangegeven. De keuze betreffende de lokatie hiervoor is in overleg met DBW/RIZA gemaakt op grond van een aantal overwegingen, namelijk:

- de aanwezigheid van een raai grondwaterstandsbuizen, zodat toetsing van berekende aan gemeten grondwaterstanden mogelijk is.
- een uiteenlopende geohydrologische situatie: ter plaatse van strook 1 komt een 1e scheidende laag voor, hetgeen leidt tot een onderscheiding van 2 watervoerende pakketten. Ter plaatse van strook 2 ontbreekt deze scheidende laag, zodat hier slechts met 1 watervoerend pakket rekening dient te worden gehouden.
- zowel de Afwatering van Trekop als van de Herkel, resp. strook 1 en 2, zijn in de winter 86/87 niet dichtgevroren, hetgeen zou kunnen wijzen op een sterke kwel als gevolg van wegzijging vanuit het kanaal of althans op een hoge ontwateringsintensiteit.
- met name in strook 1 ten zuiden van en grenzend aan het kanaal is sprake van verdrassing.
- de 2 stroken geven globaal een representatief beeld van de hydrologische situatie aan weerszijden van het kanaal tussen Eefde en Lochem.

## 3. GEOHYDROLOGISCHE SCHEMATISERING

De geohydrologische opbouw van het hydrologisch pakket dat bij het onderzoek is betrokken kan als volgt worden geschematiseerd (WIT e.a., 1987):

		c-waarde (d)	kD-waarde ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )
strook 1:	* afdekkend pakket	10	-
4 lagen	* 1e watervoerend pakket	-	450
	* 1e scheidende laag	10 (10 - 500)	-
	* 2e watervoerend pakket	-	950
	* hydrologische basis	.	-
strook 1:	* afdekkend pakket	10	-
2 lagen	* watervoerend pakket	-	1400
	* hydrologische basis	.	-
strook 2:	* afdekkend pakket	10	-
2 lagen	* watervoerend pakket	-	1500
	* hydrologische basis	.	-

Voor de c-waarde of hydraulische weerstand van het afdekkend pakket is in het model 10 d ingevoerd in plaats van de waarde van 5 d, welke is verkregen uit het hiervoor verrichte hydrologisch onderzoek (WIT e.a., 1987). Uit boringen en sonderingen in de naaste omgeving van het kanaal volgt de aanwezigheid van een 1e scheidende laag. Het betreft hier wellicht een betrekkelijk smalle verbreiding langs het kanaal tot globaal de oostelijke begrenzing van strook 1. De hydrologische functie als weerstandbiedende laag, gebaseerd op de gemeten waterspanningen tijdens het sonderen, is naar alle waarschijnlijkheid gering. In dit verband is een berekening uitgevoerd met een c-waarde van 500 en 10 d voor resp. het gebied binnen een afstand van 500 m tot het kanaal en het overige deel van de strook en een berekening met een c-waarde van 10 d voor het gehele gebied. Daarnaast is voor strook 1 tevens de situatie doorgerekend waarbij 1 watervoerend pakket is onderscheiden (2 lagen).

#### 4. INDELING IN ELEMENTEN

De 2 stroken zijn 800 m breed en 4050 m lang (2000 m aan beide kanten van het 50 m brede kanaal). In bijlage 2 en 3 is de ligging van de knooppunten voor beide stroken weergegeven. De nummers 1 t/m 5 van de knooppunten zijn toegekend aan het kanaal. Ter plaatse van de Berkel, Eefsche Beek en in de naaste omgeving van het kanaal heeft een verdichting van het netwerk plaatsgevonden. De nummering is van toepassing op alle bij de berekening betrokken lagen, vanaf maaiveld is hieraan een volgnummer toegekend.

## 5. BENODIGDE INVOERGEGEVENS

### 5.1. Algemeen

In de stroken kan langs de rand alleen over de breedte (korte zijde) een grondwaterstroming plaatsvinden door het watervoerend pakket. De mate waarin aan- of afvoer door de ondergrond plaatsvindt, is afhankelijk van de ligging van de begrenzing en de randvoorwaarden in de betreffende knooppunten. In het algemeen dient de keuze daarvan zodanig te zijn dat de rekenresultaten zo weinig mogelijk worden beïnvloed.

### 5.2. Invoergegevens per knooppunt

Bij de invoergegevens per knooppunt zijn 2 groepen te onderscheiden:

- gegevens voor knooppunten in aanliggende strook aan weerszijden van het kanaal.
- gegevens voor kanaalknooppunten: hierop zal nader worden ingegaan in hoofdstuk 6.

