

Klimaatbestendig veenweidegebied

Maarten Tiemens

6V N&T

2019-2020

Aardrijkskunde

PWS



Afbeelding 1: Middelste molen van Cabauw aan de rand van het veenweidegebied (Maas, 2017).

Inhoudsopgave

Inleiding.....	4
Waarom het veenweidegebied?.....	5
Wat is het veenweidegebied?	7
Hoe is het veenweidegebied ontstaan?	9
Wat is klimaatverandering?.....	11
Broeikaseffect.....	11
Klimaatverandering is van alle tijden	12
Wat is klimaatbestendig?	16
De droge zomers van 2018 en 2019.....	17
Wat is droogte?.....	17
Wat zijn de problematische gevolgen van klimaatverandering voor het veenweidegebied?	19
Bodemdaling.....	19
Probleem	19
Componenten van de bodemdaling.....	21
Oplossingen.....	22
Drainagesystemen	22
Onderwaterdrainage	23
Drukdrainage.....	23
Natte teelten	24
Veenmos	24
Lisdodde	24
Riet.....	25
Cranberry	25
Azolla	26
Natuur en recreatie.....	26
Verzilting en verdroging	27
Probleem	27
Oplossing.....	28
Opstuwen	28
Ontpoldering.....	28
Ontpoldering Lopikerwaard.....	28
Uitwerking.....	28
Dijk	29
Effectiviteit.....	29
Inlaat	30
Uitlaat	30
Wegen.....	31
Natuurontwikkeling	31
Ontpoldering Lopikerwaard: Uitwerking.....	32
Conclusie	33

Bronnen 34

Inleiding

Nederland is een waterland. Al eeuwenlang probeert men het land te behoeden voor het dreigende water. Met poldermolens hebben we meren drooggemalen en polders op peil gehouden, zodat het land geschikt werd voor landbouw en om er te wonen. Vanaf het begin van de ontwatering van het veen, trad bodemdaling op. Vroeger waren overtollig water en inklinking van het veen de belangrijkste problemen. Nu komen daar door de klimaatverandering nog meer problemen bij en worden de bestaande problemen verergerd.

Door de klimaatverandering wordt het weer extremer wat leidt tot langere periodes van droogte met hogere temperaturen en wateroverlast door heftige buien. Met name door de langere droogteperiodes zal de bodemdaling toenemen. Door de opwarming van de aarde stijgt bovendien de zeespiegel. Dit kan leiden tot meer verzilting van het veenweidegebied. Hoe reageert het veenweidegebied hierop en hoe kunnen we deze klappen opvangen? Mijn hoofdvraag heb ik daarom als volgt geformuleerd: Hoe kan het veenweidegebied klimaatbestendig worden gemaakt?

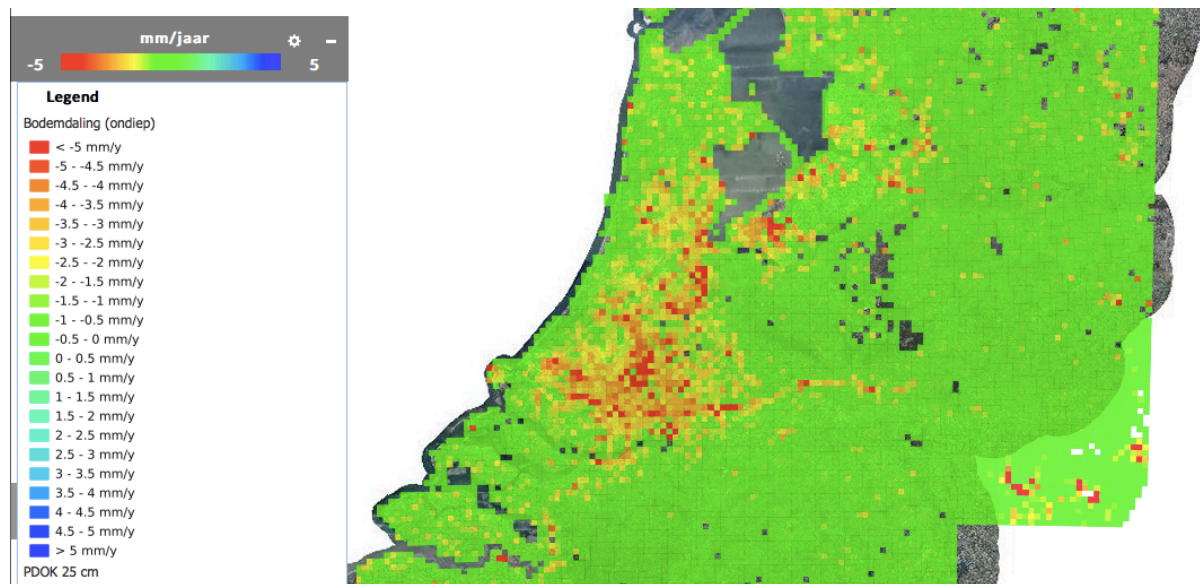
Het doel van dit PWS is om oplossingen te vinden voor de problemen die worden veroorzaakt en versterkt door klimaatverandering. Mijn oplossingen presenteer ik ook middels een kaart en een houten model van het gebied (zie blz. 32).

Waarom het veenweidegebied?

Mijn interesse gaat uit naar watermanagement en klimaatverandering. Ik maak mij zorgen over zowel de oorzaken van de klimaatverandering als ook de gevolgen ervan. Aan de oorzaken kan ik, buiten zelf zo duurzaam mogelijk leven, niet zoveel doen. Met behulp van watermanagement zou ik wel een bijdrage kunnen leveren aan het aanpassen van bijvoorbeeld het veenweidegebied aan de gevolgen van klimaatverandering. Ik heb ook voor dit onderwerp gekozen om te kijken of ik hier iets mee wil na het eindexamen.

De keuze voor het veenweidegebied is zowel persoonlijk als inhoudelijk. Het leek me leuk om een gebied te onderzoeken dat in de buurt ligt en dat ik ken van mijn fietstochten. Dan heb ik er een beeld bij. Ik legde mijzelf de keuze voor tussen de Utrechtse Heuvelrug, het Kromme Rijngebied en het veenweidegebied. Ik heb uiteindelijk voor het veenweidegebied gekozen omdat het een uniek gebied is en ik graag het probleem van bodemdaling en verzilting wilde behandelen. Het aanpakken van die problemen vormt een uitdaging voor het watermanagement. Die problemen komen meer voor in het veenweidegebied dan in de andere twee gebieden.

De veenweide is een uniek laagveengebied. Er zijn weinig bewoonde gebieden in de wereld die zo laag liggen en ook nog te maken hebben met bodemdaling. Het veenweidegebied in de provincies Utrecht, Noord-Holland en Zuid-Holland is bovendien een van de snelst dalende gebieden van Nederland (kaart 1). Het veenweidegebied ondervindt vele gevolgen van de klimaatverandering zoals de zeespiegelstijging en de overstromingsgevaar. Door de veengrond zakt de grond als er druk op wordt uitgeoefend of het grondwaterpeil wordt verlaagd.

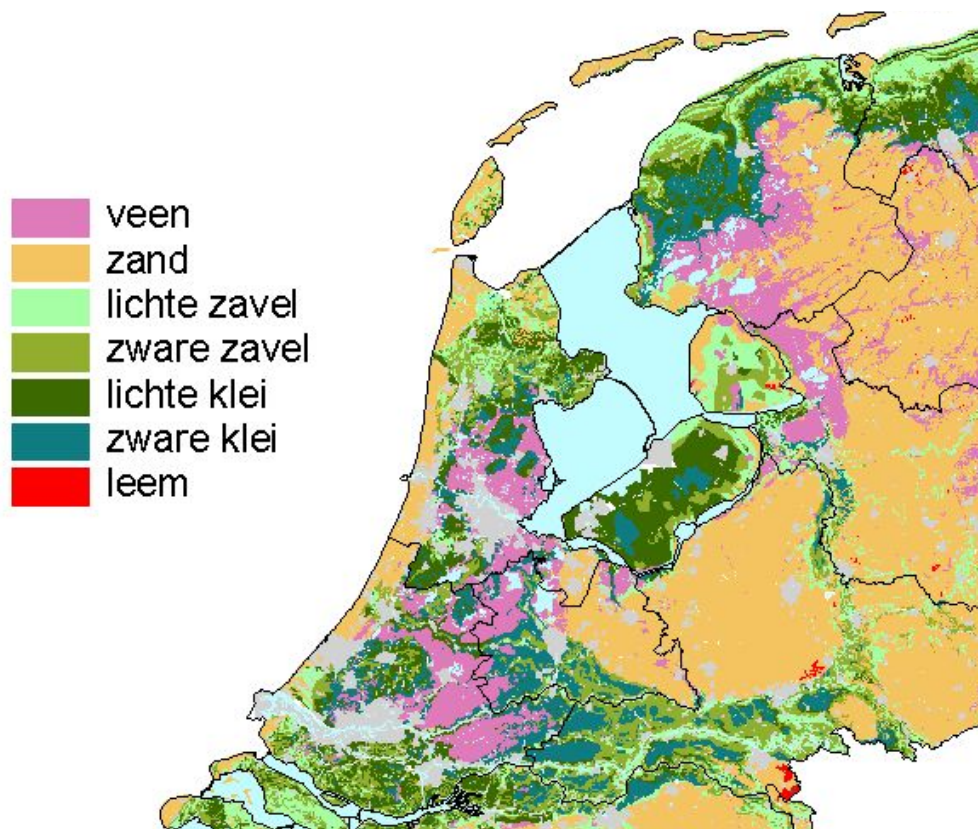


Kaart 1: Bodemdaling ondiep (NCG, z.d.). Het veenweidegebied is een van de snelst dalende gebieden van Nederland.

