

# Bepaling van de intreeweerstand van de Lek en de verticale weerstanden van de uiterwaarden en polders nabij Langerak (Alblasserwaard)

## Inleiding

In het Lange-termijnbeleid Drink- en Industrieruwatervoorziening en in het Grondwaterplan van de provincie Zuid-Holland [1, 2] is vastgelegd dat zowel de grondwaterwinning in de Alblasserwaard en de Vijfheerenlanden als de oevergrondwaterwinningen langs de Lek, een belangrijkere rol moeten spelen in de veiligstelling van de watervoorziening in Zuid-Holland. Het hieruit voortvloeiende onderzoek vindt plaats in de vorm van een milieu-effectrapportage (m.e.r.), die in twee duidelijke fasen is gesplitst:



P. H. A. TIMMERMAN  
Heidemij Adviesbureau BV

C. J. HEMKER  
Faculteit der  
Aardwetenschappen,  
Vrije Universiteit Amsterdam

1. een globaal regionaal onderzoek naar geschikte lokaties voor de uitbreiding van de grondwaterwinning;
2. een gedetailleerde studie op geselecteerde lokaties naar mogelijkheden en effecten van grondwaterwinning.

De gehanteerde methodiek en effectbeschrijving bij het regionale onderzoek naar geschikte grondwaterwinlokaties (fase 1), de procedurele aspecten en de wijze van weging en selectie van verschillende lokaties zijn al eerder in H<sub>2</sub>O besproken [3, 4].

Op basis van de resultaten van fase 1 van de m.e.r. hebben Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland een beleidsplan 'Ontwikkeling van de grondwaterwinning in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden en langs de Lekoevers' opgesteld [5]. In verband met de geringe vernattings-effecten en de daardoor als milieu-vriendelijk geclassificeerde oevergrondwaterwinning in de polder Langerak (afb. 1), is deze lokatie aangewezen voor nader onderzoek ter onderbouwing van de vergunningsaanvraag. Omdat de effecten van een oevergrondwaterwinning sterk van de lokale omstandigheden afhankelijk kunnen zijn en inzicht in de doorlatendheid van de ondergrond noodzakelijk is voor de inrichting van het puttenveld, is hydrologisch veldonderzoek uitgevoerd om de relevante geohydrologische parameters te bepalen.

## Samenvatting

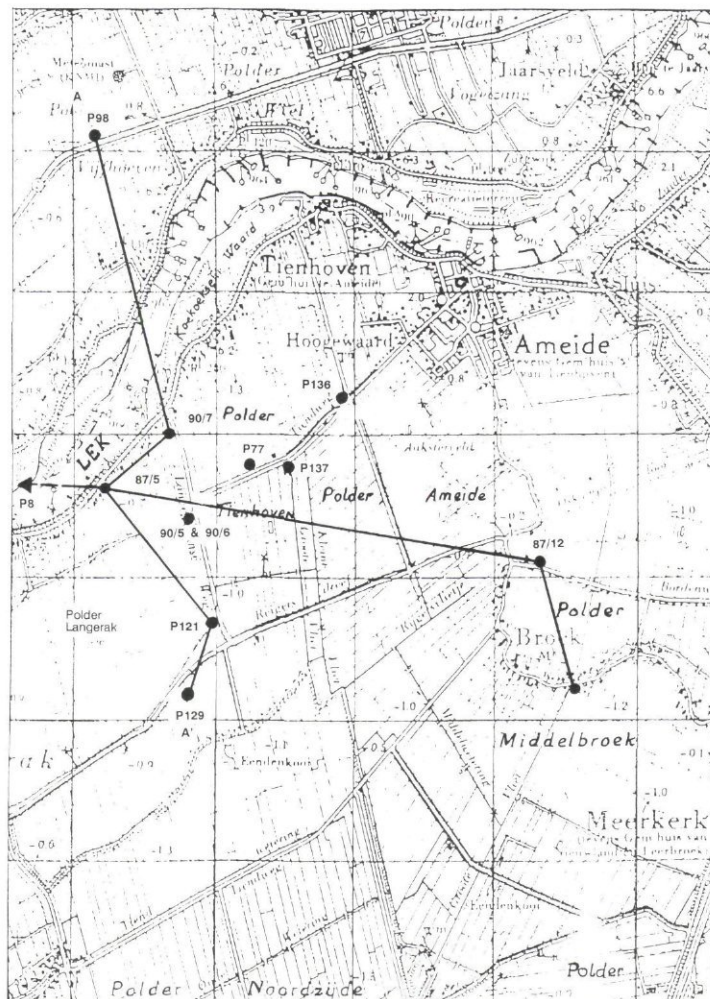
In de tweede fase van de milieu-effectrapportage 'Grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden' is een geohydrologisch onderzoek naar de effecten van oevergrondwaterwinning te Langerak (Alblasserwaard) uitgevoerd. Hiervoor zijn ter plaatse van de polder Langerak grondconstanten bepaald door analyse van de natuurlijke grondwaterstroming en een pompproof. Hierbij is gebruik gemaakt van analytische en numerieke meerlagenmodellen, waarmee onder andere de intreeweerstand van de Lek en de verticale weerstanden van de deklaag in de uiterwaarden en polders zijn berekend. De op verschillende wijze berekende waarden zijn in goede overeenstemming met elkaar en met uitkomsten uit eerdere onderzoeken.