De gegevens voor de knooppunten buiten het kanaal hebben betrekking op:

- maaiveldhoogte t.o.v. NAP; bijlage 2 en 3 zijn op een hoogtekaart gelegd en vervolgens is voor de bij de knooppunten behorende oppervlakten een representatieve waarde afgelezen (voor de knooppunten op de korte zijde van de stroken zijn fictieve waarden gebruikt, waarop in het volgende wordt teruggekomen);
- dikte van het afdekkend pakket; is gesteld op 4 m;
- hydraulische weerstand van het afdekkend pakket; gesteld op 10 d;
- dikte van het 1e watervoerend pakket (alleen bij strook 1); is 12 m;
- kD-waarde van het 1e watervoerend pakket (alleen bij strook 1); is gesteld op  $450 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ;
- dikte van de 1e scheidende laag (alleen strook 1); gesteld op 4 m;
- hydraulische weerstand van de 1e scheidende laag (alleen strook 1) is gesteld op 10 en 500 d, waarbij de waarde van 500 d van toepassing is

- voor het gebied van 500 m aan weerszijden van het kanaal; knooppunten 1 t/m 35 en 76 t/m 95. Tevens is de hydraulische weerstand gesteld op 10 d voor alle knooppunten;
- dikte van het 2e watervoerend pakket (alleen strook 1); is gesteld op 25 m;
  - kD-waarde van het 2e watervoerend pakket (alleen strook 1); gesteld op  $950 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ;
  - dikte van het watervoerend pakket bij strook 2 is gesteld op 40 m;
  - kD-waarde van het watervoerend pakket bij strook 2 is  $1500 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  en voor strook 1  $1400 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$  (bij samenvoeging van pakket 1 en 2);
  - peil van de watervoerende leidingen; deze zijn afgeleid van:
    - \* kaarten met stuwbeheer van het Waterschap de Berkel;
    - \* opname peilen open water (DBW/RIZA);
    - \* incidentele veldopname (winter 87/88):
 

(het peil is vooral van belang voor die knooppunten, waarvoor in het toegekende oppervlak watervoerende leidingen voorkomen) (bijlagen 4 en 5);
  - grondwaterstanden; als initiële waarde is voor alle knooppunten een grondwaterstandsdiepte van 2 m ingevoerd. Voor de randknooppunten gelegen op de korte zijde van de stroken geldt deze waarde als randvoorwaarde voor alle lagen. Dit houdt dus in dat in deze randknooppunten geen verticale stroming plaatsvindt. De maaiveldhoogte en de grondwaterstandsdiepte van 2 m in de randknooppunten is van invloed op de mate waarin een grondwaterstroming over de rand plaatsvindt. Om de invloed hiervan op de rekenresultaten te elimineren is de volgende procedure gevolgd. Met de formule:

$$\Delta h = \frac{N x^2}{2 kD}$$

is uitgaande van het peil  $h_p$  in voornamelijk de Berkel, Eefsche Beek en Huurner Beek de stijghoogte  $h = (h_p + \Delta h)$  op de rand (korte zijde) berekend voor gegeven waarden voor de neerslag  $N$  en de afstand  $x$  van de rand tot de waterloop. Aan de berekende stijghoogte is 2 m toegevoegd voor het verkrijgen van een fictieve waarde voor maaiveldhoogte op de rand van de strook.



- drainageweerstanden; aan de knooppunten die een gebied vertegenwoordigen waarin geen ontwaterende leiding voorkomt is een relatief hoge drainageweerstand toegekend: 999999 d. Voor de overige knooppunten zal in de volgende paragraaf worden aangegeven op welke wijze deze zijn vastgesteld.

### 5.3. Bepaling van de drainageweerstand

In de stroken en naaste omgeving zijn in de winter 87/88 de watervoerende leidingen geïnventariseerd en op grond van bodembreedte en diepte ingedeeld in een viertal klassen (tabel 1).

Tabel 1. Klasseindeling en dichtheid van de watervoerende leidingen

klasse	bodembreedte	strook 1		strook 2	
		dichtheid m .m <sup>-2</sup>	afstand m	dichtheid m .m <sup>-2</sup>	afstand m
1	1 - 2 m	1.89 x 10 <sup>-3</sup>	530	0.39 x 10 <sup>-3</sup>	2540
2	2 - 5 m	0.56 x 10 <sup>-3</sup>	1800	0.34 x 10 <sup>-3</sup>	2940
3	5 - 10 m	0.26 x 10 <sup>-3</sup>	3810	0.25 x 10 <sup>-3</sup>	4000
4	> 20 m	0.26 x 10 <sup>-3</sup>	3810	0.26 x 10 <sup>-3</sup>	3850
totaal		2.97 x 10 <sup>-3</sup>	340	1.24 x 10 <sup>-3</sup>	810

Uit een geohydrologisch onderzoek in Oost-Gelderland volgt voor het gebied tussen de Berkel en het Twenthekanaal in de wintersituatie een drainageweerstand van 100 tot 300 d. (ERNST e.a., 1970). Dit betekent dat het deel van de drainageweerstand dat kan worden toegekend aan de radiale weerstand in eerste benadering kan worden gesteld op  $\leq 100$  d, ofwel:

$$L \bar{\Omega} \leq 100 \text{ d}$$

waarbij: L = afstand tussen de watervoerende leidingen (m)

$$\bar{\Omega} = \text{gemiddelde radiale weerstand (d.m}^{-1}\text{)}$$

Met de gegeven waarden voor L in Tabel 1 is voor strook 1 en 2 resp. een gemiddelde radiale weerstand berekend van 0.30 en 0.12 d.m<sup>-1</sup>.

