
Lisse effect, Wieringermeer effect en omgekeerd Wieringermeer effect: internationaal onderkend

Abrupte en disproportionele stijging en daling van het grondwater

Louis W. Dekker¹, Klaas Oostindie² en Jan G. Wesseling²

Het Lisse effect, Wieringermeer effect en omgekeerd Wieringermeer effect zijn de oorzaak van onverwacht snelle en grote grondwaterstandsschommelingen. Het Lisse effect is het gevolg van luchtinsluiting tussen het infiltratiefront en het freatisch vlak. Het Wieringermeer en omgekeerd Wieringermeer effect zijn het gevolg van wederzijdse conversie van de volcapillaire zone in de grondwaterzone, na respectievelijk geringe verdamping en geringe neerslaghoeveelheden. In dit artikel wordt een kort overzicht gegeven van deze verschijnselen, die als eerste in Nederland zijn ontdekt en daarna wereldwijd zijn onderkend. Deze hydrologische fenomenen kunnen leiden tot problemen bij het correct modelleren van grondwaterstanden.

Inleiding

In tegenstelling tot wat vaak wordt aangenomen, komt een direct verband tussen de in peilbuizen waargenomen grondwaterstand en de hoeveelheid regenwater slechts zelden voor. Soms heeft neerslag een geringe invloed op de grondwaterstand en in andere gevallen is de grondwaterstijging er het veelvoud van. Normaliter mag men verwachten dat, gedurende en na een regenbui, eerst de onverzadigde zone met het regenwater wordt aangevuld. Hiervan kan veel in de grond worden opgeslagen zonder grondwaterstijging. Zo kan afhankelijk van de toestand van de onverzadigde zone een grote hoeveelheid neerslag nauwelijks effect hebben op de grondwaterstand, maar een kleine hoeveelheid neerslag daarna kan de grondwaterstand duidelijk verhogen. Maar bij een grond met een onverzadigde op een volcapillaire zone, kan zelfs een klein regenbuitje een sterke grondwaterstijging veroorzaken doordat bodemlucht door infiltrerend regenwater wordt afgesloten en samengedrukt. Dit hydrologisch fenomeen werd in 1923 vastgesteld in een duinzandgrond en is wereldwijd bekend geworden als het "Lisse effect". Grote en abrupte veranderingen van de grondwater-

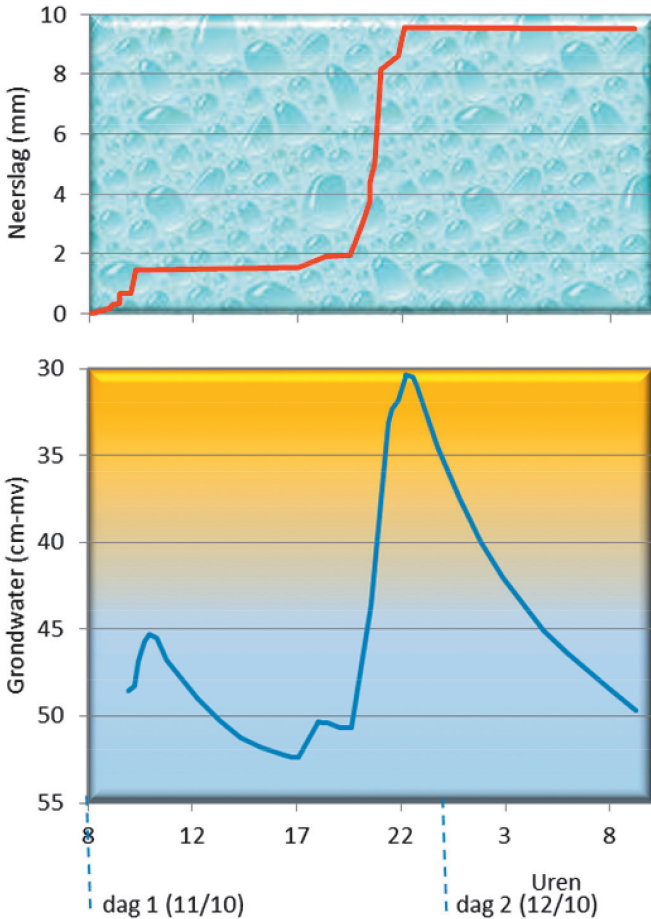
1 Dr. Louis W. Dekker (louis.dekker@wur.nl) is gastmedewerker bij zowel Wageningen Universiteit, Soil Physics and Land Management group, als bij Alterra, Team Bodem, Water en Landgebruik. KWR Watercycle research Institute, Nieuwegein. (Edu.Dorland@kwrwater.nl)

2 Klaas Oostindie (klaas.oostindie@wur.nl) en Dr. Ir. Jan G. Wesseling (jan.wesseling@wur.nl) zijn werkzaam bij Wageningen Universiteit, Soil Physics and Land Management group, alsmede bij Alterra, Team Bodem, Water en Landgebruik.

stand kunnen ook optreden bij gronden, waarbij de volcapillaire zone tot nabij het maaiveld reikt. Dit werd voor het eerst vastgesteld in de Wieringermeer in 1930. Door verdamping werd binnen een dag een grondwaterdaling van 40 cm waargenomen, hetgeen men aanduidde met "Wieringermeer effect". Na weinig neerslag steeg de grondwaterstand even sterk. Dit werd "omgekeerd Wieringermeer effect" genoemd. Internationaal is dit verschijnsel bekend geworden als het "reverse Wieringermeer effect". Met een literatuurstudie zijn we nagegaan wat bekend is over het optreden en de verbreiding van deze snelle veranderingen in de grondwaterstand.

