



Reinout Lageman, Lambda Consult
Wiebe Pool, Holland Environment Group

Elektrokinetische schermen tegen intrusie zout water

Zeewaterintrusie in kustzones, vooral als gevolg van overmatige grondwateronttrekking, vormt één van de grotere problemen voor de zoetwatervoorziening in kustgebieden. Er bestaan verscheidene methoden om dit probleem te minimaliseren, zoals grondwaterdammen, infiltratiebekkens of afschermingsbronnen om zout water af te pompen en een naar de zee gerichte zoetwatergradiënt te creëren. Toenemende kosten voor waterwinning en onderhoud en onzekerheid over de beschikbaarheid van drinkwater op de lange termijn dwingen de autoriteiten tot het vinden van andere wegen om het probleem op te lossen. Een innovatieve oplossing is de toepassing van elektrokinetische schermen langs de kust, waarmee chloride- (en natrium)ionen worden opgevangen. Elektrokinetische schermen worden reeds toegepast voor het afschermen van verontreinigde grondwaterpluimen. Met computersimulaties kan worden aangetoond dat elektrokinetische afscherming ook een commercieel toepasbaar en interessant alternatief kan zijn, met name wanneer de noodzakelijke elektrische energie via duurzame energiebronnen wordt opgewekt.

In grote delen van de wereld vormt grondwater nog altijd de grootste bron van zoet water. Vooral in dichtbevolkte kustgebieden, waar men het gebruikt voor drinkwater en irrigatie. Bijna tweederde van de wereldbevolking leeft binnen een afstand van 400 km van de kust; iets meer dan de helft binnen een afstand van 200 km, een gebied dat slechts tien procent beslaat van het aardoppervlak¹.

Onder natuurlijke omstandigheden hebben wereldwijd vrijwel alle kustzones in meer of mindere mate te maken met verziltingsproblemen van de zoetwateraquifers. Onder normale condities stroomt zoet grondwater vanuit watervoerende lagen (aquifers) en infiltratiegebieden in het binnenland naar de uitstroomgebieden aan zee². Door natuureffecten als getijdenbewegingen en klimaat- en zeespiegelveranderingen kan dit proces echter omdraaien. Menselijk handelen, zoals de winning van zoet grondwater in de kustgebieden, heeft de grootste invloed op zeewaterintrusie.

De mate waarin en snelheid waarmee zeewaterintrusie kan optreden, wordt goed geïllustreerd door een voorbeeld uit China, waar men het probleem al sinds 1960 bestudeert. Onderzoeken in de kustplaatsen Laizou in 1971 en in Lonkou in 1979⁴ toonden aan dat overmatig pompen van grondwater in deze gebieden tot een

aanzienlijke zoutwaterintrusie leidt. Het betreft een overgangszone van 1,5 tot 6,0 km en een aquiferoppervlakte van meer dan 580 m². In het begin kwamen de waarnemingen uit specifieke geïsoleerde gebiedjes met een totale grootte van 0,5 km². In de daaropvolgende jaren nam het verzilte gebied in omvang toe, doordat meer grondwater voor landbouw en industrie werd opgepompt. In 1979 besloeg het verzilte gebied 16 km², in 1982 was dat 39 km², in 1984 71 km² en in 1987 al 196 km². In 1989 was de hele kust tot aan Laizou over een aaneengesloten zone van 238 km² verzilt. De gemiddelde jaarlijkse toename steeg van vier km² in 1970 tot 30 km² in 1989.

In andere kustgebieden in de wereld zullen zich vergelijkbare, slechtere of betere situaties voordoen, afhankelijk van locatie-specifieke omstandigheden als (hydro) geologie, klimaat, aanwezigheid van rivieren, bevolkingsdichtheid en landgebruik.

Controle van zeewaterintrusie

Er bestaan verschillende methoden om zeewaterintrusie tegen te gaan. De meest voorkomende zijn diepe infiltratiebronnen die ondergrondse grondwaterdammen kunnen creëren. Ook worden infiltratiebekkens toegepast die men vult met afstromend regenwater of water uit de rivieren. Gedurende de laatste jaren zijn met name in de Verenigde Staten alternatieve methoden onderzocht⁵.