Uitgaande van een verhoudingsfactor 0.5 voor de radiale weerstand van twee opeenvolgende klassen (ERNST, 1978) en de betrekking:

$$\bar{\Omega} = \left( \frac{\Omega_1}{L_1} + \frac{\Omega_2}{L_2} + \frac{\Omega_3}{L_3} + \frac{\Omega_4}{L_4} \right) / \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4} \right)$$

waarbij  $\Omega_i$  = radiale weerstand voor klasse  $i$  ( $d.m^{-1}$ )

$L_i$  = afstand tussen de leidingen voor klasse  $i$  (m)

kan de radiale weerstand voor de leidingen in de onderscheiden klassen worden berekend. Dit heeft voor beide stroken het volgende resultaat opgeleverd; tabel 2 .

Tabel 2. Radiale weerstand voor de onderscheiden klassen

klasse	strook 1 $\Omega(d.m^{-1})$	strook 2 $\Omega(d.m^{-1})$
1 (kleine leidingen)	0.40	0.24
2 (grotere leidingen)	0.20	0.12
3 (Eefsche of Huurner Beek)	0.10	0.06
4 (Berkel)	0.05	0.03

Op basis van literatuurgegevens zou mogen worden verondersteld dat de radiale weerstanden in tabel 2 eerder te laag dan te hoog zijn. Om deze reden zijn bij de uitgevoerde berekeningen de resultaten van strook 1 aangehouden.

Voor het bepalen van de drainageweerstand zijn in verband met de gevolgde methode de knooppunten in 3 groepen in te delen:

1. knooppunten met watervoerende leidingen;
2. knooppunten zonder watervoerende leidingen;
3. randknooppunten.

Voor de 1e groep is de dichtheid per klasse vastgesteld in de bij de knooppunten behorende oppervlakten. De reciproke waarde hiervan levert in combinatie met de radiale weerstand de drainageweerstand; hierbij dient te worden opgemerkt dat de horizontale stromingsweerstand gezien de grootte

van de elementen en het relatief hoog doorlaatvermogen van het watervoerend pakket buiten beschouwing is gelaten. Aan de knooppunten van groep 2 is zoals reeds eerder vermeld een drainageweerstand toegekend van 999999 d. Voor de laatste groep (randknooppunten) is indien leidingen zijn toegevoegd dezelfde procedure gevolgd als voor groep 1. Aan de overige knooppunten is vergelijkbaar met groep 2 een drainageweerstand toegekend van 999999 d. met uitzondering van een beperkt aantal op grond van stroming uit de strook over de lange zijde. Dit is voornamelijk het geval bij strook 2 als gevolg van een westelijk gelegen onderbemaling en de samenvoeging van de Huurner Beek en de Afwatering van de Herkel.

Met de verkregen drainageweerstanden zijn voor beide stroken berekeningen uitgevoerd. De hierbij verkregen gegevens over grondwaterstanden en afvoeren zijn getoetst aan in het veld opgenomen grondwaterstanden en gemeten debieten. De discrepantie tussen berekende en gemeten waarden heeft aanleiding gegeven tot bijstelling van de drainageweerstand voor een beperkt aantal knooppunten. Voor het verkrijgen van een indruk omtrent de gevoeligheid van de gebruikte radiale weerstand op de wegzijging vanuit het kanaal zijn tevens een aantal berekeningen uitgevoerd, waarbij de radiale weerstand een factor 2 groter is genomen.

In tabel 3 zijn de drainageweerstanden voor beide stroken gegeven:

Tabel 3. Drainageweerstanden

Strook 1 knooppuntnummer	drainageweerstand (d)
1 t/m 5, 11 t/m 14	120
16 t/m 19, 21 t/m 24	120
6 t/m 10, 15, 20, 76 t/m 81	300
28, 29, 30, 34, 35, 39	700
41 t/m 45	43 (86)
58 t/m 62	7 (14)
66 t/m 70	38 (76)
83, 88, 94, 95	700
106, 107, 112, 113, 119, 120	15 (30)
rest	999999

## Strook 2

knooppuntnummer	drainageweerstand (d)
1 t/m 5	120
6. 7. 8	15 (30)
9. 10	20 (40)
21	45
27	75
36. 42. 43. 48. 50. 54	3.5 (7)
51. 56	300
61. 66. 71	600
81. 82	5 (10)
83. 84. 85	7.5 (15)
86 t/m 90. 126	100
91. 96	150
101. 106. 111. 116	270
118	73
121. 122. 124. 125	30 (60)
123	26 (50)
127	180
rest	999999