## (Geo)hydrologie

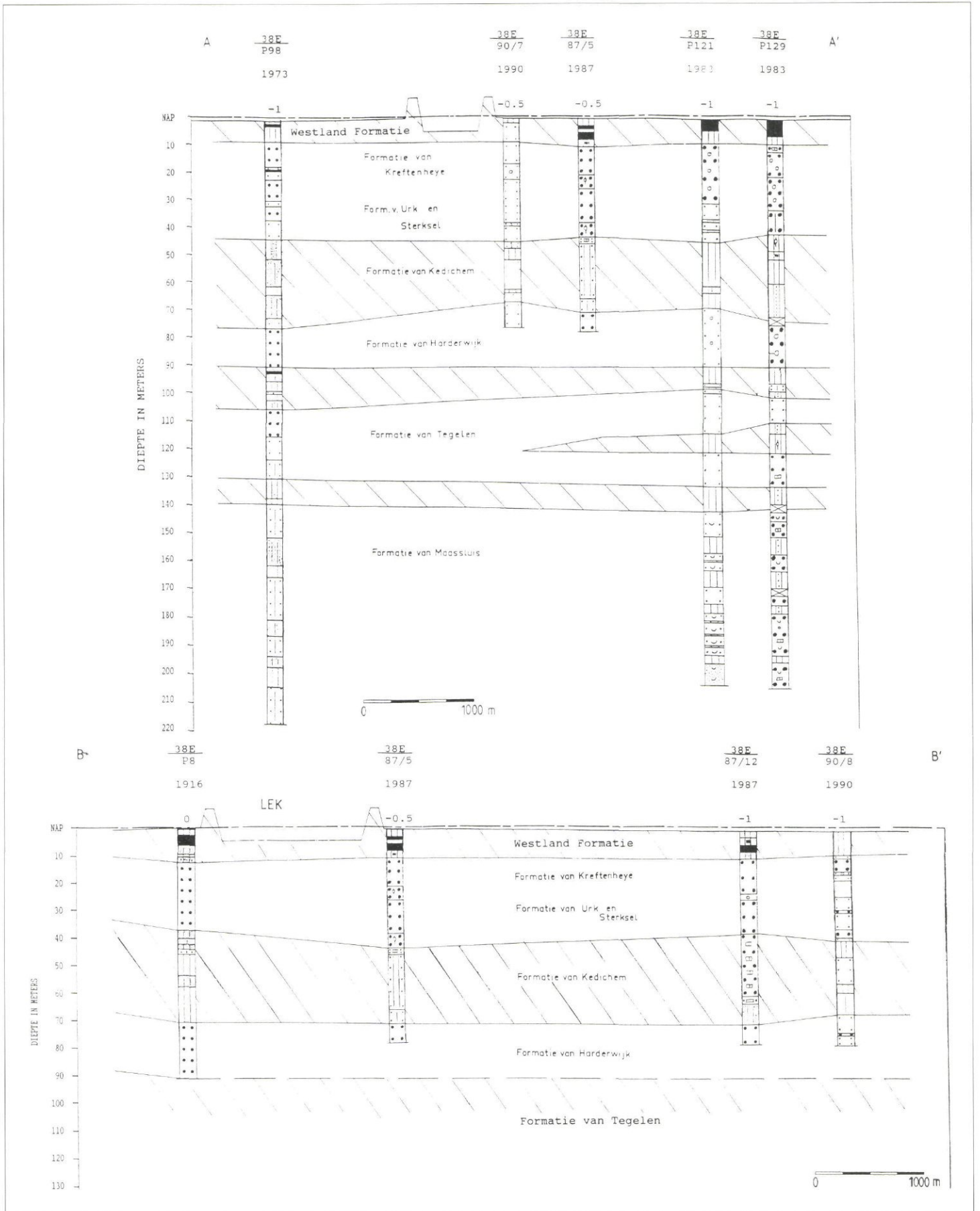
Het oevergrondwater zal worden gewonnen uit het bovenste watervoerende pakket, tussen 9 en 45 m beneden maaiveld. Dit pakket wordt aan de bovenzijde door een slechtdoorlatende Holocene klei- en veenlaag afgedekt en aan de basis begrensd door een 25 meter dikke laag van de Formatie van Kedichem. In het onderzoeksgebied bestaat de Formatie van Kedichem over het algemeen uit dikke kleilagen en slibrijke zanden. In enkele boringen is op deze diepte echter uitsluitend zand met kleibrokjes aangetroffen (afb. 2) [6].

In eerder uitgevoerde onderzoeken in het gebied is vastgesteld dat bij een regionale analyse van het (zoete) grondwater ten minste 4 verschillende watervoerende pakketten moeten worden onderscheiden. Daarom is, in tegenstelling tot wat bij oevergrondwaterwinningen gebruikelijk is, de basis van het bovenste watervoerende pakket niet zonder meer als ondoorlatend beschouwd, maar is ook met de stroming in de diepere pakketten rekening gehouden.

De grondwaterstroming in het meerlagenstelsel laat een tamelijk complex patroon zien met voornamelijk horizontale



Afb. 1 - Overzichtkaart van de polders Langerak en Middelbroek/Ameide/Tienhoven met vermelding van de in het artikel genoemde peilbuizen en pompput (90/5).