Infiltratiebronnen, infiltratiebekkens en afschermingsbronnen hebben hun nut bewezen bij het bewaren van het juiste evenwicht tussen onttrekking en aanvulling van zoet grondwater. Effectieve controle van zoutwaterintrusie wordt bewerkstelligd door een combinatie van de juiste monitoringstechnieken, twee- en driedimensionale modellering van zeewaterintrusie⁶ en het toepassen van methoden zoals hiervoor beschreven. Er zijn echter situaties waar dit niet mogelijk is, bijvoorbeeld door gebrek aan oppervlaktewater. In zulke gevallen kunnen elektrokinetische schermen een goed alternatief vormen.

Elektrokinetische technologie

Elektrokinetische schermen zijn een afgeleide toepassing van in-situ elektrokinetische bodemsanering of in-situ elektroreclamatie. Deze techniek is voor praktische toepassing ontwikkeld door Lageman & Pool vanaf het midden van de jaren '80^{7,8}. De techniek berust op het in de grond brengen van elektrische gelijkstroom (DC) via in de ondergrond geplaatste anoden en kathoden. Onder invloed van het elektrische veld worden zware metalen, cyanide, arseen en andere ionische of polaire toxische elementen uit de ondergrond verwijderd. De elektroden staan niet in direct contact met het bodemmateriaal, maar hangen in speciale, onderling verbonden verticale filterbuizen, waardoorheen een

waterige oplossing (elektrolyt) circuleert. Via de elektrolyten worden fysisch-chemische processen rond de elektroden geconditioneerd en verontreinigingen opgevangen: positief geladen verbindingen in de kathoden en negatief geladen verbindingen in de anoden.

Een elektrokinetisch scherm moet daarentegen worden opgevat als een passieve methode voor afscherming, isolatie en sanering van verontreinigde grondwaterpluimen of als een in-situ-methode om polaire voedingsstoffen aan de grondwaterpluim toe te voegen om biodegradatie te bevorderen⁹⁾. De ionische verontreinigingen worden met het grondwater meegevoerd en op het moment dat zij in de schermzone komen, moet de elektrische potentiaal groot genoeg zijn om de grondwaterstromingsnelheid te overwinnen, zodat ze worden afgebogen en opgevangen in de elektrodenfilters met tegengestelde lading. Een elektrokinetisch scherm verwijdert slechts de verontreinigingen en oefent geen invloed uit op het grondwaterstromingsregime.

Een dergelijk scherm kan echter ook worden gebruikt om natrium- en chloride-ionen op te vangen aan de voorzijde van een landinwaarts oprukkend zoet-zoutgrensvlak. Onder invloed van het opgewekte elektrische potentiaalveld worden de natrium- en chloride-ionen in de schermzone afgebogen naar respectievelijk de kathode- en anode-elektrodefilters en in de elektrolyten opgevangen. Periodiek worden zij daaruit verwijderd, wanneer de concentraties van beide componenten een bepaalde, vooraf vastgestelde waarde hebben bereikt.

De hoeveelheid chloride of natrium die wordt verwijderd kan eenvoudig worden berekend met behulp van de Wet van Faraday:

$$m = \frac{I * t * M}{F * z}$$

waarin:

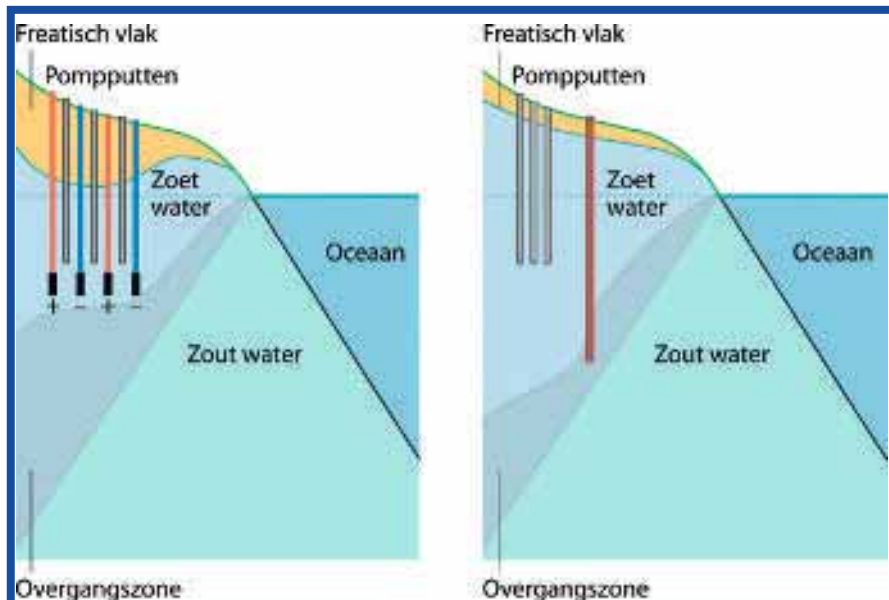
- m = massa van chloride of natrium (g)
- I = stroomsterkte (A)
- t = tijd (s)
- M = molecuulgewicht van chloride (35,5) en/of natrium (23)
- F = 96485 of constante van Faraday (C/mol)
- z = valentie van chloride en/of natrium (1)

Het is echter niet noodzakelijk om alle chloride te verwijderen. Er hoeft slechts zoveel chloride te worden opgevangen dat de concentratie ervan in het water achter het scherm voldoet aan de drinkwater- of irrigatienorm.

Het rendement van een elektrokinetisch scherm kan worden gedefinieerd als:

$$N_d = \frac{\text{aantal geladen deeltjes opgevangen in het scherm}}{\text{aantal geladen deeltjes dat op het scherm afkomt}}$$

of



Afb. 1: A. Horizontaal elektrokinetisch scherm houdt verticale verzilting tegen.

Afb. 1: B. Verticaal elektrokinetisch scherm houdt laterale verzilting tegen.

$$N_d = \frac{C_b - C_e}{C_b} * 100$$

waarin:

- N_d = rendement (%)
- C_b = concentratie van ionen voor het scherm ($\mu\text{g/l}$)
- C_e = concentratie van ionen achter het scherm ($\mu\text{g/l}$)

Een dreigende verzilting van een puttenveld kan worden tegengegaan door een horizontaal (afbeelding 1a) of verticaal (afbeelding 1b) elektrokinetisch scherm te plaatsen.

Bij de dimensionering van een elektrokinetisch scherm zijn de volgende parameters van belang:

- V_{gw} grondwatersnelheid (m/jaar)
- μ elektrokinetische mobiliteit (m^2/Vs)
- Φ elektrische potentiaal (V)
- R_f specifieke weerstand van de bodem (Ohm.m)
- H lengte van de elektroden (m)
- L lengte van het scherm (m)
- D afstand tussen de elektroden (m)
- r radius van de elektroden (m)

Het is niet moeilijk in te zien dat de grondwaterstromingsnelheid één van de belangrijkste factoren is die bepaalt of een elektrokinetisch scherm technisch- en energetisch-economisch haalbaar is. Hoe groter de stromingsnelheid, des te hoger de noodzakelijke spanning tussen de elektroden en des te hoger de stroomsterkte per meter elektrode en dus ook de jaarlijkse operationele kosten. Er is echter een limiet aan de elektrische stroomsterkte: te hoge stroomsterktes zullen leiden tot excessieve warmte-ontwikkeling, zelfs tot kokende elektrolyten en een oncontroleerbaar systeem. De stroomsterkte wordt vermindert door de afstand tussen de elektroden te verkleinen. Hoe kleiner de afstand des te kleiner het potentiaalverschil dat nodig is om de ionen af te buigen en in het scherm op te vangen. Dit betekent echter meer elektroden en hogere investeringskosten.