(--) verhoging van de radiale weerstand met een factor 2, "hoog" in tabel 4

## 6. DE KANAALWEERSTAND

De kanaalweerstand is opgebouwd uit een radiale weerstand en een bodemweerstand. Dit kan worden weergegeven door de betrekking:

$$c_K = w_r + c_b \cdot B^{-1}$$

waarbij  $c_K$  = kanaalweerstand ( $d \cdot m^{-1}$ )

$w_r$  = radiale weerstand ( $d \cdot m^{-1}$ )

$c_b$  = bodemweerstand ( $d$ )

$B$  = natte omtrek kanaalbodem, aangezien de damwanden als ondoorlatend zijn beschouwd is  $B$  gelijk aan de bodembreedte ( $m$ )

De radiale weerstand is zowel bepaald met de vierkantjesmethode als berekend met een door ERNST (1962) gegeven formule voor open leidingen waarvan de breedte veel groter is dan de waterdiepte. In fig. 1 is de situatie weergegeven voor strook 2, waarin de kanaalbodem in het watervoerend pakket is gelegen. De stroomlijnen en aequipotentiaallijnen zijn zo getekend dat een orthogonaal stelsel is ontstaan. Hierbij is verdisconteerd dat de horizontale doorlatendheid een factor 2 groter is dan de verticale. Uit het stromingsbeeld kan de volgende vergelijking worden afgeleid:

$$4 \Delta h k_h = \frac{9 \Delta h}{2 w_r + w_h}$$

hierbij is  $w_h = \frac{L}{kD}$

en  $\Delta h$  = potentiaalverschil tussen 2 aequipotentiaallijnen ( $m$ )

$k_h$  = horizontale doorlatendheid ( $m \cdot d^{-1}$ )

$w_h$  = horizontale weerstand ( $d \cdot m^{-1}$ )

$L$  = afstand BC ( $m$ )

$kD$  = doorlaatvermogen watervoerend pakket ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )

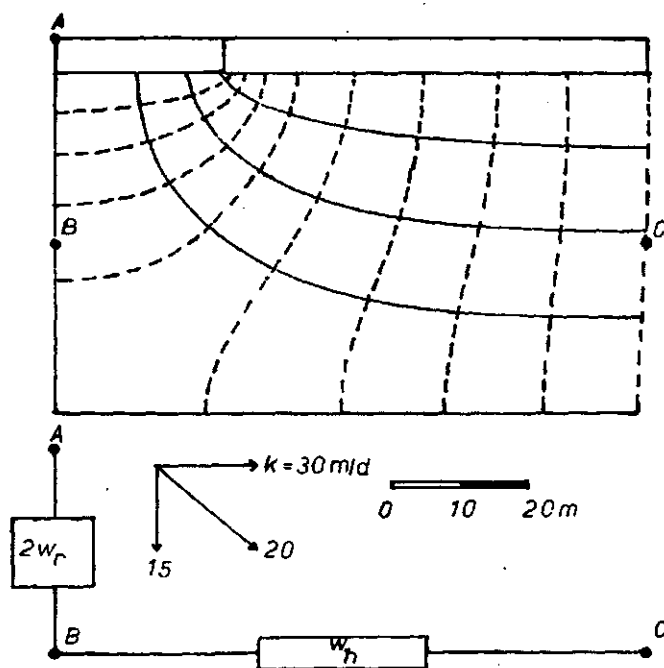


Fig. 1. Stromingsbeeld voor de situatie waarin de kanaalbodem het watervoerend pakket aansnijdt

Substitutie van  $30 \text{ m.d}^{-1}$  voor  $k_h$ ,  $87.5 \text{ m}$  voor  $L$  en  $1500 \text{ m}^2.\text{d}^{-1}$  voor  $kD$  geeft:

$$4 \times 30 = \frac{9}{2 w_r + 87.5/1500}$$

waaruit voor  $w_r$  een waarde van  $0.008 \text{ d.m}^{-1}$  volgt.

Voor  $w_r$  kan een waarde worden berekend met (ERNST, 1962):

$$w_r = -\frac{1}{\pi \bar{k}} \ln \sin h \frac{\pi B_w}{4D}$$

waarbij  $\bar{k} = \sqrt{k_v \cdot k_h} \text{ (m.d}^{-1}\text{)}$

$B_w = \text{kanaalbreedte (m)}$

$D = \text{dikte watervoerend pakket (m)}$

Substitutie van  $20 \text{ m.d}^{-1}$  voor  $\bar{k}$ , 50 m voor  $B_w$  en 50 m voor  $D$  geeft na uitwerking als resultaat voor  $w_r$ :  $0.002 \text{ d.m}^{-1}$ .

