
Met het historische landschap verdween er water van de Veluwe

Jan-Philip M. Witte¹, Bernard Voortman², Kelly Nijhuis³,
Marjolein van Huijgevoort¹, Sjoerd Rijpkema⁴ en Teun Spek⁵

Ondanks dat het klimaat van Nederland steeds natter wordt, voeren de beken die ontspringen aan de Veluwe steeds minder water af. Winning van grondwater en ontwatering van de omgeving worden dikwijls aangewezen als belangrijke boosdoeners. Er is echter meer aan de hand: de vegetatie van dit grote natuurgebied veranderde in de loop der tijden aanzienlijk. Waren in de negentiende eeuw heide en stuifzand dominant, tegenwoordig is dat bos, en dan vooral naaldbos. Deze verandering leidde tot meer verdamping, waardoor er minder neerslagwater overbleef om de grondwatervoorraad aan te vullen. Sinds 1850 heeft die afname waarschijnlijk meer bijgedragen aan de verdroging der beken, dan de toename van de grondwateronttrekkingen.

Inleiding

De zomer van 2018 maakte nogmaals duidelijk dat de zoom van Nederlands grootste natuurgebied, de Veluwe, ernstig is verdroogd. Beektrajecten vielen droog en het waterschap moest drie vissoorten van de Rode Lijst (beekprik, elrits en rivierdonderpad) verplaatsen naar trajecten die nog wel water bevatten (Anonymous, 2018; Slijkhuis, 2018). Lang geleden voerden diezelfde beken, die vrijwel allemaal gegraven zijn ('sprengbeken'), voldoende water af om talloze watermolens aan te drijven: het gebied fungeerde als een enorme energiecentrale. Halverwege de 18^e eeuw stonden er maar liefst 150 papiermolens aan de Veluwe (Renes e.a., 2002). Andere molens persten olie uit zaden, maalden graan en grondstoffen voor buskruit, en sloegen platen koper die de rompen beschermden van de zeeschepen waarmee Nederland de wereld veroverde. Over de oorzaken van de verdroging is veel geschreven, onder andere door IJzerman (1979) en Gehrels (1999). Aan de invloed van het landgebruik op de waterhuishouding van het gebied is echter relatief weinig aandacht besteed. In deze bijdrage beginnen wij daaraan iets te doen, na eerst aan de hand van enkele voorbeelden duidelijk te maken dat de Veluwe vroeger veel natter was. We spitsen ons verhaal toe op verande-

1 KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein (flip.witte@ecohydrologie.nl en marjolein.van.huijgevoort@kwrwater.nl)

2 Moisture Matters, Utrecht (Bernard.voortman@moisture-matters.nl)

3 Platform Water Vallei en Eem, Apeldoorn (k.nijhuis@pwve.nl)

4 Vitens N.V., Zwolle (sjoerd.rijpkema@vitens.nl)

5 Provincie Gelderland, Arnhem (t.spek@gelderland.nl)

ringen die vanaf 1850 optraden. De reden is dat na 1850 de watermolenindustrie instortte (Renes, 2015), zodat daarna vrijwel geen sprengbeken meer werden gegraven. Aanleg van beken laten we daarom buiten beschouwing als oorzaak van de verdroging. Een andere reden is dat topografisch betrouwbare kaarten van de Veluwe pas sinds 1850 beschikbaar zijn.

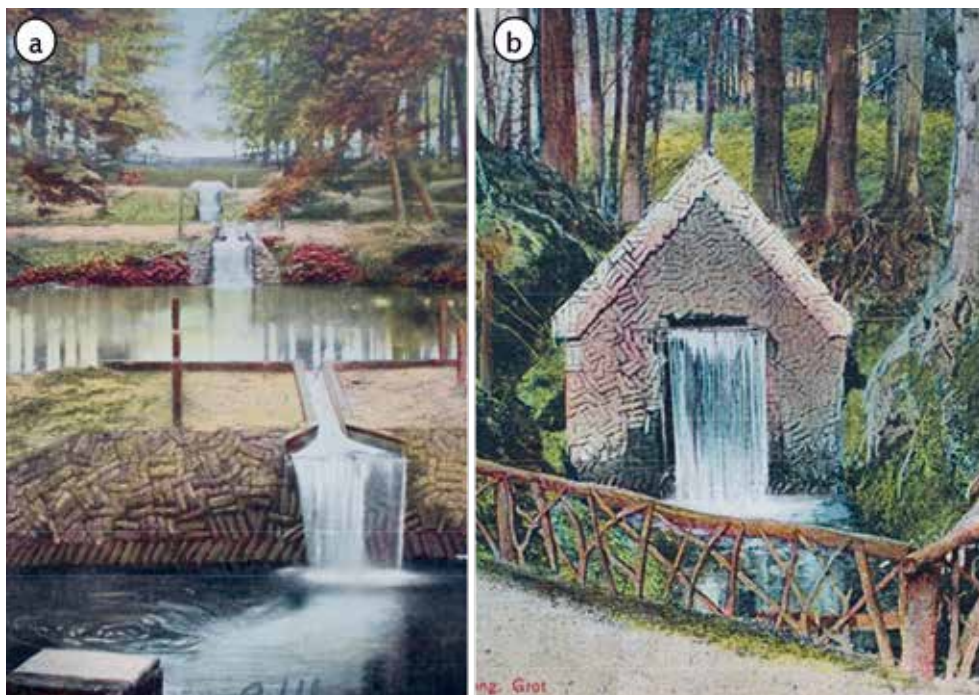
De Veluwe was vroeger natter

Water aan de Veluwerand

Uit historische gegevens weten we dat de beken van de Veluwe in de negentiende eeuw veel water afvoerden. Werken van Johannes Warrantus Bilders (1811-1890), Willem Roelofs (1822-1897), Maria Vos (1824-1906) en andere schilders die werden aangetrokken door de schoonheid van het gebied, getuigen daarvan (Afbeelding 1). Sporadisch bestaan er ook vroege ooggetuigenverslagen, zoals van Nijhoff (1820) die over de Oorsprongbeek te Oosterbeek schreef dat die wordt gevoed door *"uitnemend rijke waterbronnen"* die *"klotsende watervallen vormen, onder welke er een uitmunt. Waar het water over een grotwerk met veel geweld neerstort, en op een warmen zomerdag, onder het digte lommer van zwaar geboomte, de verkwikkelijke koelte vermeerdert"*. De weldaad van al dat water werd bijna een eeuw later bejubeld door Boissevain (1906), die samen met een vriend en hun "huysvrouwen" een plezierreisje naar Cleef en terug maakte. Na een bezoek aan uitspanning de Koutenberg (later omgedoopt tot de Koude Herberg en nu Oude Herberg geheten, vermoedelijk wegens hoop op meer klandizie) waar zij *"eenige verversching gebruikten"*, treedt men landgoed de Oorsprong binnen: *"Wij hadden aldaar bij het inkomen van een Bergte het schoontst gezigt op 3 fraaye Kommen met watervallen, en boven of aan het begin derzelve een fraaye fontyn als een groote Kelk, ook links af in de laagte nog een Fontyn, verders een fraay leem Huysje met gesigt op een Cascade, zynde zeer Somber en Sentimenteel. Nog verder zag ik een klyn Huysje waar boven uyt is vlietende een fraaye Cascade als een heldere Spiegel met rand er om, zynde het gesigt daar op en daar in, meede allersomberst; tusschen de beyde Huysjes is nog een fraaye drie dubbele Cascade"*.