De ontdekking van het Lisse effect

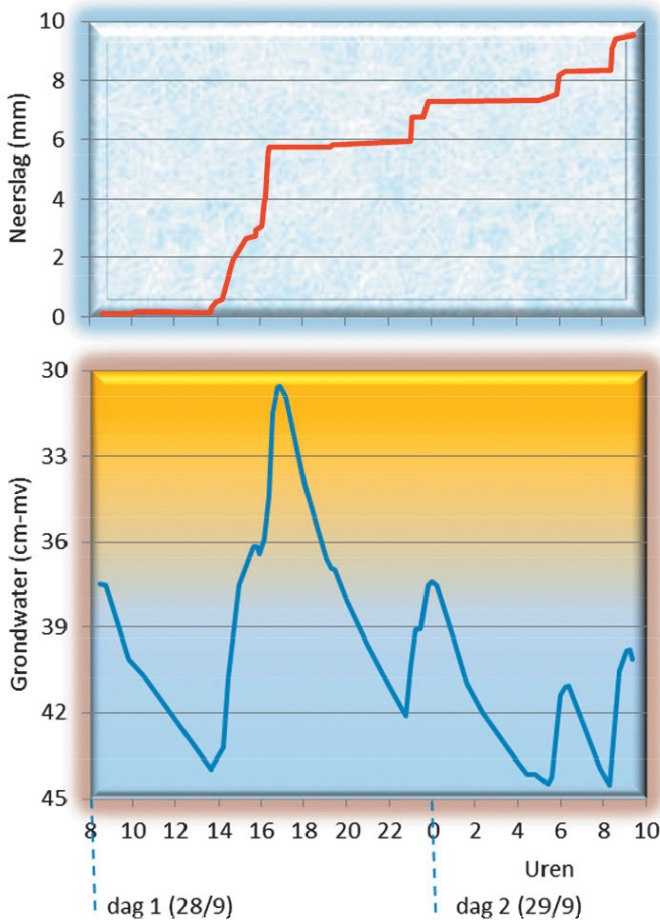
De heren Volkersz en Grimme, leraren aan de tuinbouwschool in Lisse, namen sinds april 1923 eigenaardige verschijnselen waar bij het meten van grondwaterstanden in hun proefveld. Ze hadden in deze zandgrond peilbuizen aangebracht (Volkersz, 1929). Het was hen opgevallen dat de waterstand in de peilbuizen onmiddellijk na regenval steeg en dat dit startte voordat het regenwater redelijkerwijs het grondwater kon be-



Afbeelding 1: Neerslag- en grondwaterstandsverloop in Lisse op 11 en 12 oktober 1926 (naar Thal Larsen, 1931)

reiken. Ook was de stijging veel groter dan overeenkwam met de hoeveelheid regen. Na de regenval daalde het grondwater en werd na enkele uren de "normale" stand weer bereikt. Hun experimenten trokken veel aandacht, zodat zij hun primitieve meetopstelling door een geperfectioneerd exemplaar mochten vervangen. De grondwaterstanden werden hierbij op een diagramstrook opgetekend. Ook werd de cumulatieve neerslag geregistreerd. Zodoende kon duidelijk het verband tussen beide grootheden worden vastgesteld. Afbeelding 1 geeft een voorbeeld van het Lisse effect, waarbij 7,5 mm neerslag, die in de avond viel, direct gevolgd werd door een grondwaterstijging van 51 naar 31,5 cm. Onmiddellijk na de regen daalde de grondwaterstand geleidelijk en stond na tien uur alweer op 50 cm, bijna terug op de stand voor de bui.

Afbeelding 2 geeft een voorbeeld waarbij binnen een tijdsbestek van drie uur met 5 mm neerslag de grondwaterstand steeg van 44 naar 31 cm en daarna binnen zes uur alweer zakte naar 42 cm. Vervolgens resulteerde ieder regenbuitje in een kortstondig hogere grondwaterstand. Sommige bodemkundigen spreken bij het optreden hiervan over "zenuwachtige gronden".

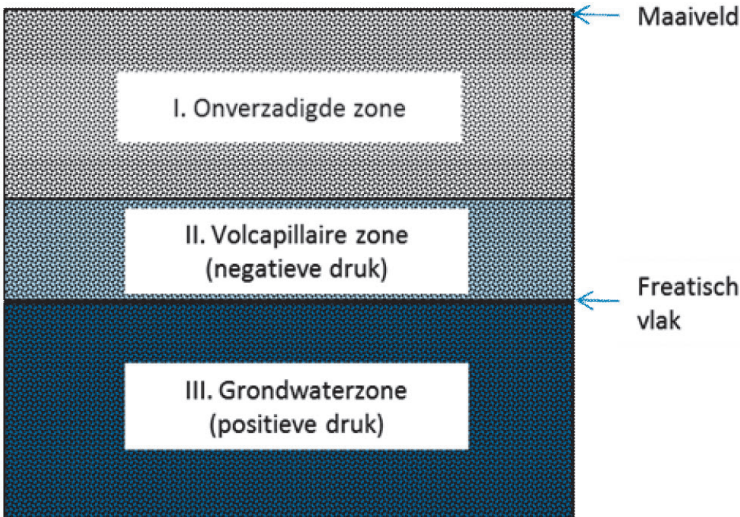


Afbeelding 2: Neerslag- en grondwaterstandsverloop in Lisse op 28 en 29 september 1926 (naar Thal Larsen, 1931)

Verklaring van het Lisse effect

Nadat het Lisse effect was ontdekt werd geprobeerd het verschijnsel te verklaren. Zo trachtte Heymann (1929) in het laboratorium met een kolommenproef het verschijnsel na te bootsen. Na toediening van water op het zandoppervlak met een verstuiver, steeg het waterniveau in het peilbuisje. De stijging was veel groter dan verwacht op grond van de toegediende hoeveelheid water. Na de besproeiing trad een langzame daling van de grondwaterstand op. Heymann stelde met een manometer vast dat de lucht in de zandkolom tussen de grondwaterstand en het vochtfront werd samengeperst. Door de hogere luchtdruk steeg het water in het peilbuisje en verhinderde het luchtkussen de samenvoeging van neerslag met grondwater.