Zoals bij veel dingen is voorkomen beter dan genezen. In aardrijkskundige termen zou je kunnen zeggen, brongerichte oplossingen zijn beter dan symptoombestrijding. Doordat ik in dit profielwerkstuk in ga op verschillende processen zal het een mix zijn van die oplossingen. Bijvoorbeeld het tegengaan van verzilting is een brongerichte oplossing voor het probleem verzilting maar doordat verzilting onder andere een

gevolg is van de klimaatverandering is de symptoombestrijding van klimaatverandering. Het aanpassen aan de zoute grond is symptoombestrijding van verzilting.

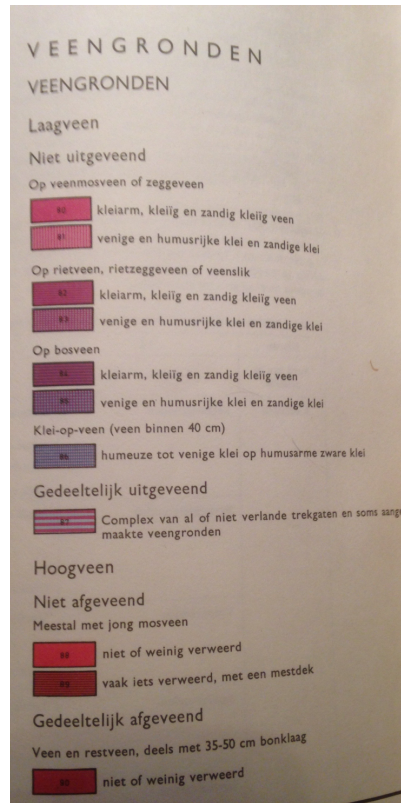
Wat is het veenweidegebied?



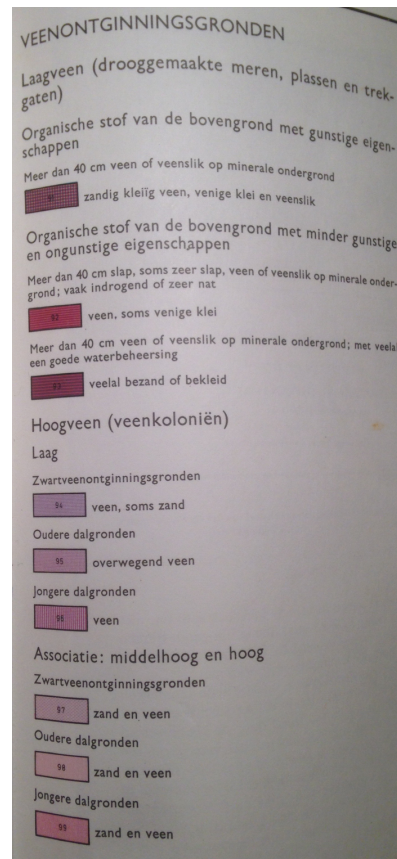
Kaart 2: Grondsoortenkaart Nederland 2006 (Alterra, 2006).

Het veenweidegebied bestaat uit weiden op veengrond. Dit landschapstype komt het meest voor in het westen van de provincie Utrecht en de laag gelegen delen van Holland. Ook in de kop van Overijssel en in Friesland is dit landschap te vinden zoals te zien is op de grondsoortenkaart van Nederland veengebieden (roze op kaart 2, Alterra, 2006). In dit PWS zal ik voornamelijk naar het Utrechts/Hollandse deel refereren, omdat daar de bodemdaling sterker is dan in Friesland en de Kop van Overijssel (NCG, z.d.).

Dat er in Friesland en de Kop van Overijssel minder bodemdaling is, is waarschijnlijk te danken aan het feit dat het veen daar meer zand en klei bevat zoals te zien is op de volgende kaarten uit de Atlas van Nederland 1963-1977 (Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland (samengesteld), 1977).



Kaart 3: Bodemsoorten van Friesland en de Kop van Overijssel.



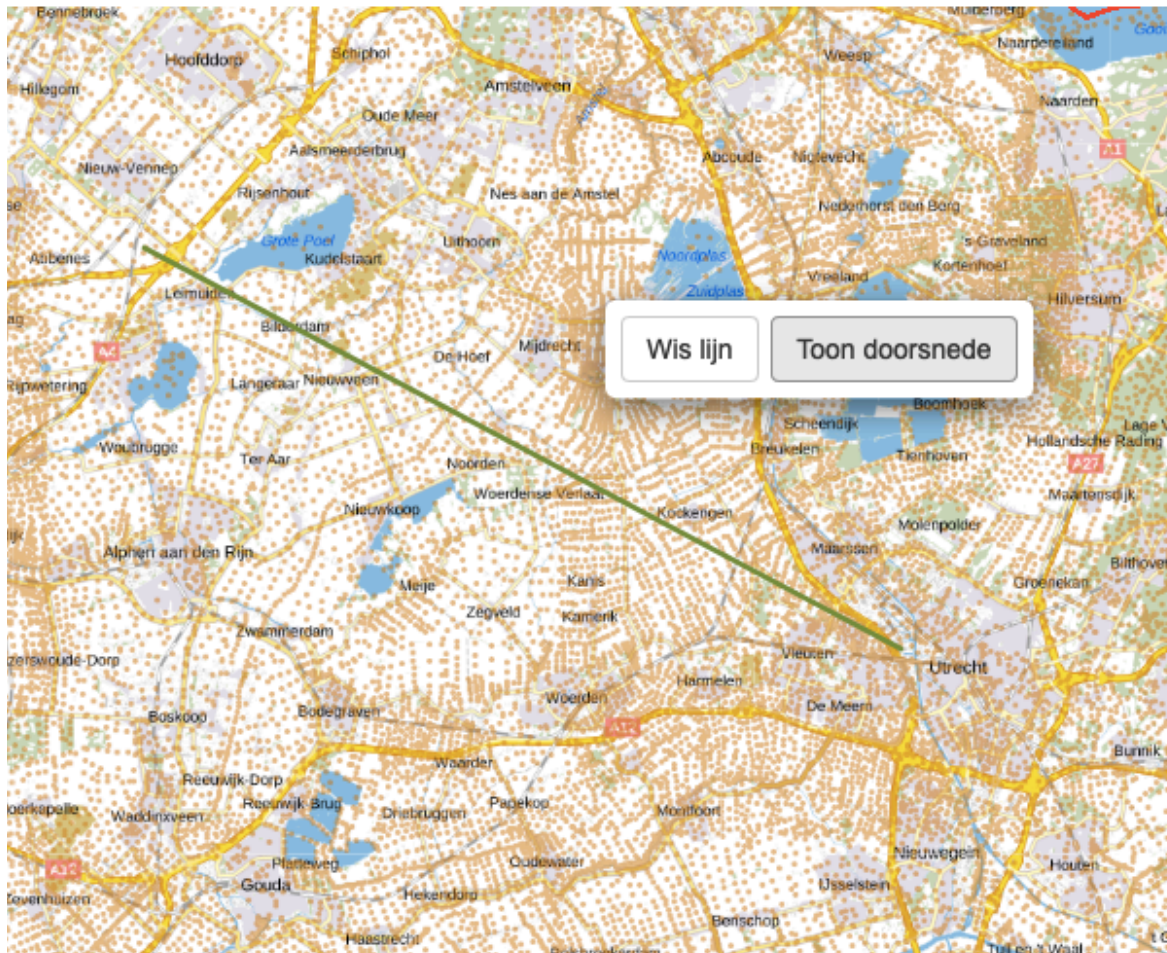
Kaart 4: Bodemsoorten van het Hollandse laagland.

Hoe is het veenweidegebied ontstaan?