Afbeelding 1: Tekening uit 1857 van Maria Vos van de molen van Hooijer aan de Gielenbeek te Oosterbeek. In 2008 werd hier een vrij constante afvoer gemeten van 5 l/s, veel te weinig om deze molen aan te drijven; bij een overstorthoogte van 3 m bedroeg het netto-vermogen misschien 100 watt, voldoende voor een gloeilampje.



Afbeelding 2: De cascade (a) en het grothuisje (b) van de Oorsprongbeek te Oosterbeek rond 1900.



Afbeelding 3: De cascade (a) en de locatie van het vroegere grothuisje (b) van de Oorsprongbeek te Oosterbeek in 2008. Recent is bij de cascade (a) een roze granieten boog geplaatst, als kniphoog naar de fontein die er eens spoot (zie Afbeelding 2a).

Bovenstaand verhaal van de Oorsprongbeek vormt een illustratie van de historische overvloed die ook aanwezig was bij andere Veluwe beken. Nu zijn kunstuitingen en verslagen geen betrouwbaar bewijsmateriaal, maar er bestaan ook oude foto's van de waterweldaad. Terug naar de Oorsprongbeek: op een ingekleurde ansichtkaart van rond 1900 zien we de door Boissevain (1906) beschreven "3 fraaye kommen", met bovenin de "fraaye fontyn als een groote Kelk" en linksonder een stenen constructie waarbinnen water werd afgetapt voor een lager gelegen fontein (Afbeelding 2a). Een andere ansichtkaart toont waarschijnlijk het "klyn huysje" dat de auteur beschreef (Afbeelding 2b). Van de rijke afvoer was in 2008 tijdens herhaalde metingen door ons weinig meer over (Afbeelding 3): op beide locaties bedroeg het debiet slechts 5 l/s.

Net als de Oorsprongbeek voerden de overige beken van de Veluwe vroeger aanzienlijk meer water af. De verdroging van de Veluwerand als geheel kan zachtjes worden gekwantificeerd aan de hand van het aantal beektakken dat één of meerdere watermolens aandreef. Voor deze analyse beperken wij ons tot het gebied zonder zichtbare afwatering naar de randen, dus tot het 'voedingsgebied' (1250 km²) waar grondwater wordt gegenereerd dat naar beken, waterwinningen en lager gelegen kwelgebieden stroomt (Afbeelding 4). De huidige totale beekafvoer uit dit gebied wordt mede op basis van spaarzame afvoermetingen geschat op 45 Mm³/jaar (Verhagen e.a., 2014). Volgens de Veluwe bekenatlas waren de molens aan de Veluwe aangesloten op 55 beektakken. Schatten we de gemiddelde afvoer over een molen op 75 l/s (schatting gebaseerd op Hagens (1998)), dan komen we met 55 molenvoedende beektakken uit op een totale historische afvoer van 130 Mm³/jaar, dus 2,9 keer zoveel als tegenwoordig.

Dit is wel een zeer grove benadering. Gelukkig is bijna een eeuw geleden de totale afvoer uit het voedingsgebied ook bepaald op basis van afvoermetingen. Dat gebeurde door een van staatswege ingestelde commissie die moest onderzoeken of het mogelijk was op de Veluwe 36,5 Mm³/jaar te winnen ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amsterdam (Anonymous, 1933). De commissie combineerde metingen met de "drijvermethode" met afvoerbepalingen uit waterpeilen en afvoerkrommen. De afvoer van vier beken berustte op 21 tot 36 waarnemingen van maart 1928 tot en met januari 1929, en van vier andere beken op maandelijkse waarnemingen van augustus 1894 tot en met juli 1896. Door de afvoerbepalingen van deze acht beken te combineren met gebiedskenmerken kwam de commissie tot



Afbeelding 4: Veluws voedingsgebied (helder aangegeven op de kaart). Blauwe cirkels tonen locatie en grootte van de huidige drinkwaterwinningen. Jaarlijks wordt 130 Mm³ Veluws grondwater voor drinkwater en industrie onttrokken (Driessen, 2007), waarvan 90 Mm³ binnen het voedingsgebied (Verhagen e.a., 2014).

een totale beekafvoer van 124 tot 187 Mm³/jaar, dus 2,8 tot 4,2 keer zoveel als nu. Laten we het erop houden dat de beken één tot anderhalve eeuw geleden drie tot vier keer zoveel water afvoerden. De afname verschilt uiteraard per beek. In de Renkumse beek, bijvoorbeeld, werd in 1928 een gemiddelde afvoer van 190 l/s gemeten, een winterafvoer van 350 l/s en een basisafvoer van 150 l/s (Anonymous, 1933), terwijl de huidige afvoer gemiddeld 40-50 l/s bedraagt (mondelijke mededeling Johan de Putter). Ook toen al werd in het dorp Renkum grondwater onttrokken, 2,8 Mm³/jaar, vooral door de papierindustrie.

Overigens zou met de winning voor Amsterdam de totale hoeveelheid onttrokken grondwater op 57 Mm³/ jaar zijn gekomen (is nu 130 Mm³/jaar; Driessen (2007)). De staatscommissie raadde aan daar voorlopig vanaf te zien: *"Inmiddels zijn reeds bij een onttrekking als bovengenoemd de gevaren voor de cultuur en andere levensbelangen der bewoners - waarbij wij ook denken aan het natuurschoon - van dien aard, dat in geen geval tot een stichting van een waterwinplaats op de Veluwe zou moeten worden overgegaan, zolang niet is gebleken, dat het onmogelijk is, elders met minder groote bezwaren het voor Amsterdam benodigde drinkwater te winnen"*.

Water bovenop de Veluwe

Het was vroeger niet alleen natter aan de Veluwerand, maar incidenteel ook bovenop de Veluwe. In de bodems van veel heideterreinen had zich in de loop der eeuwen een dichte inspoelingslaag kunnen ontwikkelen, vaak met ijzerbandjes en ijzerbanken (Dekker e.a., 1997). Op deze slecht-doorlatende laag kon water stagneren, maar ook gestuwde leem- en kleilagen konden, tijdens hevige neerslagbuien, zorgen voor water op het maaiveld.