Afb. 2 - Geohydrologische opbouw van de ondergrond ter plaatse van de polder Langerak.

stroming in de watervoerende pakketten en verticale stroming in de scheidende lagen. Er kunnen echter verschillende stromingscomponenten worden onderscheiden, die samen in grote lijnen het beeld bepalen:

1. Een regionale oost-west stroming in alle pakketten.
2. Een stroming loodrecht op de rivier in de richting van de polders met rivierinfiltratie en polderkwel, door het hogere Lekpeil ten opzichte van de polderpeilen. Deze stroming treedt op in alle pakketten, maar is het sterkst in het bovenste pakket dichtbij de rivier.
3. Radiale stroming naar putten (winplaatsen), die in het 1e, 2e en/of 3e watervoerende pakket grondwater onttrekken.

Naast deze min of meer stationaire stromingscomponenten moet er in een zone langs de Lek ook met getijde-fluctuaties rekening worden gehouden.

### Onderzoekopzet

Voor de bepaling van lokale waarden van grondconstanten is in het algemeen een pompproef noodzakelijk, omdat alleen door een kunstmatig gecreëerde grondwaterstroming stijghoogteveranderingen en -gradiënten van voldoende omvang kunnen worden gemeten (pompproef-analyse). In het onderzoeksgebied is het systeem van rivierinfiltratie en polderkwel echter zo dominant dat ook deze stroming mogelijkheden biedt voor een kwantitatieve analyse (putfactor-analyse). In principe is het ook mogelijk grondconstanten te bepalen uit de demping en de vertraging van de getijde-fluctuaties, maar in de gegeven situatie (niet in het watervoerend pakket ingesneden rivier, uiterwaarden, meerlagensysteem) heeft de getijde-analyse niet tot betrouwbare resultaten geleid. De bepaling van de demping en vertraging is wel noodzakelijk om de gemeten stijghoogten te corrigeren voor de getij-invloed van de rivier.

Gedurende een periode van 2 maanden zijn in een raai dwars op de Lek stijghoogtemetingen verricht; daarna is een pompproef uitgevoerd. De verschillende toegepaste analysetechnieken zijn voor de natuurlijke grondwaterstroming en voor de pompproef afzonderlijk beschreven, waarbij de resultaten elkaar wederzijds aanvullen. Zo zijn de noodzakelijke correcties op de gemeten stijghoogteverlagingen tijdens de pompproef alleen uitvoerbaar bij een goede interpretatie van de gemeten fluctuaties in de voorafgaande periode.

### Analytische benadering

#### Putfactor-analyse

De invloed die het peil van de Lek op de grondwaterstroming heeft, is bestudeerd aan de hand van het verloop van stijghoogten in een profiel dwars op de rivier (analytische benadering). Bij een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket met een ondoorlatende basis waarin zich een rechte rivier bevindt, kan de spreidingslengte worden bepaald uit het stijghoogteverloop loodrecht op de rivier [7]:

$$\Phi_x = \Phi_o \cdot e^{-x/L}$$

met

$\Phi_x$  = stijghoogte ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand in de polder op afstand  $x$  van de rivier (m)

$\Phi_o$  = rivierpeil ten opzichte van de grondwaterstand (m)

$x$  = afstand tot de rivier (m)

$L$  = spreidingslengte (m)

Bij deze methode wordt aangenomen dat ieder moment een stationaire situatie vertegenwoordigt, waarbij de grondwaterstijghoogten zich aan het rivierpeil hebben aangepast (afb. 3).

Dit stijghoogteverloop is gebaseerd op een vast grondwaterpeil in de polder terwijl, samenhangend met de lithologische opbouw van de Holocene afzettingen, het maaiveld en ook de grondwaterspiegel naar het centrum van de Alblasserwaard toe steeds dieper komt te liggen. Hiermee kan rekening worden gehouden door in plaats van stijghoogten ten opzichte van NAP, stijghoogteveranderingen te gebruiken [8]:

$$(\Phi'_x - \Phi''_x) = (\Phi'_o - \Phi''_o) e^{-x/L}$$

ofwel

$$L = -x / \ln(p_x)$$

met

$\Phi'_x - \Phi''_x$  = het verschil in stijghoogte tussen twee waarnemingen

in een peilbuis op afstand  $x$  van de rivier (m)

$\Phi'_o - \Phi''_o$  = het verschil in rivierpeil tussen twee waarnemingen (m)

$p_x = (\Phi'_x - \Phi''_x) / (\Phi'_o - \Phi''_o) =$  de

putfactor: de verhouding tussen de stijghoogteverandering in een peilbuis op afstand  $x$  van de rivier en de peilverandering van de rivier (-)

Ter plaatse van de polder Langerak is de rivier niet in het watervoerende pakket ingesneden. Onder de rivierbedding bevinden zich nog gedeelten van de Holocene deklaag. Ook komt er ter plaatse van de raai met peilbuizen een uiterwaard voor. Hierdoor zal de stijghoogte in het watervoerend pakket onder de rivierdijk niet gelijk zijn aan het rivierpeil. Hiermee kan rekening worden gehouden door een extra weerstand in te voeren:

$$L = -(x + w) / \ln(p_x)$$

met

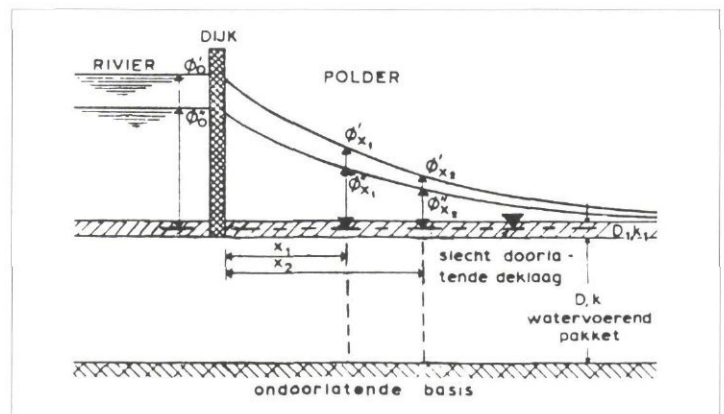
$w$  = weerstand van rivierbodembodem en uiterwaard gezamenlijk (m)