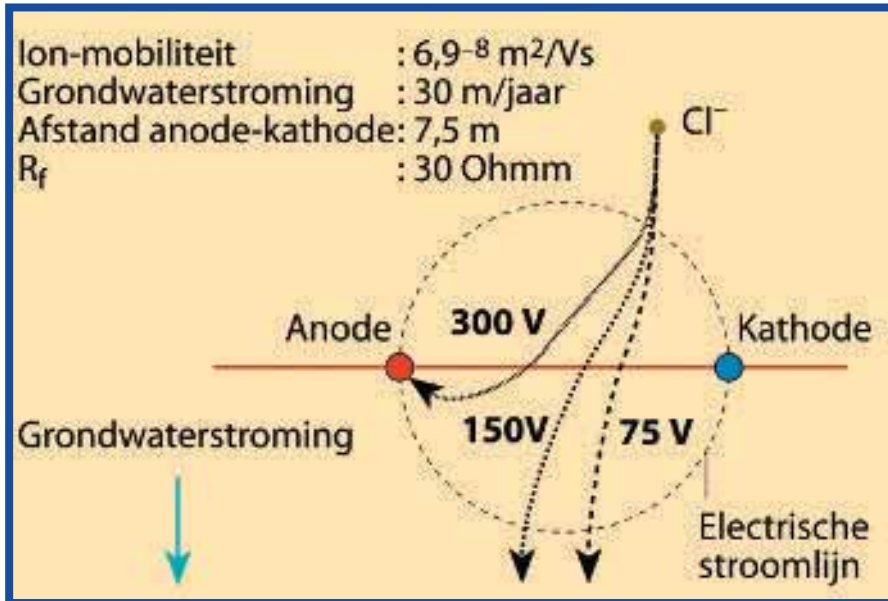
Het optimaliseren van investeringskosten en operationele kosten wordt verwezenlijkt door eerst een simpele analytische formule toe te passen, waarmee voorlopige waarden voor potentiaal en stroomsterkte worden berekend als functie van de afstand tussen de elektroden, de schijnbare specifieke weerstand van de bodem, de weerstand van het grondwater, de ion-mobiliteit en de grondwatersnelheid. Deze waarden worden gevalideerd in een computerprogramma, dat de stroombanen van een ion berekent op het moment dat zij onder invloed van het scherm komen (zie afbeelding 2).

Door diverse simulaties uit te voeren, kunnen de optimale waarden voor installatie en operationele kosten worden bepaald.

Uit de afbeelding kan worden afgelezen dat bij een grondwaterstromingsnelheid van 30 meter per jaar ongeveer een kwart van de chloride-ionen wordt opgevangen, bij een spanning van 75 V tussen de elektroden. Bij 150 V wordt ongeveer de helft van de ionen opgevangen en bij 300 V alle ionen. De afstand tussen de elektroden bedraagt 7,5 meter en het elektrische vermogen is een functie van het voltage en de specifieke elektrische weerstand van de bodem.

In Tokyo is sinds 2005 een elektrokinetisch scherm geïnstalleerd in een industriegebied om te voorkomen dat chroom naar een aangrenzende stroomafwaarts gelegen locatie migreert. In Nederland is van 2001 tot en met 2007 een elektrokinetisch bioscherm getest bij een chemische wasserij¹⁰⁾. Via het scherm werden polaire nutriënten homogeen in het grondwater verspreid om reductieve dechlorinatie van gechlorideerde koolwaterstoffen te bespoedigen.

Recent is een plan ingediend voor het plaatsen van een elektrokinetisch scherm in het zuiden van het land, om een sterk met zink verontreinigd brongebied af te schermen van de grondwaterpluim.



Afb. 2: Computersimulatie van de stroombaan van een chloride-ion dat de schermzone binnenkomt (bovenaanzicht).

