

De Sichardt-snelheid en het maximaal toelaatbare debiet van waterwinningsputten

1. Inleiding

Voor de dimensionering van waterwinningsputten en met name voor de bepaling van het maximaal toelaatbare debiet dat aan een put onttrokken kan worden bestaan vele, onderling sterk verschillende, richtlijnen. Uit een literatuuronderzoek dat in het kader van de werkzaamheden van de Commissie Putten van het KIWA is verricht, is gebleken dat de belangrijkste richtlijnen in twee groepen uiteenvallen. Verreweg de grootste groep maakt bij het bepalen van de richtlijnen gebruik van



IR. T. N. OLSTHOORN
Projectgroep Grondwater,
KIWA

gegevens die beschreven zijn in een publicatie van Sichardt [1]. (Richtlijnen van o.a. Sichardt, Gross, Truelsen, Bieske en Davidenkoff).

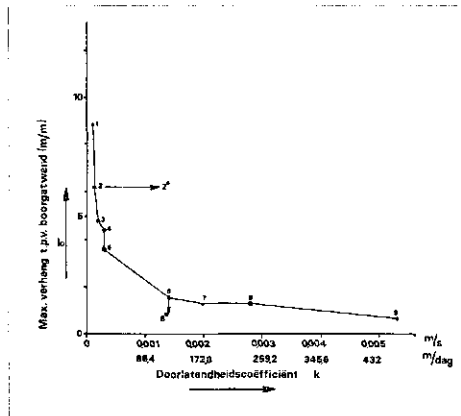
Een kleinere groep (o.a. Geiseler en Zweck) baseert zijn richtlijnen op resultaten van proeven in modellen.

Naar de waarde van de in de literatuur beschreven richtlijnen is nader onderzoek verricht. Een opsomming van de betreffende richtlijnen wordt gegeven in een rapport van de Commissie Putten, dat binnenkort als KIWA-mededeling wordt uitgegeven [2]. In het onderstaande wordt de basis van de richtlijnen van de eerste groep, namelijk de publicatie van Sichardt, kritisch beschouwd. Uit deze beschouwing zal blijken dat de theorie van Sichardt een toetsing aan de huidige kennis omtrent het stroombeeld in de onmiddellijke omgeving van een put niet kan doorstaan. Het dimensioneren van putten op basis van de zogenaamde 'Sichardt-snelheid' en de daarvan afgeleide richtlijnen is daarom in wezen ongefundeerd.

In een komende publicatie zal nader worden ingegaan op alternatieve richtlijnen, waarvoor een eerste aanzet is gegeven door middel van een onderzoek in een putmodel dat door het KIWA op verzoek van de Commissie Putten is uitgevoerd.

2. Samenvatting van de theorie van Sichardt

Sichardt heeft in de praktijk ervaren dat de opbrengst van een put in een freatisch pakket niet onbeperkt kan worden opgevoerd. Voor zo'n put blijkt een bepaald maximum debiet te gelden. Hij nam aan dat het verhang van het freatisch vlak een bepaalde waarde niet zou kunnen overschrijden. Dit maximum verhang zou uit-



Afb. 1 - Metingen welke ten grondslag liggen aan de Sichardt-snelheid.

sluitend een functie van de doorlatendheidscoëfficiënt van het bodemmateriaal zijn. Deze theorie is gebaseerd op een onderzoek aan een negental putten uit de praktijk, alle bronbemalingen, waarbij steeds een hele reeks putten tegelijkertijd in bedrijf was.

Deze putten hadden geen omstorting doch waren met fijn tressengaas, dat de bodempartikels moest tegenhouden, omspannen. Van de negen putten werd met formule (1) het optredende verhang aan de buitenzijde van het putfilter berekend, nadat de putten gedurende een lange periode continu in bedrijf waren en de stroming praktisch stationair was geworden:

$$i_0 = Q_0 / 2\pi r_0 y_0 k \quad (1)$$

waarin:

i_0 = het verhang aan buitenzijde van het putfilter

Q_0 = maximale opbrengst bij stationaire stroming (m^3/s)