Luisterrijk is het verhaal van de 'wandellende dominee' Johannes Florentius Martinet (1729-1795) die in zijn 'De Katechismus der Natuur' een waterval op de Imbosch (benoorden Velp) beschrijft, welke hij op een zomerse tocht tegenkwam (Martinet, 1777-1779). Deze hoog gelegen waterval (90-100 m NAP; Baltjes (2002)) maakt een geweldige indruk op de eerwaarde. Hij betreurt het dat hij geen schuit bij zich heeft om te peilen hoe diep het "meer" is waaruit de waterval ontspringt. Was hij een dag later geweest, dan had hij ontdekt dat er niets van de waterval zou zijn overgebleven (Baltjes, 2002). Op een gravure uit zijn catechismus (Afbeelding 5) zien we donkere regenwolken wegtrekken. Een eeuw later werd over de oppervlak-



Afbeelding 5: Martinet met denkbeeldige leerling bij zijn waterval: *"O welk een gedruisch des vallenden Waters! Welk eene menigte van afgevalen' Aardbrokken! Welk een woestheid der Natuur, die ook mynen geest, ik weet niet, in welk eene stille verbaasdheid opgetoogen houdt!"* (deel 2 uit Martinet (1777-1779)).

teafvoer (surface runoff, maaiveldafvoer) op de hoge Veluwe geschreven (Heldring en Haasloop Werner, 1845): "*Want het nederstromende water der bergen kan, op de Veluwe, bij stortregen in de zomer of bij hoge sneeuw in de winter, ganse vlakten overdekken, en, als een machtige vloed alles in zijn vaart meeslepen*". En nog een eeuw later werd er over de anders zo droge Ginkelse heide genoteerd dat deze na het plotselinge einde van een langdurige winter in 1947 was veranderd in een "geweldig waterlandschap" dat via een "geweldige waterval" loosde op de Renkumse beek (Roorda van Eysinga, 1952).

Blijkbaar was het vroeger af en toe kletsnat. Om sommige sprengstelsels waren lage kades aangelegd, ter kering van het uit de heide afstromende water (mondelijke mededeling Yolt IJzerman).

Oorzaken van de verdroging

Beken van de Veluwe voeren tegenwoordig minder water af dan vroeger en het komt niet meer voor dat de hogere delen veranderen in een "geweldig waterlandschap". De neerslag is de afgelopen eeuw beduidend toegenomen (Van den Hurk e.a., 2014), dus wat is er structureel veranderd?

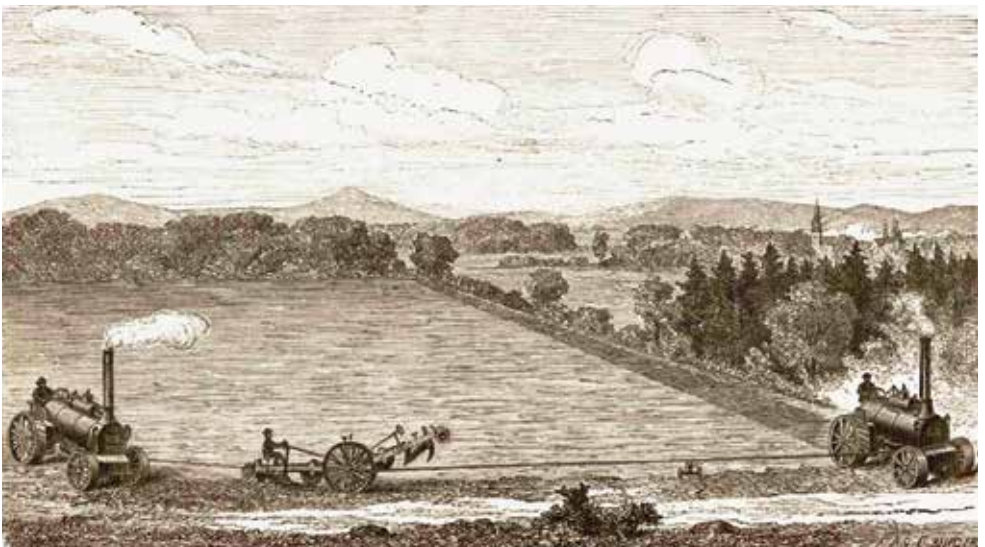
Eén oorzaak is al genoemd: de winning van grondwater, die omstreeks 1890 startte. Het effect hiervan is relatief goed te kwantificeren (Gehrels, 1999; Van Engelenburg e.a., 2017). Iets moeilijker gaat dat met een andere oorzaak, de ontwatering van de drainerende omgeving. Gehrels (1999) heeft met een grondwatermodel berekend wat de invloed is geweest van de aanleg van de Flevopolders (die was aanzienlijk aan de noordzijde van de Veluwe), maar voor een historische analyse die teruggaat tot de negentiende eeuw dienen ook de ontwatering van de Gelderse vallei, het IJsseldal en de Betuwe te worden gereconstrueerd.

Niet iedereen beseft dat achterstallig onderhoud van de beken via een verhoging van de intreeweerstand leidt tot een vermindering van de afvoer. Op de Zuidwest Veluwe is al 25 jaar een groep vrijwilligers van het IVN actief die met de hand sprengkoppen en beektrajecten uitbaggert, waarna de beken een betere doorstroming krijgen. Het effect van deze maatregel laat zich bij gebrek aan afvoermetingen moeilijk kwantificeren, maar dat de afvoer erdoor toeneemt staat voor de vrijwilligers vast. Wij kunnen deze bevinding met eigen waarnemingen beamen: na het baggeren van de sprengkop van de Oorsprongbeek in 2008 nam de afvoer zichtbaar toe, al werd het 'beeld' van de oude ansichtkaarten (Afbeelding 2) nooit bereikt en weten we niet in hoeverre de toename tevens is toe te schrijven aan het weer van de voorgaande jaren.

Een oorzaak die vaak ongenoemd blijft en waarvan het effect wel heel lastig valt vast te stellen, is de verstoring van de ondergrond. Bouwwerken, wegen en rioolstelsels worden vaak dwars door scheef gestelde klei- en leemlagen aangelegd (knooppunt de Waterberg!), waardoor het drainageniveau van de omgeving daalt. Deze oorzaak geldt vooral voor de stuwwal van Renkum naar Dieren, waar beken afhankelijk zijn van kleine grondwatersystemen. Nadat een villaeigenaar pal boven een sprengkop een 3000 m³ groot gat voor zijn privégarage in de stuwwal had gegraven, is de gemeente Renkum overgegaan tot regels in het bestemmingsplan ter bescherming van de ondergrond. Goed beleid dat navolging verdient, want dergelijke vernielingen leiden tot een verlaging van de drainagebasis.