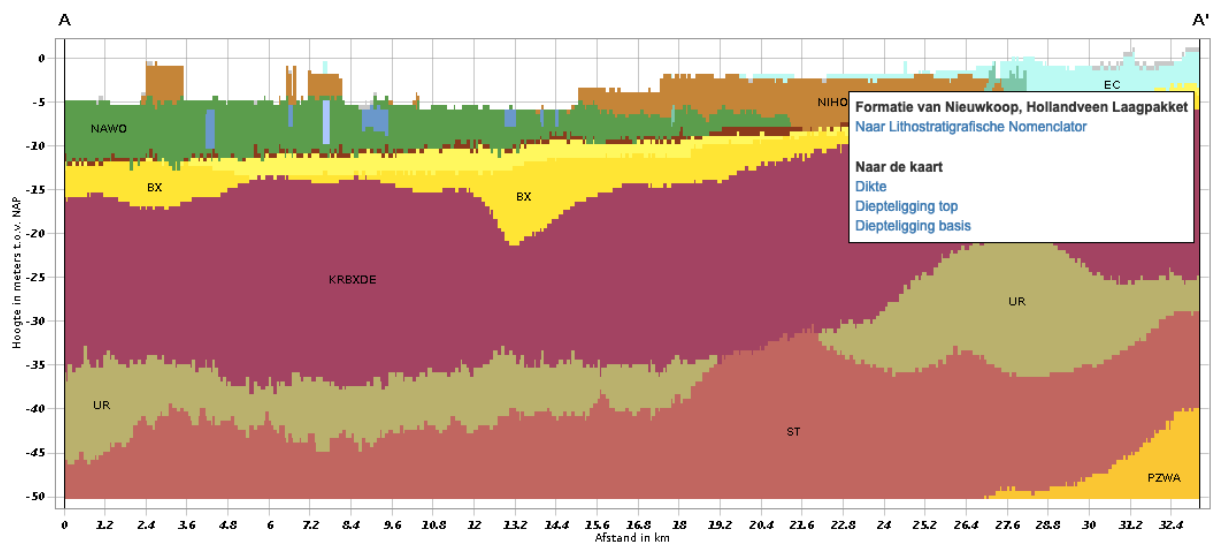
Veengrond bestaat uit bomen- en plantenresten die niet zijn geoxideerd nadat ze stierven. Dit gebeurde voornamelijk in moerasgebieden waar de dode planten en bomen onderwater kwamen te liggen waardoor er geen aerobe dissimilatie kon plaatsvinden. In enkele honderden jaren ontstaat er dan veen. Onder druk en toenemende temperaturen kan het tot bruinkool en zelfs steenkool metamorfoserend. In de loop der eeuwen is het veen afgegraven voor de turfwinning voor brandstof in de steden (Geologie van Nederland, z.d.-a). Mede hierdoor en door het afwateren is het land steeds lager komen te liggen en zo drassig dat het verbouwen van gewassen niet meer mogelijk was. Alleen het laten grazen van vee was hier nog mogelijk en dat gebeurt hier dan ook volop (Blokhuys & Eyk, 2017).

Het veen is ontstaan na de laatste ijstijd. In het westen van Nederland ontstonden toen veenmoerassen. Dat kwam door een samenspel van de zeespiegelstijging en de aanvoer van regen en rivierwater. Door de zeespiegelstijging werd er door de zee steeds meer zand op de kust afgezet. Hierdoor ontstonden er strandwallen die het achterland afsloten van de zee. De zee brak vijfduizend jaar geleden geregeld door de strandwallen heen. Achter de wallen ontstonden kwelders en lagunes die door de aanvoer van regen- en rivierwater in de loop van de tijd steeds zoeter werden. In deze natte omstandigheden ontwikkelden zich uitgestrekte moerasbossen en veen. Door de ontginning van het veen ten behoeve van veeteelt ontstond langzamerhand het veenweidegebied zoals we dat nu kennen (Geologie van Nederland, z.d.-c).

Kaart 5 en figuur 1 geven een dwarsdoorsnede van het gebied weer. Hierin is het bruine gedeelte de veengrond. In de doorsnede is goed te zien dat er aan de westkant delen van het veen volledig zijn afgegraven ten behoeve van de turfwinning dat als brandstof werd gebruikt. Deze gebieden zijn na het afgraven drooggemalen en liggen nu veel lager dan de overige veengronden.



Kaart 5: Kaart van het veenweidegebied waarvan langs de lijn de onderstaande dwarsdoorsnede is gemaakt (Dinoloket, z.d.).



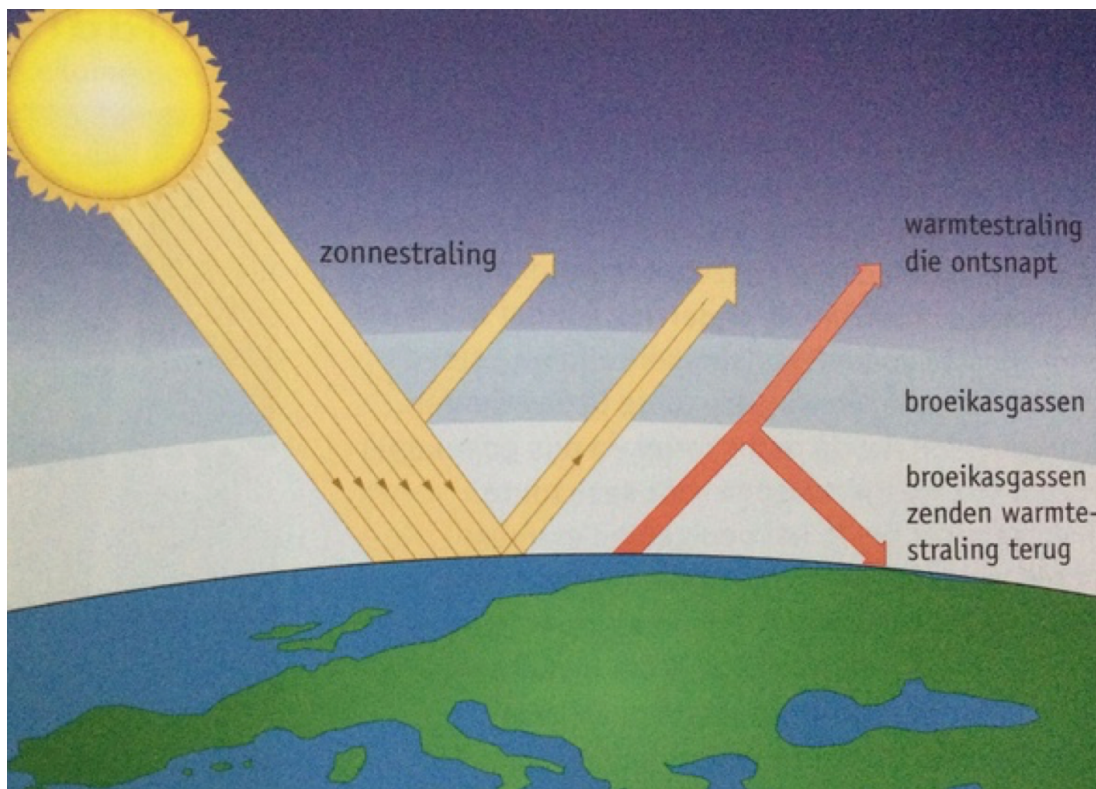
Figuur 1: Dwarsdoorsnede van Leimuiden tot Utrecht. Het bruine gedeelte (Formatie van Nieuwkoop) is het veengebied (Dinoloket, z.d.).

Wat is klimaatverandering?

Klimaatverandering is de verandering van het klimaat. Het klimaat is het gemiddelde weer gemeten over minimaal dertig jaar. Hierbij moet je denken aan de temperatuur, vochtigheid, luchtdruk, wind, bewolking en neerslag (KNMI, 2019-a).

Broeikaseffect

De gemiddelde temperatuur op aarde wordt beïnvloed door het broeikaseffect. Het broeikaseffect maakt het mogelijk dat er leven is op aarde. Zonder het broeikaseffect zou het op aarde veel te koud zijn, namelijk ongeveer $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (CLO, z.d.).

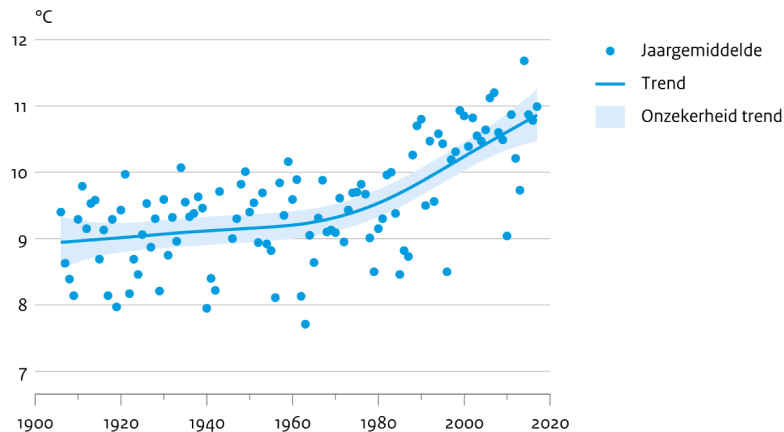


Figuur 2. Het broeikaseffect (Biologievoorjou, z.d.).