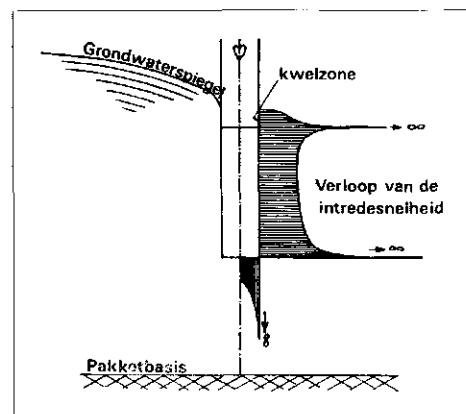
$2r_0$ = diameter van het putfilter (m)

y_0 = lengte van de natte buitenzijde van het putfilter (m)

k = doorlatendheidscoëfficiënt (m/s)

De zo verkregen i_0 -waarden werden uit-

Afb. 2 - Verdeling van de intredesnelheid bij onvolkomen put (volgens Nahrgang [6]).



gezet als functie van de doorlatendheidscoëfficiënt (zie afb. 1).

De verkregen punten lagen bij benadering op de hyperbool die voldoet aan:

$$i_0 = \frac{1}{15 \sqrt{k}} \quad (2)$$

Met behulp van $v = ki_0$ wordt met deze vergelijking de richtlijn voor de maximaal toelaatbare intredesnelheid ($v = \sqrt{k}/15$) gevonden. Deze richtlijn is in de loop der jaren een eigen leven gaan leiden en is vaak klakkeloos door latere auteurs nagevolgd, zonder dat rekening is gehouden met de specifieke omstandigheden van het onderzoek van Sichardt.

Sichardt stelt dat de gevonden i_0 -waarden zich in de praktijk hebben voorgedaan na een lange pompperiode en zij derhalve een praktische waarde bezitten. Weliswaar kunnen, volgens Sichardt, gedurende kortere pompperioden nog grotere verhangen (i_m) worden bereikt, doch omdat het tressengaas bij te hoge grondwatersnelheden gaat dichtslibben moet er steeds voor gezorgd worden dat het verhang beneden een bepaalde voor de praktijk geldende maximale waarde i_0 blijft.

Voorts zegt Sichardt ervan te hebben afgezien het absoluut grootste verhang, dat gedurende korte tijd mogelijk zou zijn, vast te stellen.

Hij vermeldt dan ook nergens in hoeverre de door hem voor de stationaire stromingstoestand vastgestelde i_0 -waarden theoretisch nog zouden kunnen worden overschreden en spreekt uitsluitend over praktijkwaarden.

3. De huidige opvatting

Ofschoon nog geen sluitende analytische oplossing voor de grondwaterstroming rond een put in een freatisch pakket is gevonden, is op grond van modelonderzoek, stroombeeldanalyse e.d. een benaderingsformule opgesteld voor de berekening van de lengte van de kwelzone (Huisman [4]).

In de kwelzone sijpelt het grondwater door de boorgatwand en stroomt vertikaal langs deze wand naar het wateroppervlak in de omstorting, vanwaar het wordt meegevoerd de put in (zie afb. 2).

De lengte van de kwelzone bedraagt (Huisman [4]):

$$m_0 \approx \frac{H}{2} \left(1 - \frac{h_0}{H}\right)^2 \quad (3)$$

waarin H de oorspronkelijke pakketdikte en h_0 de waterstand in de put.

h_0 blijkt aan de vergelijking van Dupuit te voldoen:

$$H^2 - h_0^2 = \frac{Q_0}{\pi k} \ln \left(\frac{R}{r_0}\right) \quad (4)$$

waaruit de maximale opbrengst volgt door $h_0 = 0$ in te vullen:

$$Q_0 \text{ max} = \pi k H^2 / \ln \left(\frac{R}{r_0} \right) \quad (5)$$

Uit (3) en (4) blijkt nu dat het freatisch vlak buiten de putten nooit verder verlaagd kan worden dan tot de helft van de oorspronkelijke pakketdikte en dat dit alleen dan nog maar kan indien h_0 tot nul verlaagd kan worden, d.w.z. als de put volledig droog wordt gepompt. Dit zal bij de waterwinning nooit kunnen voorkomen.