In afb. 4 zijn de halftijstanden tussen 27 juni en 30 augustus 1990 uitgezet tegen de tijd en in afb. 5 zijn de (gemiddelde) stijghoogten van drie verschillende peilbuizen uitgezet tegen de overeenkomstige halftijstanden van de Lek. De hellingen van de berekende regressielijnen geven de putfactoren weer. Deze waarden staan met hun standaardfout vermeld in tabel I.

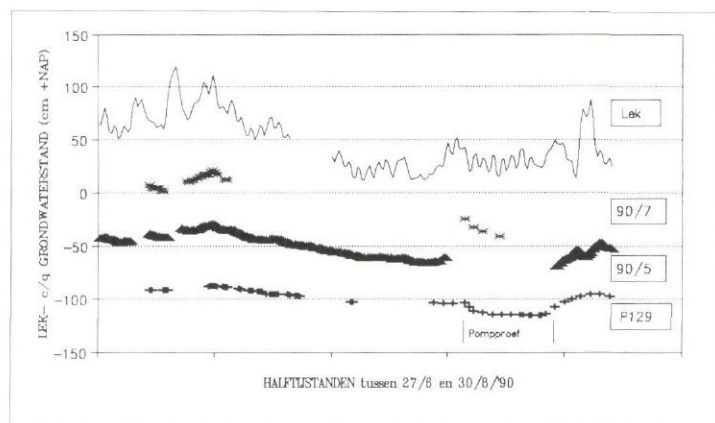
De natuurlijke logaritmen van de putfactoren zijn uitgezet tegen de afstand tot

TABEL I - Putfactoren ( $n$  = aantal waarnemingen).

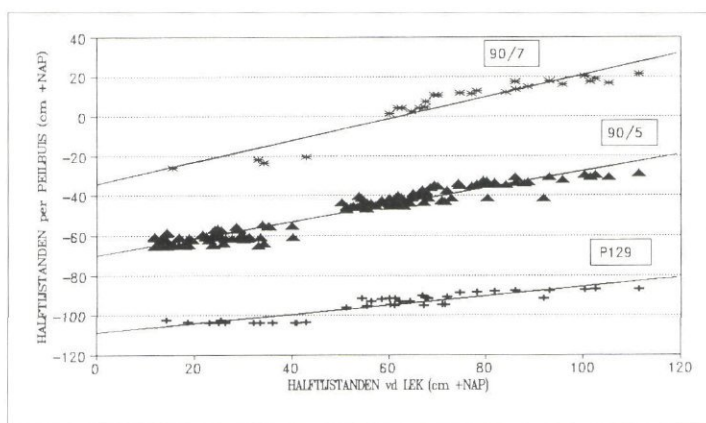
Peilbuis	Afstand tot de Lekdijk	Putfactor	n	Standaardfout
90/7	140 m.	0.551	27	0.039
90/5	670	0.423	122	0.011
P129	1.500	0.233	41	0.017



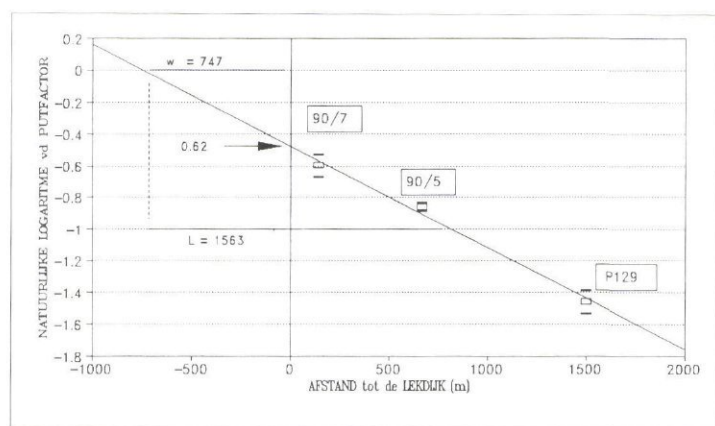
Afb. 3 - Geschematiseerd hydrologisch profiel loodrecht op de rivier; naar [8].



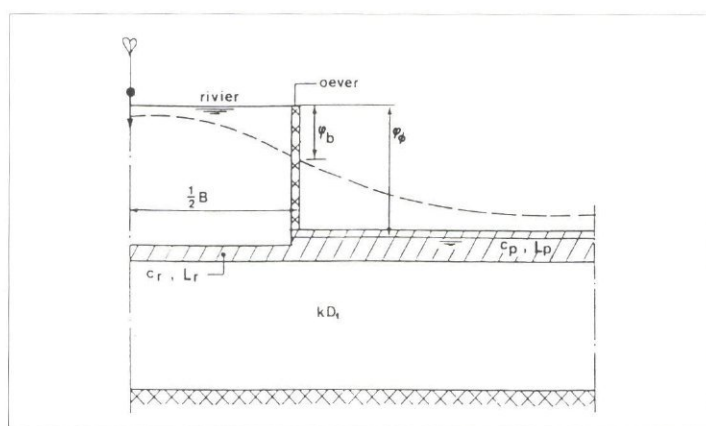
Afb. 4 - Half-tijstanden van de Lek en van drie peilbuizen.