Alle energie op aarde afkomstig van de kortgolvlige straling van de zon (figuur 2). Ongeveer 30% van deze straling wordt door de wolken, stofdeeltjes en broeikassen in de atmosfeer teruggekaatst en bereikt de aarde niet. De overige straling wordt voor 1/3 deel opgenomen door de atmosfeer en voor 2/3 deel door het aardoppervlak. Zowel de atmosfeer als het aardoppervlak (en de oceanen) worden hierdoor warmer. Daarbij ontstaat langgolvlige straling die weer verdwijnt naar het heelal. Er is dan sprake van een evenwicht tussen de in- en uitgestraalde energie. Door dit natuurlijke broeikaseffect is de gemiddelde temperatuur op aarde $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ in plaats van $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hierdoor is leven op aarde mogelijk (CLO, z.d.).

In de afgelopen 150 jaar is de mens echter bezig het klimaat te verstoren. Vanaf de industriële revolutie zijn er veel fossiele brandstoffen verbrand waardoor de concentratie CO_2 (kooldioxide, een broeikasgas) in de atmosfeer erg is gestegen.

Deze stijging van de hoeveelheid broeikasgassen in de atmosfeer is zorgwekkend. De deken van broeikasgassen boven de aarde wordt als het ware steeds dikker waardoor een deel van de warmte niet naar het heelal kan ontsnappen en wordt teruggekaatst naar de aarde. Hierdoor stijgt de gemiddelde temperatuur op aarde in rap tempo. Deze temperatuurstijging is op de ene plek sterker dan op de andere plek. In Nederland is de laatste 115 jaar de gemiddelde jaartemperatuur met bijna twee graden gestegen (zie grafiek 1). Negen van de tien warmste jaren dateren uit de periode sinds 1999 (CLO, 2017).



Bron: KNMI

PBL/mrt18
www.clo.nl/nlo22613

Grafiek 1. Gemiddelde jaartemperatuur in Nederland vanaf 1900 (CLO, 2015).

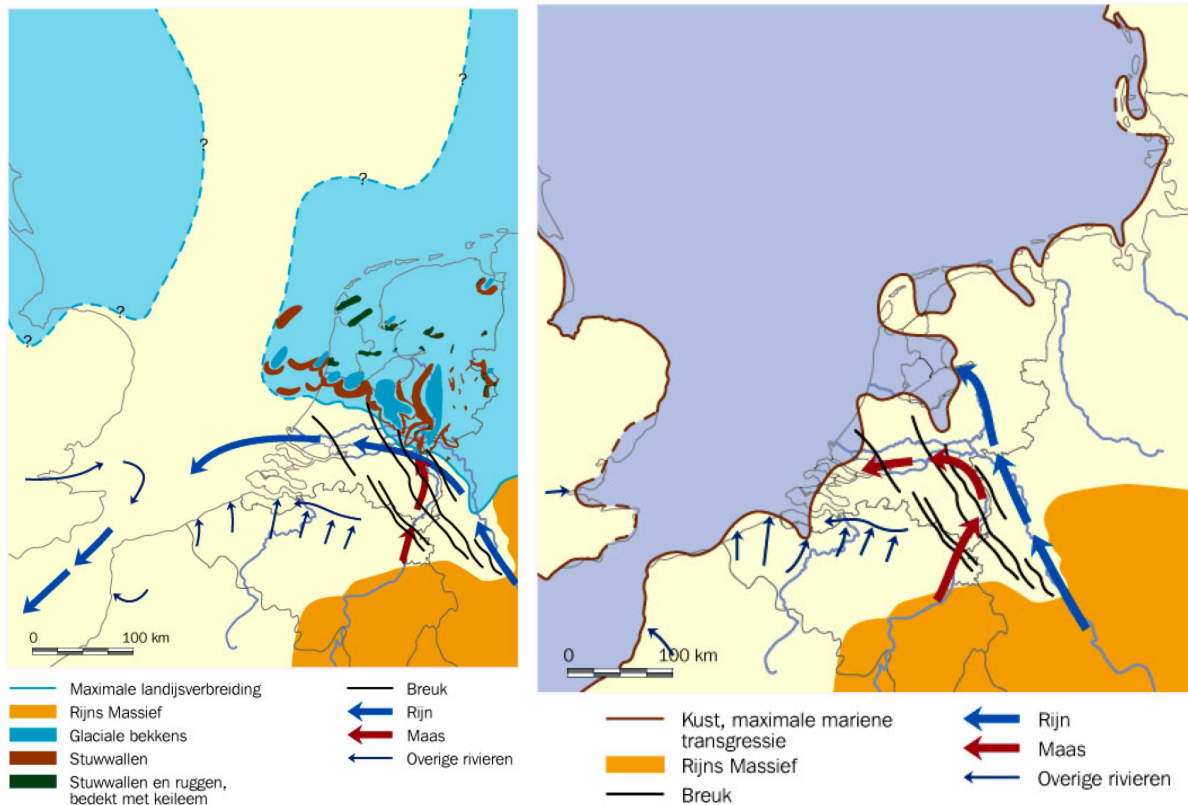
Klimaatverandering is van alle tijden

De ‘natuurlijke’ klimaatveranderingen worden onder andere veroorzaakt door de activiteit van vulkanen op aarde en de zonneactiviteit. Klimaatverandering is niet iets nieuws. Al zolang als de aarde bestaat, verandert het klimaat constant, ook in Nederland. De periode waarin we nu leven wordt het Quartair genoemd en is ongeveer 2,5 miljoen jaar geleden begonnen. Het Quartair wordt gekenmerkt door een cyclus van glacialen, ijstijden die ongeveer 100.000 jaar duren, en interglacialen, een tijd van ongeveer 20.000 jaar tussen de ijstijden in (Natuurinformatie, z.d.-d).

Systeem	Serie	Subseries	Etages in Noord-Europa	Subseries in Noord-Europa	Series in Noord-Europa	Ouderdom in miljoenen jaren		
Kwartair	Holoceen		'Flandrien'	Holoceen	Holoceen	0,01		
						Pleistoceen	Laat-Pleistoceen	Weichselien
	Eemien	Midden-Pleistoceen	0,85					
	Midden-Pleistoceen			Saalien				
				Holsteinien				
				Elsterien				
	Vroeg-Pleistoceen			Cromerien	Vroeg-Pleistoceen		1,81	
		Bavelien						
		Menapien						
		Waalien						
Eburonien	Tiglien	Laat-Plioceen	Laat-Plioceen	2,6				
					Neogeen (Tertiair)	Plioceen	Laat-Plioceen	2,6
Reuverien								

Figuur 3. Tijdtabel Quartair (Natuurinformatie, z.d.-a).

Het Saalien (370.000 – 130.000 jaar geleden, zie figuur 3) heeft een grote invloed gehad op de vorming van het Nederlandse landschap. De stuwwallen in het midden van Nederland zoals de Utrechtse Heuvelrug zijn ontstaan toen een dik pakket landijs de noordelijke helft van Nederland bedekte. Het ijs had ook invloed op loop van de rivieren de Maas en de Rijn. Deze werd door de stuwwallen naar het westen afgebogen, richting de Noordzee (kaart 6a) (Natuurinformatie, z.d.-c). In grafiek 2 is te zien dat het toen bijna 10 graden kouder was dan nu. Aan het einde van het Saalien steeg de temperatuur in relatief rap tempo met 13 graden in 15.000 jaar. Dat markeerde het einde van de glaciaal. In het opvolgende interglaciaal het Eemien (130.00 – 115.000 jaar gelden) smolt het landijs en steeg de zeespiegel. Die was toen wel twee meter hoger dan nu. Een groot deel van wat nu Noord Holland is stond onder water (kaart 6b) (Natuurinformatie, z.d.-b).