Thal Larsen hield naar aanleiding van de waterstandsverschijnselen in Lisse een lezing op een Landbouwweek in Wageningen. Zijn verhandeling verscheen in het Landbouwkundig Tijdschrift (Thal Larsen, 1931). Met een schematisch overzicht over de aanwezigheid van water in het bodemprofiel gaf hij een toelichting over het "Lisse effect" (afbeelding 3). Het freatisch vlak is het niveau waarop het water na enige tijd komt te staan in een geboord gat en in een peilbuis. Volgens Thal Larsen (1981) heeft dit tot gevolg dat water in de grondwaterzone van laag III de hydrostatische wet nastreeft. Een eigenlijke waterspiegel als grens tussen laag III en de volcapillaire zone van laag II bestaat niet. In laag II kan de grond evenals in laag III verzadigd zijn. Er is alleen verschil in druktoestand, in laag II is die negatief en in III positief.

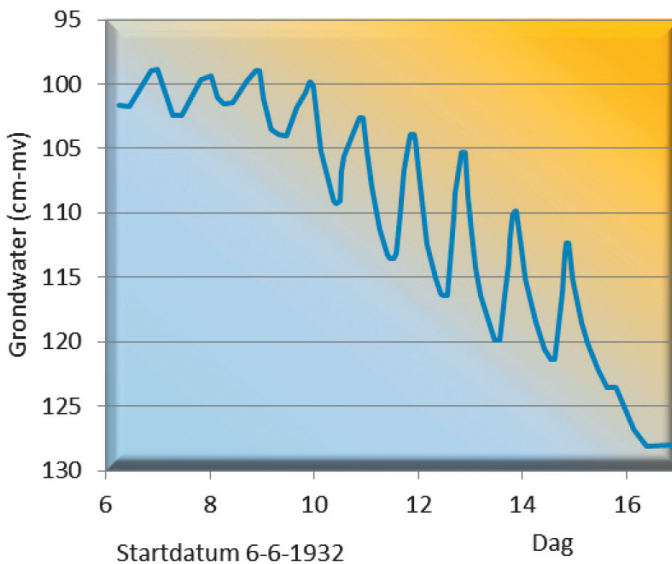


Afbeelding 3: Schematisch overzicht van water in het bodemprofiel (naar Thal Larsen, 1931)

Boven de volcapillaire zone bevindt zich de onverzadigde zone tot het maaiveld, laag I. Bij regen dringt het water niet alleen door de zwaartekracht, maar ook door capillaire werking van de poreuze bodem de grond in. Dit gaat met een kracht gepaard die evenredig is met de oppervlakte-energie, een kracht die de capillaire stijg­hoogte bepaalt en omgekeerd evenredig is met de wij­dte van de capillairen. Door deze capillaire werking kan het water zodanig de grond indringen, dat de lucht, die zich daar­onder bevindt, als het ware wordt afgesloten en enigszins wordt samengedrukt.

Enkele millimeters regen kunnen al een merkbare samendrukking van de lucht tot gevolg hebben omdat de geringe hoeveelheid ingedrongen water maar een deel van de poriënruimten vult, waardoor het afsluitende deksel vele malen dikker is dan op grond van neerslaghoeveelheid zou worden verwacht. Door de tijdelijk verhoogde luchtdruk in de afgesloten onverzadigde zone, zal de evenwichtstoestand tussen het waterdeksel en het freatisch vlak op dat moment verbroken worden. Er zal dus evenwicht zijn, wanneer beide tezamen gelijk zijn aan de capillaire stijghoogte van de grondsoort (Thal Larsen, 1931). Dit betekent dat het freatisch vlak stijgt tot in de volcapillaire zone. Hierbij voltrekt zich een *statische* verandering, ofwel een verandering waarmee geen water wordt verplaatst. Vanaf dit ogenblik gehoorzaamt het water uit de zone beneden het gestegen freatisch vlak aan de hydrostatische wet, en dringt de peilbuis binnen totdat de waterstand daarin gelijk staat met het gerezen freatisch vlak. Doordat lucht verdwijnt treedt spoedig daarna een daling van de grondwaterstand op, die regelmatig verloopt dan de stijging. Het zijn deze schommelingen, die door de zelfregistrerende peilschalen te Lisse werden opgetekend.

Ook Engelhardt (1932) wees erop dat de snelle grondwaterstijging in de peilbuizen in Lisse na regenval het gevolg was van luchtsamendrukking. In 1932 werd Thal Larsen (1935) gewaar, dat tijdens de periode van 5 tot 18 juni, waarin geen regen viel, de grondwaterstand in het bos op een zavelgrond in Wageningen dagelijks fluctueerde als gevolg van dauw. Van 13 naar 14 juni kwam door de dauw zelfs een stijging van 14,5 cm voor (afbeelding 4). De ongeveer gelijke daling van de grondwaterstand viel steeds samen met de val van de relatieve vochtigheid van 95 à 100% naar 40 à 50 %, een aanwijzing dat vocht uit de atmosfeer als dauw op het aardoppervlak als neerslag werkte. Hij vermeldde dat dit niet vreemd is, omdat ook in Lisse zelfs 1 mm neerslag al een reactie van de grondwaterstand gaf.



Afbeelding 4: Optreden van het Lisse effect in een zavelgrond onder invloed van dauw in juni 1932 (naar Thal Larsen, 1935)

Wereldwijde aanwezigheid van het Lisse effect

Voordat de naamgeving "Lisse effect" aan het verschijnsel werd gegeven was het al op enkele plaatsen waargenomen. Daarna is het herhaaldelijk waargenomen in verscheidene landen en verschenen er publicaties over.