Maar ook bovenop de Veluwe is de ondergrond aangepakt. Het was niet ongebruikelijk voorafgaand aan de aanleg van akkers en de aanplant van dennen op voormalige heidevelden de grond diep om te spitten of om te ploegen, zodat de slecht doorlatende oerbanken werden gebroken. Aan het begin van de negentiende eeuw werd hier al over geschreven: "*Doorgaans wordt, om een heide tot bouwland aantemaken, de grond vooraf met dennen bezaaid, of, tot eene diepte van vier of vijf voeten omgewoeld*" (Nijhoff, 1820). Grootchalig pakte de in 1888 opgerichte Nederlandsche Heidemaatschappij (Heidemij) het aan, vooral na de beurscrash van 1929 toen de Rijksoverheid werkgelegenheidsprojecten begon te subsidiëren. Onder een door de Heidemij geleid straf regime werden arbeiders aan het werk gesteld om op de Veluwe dennen aan te planten (Van Lohuizen, 2017). Voorafgaand aan het planten werd de heide vaak geploegd (Afbeelding 6) of handmatig omgespit. Het was niet ongebruikelijk daarbij de ondergrond diep te bewerken, zeker als er een ijzerrijke oerbank aanwezig was (Tutein Noltenhuis, 1891; Van Lonkhuyzen, 1924; De Rijk, 1992). Ook greppels werden aangelegd waarin het neerslagwater kon infiltreren. Deze ingrepen bleven niet zonder gevolgen: "*Door ontginningen is dit stelsel van bovengrondse afwatering weer op de achtergrond gedrongen. Regen en smeltwater kunnen weer de grond indringen en ondergronds afstromen*" (Roorda van Eysinga, 1952). Strengere winters komen minder vaak voor, wat een extra reden is voor minder oppervlakteafvoer. Wij vermoeden dat er door de verbeterde infiltratie nu minder preferente stroombanen naar het grondwater voorkomen dan vroeger, waardoor de grondwateraanvulling gemiddeld is afgenomen.

Ten slotte heeft de verandering van het landgebruik op de Veluwe ertoe bijgedragen dat de aanvulling van de grondwateraanvoorraad, en daarmee de afvoer van de beken en de toestroming van grondwater naar kwelgebieden, aanzienlijk afnam. Enkele eeuwen terug bestonden grote delen van de Veluwe uit uitgestrekte heidevelden, met daarin grote en moeilijk te bedwingen stuifzanden (Witte, 2016), zoals de prachtige kaart



Afbeelding 6: Diepploegen met behulp van twee locomotieven waartussen een kabel is gespannen om een ploegschaar voor de heenweg aan te trekken, en een voor de terugweg (Tutein Noltenhuis, 1891).

van Christiaan Sgrooten uit 1570 laat zien (Afbeelding 7). Bovendien waren veel bossen door overexploitatie en illegale kap behoorlijk uitgemergeld (Bouwer, 2008). Een schrale vegetatie die weinig verdampt en dus veel aanvulling produceert: hoe waterrijk zal de Veluwezoom toen zijn geweest. Maar we zouden ons beperken tot de periode na 1850. In de volgende paragraaf gaan we na hoe het landgebruik vanaf die tijd de aanvulling bepaalde.



Afbeelding 7: Uitsnede uit de kaart van Christiaan Sgrooten uit 1570. De spoelzandvlakte tussen de spaarzaam beboste stuwwallen op de Zuid-Veluwe bestond overwegend uit kaal zand. In het westen is het voormalige hoogveen van de Gelderse Vallei te zien, dat in de kachel zou verdwijnen. Bron: Koninklijke Bibliotheek Brussel.

Landgebruik en grondwateraanvulling van 1850 tot 2008

Methode

Wij zullen nu achterhalen hoe de grondwateraanvulling op de Veluwe zich vanaf 1850 heeft ontwikkeld. We beperken ons weer tot het 'voedingsgebied' (Afbeelding 4). De aanvulling hangt af van de verdamping en dus van het landgebruik, dat we daarom eerst in kaart brengen. Daarna reconstrueren we de neerslag en referentiegewasverdamping vanaf 1850, om vervolgens met een hydrologisch model de ontwikkeling van de gebiedsgemiddelde aanvulling te simuleren.

Veranderingen in landgebruik

De topografisch militaire kaart uit 1850 (de TMK1850) is de eerste kaart die eenduidig het landgebruik van de Veluwe weergeeft. Daarnaast hebben we landgebruikskaarten uit 1900, 1960 en 2008 (HGN1900, HGN1960 en LGN6) gebruikt die zijn ontwikkeld door Alterra (thans WENR). Nadat we de kaarten hadden gerasterd naar een resolutie van 250 m en een aantal begroeiingsklassen hadden samengevoegd tot zeven typen, konden we ze met elkaar vergelijken (Nijhuis, 2017; Nijhuis e.a., 2018).

Afbeelding 8 toont het landgebruik over de vier ijkjaren. Grote veranderingen zijn zichtbaar: in ruim 150 jaar verdwijnt 30% van de Veluwe aan heide en 26% aan zandvlakten. Daarvoor in de plaats komt vooral naaldbos, dat in 2008 44% van de Veluwe inneemt.

Verandering in neerslag en referentiegewasverdamping

Vanaf 1850 tot 1896 zijn meetgegevens van minimale en maximale luchttemperatuur en neerslag bekend voor station Sonnenborgh (Sterrenwacht, Utrecht). In 1896 verhuisde dit station naar De Bilt. Deze twee meetlocaties zijn gebruikt voor de reconstructie van de neerslag en de verdamping. Met gegevens van luchttemperatuur is eerst de verdamping volgens Hargreaves berekend. Cijfers zijn vervolgens omgerekend naar de referentiegewasverdamping volgens Makkink met behulp van een kalibratielij, gebaseerd op waarnemingen van station De Bilt vanaf 1957 (NSE 0,94, RMSE 1,42 mm/d, gemiddelde afwijking 0,06 mm/d). In de periode 1850 tot 1905 was de Makkink-verdamping gemiddeld 516 mm/jaar, na 1905 gemiddeld 550 mm/jaar. De jaarlijkse neerslag nam sinds 1850 toe met 100 mm.