De berekende waarde is, evenals die welke uit fig. 1 is afgeleid, relatief laag. De afwijking van een factor 4 tussen beide waarden is grotendeels toe te schrijven aan het feit dat de berekening in een gevoelig traject plaatsvindt. Bij  $B_w/D=1$  nadert de radiale weerstand tot praktisch 0. Bij de modelberekeningen voor strook 2, waar 1 watervoerend pakket wordt aangetroffen is voor  $w_r$  een waarde van  $0.01 \text{ d.m}^{-1}$  aangehouden.

Ter plaatse van strook 1 dient rekening te worden gehouden met de aanwezigheid van een 1e scheidende laag. Als gevolg hiervan kunnen 2 watervoerende pakketten worden onderscheiden. De dikte  $D$  van het 1e watervoerend pakket bedraagt ongeveer 12 m. De berekening van  $w_r$  levert voor deze situatie een negatieve waarde van  $0.04 \text{ d.m}^{-1}$ . Het voorkomen van een negatieve waarde kan worden verklaard uit het feit dat bij een verhouding  $B_w/D=4$  de kanaalbodem beter is te bereiken dan een vertikaal door het midden van het kanaal over de gehele dikte van het 1e watervoerend pakket. Uit het voorgaande moge duidelijk zijn geworden dat de radiale weerstand relatief laag is. Bij de uitgevoerde berekeningen is voor zowel strook 1 als 2 hiervoor een waarde aangehouden van  $0.01 \text{ d.m}^{-1}$ .

De bodemweerstand van het kanaal is verkregen uit eerder verricht onderzoek (WIT e.a., 1987). Uit dit onderzoek blijkt een tendens voor een afname in de bodemweerstand in de richting van Lochem met plaatselijk hiervan afwijkende hogere waarden. Voor strook 1 is in orde van grootte een waarde verkregen van 6.5 tot 20 d en voor strook 2 een waarde van 1 tot 2 d. Gezien de grootte van de bodemweerstand, met name voor strook 1, is deze grootte bepalend voor de kanaalweerstand en dientengevolge tevens voor de mate waarin wegzijging uit het Twenthekanaal kan voorkomen. Als gevolg van plaatselijke variaties en een tijdelijke vermindering in de bodemweerstand door verwijdering van op de kanaalbodem aanwezige sliedlagen (baggerwerk) zijn een aantal situaties doorgerekend waarin deze facetten zijn betrokken. Bij een verruiming van het kanaalprofiel zal de breedte toenemen van 50 tot 60 m. De kanaalweerstand zal als gevolg hiervan afnemen; voor een beperkt aantal gevallen is de dan te verwachten wegzijging berekend. In tabel 4 zijn de relevante gegevens voor de berekeningen van de kanaalweerstand opgenomen.

Tabel 4. Relevante gegevens voor de kanaalweerstand

	strook 1		strook 2
	c1 = 0	c1 = 10 - 500	
kanaalbreedte	50 - 60 m	50 - 60 m	50 - 60 m
bodembreedte	50 - 60 m	50 - 60 m	50 - 60 m
$k_h$	30 m.d <sup>-1</sup>	30 m.d <sup>-1</sup>	30 m.d <sup>-1</sup>
$k_v$	15 m.d <sup>-1</sup>	15 m.d <sup>-1</sup>	15 m.d <sup>-1</sup>
k	20 m.d <sup>-1</sup>	20 m.d <sup>-1</sup>	20 m.d <sup>-1</sup>
D	40 m	12 m	40 m
$c_b$	0 - 30 d	30 d	0 - 30 d
$w_r$	0.01 d.m <sup>-1</sup>	0.01 d.m <sup>-1</sup>	0.01 d.m <sup>-1</sup>

De kanaalsituatie is als volgt gemodelleerd:

- knooppunten gelegen in kanaalas; netwerk zodanig dat elk knooppunt betrekking heeft op een gedeelte van het kanaal;
- hellingshoek van het talud 90°;
- bodemweerstand per laag, aangezien door de damwanden geen direct contact met het afdekkend pakket is verondersteld, is hiervoor alleen het watervoerend pakket beschouwd;
- radiale weerstand per laag, hierbij is eveneens het watervoerend pakket beschouwd.

Verder zijn van belang:

- breedte van de kanaalbodem;
- lengte van het kanaal (= breedte strook);
- bodemdiepte t.o.v. NAP (+ 5.00 m);
- kanaalpeil t.o.v. NAP (+ 10.00 m);

(voor de knooppunten in het watervoerend pakket is dezelfde procedure gevolgd als in paragraaf 5.2; voor de knooppunten in het afdekkend pakket is als maaiveldshoogte 10.00 m ingevoerd, voor de drainageweerstand 120 d en als hydraulische weerstand van het afdekkend pakket 999999 d.