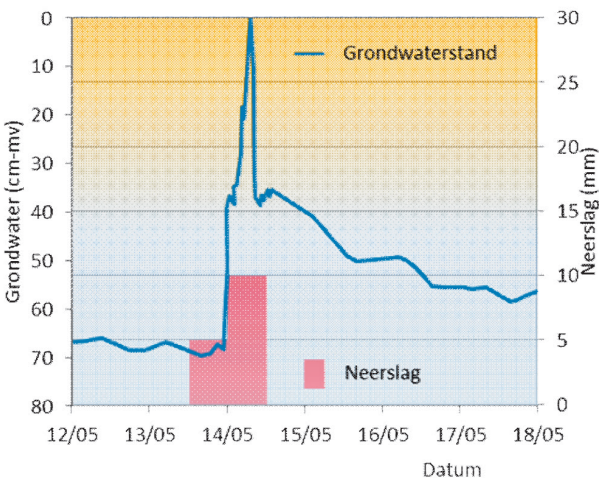
Op een Amerikaans proefstation werd in de 19^{de} eeuw al vastgesteld dat de grondwaterstand na regen, in sommige gronden door druktoename van lucht in de grond, heftiger reageerde dan volgens de stromingstheorie kon worden verwacht (King, 1892).

In het begin van de 20^{ste} eeuw deed Ototzky tussen 1905 en 1915 onderzoek in Rusland naar de invloed van neerslag op de grondwaterstand (Ototzky, 1921). Hij meldde soortgelijke resultaten als later door Thal Larsen (1932) voor Lisse werden gegeven (Fauser, 1933).

Ook in Duitsland werd de invloed van bodemlucht op de grondwaterstand al in de jaren twintig van de vorige eeuw vastgesteld. Mezger (1929) meende dat door aanleg van drainage, de lucht uit de onverzadigde zone na buien zou kunnen ontsnappen en daardoor een diepere en betere bodembevochtiging zou plaatsvinden.

Bij een onderzoek naar grondwaterstanden in Saskatchewan in Canada constateerde Meyboom (1967) regelmatig het optreden van het Lisse effect. Meyboom toonde een afbeelding waarbij van 26 naar 28 juni 1964 het grondwater steeg met 57 cm en erna weer geleidelijk daalde met 46 cm.

Op de strandvlakte van Schiermonnikoog stelde De Zanger (1981) tijdens regen een exceptionele stijging van het grondwater vast (afbeelding 5). Bij dit Lisse effect werden de diepte van infiltratie en stijging van grondwaterstand bepaald door de dikte van een slibhoudend laagje aan het oppervlak. Dit laagje met een dikte van 0,2-3 cm



Afbeelding 5: Slibhoudend laagje op strandvlakte induceerde het Lisse effect in mei 1974 (naar De Zanger, 1981)

was gedurende het veldwerk altijd vochtiger dan het zand eronder. Het laagje was slecht doorlatend, zodat er bij regen een waterfilmpje op voorkwam. Op 13 mei 1974 viel vanaf 11 uur tot de volgende morgen 11 uur 14 mm regen. In eerste instantie infiltreerde de neerslag alleen in het bovenste laagje. In een van de peilbuizen steeg de grondwaterstand daarna zelfs van 70 cm diepte tot aan het maaiveld (afbeelding 5).

Bij het ontbreken van het sliblaagje zakte de regen op de strandvlakte direct het zand in en borrelde de lucht vanuit gaatjes naar het oppervlak. Een analoog verschijnsel nam Dekker, de eerste auteur van dit artikel, onlangs op het strand van Sint Maarten waar (afbeelding 6).



Afbeelding 6: Bij indringen van water in de poriën van onverzadigd zand zal er lucht moeten wijken, wat hier uit de gaatjes borrelde

Bij zandgronden in Australië stelden Crosbie e.a. (2005) vast dat het Lisse effect kan leiden tot een sterke overschatting (tot wel 50%) van de hoeveelheid water die zou percoleren tot in de onderzijde van de onverzadigde zone en het grondwater zou bereiken.

Zhang et al. (2009) ontdekten het "Lisse effect" in Florida in 2002 en 2003. Het proces kwam voor wanneer intensieve regen de oppervlaktelaag effectief afsloot, resulterend in een snelle stijging van het waterniveau met soms wel 40 cm in peilbuizen. Ze stelden vast dat de numerieke modellen HYDRUS ID en MODFLOW ten opzichte van de waargenomen grondwaterstand afwijkende waarden gaven tijdens perioden met luchtinsluiting. Waarschijnlijk kwam dit omdat bij deze modellen het effect van de moeilijk te voorspellen luchtinsluiting niet was geïmplementeerd (Zhang e.a., 2010 en 2011).

Onderzoekers uit China bestudeerden de gevoeligheid van gronden voor het Lisse effect (Guo e.a., 2008). Zij vonden dat deze sterker was bij een tamelijk uniforme grond en minder sterk bij een diepe grondwaterstand. De gevoeligheid was ook groter bij een goed doorlatende grond, omdat het vochtfront dan sneller daalde. Bij te grote

doorlatendheid was de gevoeligheid echter weer minder, omdat het water dan geen afsluitende laag vormde voor luchtinsluiting.

Het Lisse effect werd ook ontdekt in Zuid Tunesië en uitvoerig beschreven door Miyazaki e.a. (2012).

In Zuid Afrika werd bij een onderzoek in de zomer van 2001-2002 tijdens regenbuien het Lisse effect vastgesteld (Waswa e.a., 2013).

Het Lisse effect werd onlangs nog waargenomen bij een zandgrond in Florida (Nachabe en Sabeh, 2015).

Bij een recent onderzoek in Noord Italië kwamen Masetti e.a. (2015) tot de conclusie dat bij gebruik van hun onverzadigd-verzadigd numerieke model discrepanties tussen de geobserveerde en gemodelleerde grondwaterstanden voorkwamen, die deels door het voorkomen van het Lisse effect verklaard kunnen worden.

Voortdurende verwarring over freatisch niveau bij metingen in peilbuizen

Na zijn proefnemingen ontdekte Heymann (1929) dat het verschijnsel van de snelle stijging van het grondwater niet nieuw was en al door Ototzky (1921) en door Mezger (1929) werd beschreven. Met beide onderzoekers concludeert hij dat door de capillaire werking "*afwijkingen*" zijn ontstaan tussen de waterstanden in de peilbuizen en de "*werkelijke grondwaterstand*". Deze afwijkingen zouden volgens hen belangrijker zijn naarmate de afstand tussen het freatisch vlak en het maaiveld kleiner was.