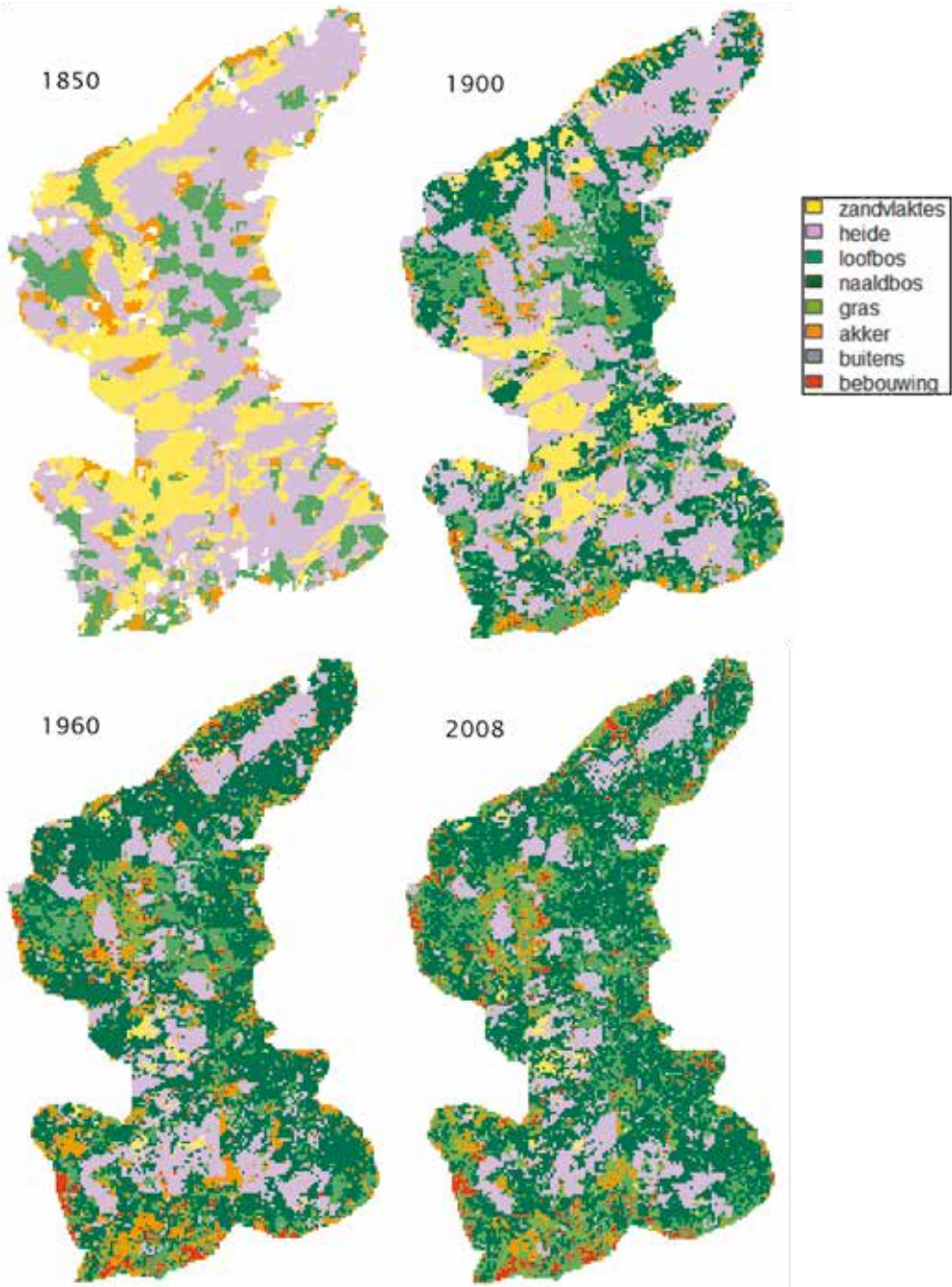
Op de Veluwe valt meer neerslag dan gemiddeld in de rest van Nederland. De oorzaken worden toegeschreven aan topografie en landgebruik (Ter Maat e.a., 2013). Het verschil tussen weerstation De Bilt en de handgemeten neerslagstations op de Veluwe bedraagt over het tijdvak 1981-2010 ongeveer 70 tot 100 mm/jaar. Toch hebben we niet geprobeerd de gemeten neerslag en de gereconstrueerde Makkink-verdamping te De Bilt te 'vertalen' naar de Veluwe. Daar zijn verschillende redenen voor. Ten eerste zijn dergelijke correcties complex. Ten tweede was de gemeten neerslag te De Bilt rond 1900 vrijwel gelijk aan de gebiedsgemiddelde neerslag op de Veluwe: 732 mm/jaar voor De Bilt (1849-1930) tegen 723 mm/jaar voor het voedingsgebied van de Veluwe (bepaald uit 19 stations over 1867-1930) (Anonymous, 1933). De derde reden heeft te maken met de methode van neerslagmetingen, die gevoelig is voor windinvloeden (Warmerdam, 1981; Rodda en Dixon, 2012). Kijken we naar het verschil tussen de relatief betrouwbare automatische neerslagmetingen te De Bilt en te Deelen, dan is dat slechts 30 mm/jaar (1983-2016). Dit geringe verschil wint aan betekenis als we mogen veronderstellen dat locatie Deelen representatief is voor de Veluwe. Rond 1900 lijkt dat zo te zijn geweest: station Deelen bestond nog niet, maar wel station Hoenderloo dat daar dichtbij ligt en waarvoor een gemiddelde neerslag van 721 mm/jaar werd vastgesteld, tegen, zoals genoemd, 723 mm/jaar voor de hele Veluwe.

Wij hebben niet kunnen achterhalen waardoor het neerslagverschil tussen de Veluwe en De Bilt zou zijn opgelopen van vrijwel 0 rond 1900 tot 70-100 mm/jaar in 1981-2010. Buishand e.a. (2011) hebben trends in de neerslag in Nederland over de afgelopen 100 jaar geanalyseerd. Uit hun resultaten leiden wij af dat de neerslagtoename vanaf 1910 op de Veluwe niet hoger was dan te De Bilt, en vanaf 1950 zelfs lager was (zie Afbeelding 1a en 2a in Buishand e.a. (2011)).

Historische ontwikkeling van de grondwateraanvulling

Met het hydrologische simulatieprogramma HYDRUS-1D (Simunek e.a., 2005) hebben wij voor de 19 belangrijkste combinaties van landgebruik (Afbeelding 8) en bodemfysische eenheid (Wösten e.a., 2013) de dagelijkse actuele verdamping en grondwateraanvulling van 1850 tot en met 2016 berekend (Nijhuis, 2017). Daartoe werd het

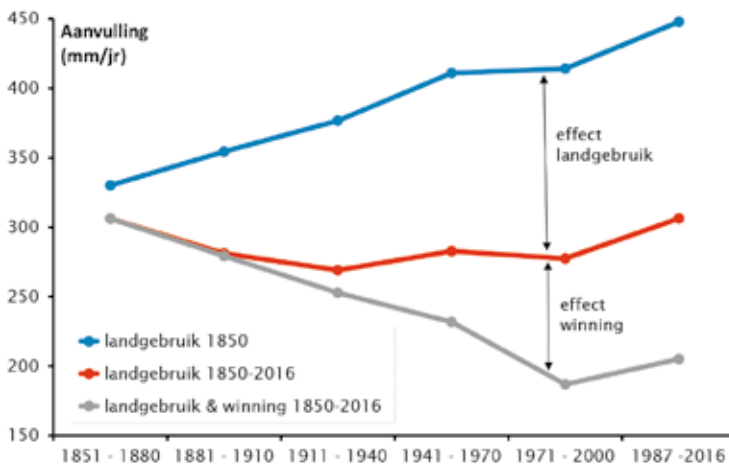
aandeel van ieder landgebruikstype lineair geïnterpoleerd tussen de vier ijkjaren van Afbeelding 8 (en lineair geëxtrapoleerd van 2008 naar 2016). Voor de berekening zijn de parameterwaarden van de begroeiingstypen van het AZURE-model (De Lange en Borren, 2014) aangehouden, alleen is de worteldiepte van bos verhoogd van 1



Afbeelding 8: Historische ontwikkeling van het landgebruik op de Veluwe (voedingsgebied) (Nijhuis, 2017).

naar 3 m⁶. Uit de dagwaarden van deze berekening hebben we de gebiedsgemiddelde aanvulling bepaald, en het resultaat daarvan weer gemiddeld over perioden van 30 jaar: zie Afbeelding 9.