## 7. UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Zoals in de inleiding vermeld, waren de exercities met FEMSATS met name gericht op het verkrijgen van informatie over de hydrologische parameters en de gevoeligheid hiervan met betrekking tot de wegzijging uit het Twenthekanaal en de als gevolg daarvan optredende hogere grondwaterstanden. Voor strook 1 en 2 zijn resp. 21 en 19 situaties doorgerekend die als volgt kunnen worden gekarakteriseerd (tabel 5):

- geen neerslag; kanaalbodem dicht; alle drainerende leidingen geblokkeerd met uitzondering van de hoofdbeken (Berkel, Eefsche en Huurner Beek). Het resultaat is een praktisch rechtlijnig verloop van de grondwaterspiegel door de ingevoerde peilen van de betreffende beken;
- neerslag is 0.5 of 1.5 mm.d<sup>-1</sup>; bodembreedte van het kanaal is 50 m;
  - strook 1:
    - variabele bodemweerstand:  $c_b = 999999, 30, 20, 6.5$  en 0 d.
    - variabele drainageweerstand voor  $c_b = 30$  en 20 d.
  - strook 2:
    - variabele bodemweerstand:  $c_b = 999999, 30, 10, 2$  en 0 d.
    - variabele drainageweerstand voor  $c_b = 10$  en 2 d.
- neerslag is 0.5 of 1.5 mm.d<sup>-1</sup>; bodembreedte van het kanaal is 60 m;
  - strook 1:
    - variabele bodemweerstand:  $c_b = 30$  en 20 d.
  - strook 2:
    - variabele bodemweerstand:  $c_b = 10$  en 2 d.
- neerslag 1.5 mm.d ; bodembreedte van het kanaal is 50 m ;  $c_b = 30$  d
  - strook 1: (indeling in 4 lagen)
    - hydraulische weerstand van de 1e scheidende laag (laag 3)
      - 10 d voor gehele strook
      - 500 d voor gebied van ca. 500 m aan weerszijden van het kanaal en voor het overige deel 10 d.

De uitvoer van FEMSATS heeft ondermeer betrekking op:

- grondwaterstanden en stijghoogten per knooppunt;
- afvoer voor de knooppunten met drainage en aanvoer voor de kanaalknooppunten.

Tabel 5. Uitkomsten van de berekeningen

## Strook 1

RES	lagen	kanaal	neers	cb	drn.wst.	kwel6-25	wegz.	h(500m)
93	2	50 dicht	0	999999		--	--	--
96	2	50 dicht	0.5	999999		--	--	--
100	2	50 open	0.5	30		3.43	42.4	0.26
2	2	50 open	0.5	30	hoog	3.25	42.4	0.27
14	2	60 open	0.5	30		3.67	48.5	0.27
50	2	50 open	0.5	20		4.22	55.8	0.33
94	2	50 open	0.5	20	hoog	4.40	54.7	0.36
15	2	60 open	0.5	20		4.66	61.7	0.36
49	2	50 open	0.5	6.5		6.97	92.6	0.57
48	2	50 open	0.5	0		10.23	135.6	0.85
42	2	50 dicht	1.5	999999		--	--	--
43	2	50 open	1.5	30		4.84	36.3	0.21
3	2	50 open	1.5	30	hoog	5.22	34.6	0.29
13	2	60 open	1.5	30		5.17	40.8	0.24
44	2	50 open	1.5	20		5.63	47.0	0.29
95	2	50 open	1.5	20	hoog	5.99	44.6	0.37
12	2	60 open	1.5	20		5.90	52.7	0.31
45	2	50 open	1.5	6.5		7.88	78.9	0.49
46	2	50 open	1.5	0		10.68	114.0	0.73
52	4	50 open	1.5	30	c1:10	4.39	36.1	0.19
51	4	50 open	1.5	30	c1:500	4.88	30.6	0.14

## Strook 2

RES	lagen	kanaal	neers	cb	drn.wst.	wegz.	h(500m)
29	2	50 dicht	0	999999		--	--
32	2	50 dicht	0.5	999999		--	--
36	2	50 open	0.5	30		23.0	0.10
37	2	50 open	0.5	10		51.3	0.17
6	2	50 open	0.5	10	hoog	47.9	0.20
9	2	60 open	0.5	10		56.9	0.18
38	2	50 open	0.5	2		100.8	0.28
7	2	50 open	0.5	2	hoog	87.2	0.32
8	2	60 open	0.5	2		104.9	0.29
39	2	50 open	0.5	0		134.1	0.36
28	2	50 dicht	1.5	999999		--	--
35	2	50 open	1.5	30		20.0	0.05
34	2	50 open	1.5	10		44.5	0.11
5	2	50 open	1.5	10	hoog	39.1	0.17
10	2	60 open	1.5	10		49.3	0.12
27	2	50 open	1.5	2		87.8	0.21
4	2	50 open	1.5	2	hoog	71.8	0.26
11	2	60 open	1.5	2		91.3	0.22
33	2	50 open	1.5	0		116.0	0.27