Volgens Thal Larsen (1932) was Mezger onbekend met de betekenis van het freatisch vlak, zoals door Versluys (1912) was geformuleerd. Mezger stelde namelijk dat de natuurlijke grondwaterstand in de grond, en niet in bronnen en boorgaten voorkomt. Thal Larsen lichtte het freatisch niveau verder toe met een voorbeeld uit een onderzoek in Wageningen. Middenin een kas van een proefveld werd dagelijks de grondwaterstand gemeten in een peilbuis. De grondwaterstand ging ten gevolge van regenval buiten de kas op en neer. Hieruit bleek dat de stijging niet het gevolg was van een op het freatisch vlak uitgeoefende overdruk. De lucht kon immers door het niet beregende oppervlak ontwijken en derhalve geen overdruk op het grondwater uitoefenen. Steeg daarentegen het freatisch vlak rondom de kas ten gevolge van regenval, dan had direct van alle kanten afvloeiing plaats, net zolang totdat het freatisch vlak binnen en buiten de kas even hoog stond.

Op het congres van de internationale bodemkundige vereniging in 1932 bleek een verschil van mening te bestaan of de stijging van het grondwater in peilbuizen wel of niet de stijging van het freatisch niveau aangaf (Fauser, 1933). Volgens onder andere Ototzky, Engelhardt en Thal Larsen was dit wel, maar volgens Koehne en Zunker was dit niet het geval. Op voorstel van de voorzitter werd tot een speciale sessie besloten om tot een oplossing hierover te komen. Na langdurig overleg kwam men tot een eendrachtig besluit met onder meer de volgende conclusies: 1 De luchtdruk in de grond kan afwijken van de atmosferische druk; 2 Deze veranderingen kunnen het

gevolg zijn van a) veranderingen in barometerdruk, b) veranderingen in temperatuur, en c) regenval; 3 Zulke afwijkingen veroorzaken fluctuaties van het freatisch vlak.

Veel onderzoekers en ook samenstellers van hydrologische studieboeken blijken nog steeds een afwijkende interpretatie te geven over de grondwaterstand in peilbuizen en het freatisch niveau. Zo illustreren Freeze en Cherry (1979) in hun boek "Groundwater" dat de samengedrukte lucht leidt tot een stijging in een peilbuis, maar dat deze waterstandsstijging geen verband houdt met grondwateraanvulling. Een jaar later vermeldde Todd (1980) in zijn boek "Groundwater Hydrology" dat ondiepe grondwaterstanden in peilbuizen direct op regen reageren. Dit gebeurt volgens hem echter alleen in de peilbuis.

In een artikel gewijd aan het Lisse effect stelt Weeks (2002) heel duidelijk dat dit effect resulteert in een zeer snelle stijging van het water in de peilbuis, ondanks dat de grondwaterstand essentieel niet verandert.

Na 25 jaar blijkt Todd in zijn "Groundwater Hydrology" nog steeds overtuigd te zijn dat het stijgen van de grondwaterstand alleen in de peilbuis plaatsvindt (Todd en Mays, 2005).

Onlangs nog vermeldden Miyazaki e.a. (2012) in een tabel als een van de zes karakteristieken van het Lisse effect: "dat het voorkomt in een peilbuis, maar dat de actuele grondwaterstand niet wordt beïnvloed".

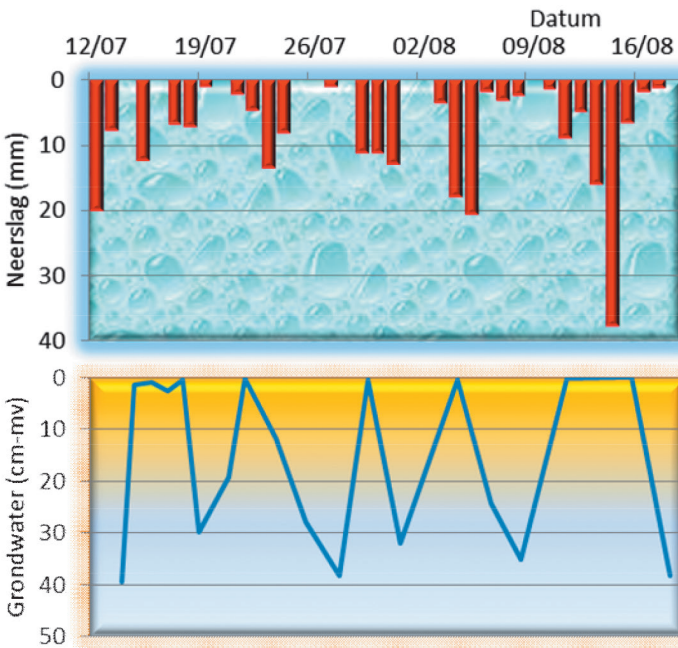
In een artikel in het Hydrological Sciences Journal zetten Waswa en Lorentz (2015) zich duidelijk af tegen de aanname dat het Lisse effect resulteert in een zeer snelle waterstandsverhoging in de peilbuis en daarbij de grondwaterstand essentieel onaangetroefd laat. Volgens deze auteurs betekent dit dat de volcapillaire zone afwezig is. De samengedrukte lucht zou dan direct reageren op het freatisch niveau. Daarbij wordt dan grondwater in de peilbuis gedrukt in een proces dat de positie van het grondwater niveau niet beïnvloedt. Deze implicatie is volgens hen dan ook fysisch incorrect.