4. Sichardt's putten

Voor de gegevens van 3 van de 9 putten wordt door Sichardt verwezen naar het boek van dr. ing. Joachim Schultze [6]. Deze 3 putten hebben betrekking op de bouw van de sluis te Wemeldinge. De afstand van het freatisch vlak direct buiten de putten tot aan de zuigleiding bedroeg hier 5,70 m; de afstand van de zuigleiding tot de basis van het watervoerend pakket 10,65 m. Omdat in de praktijk de zuighoogte beperkt zal blijven tot 7 à 8 meter moet men veronderstellen dat de waterstand in de putten nog 2,65 à 3,65 meter zal zijn geweest. De theoretische maximale opbrengst is derhalve te Wemeldinge niet gehaald. De maximale opbrengst werd waarschijnlijk door het bereiken van de maximum zuighoogte bepaald.

Een andere put die nagetrokken kan worden betreft de bronbemaling bij de bouw van de noordelijke sluis in de Plötzensee (1909) welke beschreven wordt in de dissertatie van dipl. ing. Wilhelm Kyrieleis [5]. Hier werden in een freatisch pakket met een oorspronkelijke dikte van 14,45 m putten toegepast met een filterlengte van slechts 4 meter. De waterdiepte om de put met maximale verlaging bedroeg nog ± 8 meter, terwijl dit voor de meeste putten beduidend meer was. Een aanzienlijk deel van de afpomping moet hier worden toegeschreven aan het effect van onvolkomenheid van het putfilter, zodat met volkomen putten stellig een grotere opbrengst mogelijk was geweest. Ook hier is vermoedelijk niet de maximum capaciteit bereikt.

5. Tegenstellingen tussen de moderne opvatting en de theorie van Sichardt

Volgens de moderne inzichten is het maximale verhang rond een put geheel onafhankelijk van de doorlatendheid; dit verhang wordt uitsluitend bepaald door de geometrie van het watervoerend pakket en de put. Dit is eenvoudig in te zien door vgl. 5 in vgl. 1 te substitueren. Het maximale verhang wordt dan:

$$i_0 = \frac{(H^2 - h_0^2)}{2r_0 y_0 \ln \left(\frac{R}{r_0} \right)} \quad (\text{met } h_0 = 0) \quad (6)$$

In deze vgl. komt de k niet voor, terwijl zij juist de enige parameter is in de vgl. van Sichardt (zie vgl. 2).

In afb. 1 is de grafiek weergegeven waarop Sichardt zijn theorie heeft gebaseerd.

De formule $\frac{\sqrt{k}}{15}$ is wiskundig wel goed

geconditioneerd doch in de praktijk betekent zij dat: a. bij kleine k -waarden grote variaties in i_0 zijn te verwachten; b. bij kleine i_0 -waarden sterk verschillende k -waarden worden aangetroffen. Dat dit plausibel is leert nadere beschouwing van afb. 1.

Uit deze afbeelding blijkt dat bij eenzelfde k -waarde van 0,0003 m/s twee verschillende i_0 -waarden werden gevonden; nl. 3,54 en 4,44. Iets dergelijks geldt bij een i_0 -waarde van 1,30 waarbij twee verschillende k -waarden werden aangetroffen, nl. 0,002 m/s en 0,0028 m/s. Men moet dus concluderen dat de benaderde formule van Sichardt niet erg nauwkeurig kan zijn voor grote en voor kleine k -waarden, terwijl we in het tussenliggende deel niet over metingen beschikken.

Deze geringe nauwkeurigheid is ook wel zeer waarschijnlijk omdat eenvoudig kan worden aangetoond dat de grafiek gebaseerd is op een groot aantal toevalligheden in plaats van op bepaalde fysieke wetten. Indien bijv. de diameters van de putten om willekeurige redenen tweemaal zo groot zouden zijn geweest dan zouden de punten in de grafiek op een geheel andere plaats zijn gelegen en zou de Sichardt-formule er anders hebben uitgezien.

De maximale opbrengst van de put is immers evenredig met $\ln \left(\frac{R}{r_0} \right)$. Onder normale omstandigheden heeft R een orde van grootte van 50 à 1000 m. Bij een putdiameter van 0,15 m bedraagt de waarde van deze logaritme 6,50 à 9,50. Bij verdubbeling van de putdiameter nemen deze waarden toe tot 7,20 à 10,19, waaruit volgt dat het putdebiet bij verdubbeling van de diameter toeneemt met 11 à 7 %; gemiddeld 9 %. Het maximale verhang zou derhalve met 9 % stijgen door debietstoe name maar tegelijkertijd met 50 % dalen door verdubbeling van de putradius. Door deze verdubbeling neemt het maximum verhang dus af met ca. 45 %. In plaats van het gevonden punt no. 6 van de grafiek zou dan punt 6* zijn gevonden.