## Verklaring bij tabel 5:

RES	= nummer van de uitvoerfile van FEMSATS
lagen	= aantal lagen, welke zijn onderscheiden
kanaal	= breedte v/h kanaal (m) en situatie waarin kanaal zich bevindt
neers	= neerslag $\text{mm.d}^{-1}$
$c_b$	= bodemweerstand van het kanaal (d)
drn.wst.	= zie tabel 3, hoog = 2e kolom
kwel6-25	= kwel voor cluster van de knooppunten 6 t/m 25 ( $\text{mm.d}^{-1}$ )
wegz.	= wegzijging vanuit het kanaal ( $\text{mm.d}^{-1}$ ) (bij kanaalbreedte van 60 m is de wegzijging omgerekend naar 50 m.)
h(500)	= de verhoging van de grondwaterstand op 500 m afstand van het kanaal (m)
c1:10	= c-waarde v/d 1e scheidende laag is 10 d
c1:500	= c-waarde v/d 1e scheidende laag is 500 d binnen 500 m van het kanaal, daarbuiten is deze 10 d

Bij de berekeningen is steeds nagegaan of de secundaire leidingen bij de afvoer waren betrokken, indien dit voor een knooppunt als gevolg van een te diepe grondwaterstand niet het geval was is de drainageweerstand op 999999 d gesteld.

In bijlage 6 en 7 zijn in een profieldoorsnede voor resp. de middelste rij knooppunten van strook 1 en 2 de berekende grondwaterstanden voor 4 situaties weergegeven. In bijlage 7 is tevens het verloop van de grondwaterspiegel op basis van gemeten grondwaterstanden opgenomen. De gemeten grondwaterstanden komen redelijk overeen met de berekende voor de situaties: N is 0.5 of 1.5  $\text{mm.d}^{-1}$  en  $c_b$  is 2 d, waarbij opgemerkt kan worden dat de overeenkomst aan de zuidzijde van het kanaal beter is dan aan de noordzijde (de situatie N is 0.5  $\text{mm.d}^{-1}$  en  $c_b$  is 2 d is niet in bijlage 7 opgenomen vanwege de duidelijkheid). Voor bijlage 6 was een toetsing van berekende aan gemeten grondwaterstanden niet mogelijk omdat in strook 1 alleen aan de zuidzijde een betrekkelijk korte raai (500 m) landbouwbuizen zijn geplaatst. Deze buizen staan tevens in de naaste omgeving van drainerende leidingen, waardoor een vertekend beeld wordt verkregen.

Uit bijlage 6 en 7 kan bij dezelfde neerslagintensiteit en voor kanaal dicht en open (hierbij wordt aan  $c_b$  een realistische waarde toegekend) op een afstand van 500 m vanaf het kanaal de gemiddelde grondwaterstandsstijging worden verkregen als gevolg van de wegzijging uit het kanaal. Deze procedure is tevens gevolgd voor de overige situaties. In tabel 5 zijn de op deze wijze verkregen grondwaterstandsstijgingen aangegeven onder h (500 m). In tabel 5 is tevens de berekende wegzijging vanuit het kanaal

opgenomen. Voor een aantal roosterpunten (6 t/m 25) van strook 1 is de berekende afvoer gegeven. Voor het gebied behorende bij deze roosterpunten zijn debietmetingen uitgevoerd (tabel 6). Het oppervlak behorende bij deze punten bedraagt 17 ha.

Tabel 6. Gemeten afvoer voor de roosterpunten 6 t/m 25

datum	afvoer	
	$l.s^{-1}$	$mm.d^{-1}$
20 - 2 - 88	7.0	3.6
25 - 2 - 88	11.1	5.6
16 - 3 - 88	20.3	10.3

Voorafgaande aan de laatste meting is er een vrij natte periode geweest, waarbij rekening zou moeten worden gehouden met een hogere waarde dan  $N = 1.5 \text{ mm.d}^{-1}$ . De eerste twee waarden komen redelijk overeen met de berekende bij een bodemweerstand van 20 tot 30 d.

In bijlage 8 is voor de aangegeven situatie de berekende grondwaterstandsdiepte ingedeeld in een aantal klassen. De meest ondiepe grondwaterstanden traceren een voormalig beekdal. In deze relatief laag gelegen gebieden zou rekening kunnen worden gehouden met kweloverlast als gevolg van de wegzijging uit het kanaal. Voor de relatief hoog gelegen gebieden is dat praktisch niet of veel minder het geval.