De ontdekking van het Wieringermeer effect

De Wieringermeerpolder was de eerste locatie waar in zandgronden sterke grondwaterstands-dalingen door verdamping zijn waargenomen van soms 40 cm in 24 uur. Men gaf dit verschijnsel de naam "Wieringermeer effect". De maximale daling kwam voor als het freatisch vlak tot het maaiveld reikte. Later stelde men tijdens een minieme hoeveelheid neerslag een snelle en grote stijging vast. Men duidde dit toen aan met "omgekeerd Wieringermeer effect". Afbeelding 7 laat de grondwaterdalingen tussen maaiveld en 40 cm diepte zien tijdens de tweede helft van juli en de eerste helft van augustus 1930. Volgens Hooghoudt (1947) vindt waterverplaatsing daarbij praktisch niet plaats. Valt er daarna weer wat regen, dan stijgt de grondwaterstand weer sterk. Een deel van het capillaire water gaat dan over in grondwater. Een waterverplaatsing vindt weer niet plaats, behalve van het water dat naar de grondwaterstandsbuis moet stromen om de waterspiegel te verhogen (Hooghoudt, 1947).

Wieringermeer en omgekeerd Wieringermeer effect wijdverbreid

Ook naar het Wieringermeer effect en het omgekeerd Wieringermeer effect is wereldwijd onderzoek gedaan en erover gepubliceerd. Bij een onderzoek in Saskatchewan in Canada constateerde Meyboom (1967) regelmatig bij gronden met ondiep grondwater de invloed van de volcapillaire zone op het optreden van het Wieringermeer en het omgekeerd Wieringermeer effect.



Afbeelding 7: Het Wieringermeer effect gemeten in een grondwaterstandsbuis in de Wieringermeer in juli en augustus 1930 (naar Hooghoudt, 1947)

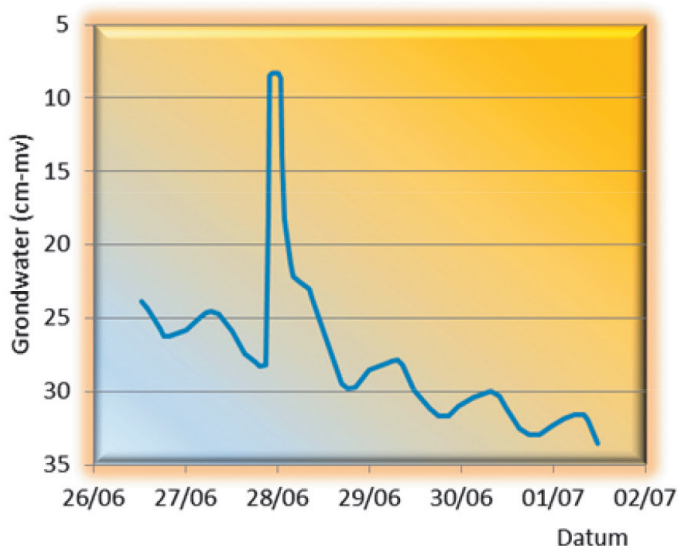
Afbeelding 8 geeft hier een voorbeeld van, waarbij in 1964 op 27 juni op het eind van de dag de grondwaterstand omhoog schoot met 20 cm, maar binnen een dag weer daalde met 20 cm.

In de omgeving van Ontario constateerden Novakowski en Gillham (1988), bij zandgronden met een volcapillaire zone tot vlak onder het maaiveld, een sterke stijging van grondwater.

Het voorkomen van het omgekeerd Wieringermeer effect in strandzanden in Australië werd beschreven door Turner en Nielsen (1997) en Cartwright e.a. (2006).

In zuidwest Florida stelden Jaber e.a. (2006) vast dat daar bij gronden met de volcapillaire zone reikend tot nabij het oppervlak grote schommelingen van het grondwater in het freatisch niveau voorkwamen.

In Zuid Tunesië stelden Miyazaki, e.a. (2012) het omgekeerde Wieringermeer effect vast in gronden waarbij de volcapillaire zone tot dicht onder het bodemoppervlak



Afbeelding 8: Voorbeeld van het Wieringermeer en omgekeerd Wieringermeer effect in Canada in juni 1964 (naar Meyboom, 1967)

voorkwam. Zij vermelden hier ook bij dat de volcapillaire zone, of spanning verzadigde zone, direct boven de grondwaterstand voorkomt met een drukhoogte van 0 cm tot ongeveer de luchtintreewaarde. De luchtintreewaarde wordt gedefinieerd als de drukhoogte van het poriënwater waar de lucht het water begint te verplaatsen, zoals duidelijk wordt bij de eerste afname van het watergehalte in de PF-curve. Bij een uniforme grond is de hoogte van de volcapillaire zone gelijk aan de luchtintreewaarde van de waterretentiecurve.

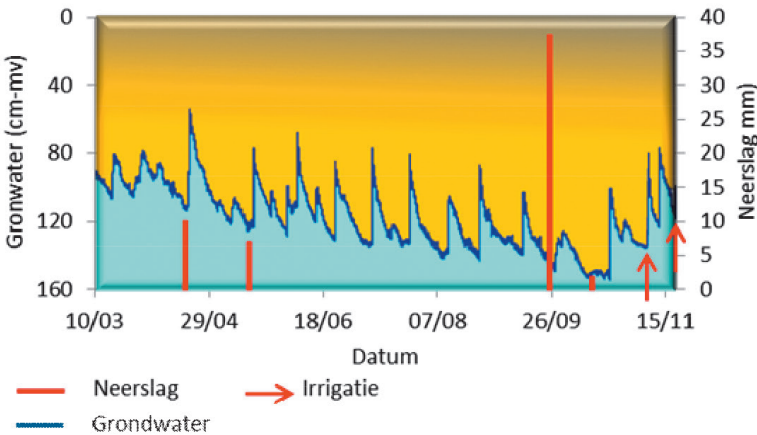
In Zuid Afrika werd bij een onderzoek in de zomer van 2001-2002 tijdens regenbuien het omgekeerde Wieringermeer effect vastgesteld bij laaggelegen gronden (Waswa e.a., 2013).

