

Eenvoudig instrument ontwikkeld voor doorlatendheidsbepaling en grondwaterbemonstering

Inleiding

Bij modelgericht onderzoek naar de stroming van vervuild grondwater is gedetailleerde kennis van de doorlatendheid en waterkwaliteit noodzakelijk. Pompproeven en putproeven zijn hiervoor minder geschikt omdat hiermee alleen een gemiddelde doorlatendheid van de watervoerende laag bepaald kan worden. Bovendien zijn pompproeven duur bij veelvuldige toepassing. Bestaande methoden om puntmetingen van de doorlatendheid te verrichten blijken in de praktijk nogal omslachtig.



JOOST C. HERWEIJER
student hydrogeologie,
Instituut voor Aardwetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam



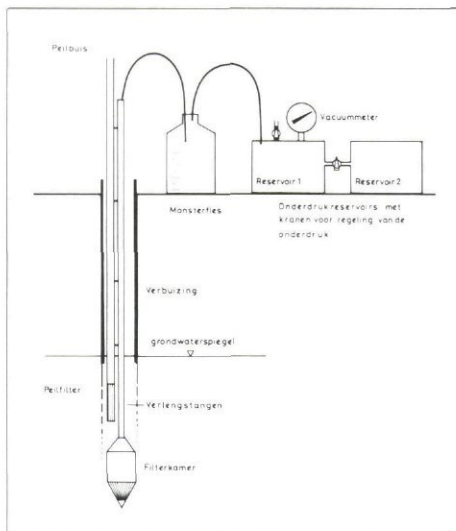
ERIK K. VERHOEFF
student hydrogeologie,
Instituut voor Aardwetenschappen
Vrije Universiteit Amsterdam

Tijdens onderzoek op de Veluwe naar stroming van vervuild grondwater in een ondiep freatisch aquifer [Herweijer, 1982; Verhoeff, 1982] is gezocht naar een goedkope en eenvoudige manier om de doorlatendheid in situ op opeenvolgende lagen binnen een aquifer te bepalen en grondwatermonsters op verschillende diepten te nemen. Het hiervoor ontwikkelde instrument werd gebruikt bij het grondwater kwaliteitsonderzoek op de Veluwe.

Beschrijving van het instrument

Afb. 1 geeft een schematische voorstelling van het instrument. Het bestaat uit een filterkamer, verlengstangen, monsterfles, twee onderdruk reservoirs, een nauwkeurige vacuümmeter en een peilbuis met filter. Voor het gebruik van het instrument zijn verder een vacuümpomp en stopwatch nodig. De diameter en de vorm van het filter zijn zo gekozen dat een goed contact ontstaat tussen de filterwand en het 'ongestoorde' sediment. De lengte van het filter is vrijwel gelijk aan de diameter van de filterkamer. De filterkamer kan met verschillende slibfilters worden uitgerust.

Op de filterkamer zijn verlengstangen gemonteerd waarmee deze op de bodem van een boorgat geplaatst wordt en er uit verwijderd kan worden. De afstand tussen het peilfilter en de filterkamer is 10 cm. In de peilbuis wordt de stijghoogte met een eenvoudige elektrische schakeling gemeten.



Afb. 1 - Schematische voorstelling van het instrument.

Werkwijze

De filterkamer met het peilfilter wordt op minimaal 50 cm onder de grondwaterspiegel, in het niet-verbuise onderste deel van een boorgat geplaatst. De afstand tussen de onderkant van de verbuizing en de filterkamer moet minimaal 40 cm bedragen. Een boorgat kan met een Edelman-boor of een (hand-)pulsinstallatie gemaakt zijn. Het grondwater wordt met een onderdruk onttrokken. Na het verrichten van een puntproef en/of het nemen van een grondwatermonster wordt de filterkamer met het peilfilter uit het sediment verwijderd. Vervolgens kan het bestaande boorgat verdiept worden, waarna een nieuwe meting verricht kan worden. Met de eerder genoemde boortechnieken kan het

instrument tot op een diepte van circa 7 m gebruikt worden.

Gebruik van het instrument op grotere diepten is in principe mogelijk. Het toepassen van het vacuümpomp-principe impliceert wel dat de grondwaterspiegel of het stijghoogteoppervlak niet dieper dan 6 á 7 m mag liggen. De foto toont de veldopstelling van het instrument.