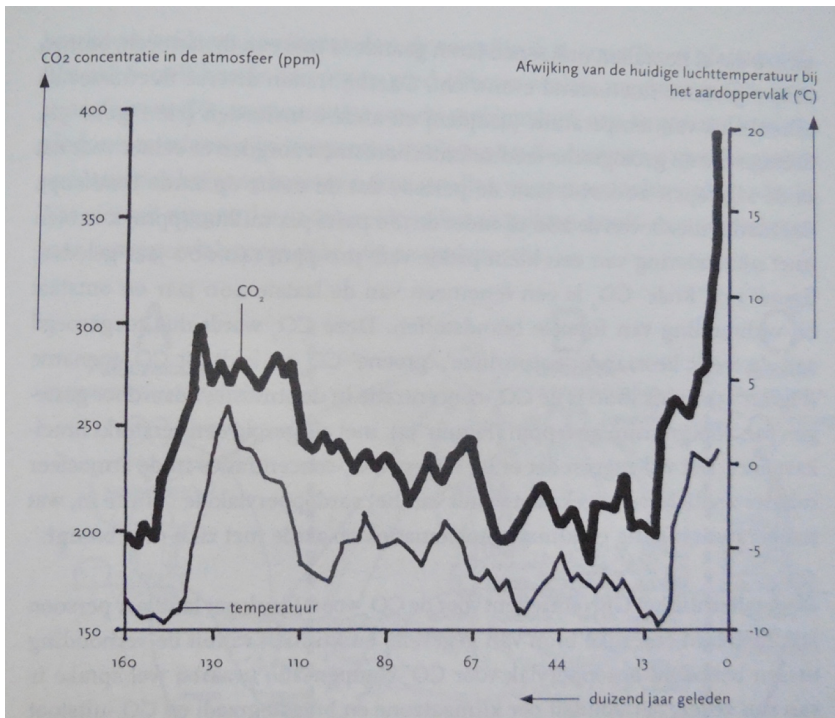
Kaart 6. a Nederland tijdens het Saalien,

b Nederland tijdens het Eemien. (Natuurinformatie, z.d.-b)

De sedimentafzettingen uit het Saalien en het Eemien zijn nog terug te vinden in de ondergrond van Nederland (dwarsdoorsnede figuur 1). De onderste laag (ST) is gevormd uit afzettingen van de rivieren die zijn omgebogen naar het westen tijdens het Saalien. De laag daarboven (UR) bestaat uit zandafzettingen van de zee in het begin van het Eemien. Later daalde de zeespiegel en toen werd er voornamelijk zand en klei van de Rijn afgezet (laag KRBXDE). In de volgende ijstijd, het Weichselien, lag de Noordzee weer droog maar kwam de ijsskap niet in Nederland. In deze tijd is er dekzand en löss over Nederland uitgeblazen (laag BX). Later in het Weichselien was er wederom een tijd dat Nederland werd overspoeld door het zeewater (transgressie) waardoor er weer maritieme sedimenten werden afgezet (laag NAWO). Het vervolg hierop is de vorming van het veen, de formatie van Nieuwkoop, zoals is beschreven onder het kopje: 'Hoe is het veenweidegebied ontstaan?'

We leven nu halverwege een interglaciaal, wat een klein deel van de huidige temperatuurstijging kan verklaren. De eerdere temperatuurstijgingen (en dalingen) gingen echter veel langzamer dan de hedendaagse temperatuurstijging. De relatief snelle temperatuurstijging aan het einde van het Saalien was 0,0013 graad per jaar. De huidige stijging ligt meer dan een factor 10 hoger (2 graden in 115 jaar in Nederland of wel ruim 0,017 graad per jaar).

Wat echt zorgwekkend is, is de toenemende CO₂-concentratie in de atmosfeer, want deze hangt sterk samen met de temperatuur, zoals is te zien in grafiek 2. De grafiek laat ook zien dat die concentratie in de laatste 160.000 jaar nog nooit zo hoog is geweest als nu. En de concentratie stijgt nog steeds. Aangezien de temperatuurstijging achterloopt bij de concentratietoename van CO₂, zal de temperatuur dus nog verder stijgen. Volgens onderzoekers is het vrijwel zeker dat de huidige opwarming van de aarde door de mens wordt veroorzaakt (Santer, 2019).



Grafiek 2: Overzicht van de CO₂-concentratie in de atmosfeer en de gemiddelde temperatuur van de atmosfeer (vlak boven het aardoppervlak) gedurende de afgelopen 160.000 jaar (Meek, 2017).

Wat is klimaatbestendig?

Een gebied is klimaatbestendig als de effecten van klimaatverandering kunnen worden opgevangen (Aquo, 2014). Dit betekent voor het veenweidegebied dat er aanpassingen moeten worden gedaan waardoor het gebied niet waardeloos wordt voor de mens als de klimaatverandering vordert.

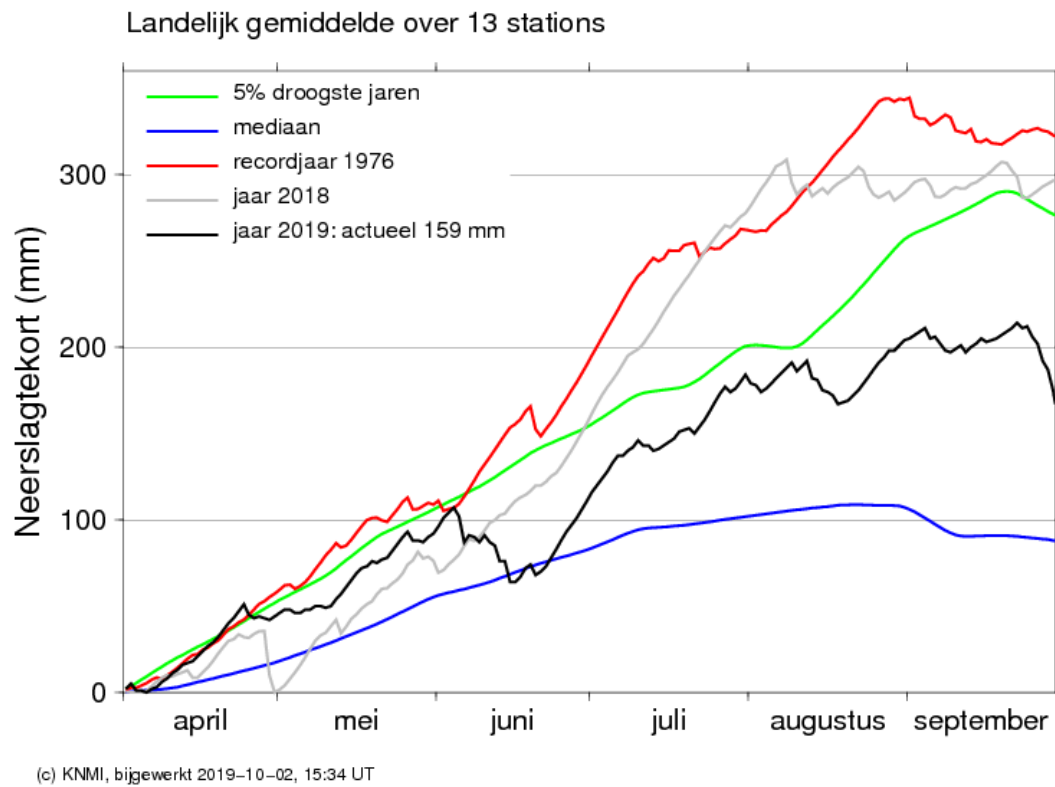
De droge zomers van 2018 en 2019

De droge zomer van 2018 was zeer extreem. Al is het niet zeker of de oorzaak direct door de klimaatverandering komt of dat het weer een extreme uitzondering was. De zomer 1976 was ook extreem. Ook 2019 is extreem droog verlopen. Deze zomers zijn wel een voorbeeld van wat er gebeurt met het land als er bijna geen neerslag valt. De kans op een extreem droge zomer lijkt toe te nemen door de klimaatverandering. We kunnen dus veel van deze zomers leren om er in de toekomst beter op voorbereid te zijn. In dit profielwerkstuk zal ik vaak verwijzen naar deze zomers (vooral die van 2018), want ik wil voornamelijk focussen op de gevolgen van de droogte. Extreme droogte is relatief nieuw in ons land en vormen en bedreiging (verzilting, uitdrogen veengebieden). Daarom is het belangrijk om daar oplossingen voor te zoeken.

De verwachting is dat klimaatverandering in Nederland tot extremer weer zal leiden. Enerzijds zullen er langere periodes zijn met extreme temperaturen en droogte en anderzijds zullen we te maken krijgen met zeer heftige regen- en hagelbuien, waarbij veel neerslag in een korte tijd valt. In Nederland hebben we al veel ervaring met de strijd tegen het water. Deze ervaring kan ook een deel van de oplossing voor het droogteprobleem zijn door het vasthouden en bergen van tijdelijk overtollig water. Dit water kan dan gebruikt worden om in droge tijden het waterpeil in het veengebied op peil te houden. Dit werk ik verder uit onder het kopje 'Ontpoldering Lopikerwaard'.

Wat is droogte?