Wanneer het landgebruik van 1850 niet zou zijn veranderd, zou de grondwateraanvulling in ruim anderhalve eeuw met bijna 120 mm/jaar zijn gestegen (blauwe lijn), hoofdzakelijk door toename van de neerslag. Deze stijging is echter volledig teniet gedaan door het dichtgroeien van de Veluwe (rode lijn). De grondwateraanvulling kan ten goede komen aan beken, kwelgebieden (met soms waardevolle natuur) en de winning van grondwater. Om het effect van de winning op de eerste twee watervragers grof te schatten, hebben we de grondwaterwinning afgetrokken van de aanvulling onder het werkelijke landgebruik (grijze lijn). Voor de ontwikkeling van de winning zijn we uitgegaan van een aantal ijkpunten waartussen we lineair interpoleerden (1895, 1930, 1995 en 2016, met respectievelijk 0, 21, 130 en 130 Mm³/jaar, uitgesmeerd over 1250 km²). De grafiek maakt aannemelijk dat vanaf 1850 de verandering in het landgebruik meer invloed heeft gehad op de verdroging van de Veluwe, dan de toename van de winning. Halverwege de twintigste eeuw komt echter een omslagpunt, waarbij grondwaterwinning de grootste verdroger wordt.



Afbeelding 9: Ontwikkeling van de gemiddelde grondwateraanvulling in het voedingsgebied van de Veluwe bij verondersteld ongewijzigd landgebruik van 1850-1880 (bovenste blauwe lijn) en bij het werkelijke landgebruik van 1850 tot 2016 (middelste rode lijn). Ter illustratie is van de laatste lijn de grondwaterwinning uit het voedingsgebied afgetrokken (onderste grijze lijn), zodat zichtbaar wordt welk deel van de afgenomen toestroom naar beken en kwelgebieden is toe te schrijven aan de winning, en welk deel aan het landgebruik.

6 Deze aanpassing was nodig om met HYDRUS-1D verdampingscijfers te produceren die overeenkomen met die van AZURE (Verhagen e.a., 2014) en met metingen (Stuyfzand, 1993; Tiktak en Bouten, 1994; Dolman e.a., 2000). De noodzaak van deze aanpassing schrijven we toe aan verschillen in verticale bodemdiscretisatie.

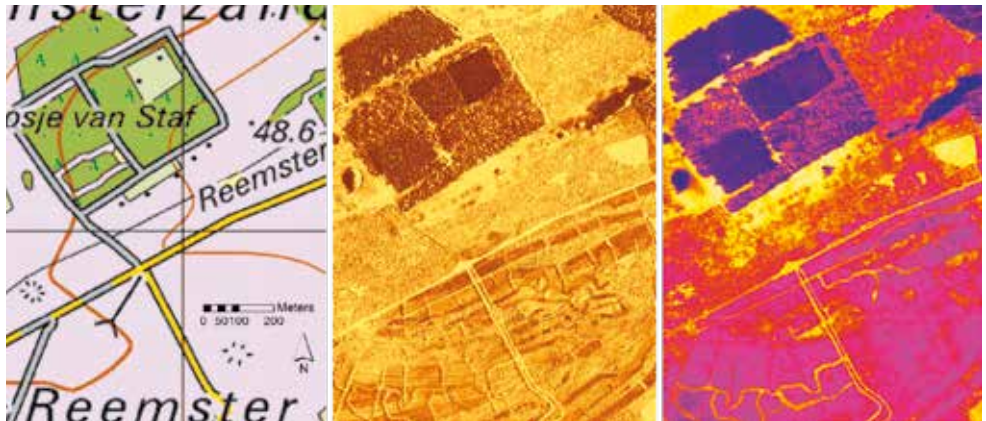
Discussie

De reconstructie van het hydrologische verleden van de Veluwe wordt belemmerd door een gebrek aan meetgegevens van de verdamping en de beekafvoeren, terwijl er over de betrouwbaarheid van historische neerslagmetingen nog onduidelijkheid bestaat. Dat betekent dat we de gevolgen van diverse veranderingen in het landschap moeilijk met zekerheid kunnen reconstrueren. Ook kan daardoor niet worden gekwantificeerd wat het onderhoud van beken bijdraagt aan de afvoer. In dit verband valt het te betreuren dat de volgende aanbeveling van de genoemde staatscommissie (Anonymous, 1933) onvoldoende ter harte is genomen: "*Met nadruk wijst de Commissie op de wenschelijkheid dat bij ieder werk, dat belangrijke veranderingen in de hydrologische toestand eener streek ten gevolge zou kunnen hebben, zoo lang mogelijk vóór den aanvang begonnen worde met waarnemingen ter vastlegging van den toestand vóór de onttrekking*".

De uitkomsten van onze berekeningen aan de grondwateraanvulling zijn sterk afhankelijk van de waarden voor de gewasparameters die de verdamping bepalen. De vraag is hoe betrouwbaar deze waarden zijn vastgesteld. Met het AZURE-model en standaardinstellingen voor begroeiingstypen werd door Van Engelenburg e.a. (2017) berekend dat grondwateraanvulling van de Veluwe onder alle vier de KNMI-scenario's van 2016 zou toenemen. Dit resultaat komt overeen met een speculatie door Witte e.a. (2012) over een droog en warm KNMI scenario uit 2006 (W+): de drogere zomers zouden bij gebrek aan bodemvocht op de hoge zandgronden leiden tot een lagere actuele verdamping, terwijl in de winter juist meer neerslag zou vallen, met als nettoresultaat dat de aanvulling op jaarbasis zou stijgen en de beken meer water zouden afvoeren. De zeer lage afvoeren en het droogvallen van sommige beken in de zomer van 2018 doen enige twijfel rijzen aan de algemene juistheid van deze voorspelling. Vanaf 2003 is een dalende trend aanwezig in grondwaterstanden van de Veluwe (Aus der Beek e.a., 2018). Reageerden de droogvallende beken vooral op de droogte van 2018, of was het een langjarig effect dat we afgelopen zomer zagen? Een nadere analyse is gewenst.