Ruimtelijke aspecten van het Lisse en omgekeerd Wieringermeer effect

Bij een onderzoek in Heerhugowaard bleek dat bij kassen met ondiepe drainage ten opzichte van slootwaterstand enorme fluctuaties in grondwaterstand voorkwamen. Bij berekening van het rozengewas met slechts 5 mm water steeg de grondwaterstand vaak met 20-30 cm (Dekker, 1980). Dit kon indertijd niet worden verklaard, doch met de huidige kennis weten we dat we hier met het Lisse effect te maken hadden. Ook als in naastgelegen kassen werd berekend en bij regenval buiten de kas steeg het grondwater in de kas. Andersom werd begin april 1971 bij berekening in een kas, in een peilbuis op 13 meter achter de kas een stijging van 96 naar 84 cm geconstateerd. Hieruit blijkt dat door laterale stroming snelle grondwaterstandsstijgingen kunnen optreden die noch door het Lisse effect (omdat er geen infiltratiefront aanwezig is), noch door het omgekeerd Wieringermeer effect (omdat de volcapillaire zone niet tot vlak onder het bodem-oppervlak reikt) verklaard kunnen worden.

Novakowski and Gillham (1988) demonstreerden dat de grondwaterstand in natte gronden zeer dynamisch kan zijn en dat in gebieden met kleine verschillen in hoogte van het maaiveld de grondwaterstanddynamica zeer complex kan zijn als gevolg van laterale grondwaterstroming. Met weinig neerslag kan op lagere, natte plekken de volcapillaire zone overgaan in grondwater door het optreden van het omgekeerde Wieringermeer effect. Volgens de wet van de communicerende vaten zal het grondwater daarna ondergronds lateraal naar hogere plekken stromen, waar de neerslag de grondwaterstand niet beïnvloedde. Volgens ons kunnen ook opgeloste stoffen hierdoor in een richting en met een snelheid bewegen, die met conventionele transportmodellen niet zouden worden voorspeld.

In Zuid Tunesië werd de grondwaterstand in een zandperceel met gerst in een peilbuis iedere 30 minuten gemeten van 10 maart tot 21 november 2009 (Ibrahimi e.a., 2010). Op 18 april viel 10 mm neerslag en steeg de grondwaterstand met 60 cm en op 12 mei na 7 mm neerslag met 56 cm (afbeelding 9). Vreemd genoeg steeg de grondwaterstand op 25 september na 37 mm neerslag slechts met 20 cm, waarvoor de auteurs overigens geen verklaring geven. Irrigaties in oktober en november hadden ook een abrupte en snelle stijging van het grondwater tot gevolg. Volgens ons zijn de sterke stijgingen onder invloed van de neerslag en irrigatie het gevolg van het Lisse effect. Van 12 mei tot 20 september viel geen regen en werd niet beregend, maar steeg de grondwaterstand een keer of acht plotseling met 30-40 cm, om ertussen geleidelijk te dalen. Dit effect trad op als in het omringende gebied werd geïrrigeerd. Terecht benadrukken Ibrahimi e.a. (2010) dat dit geen Lisse effect genoemd kan worden omdat de belangrijkste conditie voor het ontstaan van het Lisse effect een infiltratiefront is. Zij vinden dan ook dat het meer overeenkomt met het omgekeerde Wieringermeer effect, maar dat hier verder onderzoek voor nodig is. Miyazaki e.a. (2012) stellen naar aanleiding hiervan, dat er behoefte is aan een extensie van het omgekeerde Wieringermeer effect. Wij delen deze mening en die van Ibrahimi e.a. (2010) niet, omdat het in het onderhavige geval een gevolg is van het voorkomen van het Lisse effect in omringende percelen. Dit zijdelings aspect kan echter zowel bij het voorkomen in het omringend gebied van het Lisse effect als het omgekeerde Wieringermeer effect optreden.



Afbeelding 9: Grondwaterfluctuaties door Lisse effect en door lateraal effect als gevolg van toestroming van grondwater uit geïrrigeerde omgeving (naar Ibrahimi e.a., 2010)

Conclusie

Uit bovenstaand overzicht mag worden geconcludeerd dat opgepast moet worden bij het interpreteren van waterstanden in peilbuizen. Omdat er, als gevolg van het Lisse of Wieringermeer effect, snelle en grote veranderingen van de grondwaterstand kunnen optreden zijn het tijdstip en de frequentie van de metingen van cruciaal belang. Een verkeerde interpretatie van gemeten grondwaterstanden kan tot onjuiste beheersmaatregelen leiden. Een goede bodemkundige, hydrologische en bodemfysische kennis van het gebied zullen ertoe bijdragen de genoemde verschijnselen eerder te onderkennen. Aanvullend empirisch en modelmatig onderzoek is nodig om de omvang en temporele schaal van deze effecten duidelijk te krijgen.

Referenties

- Cartwright, N., T.E. Baldock, P. Nielsen, J. Dong-Sheng en T. Longbin** (2006) Swash-aquifer interaction in the vicinity of the water table exit point on a sandy beach; in: *Journal of Geophysical Research*, vol 111. Doi: 10.1029/2005JC003149, 2006, pag 1-13.
- Crosbie, R.S., P. Binning en J.D. Kalma** (2005) A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method; in: *Water Resources Research*, vol 41, W01008, pag 1-9.
- Dekker, L.W.** (1980) De invloed van profielopbouw en grondwaterstand op het wortelingspatroon van kasrozen op uiterst fijnzandige zavel- en kleigronden; in: *Bedrijfsontwikkeling, maandblad ten behoeve van de voorlichting in land- en tuinbouw*, vol 11(2), pag 226-232.
- De Zanger, F.A.P.** (1981) Exceptional groundwater level fluctuations at the Dutch island of Schiermonnikoog; in: *Nordic Hydrology*, vol 12(2), pag 111-118.
- Engelhardt, J.H.** (1932) Ueber den absoluten und relativen Aufstieg des phreatischen Niveaus unter bestimmten Umständen; in: *Transactions of the sixth commission of the international society of soil science* (Editor O. Fauser), vol A, pag 20-28.
- Fauser, O.** (1933) *Transactions of the sixth commission of the international society of soil science*, vol B, pag 1-415.
- Freeze, R.A. en J.A. Cherry** (1979) Fluctuations in groundwater levels, pag 229-235; in: *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, pag 1-604.
- Guo, H., J.J. Jiao en E.P. Weeks** (2008) Rain-induced subsurface airflow and Lisse effect; in: *Water Resources Research*, vol 44(7), W07409, pag 1-9.
- Heymann, J.A.** (1929) Eigenaardige ervaringen opgedaan bij het meten van grondwaterstanden; in: *Water en Gas*, vol 13(11), pag 101-103, 31 Mei 1929.