Droogte is een periode waarbij er minder neerslag valt dan er verdampt. Verdamping komt door planten die water opnemen uit de grond en een deel ervan weer afgeeft aan de lucht of het treedt rechtstreeks vanaf het oppervlaktewater op. Een plant verdampt meer water bij hoge temperaturen met veel zon. Vanaf 1 april (voor deze datum verdampen planten niet zoveel water) worden de hoeveelheid verdamping en de hoeveelheid neerslag door het KNMI bijgehouden. Het verschil tussen deze twee is het neerslagtekort (als er meer verdamping is dan neerslag). Meestal bouwt dit tekort zich in de loop van de zomer op. In grafiek 3 zijn de neerslagtekorten van de zomers van 2018 en 2019 weergegeven in vergelijking met de extreme zomer van 1976, de 5% droogste jaren en de mediaan (sinds 2001). De mediaan geeft het verloop van het neerslagtekort weer dat in 50% van de jaren wordt overschreden. De afgelopen twee jaren, 2018 en 2019, zitten ver boven de mediaan. Dit kan toeval zijn of een gevolg van klimaatverandering (KNMI, 2018).



Grafiek 3: Neerslagtekort in Nederland (KNMI, 2019-b).

Wat zijn de problematische gevolgen van klimaatverandering voor het veenweidegebied?

Bodemdaling

Probleem

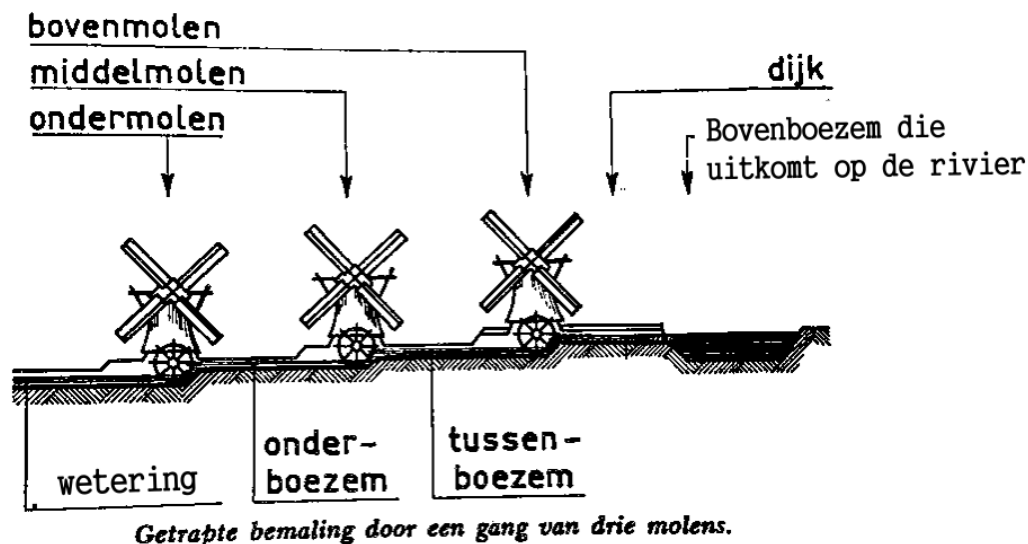
De bodemdaling is al een probleem in het veenweidegebied sinds de eerste ontwateringen van het gebied vanaf de 10e eeuw. Het ontwateren was nodig omdat het gebied zo nat en drassig was dat de mensen er geen nuttige doeleinden voor hadden. Daarom moest men het water afvoeren naar de rivier; dat gebeurde in eerste instantie met het graven van sloten loodrecht op de rivier. Als gevolg van de lagere grondwaterstand begon het veen direct de dalen waardoor er wetingen (gegraven kanalen evenwijdig aan de rivier) nodig waren om het water verder stroom afwaarts (lager gelegen) in de rivier te lozen. De daling van het land zette steeds verder door, waardoor er ook dijken langs de rivieren nodig werden, om overstroming tegen te gaan. Op kaart 7, een topografische kaart van de Lopikerwaard is het patroon van sloten en wetingen goed te zien.



Kaart 7. Topografische kaart Lopikerwaard. De sloten staan loodrecht op de rivier en de wetingen. De sloten voeren het water naar de wetingen. De wetingen lozen bij Schoonhoven op de rivier.

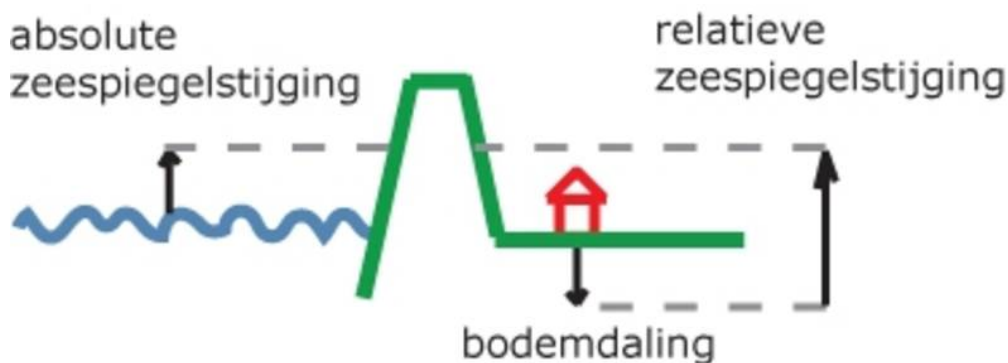
In de 15e eeuw deed de poldermolen z'n intrede. Deze werden gebruikt om afgegraven polders helemaal droog te malen (droogmakerijen) maar ook om ervoor te zorgen dat het polderpeil (ook in niet of maar deels afgegraven polders), en daarmee ook de grondwaterstand, ver genoeg onder het maaiveld bleef. Deze eerste poldermolens hadden een scheprad met een beperkte opvoerhoogte van ongeveer anderhalve meter. Als het polderpeil zo erg was gedaald dat een scheprad niet meer voldeed werden er twee molens of meerdere molens achter elkaar gebouwd. Hiermee werd

een molengang verkregen zoals te zien is in figuur 4 (Stokhuyzen, 1963, pp. 41). Een dergelijke molengang werd in de 15e eeuw bij Cabauw gerealiseerd om het waterpeil in de Lopikerwaard laag genoeg te houden (Monumenten in Nederland, 1996). Met de toepassing van de schroef van Archimedes, de vijzel, in poldermolens werden hogere opvoerhoogten tot wel vier meter mogelijk. De uitvinding van de stoommachine heeft de meeste molens overbodig gemaakt. De poldermolens waren afhankelijk van de wind, terwijl stoomgemalen ten alle tijden water kunnen oppompen. Bovendien is de capaciteit en de opvoerhoogte van een stoomgemaal groter dan die van een poldermolen (Renes, 2012). Nu worden vrijwel alle gemalen elektrisch aangedreven.



Figuur 4: Getrapte bemaling door een gang van drie molens (naar Stokhuyzen, 1963).

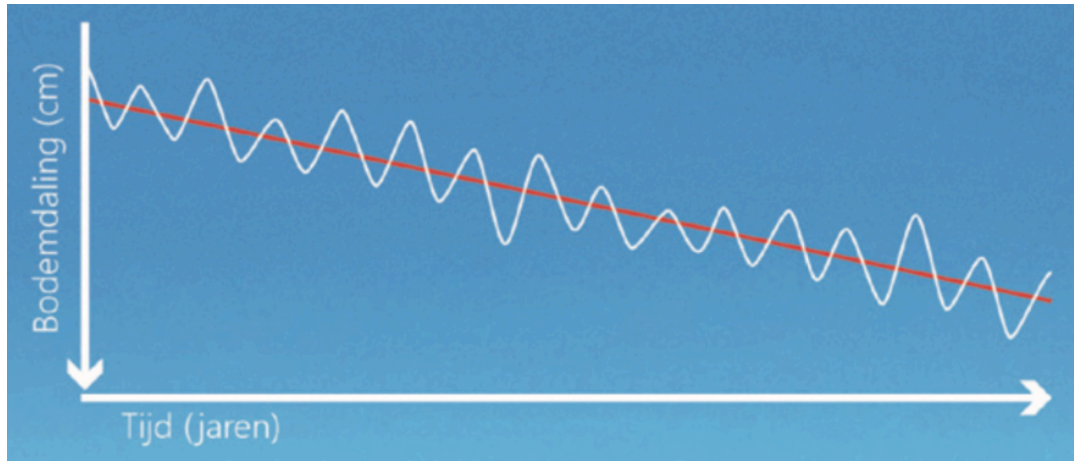
Kortom, in de afgelopen duizend jaar is het veenweidegebied steeds weer verder ontwaterd en daardoor gedaald. Dit heeft ook consequenties voor de veiligheid van het gebied in verband met de stijging van de zeewaterspiegel als gevolg van klimaatverandering. De bodemdaling versterkt als het ware de stijging van de zeewaterspiegel. Als bij de bodemdaling de absolute zeespiegelstijging wordt opgeteld krijgt men de relatieve zeespiegelstijging zoals te zien is in figuur 5 (KNMI, z.d.). De relatieve zeespiegelstijging zorgt voor meer problemen dan alleen de absolute zeespiegelstijging (zie ook de paragraaf 'verzilting en verdroging').