Afb. 5 - Half-tijstanden van peilbuizen versus half-tijstanden van de Lek.



Afb. 6 - Natuurlijke logaritme van de putfactoren versus de afstand tot de Leekdijk; □ = putfactor; - = putfactor ± standaardfout.



Afb. 7 - Schematisch hydrologisch profiel loodrecht op de rivier; naar [9].

de dijk in afb. 6. Uit deze regressielijn zijn de spreidingslengte  $L$ , de weerstand  $w$  en de putfactor bij de dijk ( $p_{dijk}$ ) direct af te lezen:

$$w = 747 \text{ m}$$

$$L = 1563 \text{ m}$$

$$p_{dijk} = 0.62 \text{ (-)}$$

Heij ontwikkelde een analytische oplossing voor het stijghoogteverloop onder de rivier [9]. Volgens zijn formules geldt ter plaatse van de dijk de volgende relatie (afb. 7):

$$L_r = L_p (\Phi_b / (\Phi_o - \Phi_b)) \tanh (B / 2L_r)$$

met

- $L_r$  = spreidingslengte t.p.v. de rivier ( $= \sqrt{(KD_1 \cdot c_r)}$ ) (m)
- $L_p$  = spreidingslengte in de polder ( $= \sqrt{(KD_1 \cdot c_p)}$ ) (m)
- $\Phi_b$  = verschil tussen stijghoogte bij de dijk en rivierpeil (m)
- $\Phi_o$  = verschil tussen rivierpeil en polderpeil (m)
- $B$  = breedte van de rivier (m)
- $c_r$  = weerstand van de rivierbodem (dagen)
- $c_p$  = weerstand van de deklaag in de polder (dagen)

$KD_1$  = doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket ( $m^2/d$ ).

De belangrijkste aannamen voor deze formule zijn:

1. stationaire grondwaterstroming
2. ondoorlatende basis van het watervoerende pakket
3. symmetrie ten opzichte van de rivieras.

De formule kan worden herschreven voor putfactoren:

$$L_r = L_p ((1 - p_{dijk}) / p_{dijk}) \tanh (B / 2L_r)$$

Met een breedte van 600 m van de Lek en uiterwaarden gezamenlijk (afb. 1), een  $p_{dijk}$  van 0.62 en een  $L_p$  van 1.563 m wordt iteratief een waarde van 510 m berekend voor  $L_r$ . Bij een  $KD_1$ -waarde van 2000  $m^2/dag$  (zie pompproefanalyse) wordt een intreeverstand voor de Lek en uiterwaarden ter plaatse van de polders Langerak en Middelbroek/Ameide/Tienhoven van circa 130 dagen berekend.

De beschreven analyse van de natuurlijke grondwaterstroming is gebaseerd op een analytische berekening, waarbij is uitgegaan van één watervoerend pakket met een ondoorlatende basis. Veel realistischer

is het om de onderliggende kleilaag als slecht-doorlatend te beschouwen, zodat er uitwisseling van water tussen het eerste watervoerende pakket en de dieper gelegen watervoerende pakketten plaatsvindt. Deze stroming beïnvloedt de stijghoogten in alle watervoerende pakketten. In het gebied wordt bij regionaal hydrologisch onderzoek vaak met vier watervoerende pakketten gerekend.

### Pompproefanalyse

Van 7 tot 16 augustus 1990 is in de polder Langerak een pompproef in het eerste watervoerende pakket uitgevoerd. De gemeten stijghoogteverlagingen zijn gecorrigeerd om de verlagingen te bepalen die uitsluitend het gevolg zijn van de onttrekking. Correcties zijn uitgevoerd voor:

- getijdebewegingen,
- overige Lekpeilveranderingen (half-tijstanden).

Interpretatie van de meetreeksen heeft geen aanleiding gegeven om correcties uit te voeren voor veranderingen in stijghoogten door veranderingen in atmosferische druk en/of veranderingen van het freatisch niveau. Bij de analyse van stijghoogteverlagingen met een analytisch

model (formule voor radiale stroming) moet er ook een correctie plaatsvinden voor de invloed van de toename van de infiltratie vanuit de Lek door de pomp-proeffonttrekking. Hiervoor is het principe van de spiegelpompmethode gebruikt [10].

De gecorrigeerde stijghoogteverlagingen zijn geanalyseerd met de computer-programma's MLC en MLU. Het programma MLC dient in beginsel voor de berekening van stijghoogteverlagingen bij een stationaire putstroming en gegeven grondconstanten in een meerlagensysteem volgens een analytische methode [11]. Het programma kan ook worden gebruikt voor het berekenen van optimale waarden voor grondconstanten wanneer gemeten stijghoogten zijn ingevoerd (invers probleem). Bij de bepaling van de grondconstanten wordt gebruik gemaakt van niet-lineaire regressie en de kleinste kwadraten analyse [12]. Het computer-programma MLU is ontwikkeld voor de berekening van stijghoogteverlagingen en grondconstanten bij niet-stationaire putstroming in meerlagensystemen, waarbij niet alleen rekening wordt gehouden met de elastische bergingscoëfficiënten van de watervoerende lagen, maar ook met grondwater dat vrijkomt uit de slechtdoorlatende lagen [13].