Aan het begin van deze paragraaf is reeds op de diskrepantie geduïd welke bestaat

tussen de moderne theorie en de Sichardt-formule ten aanzien van de invloed van de doorlatendheidscoëfficiënt op het maximum verhang. In werkelijkheid is dit verhang onafhankelijk van k .

Dit impliceert dat Sichardt geheel andere punten in zijn grafiek had gevonden indien de doorlatendheid toevallig anders was geweest. Zou de geometrie van de situatie elders overeenkomstig die van put 2 zijn doch de doorlatendheidscoëfficiënt het 10-voudige bedragen dan zou naast punt 2* zijn gevonden.

In beide gevallen zou de zo bekende grafiek vermoedelijk nooit zijn ontstaan. Tenslotte kon Sichardt nog niet op de hoogte zijn van het wezen van de kwelzone die de maximum verlaging rond een put tot de halve pakketdikte beperkt en wist ook niet dat het freatisch vlak in werkelijkheid altijd aan de boorgatwand raakt; dat wil zeggen verticaal staat (Nahrgang [6]) (zie afb. 2).

Oneigenlijk gebruik van de Sichardt-snelheid

De theorie van Sichardt beperkt zich, in tegenstelling tot het gebruik van zijn formule, tot putten in freatische pakketten. Hij stelt persoonlijk ([1], blz. 17) dat zijn theorie niet geldt voor putten in pakketten met spannings- of semispanningswater omdat in deze putten het piëzometrisch niveau bepalend is, dat verder kan worden verlaagd dan de grondwaterstand rond putten in pakketten met freatisch water. Gebruik van Sichardt-snelheid bij de dimensionering van putten in watervoerende pakketten met (semi-) spanningswater is derhalve oneigenlijk.

Conclusies

1. De theorie rond de Sichardt-snelheid heeft uitsluitend betrekking op putten in freatisch grondwater bij een stationaire toestroming.
2. Sichardt stelt zelf dat de theorie voor putten in pakketten met (semi-)spanningswater niet geldt.
3. Sichardt vermeldt ten aanzien van verstoppen van de putten uitsluitend dat de intredesnelheid beneden een voor de praktijk geldende maximale waarde moet blijven, daar anders het tressengaas zou verstopten.
4. Sichardt concludeert dat zijn waarden in de praktijk bereikt werden na een lange pompperiode en dat deze waarden de gezochte voor de praktijk geldende maxima zijn.
5. Sichardt's verband tussen verhang en

doorlatendheid blijkt op toevallige omstandigheden te berusten.

6. Het kan geenszins gegarandeerd worden dat de maximale opbrengst van de door Sichardt onderzochte putten werkelijk is bereikt.

7. De theorie van Sichardt kan een toetsing aan de huidige opvattingen niet doorstaan.

8. Het dimensioneren van putten op basis van de 'Sichardt-snelheid' of hiervan afgeleide richtlijnen is derhalve in wezen ongefundeerd, zeker indien men dit doet om verstopping en verzanding te voorkomen en de Sichardt-snelheid wordt toegepast voor putten in pakketten met (semi-) spanningswater.

9. Het is zeer gewenst tot alternatieve ontwerpnormen te komen welke beter door praktijk en theorie worden gestaafd.

Literatuur

1. Sichardt, W.: *Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, insbesondere für grössere Absenkungstiefen*, Berlin: Julius Springer 1928.
2. Kobus, E. J. M., Olsthoorn, T. N., Tuinzaad, H. en Vogel, A. N. G. de: *Omstortingen van waterwinningsputten en het maximaal toelaatbare putdebiet* (KIWA-mededeling nr. 43).
3. Schultze, J.: *Die Grundwasserabsenkung in Theorie und Praxis*, Berlin: Julius Springer 1924.
4. Huisman, L.: *Groundwater Recovery*, London, Mac Millan, 1972.
5. Kyrieleis, W.: *Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten*, Berlijn, Julius Springer 1913.
6. Nahrgang, G.: *Zur Theorie des vollkommenen und des unvollkommenen Brunnens*, Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer, 1954.