Figuur 5: De relatieve zeespiegelstijging is de som van de absolute zeespiegelstijging en de bodemdaling.

Componenten van de bodemdaling

Men heeft dus ondervonden dat het land daalt als het waterpeil wordt verlaagd. De oorzaken van deze daling worden in de volgende paragrafen besproken. De daling van de veenbodembodem bestaat uit een aantal componenten: 15% krimp en zwel, 5% zetting, 20% inklinking en 60% oxidatie (Schothorst, 1967).



Grafiek 4: Bodemdaling in de tijd, er is meer bodemdaling dan stijging.

- **Krimp en zwel**

De veengrond is als een spons. Het zwellt op als het nat is, ofwel onderwater staat, en het krimpt als het droog is. Dit wordt 'krimp en zwel' genoemd. Het probleem is echter dat het veen meer krimpt dan zwellt, doordat het veen steeds compacter wordt. Hierdoor krijgt het veen niet meer het oorspronkelijke volume terug. De compactheid van het veen neemt toe als het veen ouder wordt. Naar mate het veen verder humificeert (afbreekt), worden niet alleen de deeltjes in het veen kleiner maar ook de ruimte tussen de deeltjes. (Vergelijk dit met stenen of zand in een vaas. Tussen de stenen (grote deeltjes) is veel ruimte, tussen de zandkorreltjes (kleine deeltjes) is weinig ruimte.) Als het veen in een droge zomer helemaal uitdroogt kan het zich in een natte periode niet meer volledig herstellen. Doordat de ruimte tussen de veendeeltjes kleiner is geworden kan het veen minder water opnemen dan eraan was onttrokken (Otten, 1985). Als gevolg van krimp en zwel daalt de bodem in een droge tijd en stijgt de bodem in een natte tijd. Omdat de krimp sterker is dan de zwel is het nettoresultaat een daling van de bodem zoals te zien is in grafiek 4.

- **Zetting**

Als er druk op de veengrond wordt uitgeoefend drukt de grond in elkaar. Dit kan komen door bijvoorbeeld landbouwmachines, vee, huizen en wegen. Als de druk wordt weggenomen kan het veen weer een beetje terugveren maar niet volledig.

- **Inklinking**

Inklinken komt door het ontwateren van het veen. Als het water weg is neemt de druk af van het veen waardoor het in volume minder wordt. Dit is anders dan bij "krimp en zwel" waarbij het veen uitdroogt. Zolang het veen droogstaat is inklinking onomkeerbaar

• Oxidatie

Veen bestaat uit bomen- en plantenresten. Deze konden nooit oxideren doordat er geen zuurstof bij kon komen, omdat het onderwater lag. Als het veen droog komt te liggen kan er wel weer zuurstof bij komen en oxideert het veen. Hierbij ontstaan onder andere water en de broeikasgassen CO_2 , CH_4 en N_2O , die in de lucht 'verdwijnen'. De Nederlandse veenweiden veroorzaken bij elkaar tussen de 2 en de 3 % van de Nederlandse CO_2 -emissie (Rienks & Gerritsen, 2005, p. 13). Bij de oxidatie van veen 'verdwijnt' er dus materie de lucht in wat natuurlijk niet terugkomt als het waterpeil stijgt. Daardoor daalt de bodem.

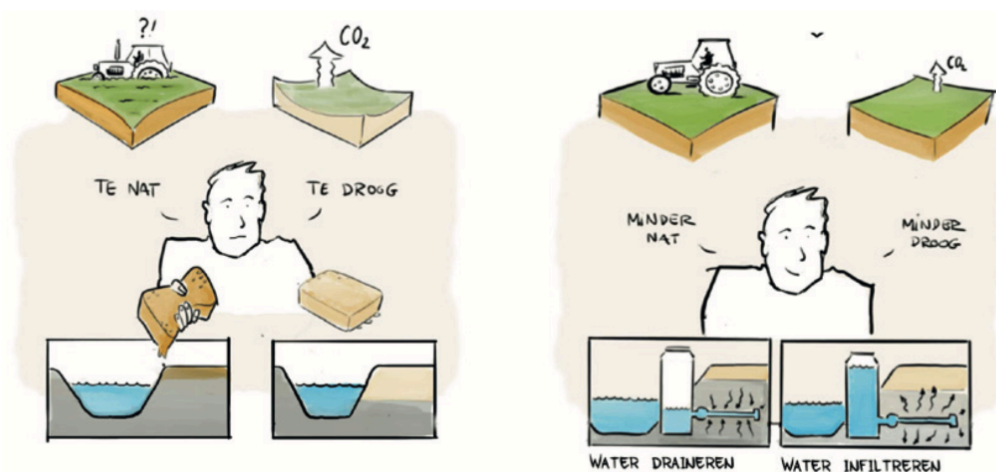
De hier besproken componenten zorgen ervoor dat de bodem op sommige plekken met meer dan 5 mm per jaar zakt zoals te zien is in kaart 1. Doordat het weer extremer wordt door de klimaatverandering zal het veen voornamelijk in de zomer vaker droog komen te staan waardoor de krimp en de oxidatie toe nemen. De klimaatverandering zorgt in het veenweidegebied daardoor voor een versnelde bodemdaling en voor een hogere uitstoot van broeikasgassen.

Oplossingen

Om de bodemdaling tegen te gaan moet het veen onderwater blijven. Dit betekent een verhoogd grondwaterpeil. Als het polderpeil omhoog wordt gebracht, wordt het op sommige plekken van het perceel te drassig voor veeteelt. Deze percelen moeten dan een nieuwe bestemming krijgen zoals natte teelten of kan terug gegeven worden aan de natuur (re-naturering).

Drainagesystemen

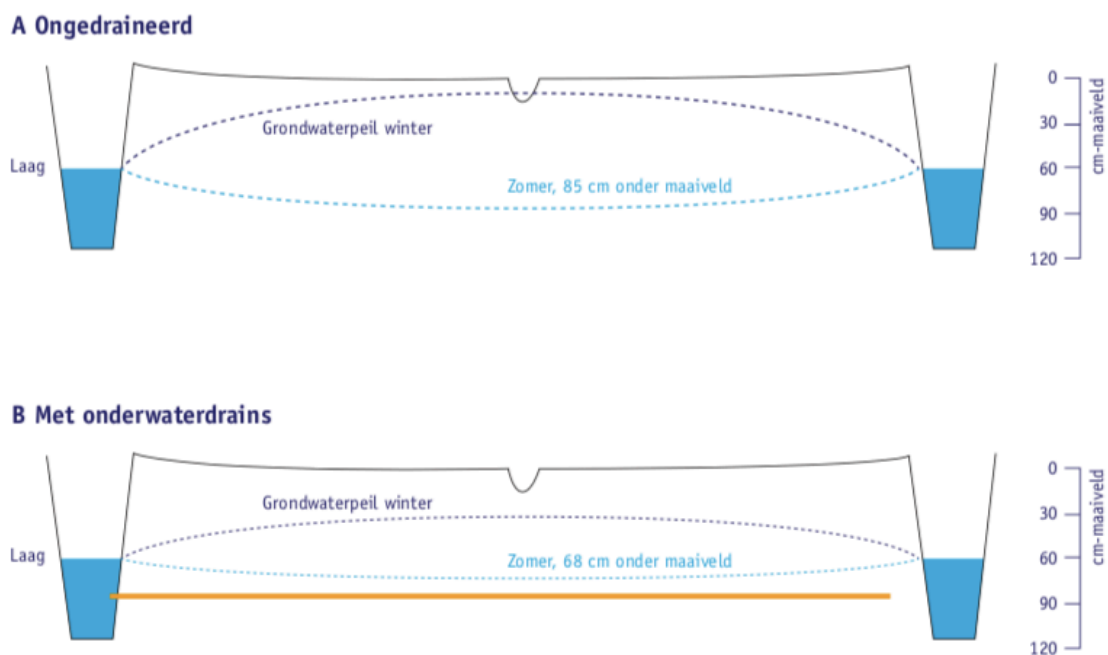
Het voldoende nathouden van het veen kan door het polderpeil omhoog te brengen of een gecontroleerde druk/infiltratiesysteem toe te passen (Hoving & Akker & Massop & Holshof & Houwelingen, 2019). Bij droogte neemt het grondwaterpeil af naar mate de afstand tot de sloot toe neemt. Met wateroverschot is het precies andersom. De grondwaterstand schommelt rond het polderpeil. In het midden van het perceel is de bodemdaling dus het grootst. Naast de sloten is het land het hoogst en hoe verder je van de sloten af gaat, hoe lager het land is.