Hydraulische versus elektrokinetische methode

Uit recent onderzoek naar de afscherming van zeewater langs de West Coast Basin in Californië blijkt dat injectiebronnen van zoet water met succes sinds 1950 de intrusie van zeewater in de overgeëxploiteerde aquifers hebben tegengehouden¹¹⁾. Met een totale scherm lengte van 27,6 km en een gemiddelde schermdiepte van 130 meter bedraagt het schermoppervlak $3.588.000 \text{ m}^2$. De jaarlijkse kosten van waterinjectie ($37,8 \times 10^6$ kubieke meter) en onderhoud komen uit op 19 miljoen dollar. Dit resulteert in een kostprijs van 5,30 dollar per m^2 scherm. Een kostencalculatie van een elektrokinetisch scherm, uitgaande van overeenkomstige omstandigheden komt

uit op 3,50 dollar per m^2 . Dit is niet alleen het verschil van bijna twee dollar, maar ook is het dan niet nodig om die kleine 38 miljoen kubieke meter zoet water te injecteren. Daarenboven kan tweederde van de jaarlijkse operationele kosten worden toegeschreven aan afschrijving en onderhoud over een periode van 25 jaar, terwijl eenderde elektriciteitskosten zijn, uitgaande van een kWh-prijs van 0,10 dollar. Kustgebieden hebben over het algemeen een gunstig windklimaat; voor een groot deel van het jaarlijkse energieverbruik kan men wind- (en zonne-)energie gebruiken.

LITERATUUR

- Hinrichsen D. (2007). Ocean planet in decline.
- De Breuck W. (1991). Hydrogeology of salt-water intrusion: methods and instruments, pag. 223. Verlag Heinz Heise & Co.
- Freeze R. en J. Cherry (1979). Groundwater: groundwater resource evaluation, pag. 375-378. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Xue Y., J. Wu, P. Liu, J. Wang, Q. Jiang en H. Shi (1993). Ground water: a study on sea-water intrusion in the coastal area of Laizhou Bay, China: distribution of sea-water intrusion and its hydrochemical characteristics, nr. 4, pag. 532-537.
- Johnson T. en R. Whitaker (2004). Saltwater intrusion in the coastal aquifers of Los Angeles county. Coastal Aquifer Management pag. 29-48. Cheng A. en D. Ouazar. Lewis Publishers.
- Gualbert H. en P. Oude Essink (2001). Salt water intrusion in a three-dimensional groundwater system in The Netherlands: a numerical study. Transport in Porous Media nr. 43, pag. 137-158.
- Lageman R., R. Clarke en W. Pool (2005). Electro-reclamation, a versatile soil remediation solution. Engineering Geology, Special Issue, Electrokinetic Remediation pag. 191-201.
- Lageman R. en W. Pool (2009). Experiences with field applications of electrokinetic remediation. Electrochemical Remediation Technologies for polluted Soils, Sediments and Groundwater pag. 697-717. John Wiley & Sons.
- Lageman R. en W. Pool (2009). Electrokinetic biofences. Electrochemical Remediation Technologies for polluted Soils, Sediments and Groundwater pag. 357-366. John Wiley & Sons.
- Godschalk M. en R. Lageman (2005). Electrokinetic biofence, remediation of VOC with solar energy and bacteria. Engineering Geology, Special Issue, Electrokinetic Remediation pag. 225-231.
- Johnson T. (2007). Battling seawater intrusion in the central & west coast basins. WRD Technical Bulletin 13.

advertentie



Grondboorbedrijf Haitjema B.V. www.haitjema.nl

Grondboorbedrijf Haitjema is als zelfstandige onderneming gespecialiseerd in het engineeren, bouwen en meerjarig onderhouden van complete grondwaterinstallaties.

Wij staan dag en nacht voor u klaar!

AL ALUWILDE OMBODSMAN VAN DE VERBODEN



Wisseling 10 Postbus 109 7700 AC Dedemsvaart T: 0523 - 6120 61 F: 0523 - 615950

Email: info@haitjema.nl