Bepaling van de doorlatendheid

Puntproef

Puntproeven voor de bepaling van de doorlatendheid berusten in het algemeen op grondwater stijghoogtemetingen in een al dan niet verbuise boorgat, waaraan een volume water is of wordt onttrokken.

Het meest bekend is de methode van Hooghoudt [Van Beers, 1958]. Luthin en Kirkham (1949) en Ernst en Altling (1951) ontwikkelden daarnaast formules voor puntproeven in verbuise boorgaten. Recent werd op dit gebied onderzoek verricht door Bruggeman (1976) en Uffink (1979).

Het verband tussen een grondwater-onttrekking (Q) en de stijghoogteverlaging (s) is afgeleid voor stationaire radiale toestroming naar een ideaal bolvormig filter in een oneindig veld. De analytische oplossing hiervoor is:

$$Q = 4 \cdot \pi \cdot K \cdot R \cdot s \quad (1)$$

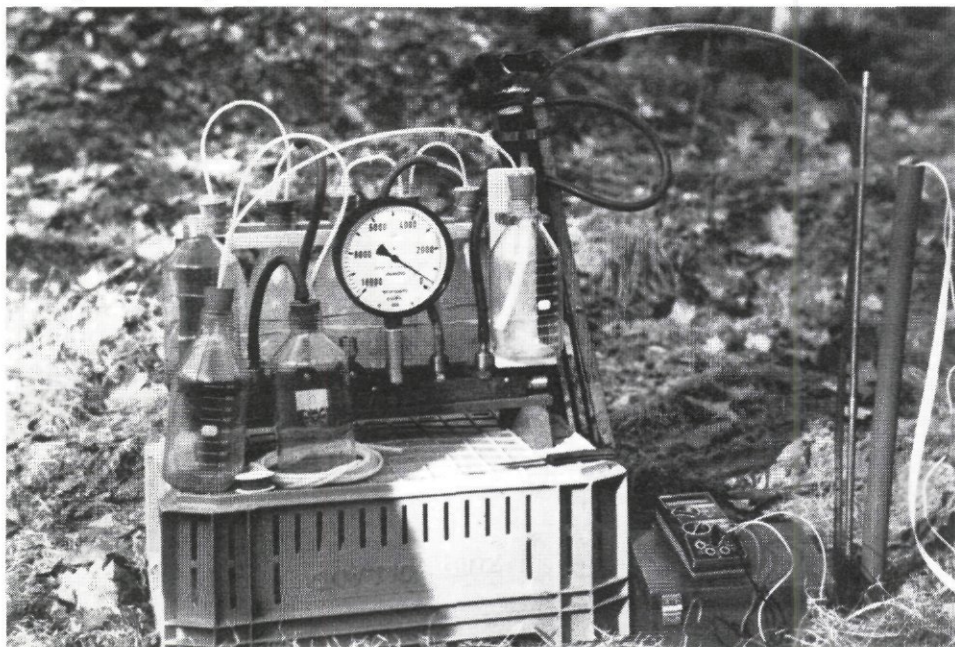
Q = onttrekking (m^3/dag)

K = doorlatendheid (m/dag)

R = filterstraal (m)

s = stijghoogteverlaging (m)

Veldopstelling van het instrument. Links zijn de onderdruk reservoirs, de vacuümmeter en de monsterfles zichtbaar, rechts het boorgat met de verlengstangen en de peilbuis.



de afleiding van deze formule is o.a. te vinden in Langguth en Voigt (1980). Uit deze formule volgt dat meting van de onttrekking en de stijghoogteverlaging in principe voldoende zijn om de doorlatendheid te berekenen. Het instrument en de meting moeten dan wel voldoen aan de voorwaarden, welke gelden voor formule 1.

In hoeverre het instrument en de meting aan deze voorwaarden voldoen zal in het nu volgende puntgewijs worden toegelicht.

Stationaire stroming

Een zekere tijd (T) na het begin van de grondwateronttrekking is de stroming naar het filter bij benadering stationair. Bruggeman (1976) leidde af dat de afwijking van de stationaire stroming naar een ideaal bolvormig filter kleiner is dan 1% als:

$$T > \frac{10^4 \cdot B \cdot R}{\pi \cdot K} \quad (2)$$

T = tijd na begin van de onttrekking (dagen)
B = specifieke elastische bergingscoëfficiënt (1/m)

De filterstraal van het instrument is 0.028 m. Indien B = 0.0001 1/m en K = 10 m/dag, volgt uit 2 dat de toestroming na 1.3 minuten bij benadering stationair is. In de praktijk werd deze korte niet-stationaire aanloopperiode bevestigd door de veldmetingen. De stijghoogte bleek na twee minuten niet meetbaar meer te veranderen.