Betreffende de gevoeligheid van de hydrologische parameters kan het volgende worden opgemerkt:

- betreffende het doorlaatvermogen of kD-waarde van de watervoerende pakketten is verondersteld dat deze in grootte-orde juist zijn;
- indeling van het hydrologisch pakket voor strook 1 in 4 lagen met voor de 1e scheidende laag een hydraulische weerstand van 500 d in de naaste omgeving van het kanaal leidt tot een afname van globaal 20 % van de wegzijging uit het kanaal;
- een verhoging van de drainageweerstand leidt tot een afname van de wegzijging vanuit het kanaal en een stijging van de grondwaterstand. Naarmate de bodemweerstand lager wordt nemen de afwijkingen toe;
- een verbreding van het kanaal van 50 naar 60 m heeft een geringe invloed op de wegzijging en de grondwaterstand; naarmate de bodemweerstand lager wordt neemt de invloed toe;

- de bodemweerstand van het kanaal is de meest gevoelige factor bij de wegzijging vanuit het kanaal. Dit houdt direct in dat op plaatsen waar nu een relatief hoge bodemweerstand aanwezig is rekening dient te worden gehouden met een duidelijk merkbare (tijdelijke) toename van de wegzijging en daarmee samenhangend een stijging van de grondwaterstand. Voor strook 1 en 2 betekent dit dat gezien de nu reeds lage weerstand bij strook 2 het effect hiervan minder duidelijk waarneembaar zal zijn dan bij strook 1.

## 8. SAMENVATTING

Voor 2 stroken, loodrecht op het Hoofdkanaal van de Twenthekanalen in het traject Eefde - Lochem zijn met het model FEMSATS berekeningen uitgevoerd voor het verkrijgen van informatie over de relevante hydrologische parameters en de gevoeligheid hiervan met betrekking tot de wegzijging uit het kanaal.

Op grond van beschikbare geohydrologische gegevens is de ondergrond geschematiseerd in een aantal lagen waaraan hydrologische bodemconstanten zijn toegekend. Mede uit veldverkenning is het waterlopenpatroon in beide stroken geïnventariseerd en vervolgens geklassificeerd waarna voor de leidingen radiale weerstanden zijn vastgesteld. Aansluitend hierop dient de verzameling van gegevens over peilen van open water te worden genoemd. De kanaalweerstand is opgedeeld in een component voor de radiale weerstand en één voor de bodemweerstand.

Voor de 2 stroken is een netwerk van elementen opgezet. De gebruikte gegevens voor zowel de kanaalknooppunten als de knooppunten gelegen aan weerszijden van het kanaal zijn besproken.

In totaal zijn 40 situaties doorgerekend met variabele waarden voor een aantal hydrologische parameters. In de huidige situatie blijkt in beide stroken een wegzijging vanuit het kanaal aanwezig van 40 tot 100 mm.d<sup>-1</sup>, die op een afstand van 500 m vanaf het kanaal een stijging van de grondwaterstand veroorzaakt van 10 tot 30 cm. Deze veronderstelling wordt onderbouwd door een toetsing van gemeten grondwaterstanden en debieten aan berekende waarden. Hierbij dient als voorbehoud te worden genoemd dat met een stationair model is gerekend; het is denkbaar dat in de zomerperiode de grondwaterstandsverhoging geringer zou kunnen zijn.

De verbreding van het kanaal van 50 tot 60 m onder gelijkblijvende omstandigheden ressorteert betrekkelijk weinig effect. De weerstand van de kanaalbodem is de meest gevoelige hydrologische parameter bij de wegzijging vanuit het kanaal. In die gebieden waar de bodemweerstand relatief laag is, zoals bij strook 2, zal verbreding en aanpassing van het kanaalprofiel de wegzijging minder sterk doen toenemen dan in de gebieden waar een bodemweerstand van enige betekenis aanwezig is.

## LITERATUUR

- ERNST, L.F., 1962. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- , N.A. DE RIDDER and J.J. DE VRIES, 1970. A geohydrologic study of East Gelderland (Netherlands). *Geologie en Mijnbouw*, 49: 457 - 488.
- , 1978. Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables, Part I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. *J. Hydrol.*, 39: 1 - 30.
- QUERNER, E.P., 1984. Program FEMSAT, Part 1. Calculation method for steady and unsteady groundwater flow. ICW nota 1557.
- WIT, K.E., H.TH.L. MASSOP, J.G. TE BEEST en M. WIJNSMA, 1987. Hydrologische en bodemfysische parameters in de omgeving van het Hoofdkanaal van de Twenthekanalen (trajekt Eefde - Lochem). ICW nota 1751.

## LIJST MET BIJLAGEN

- Bijlage 1.           Overzichtskaart
- Bijlage 2 en 3       Ligging van de knooppunten en elementen
- Bijlage 4 en 5       Kaart met leidingen
- Bijlage 6 en 7       Profieldoorsnede van de middelste rij knooppunten  
                          met berekende grondwaterstanden
- Bijlage 8            Kaarten met grondwaterstandsdiepte, ingedeeld in  
                          klassen