Omdat alleen stijghoogteverlagingen in het eerste watervoerende pakket zijn gebruikt in de pompproefanalyse, kunnen slechts drie grondconstanten worden berekend. Deze constanten zijn:

1. het doorlaatvermogen van het eerste watervoerende pakket ( $KD_1$ ),
2. de elastische bergingscoëfficiënt van het eerste watervoerende pakket ( $S_1$ ),
3. de verticale weerstand van de deklaag ( $c_p$ ).

Voor de diepere watervoerende pakketten ( $KD_2 - KD_4$ ) en slechtdoorlatende lagen ( $c_2 - c_4$ ) zijn geschatte waarden gebruikt, die hieronder bij de beschrijving van het numerieke grondwaterstromingsmodel 'Langerak' worden besproken. Voor de elastische bergingscoëfficiënten van de diepere watervoerende pakketten en slechtdoorlatende lagen zijn waarden tussen  $2 \cdot 10^{-4}$  en  $4 \cdot 10^{-4}$  gebruikt; deze waarden zijn gebaseerd op de resultaten van pompproeven in de diepere pakketten en op de diktes van de verschillende zandpakketten en kleilagen [6]. Voor de bergingscoëfficiënt van de deklaag zijn verschillende waarden gebruikt tussen  $1e \cdot 10^{-3}$  en  $3 \cdot 10^{-3}$ . De berekeningen zijn voor groepen peilbuizen in 3 verschillende deelgebieden afzonderlijk uitgevoerd (tabel II).

TABEL II – Uit de pompproef berekende grondconstanten; zie afb. 1 voor de lokatie van de pompput en de peilputten.

Lokatie deelgebied	$KD_1$ (m <sup>2</sup> /d)	$c_p$ (d)	$S_1$ (-)
- Ten N/NO pompput	2100-2350	1400-1700	$1.1-1.5 \cdot 10^{-3}$
- Nabij de pompput (zandgeul)	1600-1650	800-1200	$0.6-1.1 \cdot 10^{-3}$
- Ten Z v.d. pompput	1550-1750	1600-1900	$0.5-0.7 \cdot 10^{-3}$

### Numerieke benadering

Met het computerprogramma Micro-Fem [14] kan stationaire grondwaterstroming worden gemodelleerd, waarbij het mogelijk is om rekening te houden met de invloed van dieper gelegen watervoerende pakketten. Voor het m.e.r.-onderzoek is met dit programma een numeriek grondwaterstromingsmodel gemaakt [6]. Dit grondwaterstromingsmodel bestaat uit vier watervoerende pakketten (met doorlaatvermogens  $KD_1$  t/m  $KD_4$ ), gescheiden door drie slechtdoorlatende lagen (met weerstanden  $c_2$ ,  $c_3$  en  $c_4$ ), begrensd door een slechtdoorlatende deklaag ( $c_1$ ) en een ondoorlatende basis  $c$ . De waarden die gebruikt zijn voor de grondconstanten  $KD_{1-4}$  en  $c_{2-4}$ , zijn afkomstig van analyses van pompproeven en boorprofielen in de polder Langerak of in de nabijheid ervan:

$$\begin{aligned} KD_1 &= 2.000 \text{ m}^2/\text{d} & c_2 &= 2.500 \text{ dagen} \\ KD_2 &= 1.000 \text{ m}^2/\text{d} & c_3 &= 4.000 \text{ dagen} \\ KD_3 &= 800 \text{ m}^2/\text{d} & c_4 &= 3.000 \text{ dagen} \\ KD_4 &= 1.500 \text{ m}^2/\text{d} & & \end{aligned}$$

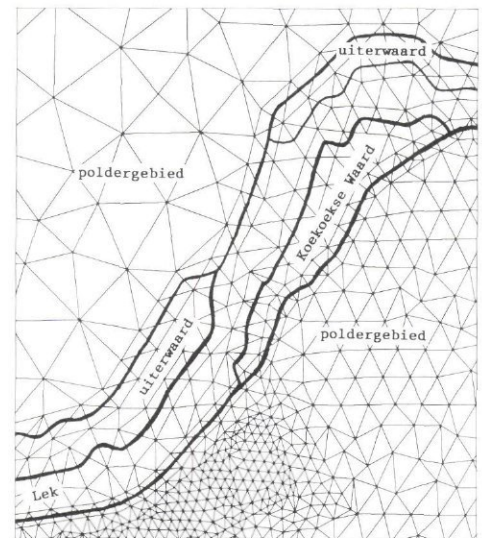
$KD_1$  is bekend van de pompproefanalyse (tabel II), hier is de gemiddelde waarde voor het onderzoeksgebied gegeven;  $c_2$  is een geschatte waarde op grond van boorprofielen [6] en regionale waarden [15]; overige parameters zijn afkomstig van pompproeven uitgevoerd in 1979 in het 2e en 3e watervoerende pakket [16, 17].

In het model zijn vaste waarden opgegeven voor het peil van de Lek en de grondwaterstanden in de uiterwaarden en het poldergebied.