Radiale toestroming

Alleen indien de puntproef wordt uitgevoerd met een ideaal bolvormig filter in een oneindig veld is de toestroming radiaal. Iedere afwijking van de ideale bolvorm heeft een verandering in de geometrie van de toestroming tot gevolg. Om formule 1 toe te passen moet een correctiefactor worden ingevoerd. De waarde van deze correctiefactor wordt door de filtervorm bepaald. Met deze correctiefactor (F) wordt formule 1:

$$Q = 4 \cdot \pi \cdot K \cdot R \cdot s \cdot F \quad (3)$$

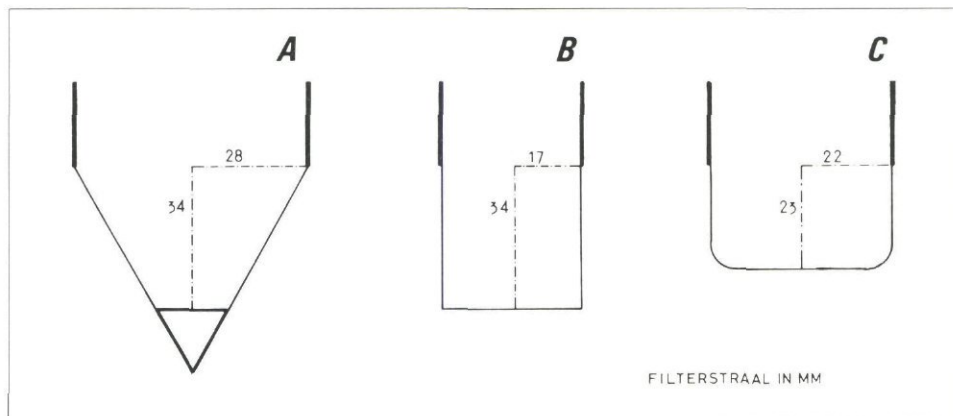
stel:

$$A = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot F$$

dan kan deze vergelijking herschreven worden als:

$$Q = A \cdot K \cdot s \quad (4)$$

Onderzoek naar de waarde van A, voor verschillende filtervormen is verricht door Luthin en Kirkham (1949), Ernst en Alting (1951) en Youngs (1968). Voor de verschillende filtervormen waarvan in bovengenoemde studies A-waarden werden berekend, werd voor elke filtervorm de straal bepaald, zodanig dat de filteroppervlakte van



Afb. 2 - Schematische weergave van de verschillende filtervormen.

A: Filtervorm van het instrument.

B: Cilindervormig filter toegepast voor de benadering van Luthin en Kirkham.

C: Afgerond cilindervormig filter toegepast voor de benadering van Ernst en Alting.

elk filter overeenkomt met die van het door ons gebruikte filter (afb. 2).

Indien het filter cilindervormig is (afb. 2.b; Luthin en Kirkham) geldt:

$$A = 0.180 \text{ m}$$

De benadering van Ernst en Alting, waarbij van een afgerond boorgat werd uitgegaan (afb. 2.c) levert:

$$A = 0.175 \text{ m}$$

Voor het filter van het instrument is als eerste benadering van deze A-waarde genomen:

$$A = 0.175 \text{ m}$$

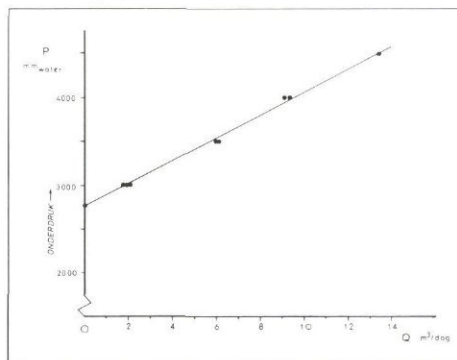
Oneindig veld

Door de geringe afmeting van het filter en de zeer kleine onttrekking is aan de randvoorwaarde van een oneindig veld bij benadering voldaan, indien het filter voldoende diep onder de grondwaterspiegel geplaatst is. In de praktijk bleek een diepte van 50 cm voldoende.

Bepaling van de stijghoogteverlaging en de onttrekking

Met het instrument wordt grondwater door middel van een onderdruk onttrokken.

Afb. 3 - Lineair verband tussen de onderdruk (P) en de onttrekking (Q) voor een meetlocatie.