Hooghoudt, S.B. (1947) Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw; in: Commissie voor hydrologisch onderzoek T.N.O., Verslagen Technische Bijeenkomsten 1-6, pag 94-110 (gepubliceerd in 1952).

Ibrahimi, M.K., T. Miyazaki en T. Nishimura (2010) A high measurement frequency based assessment of shallow groundwater fluctuations in Metonia Oasis, South Tunisia; in: Hydrological Research Letters, vol 4, pag 75-79.

Jaber, F.H., S. Shukla en S. Srivastava (2006) Recharge, upflux and water table response for shallow water table conditions in southwest Florida; in: Hydrological Processes, vol 20, pag 1895-1907.

King, F.H. (1892) Observations and experiments on the fluctuations in the level and rate of movement of ground water on the Experiment Station Farm at Whitewater, Wisconsin; in: Ninth Annual Report of Wisconsin Agricultural Experiment Station, pag 129-218.

Masetti, M., D. Pedretti, A. Sorichetta, S. Stevenazzi en F. Bacci (2015) Impact of a storm-water infiltration basin on the recharge dynamics in a highly permeable aquifer; in: Water Resour Manage, Doi: 10.1007/s11269-015-1151-3.

Mezger, C. (1929) Versuche über den Einfluss der Grundluft auf die Bewegung und Verteilung der Bodenfeuchtigkeit; in: Der Kulturtechniker, vol 4, 1929.

Meyboom, P. (1967) Groundwater studies in the Assiniboine River drainage basin: Part II, Hydrologic characteristics of phreatophytic vegetation; in South-Central Saskatchewan; in: Geological Survey of Canada, Bulletin, vol 139, pag 1-64.

Miyazaki, T., M.K. Ibrahimi en T. Nishimura (2012) Shallow groundwater dynamics controlled by Lisse and reverse Wieringermeer effects; in: Journal of Sustainable Watershed Science & Management, vol 1(2), pag 36-45.

Nachabe, M.H. en D. Sabeh (2015) Infiltration in shallow water table environments: Simple two-phase model accounting for air compression and counter flow; in: Journal of Hydrologic Engineering, vol 20(10): 04015013, 6 pp.

Novakowski, K. en R.W. Gillham (1988) Field investigations of the nature of water-table response to precipitation in shallow water-table environments; in: Journal of Hydrology, vol 97, pag 23-32.

Ototzky, P. (1921) Underground water and meteorological factors; in: Quaternary Journal of the Royal Meteorological Society, vol 47, pag 47-54.

Thal Larsen, J.H. (1931) Over den invloed van regenval op den grondwaterstand; in: Landbouwkundig Tijdschrift, vol 43, pag 222-240.

Thal Larsen, J.H. (1932) Ueber den Aufstieg des phreatischen Niveaus bei erhöhter Luftspannung über dem Kapillarsaum infolge Eindringens von Regenwasser an der

Erdoberfläche; in: Transactions of the sixth commission of the international society of soil science (Editor O. Fauser), vol A, pag 29-33.

Thal Larsen, J.H. (1935) Fluctuations in the level of the phreatic surface with an atmospheric deposit in the form of dew; in: Proceedings International Society of Soil Science, vol 4(3), pag 223-233.

Todd, D.K. (1980) Groundwater Hydrology (second edition) John Wiley & Sons, pag 1-535.

Todd, D.K. en L.W. Mays (2005) Groundwater Hydrology (third edition) John Wiley & Sons, Inc., pag 1-636.

Turner, I.L. en P. Nielsen (1997) Rapid water table fluctuations within the beach face: Implications for swash zone sediment mobility? in: Coastal Engineering, vol 32, pag 45-59.

Versluys, J. (1912) Het beginsel van het grondwater; in: PhD thesis, Amsterdam, pag 1-142.

Volkersz, K. (1929) Merkwaardige grondwaterstandswaarnemingen in den proef-schooltuin te Lisse; in: Weekblad Koninklijke Nederlandsche Maatschappij voor Tuinbouw en Plantkunde, vol 10, 9 maart 1929, pag 87-90.

Waswa, G.W. en S.A. Lorentz (2015) Transmission of pressure head through the zone of tension saturation in the Lisse effect phenomenon; in: Hydrological Sciences Journal, DOI: 10.1080/0262667.2014.943230.

Waswa, G.W., A.D. Clulow, C. Freese, P.A.L. Le Roux en S.A. Lorentz (2013) Transient pressure waves in the vadose zone and the rapid water table response. Vadose Zone Journal Doi: 10.2136/vzj2012.0054, pag 1-18.

Weeks, E.P. (2002) The Lisse effect revisited; in: Ground Water, vol 40(6), pag 652-656.

Zhang, J., N. Shah en M.A. Ross (2009) Observations of long term air entrapment affecting runoff and water table; in: International Journal of Water, vol 5(2), pag 140-162.

Zhang, J., M.A. Ross, J.S. Geurink en H. Gong (2010) Modelling vadose zone moisture dynamics in shallow water table settings with the integrated hydrologic model: field-scale testing and application; in: Water and Environment Journal, vol 24, pag 9-20.

Zhang, J., H. Gong, M.A. Ross, Y. Li en D. Zhou (2011) Numerical modeling of shallow water table behavior with Lisse effect; in: Chinese Geographical Science, vol 21(2), pag 249-256.