### Putfactor-analyse

In het grondwaterstromingsmodel zijn de intree weerstand van de Lek ( $c_r$ ), de verticale weerstand van de uiterwaarden ( $c_u$ ) en de verticale weerstand van de polder ( $c_p$ ) bepaald met behulp van de gemeten putfactoren. De schematisatie van de ondergrond en de gebruikte waarden voor de grondconstanten  $KD_1-KD_4$  en  $c_2-c_4$  in het model zijn hierboven al beschreven. Voordelen van deze numerieke benadering ten opzichte van de hierboven gebruikte analytische methode zijn:

- dat er rekening kan worden gehouden met alle watervoerende pakketten en slechtdoorlatende lagen
- dat de intree weerstand van de Lekbodem en de verticale weerstand van de uiterwaarden apart kunnen worden bepaald
- dat de ligging van de rivier en de uiterwaarden niet hoeft te worden geschematiseerd tot een rechte rivier; door het gebruik van driehoekige elementen kunnen de meanders van de rivier en de vorm van de uiterwaarden nauwkeurig worden gemodelleerd (afb. 8).



Afb. 8 - Eindige elementen modellering van de rivier, uiterwaarden en polders.

De putfactoren zijn numeriek berekend door uit te gaan van een situatie waarin de grondwaterstand in het poldergebied een hoogte van 0 m heeft en het peil van de Lek én de grondwaterstand in de uiterwaarden een hoogte van +1 m hebben. De op deze manier berekende stijghoogten komen direct overeen met de putfactoren.

Door aanpassing (optimalisatie) van de parameters  $c_p$ ,  $c_r$  en  $c_u$  zijn de uit de veldmetingen afgeleide putfactoren zo goed mogelijk benaderd door de numeriek berekende putfactoren ('trial and error'). Een goede benadering van de waargenomen putfactoren (tabel III) is gevonden met de combinatie:

$$\begin{aligned} c_p &= 1.600 \text{ dagen} \\ c_r &= 100 \text{ dagen} \\ c_u &= 150 \text{ dagen.} \end{aligned}$$

TABEL III – Waargenomen en berekende putfactoren.

Afstand tot de Lekdijk	140 m	670 m	1500 m
gemiddelde gemeten waarden	0.551	0.423	0.233
numeriek berekende waarden	0.567	0.415	0.231

### Pompproefanalyse

Ook door modellering van de pompproef met het numerieke grondwaterstromingsmodel kunnen de weerstanden  $c_p$ ,  $c_r$  en  $c_u$  worden bepaald. Bij deze simulatie zijn de stijghoogteverlagingen berekend voor de verschillende peilbuizen bij stationaire grondwaterstroming. De berekende verlagingen zijn eindverlagingen die optreden onder invloed van de rivier ofwel bij een toegenomen Lekinfiltratie door de pompproefonttrekking. De ingevoerde variabelen  $c_p$ ,  $c_r$  en  $c_u$  zijn zodanig aangepast (optimalisatie) dat de in het model berekende verlagingen de bij de pompproef opgetreden verlagingen zo goed mogelijk benaderen (tabel IV).

TABEL IV - Eindverlagingen bepaald uit de veldmetingen tijdens de pompproef (kolom A) en met het numerieke grondwaterstromingsmodel (kolom B); zie afb. 1 voor de lokaties van de peilbuizen.

Peilbuis nummer	Afstand tot pompput (m)	A (cm)	B (cm)
90/6	13,5	92	75,1
P77	499	16,5	17,9
90/7	634	12,5	13,5
87/5	699	11,8	11,2
P121	788	13,8	12,2
P137	826	9,3	11,2
P129	1.141	9,2	8,3
P136	1.397	5,3	5,5

De simulatie is uitgevoerd met dezelfde schematisatie en waarden voor de grondconstanten als van het al eerder beschreven Micro-Fem-model. Ook nu is de beste benadering gevonden bij  $c_p = 1600$  dagen,  $c_r = 100$  dagen en  $c_u = 150$  dagen.

### Discussie

Heij en Kester [9] hebben op enkele plaatsen de intree weerstand van de Lek met analytische methoden vastgesteld. Hierna is de intree weerstand in de tussenliggende gebieden door interpolatie geschat en vervolgens in een numeriek tweelagenmodel geoptimaliseerd. Zij berekenen dat de intree weerstand van de Lek en uiterwaarden gezamenlijk oploopt van ongeveer 100 dagen bij Ameide tot 150 dagen nabij Langerak. De bij de analytische putfactoren-analyse berekende intree weerstandwaarde van de Lek en uiterwaarden gezamenlijk van 130 dagen ter plaatse van het onderzoeksgebied komt hiermee goed overeen. De bij de numerieke analyses bepaalde waarden van 100 dagen voor de Lek en 150 dagen voor de uiterwaarden sluiten hier ook goed bij aan.

Uit de resultaten van de verschillende methoden (tabel V) blijkt dat de met het numeriek meerlagenmodel verkregen uitkomsten goed overeenkomen met de

TABEL V - Overzicht van de berekende weerstanden met verschillende methoden;  $r+u$  = weerstand van de Lek + uiterwaarden;  $r$  = intree weerstand van de Lek;  $u$  = verticale weerstand van de uiterwaarden;  $c$  = verticale weerstand van de Holocene deklaag ter plaatse van de polder Langerak (dagen).

putfactoranalyse - analytisch	$r+u = 130$	
pompproefanalyse - analytisch		$c = 1400-1900$ (800-1200 in zandgeulen)
putfactoranalyse - numeriek	$r = 100$ $u = 150$	$c = 1600$
pompproefanalyse - numeriek	$r = 100$ $u = 150$	$c = 1600$

(semi-)analytisch berekende waarden. De intree weerstand van de rivier en de verticale weerstand van de uiterwaarden kunnen in het numerieke model apart worden bepaald, waardoor meer gedetailleerde informatie wordt verkregen. Een voordeel ten opzichte van analytische methoden is ook dat de ligging van de rivier en de uiterwaarden niet hoeft te worden geschematiseerd volgens rechte grenzen.