Tussen deze onderdruk en de onttrekking werd een lineair verband gemeten.

Afb. 3 geeft deze lineaire relatie voor een meetpunt weer. Dit betekent dat indien de onderdruk op een bepaalde waarde constant gehouden wordt, de onttrekking tevens als constant beschouwd mag worden. De twee onderdruk reservoirs bieden in combinatie met de vacuüm-meter de mogelijkheid om de onderdruk langdurig constant te houden.

De onttrekking zelf wordt bepaald door tijdens de puntproef herhaalde malen het tijdsinterval te meten waarin een bepaald volume water in de monsterfles stroomt. De stijghoogteverlaging nabij de filterkamer wordt met een eenvoudige elektrische schakeling in de peilbuis gemeten. Hiermee kan een nauwkeurigheid van een halve mm worden bereikt.

Resultaten

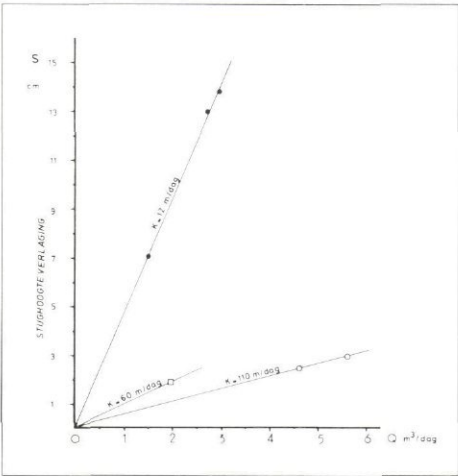
Puntproeven

Met het instrument zijn een aantal puntproeven verricht. Gemiddeld duurde de uitvoering van elke puntproef 20 minuten. Voor twee meetlocaties werd de stijghoogteverlaging bij verschillende onderdrukken gemeten. In overeenstemming met formule 3 liggen de meetpunten per locatie op een rechte lijn (afb. 4). Hieruit blijkt dat aan de voor formule 3 geldende voorwaarden is voldaan. De geringe spreiding van de meetpunten ten opzichte van de rechte lijn toont aan dat de stijghoogteverlaging en de onttrekking met voldoende nauwkeurigheid gemeten kunnen worden.

Van het sediment waarin de puntproeven verricht zijn, werden ook granulometrisch de doorlatendheden geschat.

Voor deze schatting werd de methode van De Ridder en Wit gebruikt [Boonstra en De Ridder, 1981].

Deze schattingen leverden goede overeen-



Afb. 4 - Verband tussen de stijghoogteverlaging (s) en de onttrekking (Q) voor verschillende meetlocaties.

komst op met de resultaten van de puntproeven (tabel I).

TABEL I - vergelijking doorlatendheidsbepalingen

Uitkomst puntproef	Uitkomst granulometrie
60 m/dag	60 m/dag
12 m/dag	5 m/dag
100 m/dag	100 m/dag

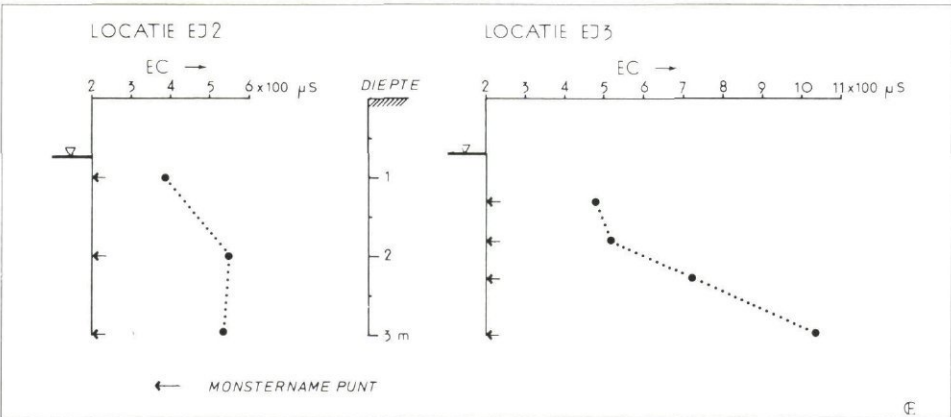
Monstername

Met het instrument is het mogelijk om op verschillende diepten in een watervoerende laag grondwatermonsters te nemen (afb. 5). Hiervoor wordt een boorgat tot op de maximaal gewenste diepte gepulst, waarna de verbuizing, gevolgd door de filterkamer na elke bemonstering, stapsgewijs omhoog getrokken wordt. Gemiddeld moest een volume van drie liter worden onttrokken om een monster te verkrijgen waarvan de kwaliteit representatief was voor een meetpunt. Het nemen van een grondwatermonster duurt ongeveer 15 minuten.