Ten eerste zouden we nog eens kunnen kijken naar de door AZURE gesimuleerde verdamping, waarbij we de ervaring van de zomer van 2018 goed kunnen benutten. Na deze zomer bleek dat vrijwel alle volwassen bomen de grote droogte uitstekend hadden doorstaan, wat betekent dat de transpiratiereductie voor volgroeide bossen klein moet zijn geweest. Deze bevinding wordt ondersteund door remote sensing beelden die we midden in de droge periode van de Hoge Veluwe hebben laten invliegen (Afbeelding 10). Die beelden laten zien dat dichte opstanden relatief koel zijn, wat aangeeft dat er van vochtgebrek in die opstanden waarschijnlijk geen sprake was. Ten tweede dienen we rekening te houden met het gegeven dat beken die worden gevoed uit een stuwval doorgaans veel trager reageren dan beken die hoofdzakelijk worden gevoed uit een spoelzandvlakte of kame. Ten derde dient men bij de analyse te betrekken dat de winhoeveelheid in droge zomers hoger is dan normaal. Zo meldde Vitens eind juli 2018 dat het watergebruik "de afgelopen acht weken" met 30% was gestegen, en op piekdagen "met wel 50%" (Moolenaar en Willems, 2018). Ten slotte zou men een gevoeligheidsanalyse kunnen proberen; de effectieve worteldiepte van veel vegetaties is niet nauwkeurig bekend, dus wat gebeurt er bijvoorbeeld met de aanvulling als de worteldiepte met een bepaald percentage wordt verhoogd of verlaagd?

Wegens de dikke onverzadigde zone, diverse drainageniveaus en de aanwezigheid van scheefgestelde klei- en leemlagen, gedraagt de Veluwe zich niet-lineair. De gevolgen van de veranderingen in het landgebruik voor de grondwaterstand en de afvoer van beken zal daarom dienen te worden geschat met behulp van een ruimtelijk en dynamisch grondwatermodel. Wij hopen daar in een volgende bijdrage aandacht aan te besteden.



Afbeelding 10: topografische kaart (links) en op 28 juli 2018 ingevlogen NDVI-beeld (midden: hoe donkerder, des te meer biomassa) en thermisch beeld (rechts; hoe blauwer, des te koeler) van een klein stukje Hoge Veluwe (bij het bosje van Staf). Dichte opstanden zijn relatief koel; hittebronnen zijn wegen, heide ten zuiden van bos, maar ook recent gemaaide heidevegetaties.

Conclusies

Een tot twee eeuwen geleden voerden de beken aan de Veluwe waarschijnlijk drie tot vier keer zoveel water af dan tegenwoordig. Bovenop de Veluwe kon het in neerslagrijke perioden ook behoorlijk nat worden: het gebied veranderde dan plaatselijk in een "geweldig waterlandschap".

Voor de verdroging van de Veluwe hebben we enkele verklaringen aangevoerd. Ontwatering van de omgeving en winning van grondwater zijn bekende oorzaken. Bij velen minder bekend zijn de onherstelbare vernieling van de ondergrond, ook bovenop de Veluwe zelf, en achterstallig onderhoud aan sprengbeken.

Een oorzaak die we zo goed mogelijk hebben proberen te kwantificeren, is het afnemen van de grondwateraanvulling door toename van het areaal bos, en dan vooral naaldbos, ten koste van stuifzand en heide. Vooral naaldbos kent een hoge verdamming, waardoor er minder water overblijft om de grondwatervoorraad aan te vullen. Het is aannemelijk dat, vanaf 1850 gemeten, de verandering van het landgebruik meer heeft bijgedragen aan de verdroging van de Veluwe, dan de toename van de grondwateronttrekking. Van deze twee oorzaken lijkt halverwege de jaren vijftig van de vorige eeuw de onttrekking van grondwater de belangrijkste reden te worden voor de lagere toevoer van grondwater naar beken en kwelgebieden.

Door een gebrek aan metingen van afvoeren en de werkelijke verdamping is het niet mogelijk de gevolgen van historische veranderingen in landgebruik en klimaat nauwkeurig in te schatten. Over toekomstprojecties bestaat nog meer onzekerheid.

Dankwoord

Het onderzoek werd mede gefinancierd door de provincie Gelderland, waterbedrijf Vitens en waterschap Vallei & Veluwe, en een TKI-subsidie aan het project 'Water en Vuur'. Het maakt bovendien deel uit van een Europees gesubsidieerd project (BINGO), waarin Gelderland, Vitens en KWR participeren.

We bedanken Jan Neefjes en WENR voor het ter beschikking stellen van historisch kaartmateriaal, Martijn Boosten voor zijn informatie over bosaanplant op heide, en Yolt IJzerman en Piet Warmerdam voor hun constructieve commentaar op een conceptversie van dit artikel.

Together with the historical landscape, water disappeared from the Veluwe

Despite the fact that the climate of the Netherlands is getting wetter, the streams that spring from the Veluwe (1250 km², situated in the centre of the country) discharge less and less water. The extraction of groundwater and drainage of the surrounding area are often designated as the culprits. However, there is more to it: The vegetation of this large nature reserve has changed considerably over the course of time. Whereas in the nineteenth century heather and drifting sands were the dominant forms of land use, nowadays it is woodland, particularly plantations of coniferous trees. This change led to more evapotranspiration, leaving less precipitation water to replenish the groundwater system. The decrease in groundwater recharge probably contributed more to the desiccation of the brooks than the increase in groundwater extractions.

Literatuur

Anonymous (1933) Wateronttrekking aan de Veluwe. Rapport van de Commissie, ingesteld bij beschikking van den Minister van Binnenlandsche Zaken en Landbouw, dd 24 februari 1927, Directie van den Landbouw, no 288, Afd. 2 Domeinen, tot het onderzoek naar de gevolgen van eventueele wateronttrekking aan de Veluwe ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amsterdam; Algemeene Landsdrukkerij, s-Gravenhage.

Anonymous (2018) Waterschap haalt vanwege droogte vissen uit beek bij Epe; in: *De Stentor*.

Aus der Beek, T., E. Alves, R. Becker, A. Bruggeman, A. Fortunato, P. Freire, A. Gagne, M.H.J. Van Huijgevoort, A. Iacovides, I. Iacovides, E. Kristvik, L.

Locatelli, P. Lorza, M. Mouskoundis, T. Muthanna, M. Nottebohm, E. Novo, M. Oliveira, S. Rijpkema, M. Rodrigues, R. Rodrigues, B. Russo, M. Scheibel, D. Sunyer, E. Teneketzi, P. Vayanou, T. Viseu, B.R. Voortman en J.P.M. Witte (2018) D3.4 - Model results for water and land use scenarios completed and analysed.

Baltjes, J. (2002) De slenk op de Beerenberg; in: *Ambt en Heerlijkheid*, vol 48, no 135, pag 18-27.