### Literatuur

1. Provincie Zuid-Holland (1985). *Lange-termijnbeleid Drink- en Industrievoorziening*.
2. Provincie Zuid-Holland (1986). *Grondwaterplan Zuid-Holland*.
3. Speets, R. en Kleijberg, R. J. M. (1990). Milieu-effectonderzoek Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. H<sub>2</sub>O (23) 1990, nr. 21, p. 570-575.
4. Halbertsma, J. (1990). Milieu-effectonderzoek grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden; lokatiekeuze. H<sub>2</sub>O (23) 1990, nr. 21, p. 578-581.
5. Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland (1990). *Beleidsplan 'Ontwikkeling van de grondwaterwinning in de Alblasserwaard en Vijfheerenlanden en langs de Lekoevers'*.
6. Timmerman, P. H. A. en Brussel, J. F. M. van (1992). *Geohydrologisch onderzoek naar de effecten van oevergrondwaterwinning te Langerak*. Milieu-effectrapport Grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, fase 2. Watermaatschappij Zuid-Holland Oost, Gouda.
7. Mazure, J. P. (1936). *Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. Rapp. en Meded. Zuiderzeewerken 5, 67-131, Den Haag.
8. Colenbrander, H. J. (1961). *Een berekening van hydrologische bodemconstanten, uitgaande van een stationaire grondwaterstroming*. In: *De waterbehoefte van de Tielerveerd-West*. Interimrapport van werkgroep I, Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden, p. 55-58.
9. Heij, G. J. en Kester, C. G. M. (1980). *De hydrologische interactie tussen de grotere waterlopen en het grondwater in West-Utrecht*. RID-mededeling 80-7, Voorburg.
10. Kruseman, G. P. and De Ridder, N. A. (1990). *Analysis and evaluation of pumping test data*. Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 47, Wageningen.
11. Hemker, C. J. (1984). *Steady groundwaterflow in leaky Multiple-aquifer systems*. Journal of hydrology 72: 355-374.
12. Hemker, C. J. (1985). *A general purpose microcomputer Aquifer test Evaluation technique*.

Groundwater vol. 23, no.2: 247-253. 13. Hemker, C. J. en Maas, C. (1987). *Unsteady flow to wells in layered and fissured aquifer systems*. Journal of Hydrology 90: 231-249.

14. Hemker, C. J. en Van Elburg, H. (1990). *Micro-Fem version 2.0: User's manual: Microcomputer multilayer steady state finite element groundwater modeling*. Amsterdam.
15. Pruisen, F. G. M. van en Hemker, C. J. (1988). *Een geohydrologisch onderzoek naar de mogelijkheden van diepe grondwaterwinningen in de Vijfheerenlanden*. Milieu-effectrapport grondwaterwinning Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, fase 1, deelrapport 3.
16. Rolf, H. L. M. (1981). *Geohydrologische mogelijkheden voor grondwaterwinning te Tienhoven en Nieuwpoort (Alblasserwaard); een verkennende studie op basis van pompproeven*. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, Voorburg.
17. Hemker, C. J. (1981). *De toepassing van een analytisch meerlagenmodel ter bepaling van grondconstanten, verziltingsgevaar en verblijftijden op de pompproeflokatie Langerak*. Drinkwaterleiding Alblasserwaard en Vijfheerenlanden, Meerkerk.



### Drinkwaterprijs WNWB voor het eerst sinds 1982 verhoogd

Per 1 januari 1993 is de prijs voor duizend liter (één kubieke meter) drinkwater met twaalf cent omhoog van vijftientig cent naar zevenennegentig cent. Een gezin met twee kinderen dat jaarlijks gemiddeld honderdvijftig kubieke meter verbruikt, gaat door deze prijsstijging ongeveer achttien gulden per jaar meer betalen. Voor de grootverbruikers is een extra tariefstijging nodig met vijf cent per kubieke meter. Zij betalen nú namelijk minder dan de kleinverbruikers terwijl de WNWB streeft naar een evenwichtige verdeling van de kosten van de drinkwatervoorziening over alle verbruikers. Dit is besloten door de aandeelhouders van de NV Waterleiding Maatschappij 'Noord-West-Brabant' die op 17 december vergaderden.

De prijsverhoging is nodig om de stijgende kosten te dekken die vooral veroorzaakt worden door noodzakelijke investeringen in de drinkwaterpompstations en het leidingnet. Het is de eerste verhoging van het tarief voor huishoudelijk en klein-zakelijk waterverbruik sinds 1982. De laatste tien jaar daalde de waterprijs voor kleinverbruikers van honderdnegentien cent tot vijftientig cent per kubieke meter. Ondanks de prijsstijging behoort het WNWB-tarief nog steeds tot de laagste in Nederland. In 1993 zal de prijs die de ruim veertig Nederlandse waterleidingbedrijven berekenen, variëren tussen de tweehonderdvijftig en vijfennegentig cent per kubieke meter. (Persbericht WNWB)