Discussie

Het beschreven instrument is geschikt voor

Afb. 5 - Twee profielen van het specifiek electrisch-geleidend-vermogen, bepaald in monsters genomen met het instrument.



het nemen van grondwatermonsters en voor de bepaling van de doorlatendheid in situ van zandige ongeconsolideerde sedimenten. De puntproef die met dit instrument verricht kan worden heeft enkele voordelen ten opzichte van de eerder genoemde puntmethoden ter bepaling van de doorlatendheid:

- de puntproef wordt verricht tijdens stationaire stroming. Dit betekent dat de berging van het instrument geen invloed op de uitkomst van de puntproef heeft. Bovendien hoeft geen stijghoogte-verloop bepaald te worden;
- bij de eerder genoemde puntmethoden wordt de stijghoogte gemeten met hetzelfde filter als waaraan onttrokken werd. Hierdoor moet gecorrigeerd worden voor een (extra) filterweerstand [Uffink, 1979]. Met het instrument wordt de stijghoogte met een apart filter gemeten, waardoor de filterweerstand geen invloed op de uitkomst van de puntproef heeft.

Met het instrument is het mogelijk om metingen op verschillende diepten in eenzelfde boorgat te verrichten. Twee personen kunnen tot een diepte van circa 7 m de boring met handkracht uitvoeren en de metingen verrichten. Nader onderzoek is nodig om de uitkomsten van deze puntproef te vergelijken met op andere wijze verkregen K-waarden. Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het feit dat de toestroming naar het filter bij de gebruikte puntproef 'radiaal' is. Hierdoor kan een vergelijking van deze puntproef met bijvoorbeeld een putproef (horizontale toestroming) tot verschillen leiden.

De invloed van de afstand tussen het peilfilter en de filterkamer op de uitkomsten van de puntproef kan onderzocht worden. Consequent gebruik van dezelfde afstand levert steeds onderling vergelijkbare resultaten. Ditzelfde geldt ook voor de correctiefactor voor de vorm van het filter en de afwijking in de radiale toestroming.

Dankwoord

We willen graag Jeanine Buitenkamp, Theo Hamer en Jan Vink hartelijk danken voor de hulp bij de metingen en de technische realisatie van het instrument en prof. dr. N. A. de Ridder en drs. C. J. Hemker voor het kritisch doorlezen van het manuscript.

Literatuur

Beers, W. F. J. van (1958). *The Auger-hole method*. ILRI Bulletin 1, Wageningen, 32 p.
Boonstra, J., Ridder, N. A. de. (1981). *Numerical modelling of groundwater basins*. ILRI Publication 29, Wageningen, 226 p.
Bruggeman, G. A. (1976). *Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van pompproeven*. Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek, cursus porositeit en permeabiliteit. Delft, 12 p.
Ernst, L. F., Altling, J. (1951). *Interne nota Landbouw Proefstation*. (TNO) Groningen.
Herweijer, J. C. (1982). *Hydrochemische identificatie van stroming van vervuild grondwater met behulp van een massa-transport model*. Intern rapport, Inst. v. Aardwetenschappen, VU Amsterdam, 41 p.
Langguth, H. R., Voigt, R. (1980). *Hydrogeologische Methoden*. Springer Verlag Berlin, 486 p.
Luthin, J. N., Kirkham, D. A. (1949). *Piezometer method for measuring permeability of soil in situ below a water table*. Soil Science Society of America, 69, 349-358.
Uffink, G. J. M. (1972). *De bepaling van K-waarden in het veld aan de hand van 'put proeven' en 'punt-proeven'*. RID Mededeling 79-2, Den Haag, 61 p.
Verhoeff, E. K. (1982). *Onderzoek naar het voorkomen van vervuild grondwater als gevolg van overbemesting, met behulp van geofysische methoden en INMOG*. Intern rapport, Inst. voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam, 45 p.
Youngs, E. G. (1968). *Shape factors for Kirkham's piezometer method for determining the hydraulic conductivity in situ for soils overlaying an impermeable floor or infinitely permeable stratum*. Soil Science Society of America, 106, 235-237.