Boissevain, C. (1906) Onze Voortrekkers: De geschiedenis van eenige leden der familie Boissevain; Eigen beheer, Naarden.

Bouwer, K. (2008) Voor profijt en genoeg: de geschiedenis van bos en landschap van de Zuidwest-Veluwe; Uitgeverij Matrijs.

Buishand, A., T. Brandsma, G. De Martino en H. Spreeuw (2011) Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar; in: *H2O*, vol 24, pag 31-33.

De Lange, W.J. en W. Borren (2014) Grondwatermodel AZURE versie 1.0. Actueel instrumentarium voor de Zuiderzee Regio. Deltares.

De Rijk, J.H. (1992) Diepe grondbewerking in bossen: geschiedenis en ecologische gevolgen; in: *Nederlands Bosbouw Tijdschrift*, vol 64, no 4, pag 143-147.

Dekker, L.W., A.H. Booij en C.J. Ritsmea (1997) IJzerbanden en ijzerwanden in onze zanden; de samenhang ervan met de stroming van water; in: *Stromingen*, vol 3, no 2, pag 29-40.

Dolman, H., E. Moors, J. Elbers, W. Snijders en P. Hamaker (2000) Het waterverbruik van bossen in Nederland. Alterra.

Driessen, J.H.A. (2007) De Veluwe als bron van veilig drinkwater; in: *De Weijerd*, vol 28, no 4, pag 85-93.

Gehrels, J.H. (1999) Groundwater level fluctuations. Separation of natural from anthropogenic influences and determination of groundwater recharge in the Veluwe area, the Netherlands. PhD-thesis, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam.

Hagens, H. (1998) Op kracht van stromend water: negen eeuwen watermolens op de Veluwe; Smit van 1876.

Heldring, O.G. en G. Haasloop Werner (1845) Wandelingen over de Veluwe; G. van Eldik Thieme, Arnhem.

Ijzerman, A. (1979) Sprengen en sprengbeken op de Veluwe: Een onderzoek naar beheer, onderhoud en watervoorziening in historisch perspectief. Landbouwhogeschool, Wageningen.

- Martinet, J.F.** (1777-1779) *Katechismus der Natuur*, delen 1 t/m 4, Amsterdam.
- Moolenaar, S. en I. Willems** (2018) Vitens: 500 miljoen liter extra waterverbruik op piekdagen door droogte; in: *De Gelderlander*.
- Nijhoff, I.A.** (1820) *Wandelingen in een gedeelte van Gelderland, of geschiedkundige en plaatsbeschrijvende beschouwing van de omstreken der stad Arnhem*; Paulus Nijhoff, Arnhem.
- Nijhuis, K.** (2017) *Historisch landgebruik van de Veluwe in hydrologisch perspectief*. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Nijhuis, K., B. Voortman en J.P.M. Witte** (2018) Effecten van historische landgebruik op de waterbalans van de Veluwe; in: *De Wijerd*, vol 39, no 1, pag 22-26.
- Renes, J.** (2015) Ook de Veluwe kent zijn waterbouwkundige werken; het landschap van sprenge, beken en watermolens; in: *Bijdragen en Mededelingen Gelre*, vol 106, pag 85-110.
- Renes, J., J. Meijer en K.M. De Poel.** (2002) Het Veluws Sprengenlandschap; een cultuurmonument. Aterra & Stichting tot behoud van de Veluwse sprengen en beken.
- Rodda, J.C. en H. Dixon** (2012) Rainfall measurement revisited; in: *Weather*, vol 67, no 5, pag 131-136.
- Roorda van Eysinga, N.** (1952) *De Velwezoo: ontwikkeling, bewoning, vegetatie en hun onderlinge invloed vooral in het gebied van Renkum*; Breughel, Amsterdam.
- Simunek, J., M.T. Van Genuchten en M. Sejna** (2005) The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media; in: *University of California-Riverside Research Reports*, vol 3, pag 1-240.
- Slijkhuis, H.** (2018) Hoe verloren is de Verloren beek?; in: *De Weijerd*, vol 39, no 4, pag 5-9.
- Stuyfzand, P.J.** (1993) *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands*, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Ter Maat, H., E. Moors, R. Hutjes, A. Holtslag en A. Dolman** (2013) Exploring the impact of land cover and topography on rainfall maxima in the Netherlands; in: *Journal of Hydrometeorology*, vol 14, no 2, pag 524-542.
- Tiktak, A. en W. Bouten** (1994) Soil water dynamics and long-term water balances of a Douglas fir stand in the Netherlands; in: *Journal of Hydrology*, vol 156, no 1-4, pag 265-283.

Tutein Noltenhuis, G.E.H. (1891) Handleiding voor het aanleggen en behandelen van Grove-dennenbosschen; P. Gouda Quint, Arnhem.

Van den Hurk, B., P. Siegmund en A.K. Tank (2014) KNMI'14: Climate Change Scenarios for the 21st Century-a Netherlands Perspective; KNMI.

Van Engelenburg, J., R. Hueting, S. Rijpkema, A.J. Teuling, R. Uijlenhoet en F. Ludwig (2017) Impact of Changes in Groundwater Extractions and Climate Change on Groundwater-Dependent Ecosystems in a Complex Hydrogeological Setting; in: *Water Resources Management*, vol 32, no 1, pag 259-272.

Van Lohuizen, K. (2017) Werklozen nemen de Veluwe op de schop; in: *Nieuwe Veluwe*, vol 17, no 3, pag 40-43.

Van Lonkhuyzen, J.P. (1924) De Houtteelt; De Nederlandsche Heidemaatschappij, Arnhem.

Verhagen, F., T. Spek, J.P.M. Witte, B. Voortman, E. Moors, E.P. Querner, G. Van den Eertwegh en P.J.T. Van Bakel (2014) Expertdialoog de Veluwe. Begrijpen we het watersysteem?; in: *Stromingen*, vol 20, no 3, pag 49-64.

Warmerdam, P.M.M. (1981) De invloed van de wind op regenwaarnemingen; een vergelijkend regenmeteronderzoek; in: *H2O*, vol 14, pag 16-20.

Witte, C. (2016) Stufzandbestrijding op de Veluwe 1500-1884; Msc-thesis Rijksuniversiteit Groningen.

Witte, J.P.M., J. Runhaar, R. Van Ek, D.C.J. Van der Hoek, R.P. Bartholomeus, O. Batelaan, P.M. Van Bodegom, M.J. Wassen en S.E.A.T.M. Van der Zee (2012) An ecohydrological sketch of climate change impacts on water and natural ecosystems for the Netherlands: bridging the gap between science and society; in: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol 16, no 11, pag 3945-3957.

Wösten, J.H.M., F. De Vries, T. Hoogland, H.T.L. Massop, A. Veldhuizen, H. Vroon, J. Wesseling, J. Heijkers en A. Bolman (2013) BOFEK2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland. Alterra.