Figuur 6: De drukdrainage regelt de vochtigheid van het veen (Schie & Hoekstra, 2019).

Onderwaterdrainage

Bij onderwaterdrainage wordt de grondwaterstand per perceel geregeld. Er zitten buizen in de grond die in verbinding staan met de sloten. Het zijn een soortement van ondergrondse sloten. Deze buizen worden op een bepaalde afstand van elkaar neergelegd en dienen om het water makkelijk in het midden van het perceel te laten infiltreren en te draineren. Het water in de sloot zorgt voor een beetje druk in de buizen en zorgt er voor dat het grondwaterpeil rond een constant niveau blijft ongeacht of het droog weer of nat weer is zoals te zien is in figuur 7. Op zich werkt dit systeem best goed. “Na 35 jaar gebruik zegt een boer dat zijn percelen vlak blijven en niet hol zoals veel ongedraineerde percelen.” (Schie & Hoekstra, 2019, p. 10). In verhouding tot ongedraineerde percelen lijkt dit systeem dus te werken maar toch is er nog sprake van bodemdaling. Een verbetering is de “drukdrainage”.



Figuur 7: Grondwaterpeil met en zonder buisdrainage (Kennisprogramma bodemdaling, 2019 -a).

Drukdrainage

Bij drukdrainage worden er, net als bij onderwaterdrainage, buizen in de grond aangebracht. In plaats van een directe verbinding met de sloot komt de buis uit in een ton. Het waterpeil in deze ton kan met een pomp worden aangepast waardoor de druk in de buis toeneemt of afneemt. Hiermee kan er actief water worden geïnfiltrerd zonder dat het polderpeil omhoog hoeft, zie figuur 6.

Uit recent onderzoek op het melkveeproefbedrijf KTC Zegveld blijkt dat de CO₂-uitstoot van het veen met deze techniek tot ongeveer 59% kan worden gereduceerd tegen 28% reductie als er alleen maar met onderwaterdrains wordt gewerkt (Hoving & Akker & Massop & Holshof & Houwelingen, 2019).

Bedrijvengroep Spengen is bezig met een proef om met drukdrainage het grondwater te sturen. Deze proef is begonnen in 2017 in de polder van Spengen. De eerste bevindingen zijn positief. De grondwaterstand in de proefpercelen is in de droge zomer van 2018 minder gezakt dan het referentieperceel (Schie & Hoekstra, 2019).

Natte teelten

Naast een buizensysteem kan ook het polderpeil flink worden verhoogd. De grondwaterstand komt dan vrijwel op dezelfde hoogte als het maaiveld. Hierdoor ontstaat het probleem dat het land ongeschikt wordt voor veeteelt. Er kunnen dan andere soorten gewassen worden verbouwd die goed gedijen op natte veengrond: de 'natte teelten'. Voor alsnog is van de 256.000 ha veengrond het grootste deel, ongeveer 165.000 ha, in gebruik als grasland. Een deel is ingericht als natuurgebied en slechts 100 ha wordt gebruikt voor natte teelten (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

Veenmos

Veenmos kan voor het aangroeien van het veen zorgen. Dat komt doordat veenmos aan de bovenkant groeit en van onderen afsterft. Dit dode organische materiaal vormt op den duur een nieuw pakket veen (Geologie van Nederland, z.d.-b). Hierdoor gaat het maaiveld omhoog. Het nadeel hiervan is dat dit veel tijd nodig heeft. De teelt van veenmos is er vooral op gericht om de bodemdaling te stoppen. Veenmos groeit bij een constante waterstand van tussen de -10 tot 0 cm. Dat betekent dat de teelt van veenmos niet gecombineerd kan worden met langdurige waterberging. Maar het draagt wel bij aan het watervasthoudend vermogen van het gebied omdat het nieuwe veenmos, evenals veengrond, als een spons is (Smolders et al., 2013). Veenmos is ook een goede basis voor de ontwikkeling van natuurgebieden en moerassen (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

Er wordt al een paar jaar geëxperimenteerd met de teelt van veenmos als economische activiteit. Het is een langdurige teelt. Pas drie jaar na het aanplanten kan er geoogst worden. Veenmos wordt bijvoorbeeld gebruikt voor duurzame potgrond, orchideeënsubstraat en decoratiemateriaal in bloemstukken. Met de teelt van veenmos wordt CO₂ vastgelegd, stopt de bodemdaling en wordt er 60 tot 100% minder broeikasgassen (uitgedrukt in CO₂-equivalenten) uitgestoten (Veenweiden innovatiecentrum, 2016b).

Lisdodde

Lisdodde groeit goed op natte veengronden. Het ideale waterpeil is 10 tot 30 cm boven het maaiveld, waarbij fluctuaties geen nadelige effecten hebben op de groei. De veenbodem staat dan volledig onderwater waardoor er weinig oxideert. De bodemdaling wordt daardoor gestopt en ook de uitstoot van broeikasgassen wordt met 30 tot 60% gereduceerd. Tijdens piekbelastingen kan het gebied nog worden gebruikt om het water te bergen, de zogenoemde waterberging. De maximale hoeveelheid water ligt tussen de 3000 en de 9000 m³/ha. De peilverhoging die dit met zich meebrengt kan de plant een aantal weken aan waarna het noodzakelijk is om het peil weer te laten zakken (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

Lisdodde kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt. Het is goed geschikt om isolatiemateriaal of bouw materiaal van te maken. Gedroogd kan de plant worden gebruikt als stalstrooisel, ruwvoer en biomassa (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b). Lisdodde is bovendien eetbaar. De jonge scheuten kunnen gegeten worden als asperges. Ook de verdikte uitlopers worden in recepten gebruikt (Florès, 2014). De teelt van lisdodde biedt daarmee mogelijkheden aan restaurants en winkels om

nieuwe, streekproducten op de markt te brengen waarmee ze zich kunnen onderscheiden.

Lisdoddevelden (afbeelding 3) vormen een goede habitat voor dieren die zich thuis voelen in moerasgebieden zoals bijvoorbeeld allerlei vogels en libellen en dragen zo bij aan de biodiversiteit. Het gebied wordt daarmee aantrekkelijker voor recreanten als sportvissers, vogelaars, fietsers en wandelaars (Veenweiden innovatiecentrum, 2016a).



Afbeelding 3: Lisdodde met z'n kenmerkende rietsigaar (Flora van Nederland, z.d.).

Riet

In Nederland is al veel ervaring met rietteelt. Riet vormt een steeds dikker wordende wortelmat en kan groeien bij waterstanden tussen -20 en +20 cm. Hierdoor stopt de bodemdaling. Voor goede kwaliteit riet zijn er verschillende waterstanden op de juiste momenten noodzakelijk. Als het riet van topkwaliteit is, is het geschikt voor op de daken. Er is voldoende vraag naar goede kwaliteit riet in Nederland. Rietdekkers importeren 25-35% van het nu gebruikte riet uit het buitenland. Riet met een lagere kwaliteit is geschikt voor de productie van isolatiemateriaal en biomassa. Samen met veenmos kunnen rietlanden een goede habitat zijn voor het moerasleven. Voor rietlanden, waarin geen veenmos behouden hoeft te worden, is waterberging geen enkel probleem (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

Cranberry

Cranberry is een langzaam groeiende, kruipende plant met een ondiep wortelstelsel. Het is een exoot die is ingeburgerd in Nederland en ook bekend is onder de naam veenbes. Voor een goede groei moet de bovenste laag van de bodem gedraineerd zijn wat betekent dat het waterpeil niet tot het maaiveld verhoogd kan worden. In Amerika wordt er een laag zand van ongeveer 10 cm aangebracht om daarin de cranberry te

planten. Of dit in Nederland werkt is nog onbekend (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

In Nederland is er nog geen standaard verdienmodel voor de cranberryteelt (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b). Gezien de vele producten die van de bessen gemaakt kunnen worden zoals jam, compote, sap, wijn en thee lijken er zeker mogelijkheden te zijn voor goede lokale verdienmodellen met bijvoorbeeld streekproducten. De bessen bevatten veel vitamines en mineralen, waardoor ze ook interessant zijn om ze te verwerken tot voedingssupplementen (van Etten, 2019).

Cranberry's versterken de biodiversiteit van agrarische gebieden. Tijdens de bloei worden de planten vooral bezocht door insecten. In de winter is het voor korte tijden mogelijk om water te bergen op percelen met cranberry's (Kennisprogramma bodemdaling, 2019-b).

Tot nu toe werd de cranberry alleen geteeld op Terschelling. Maar sinds kort vindt er ook cranberryteelt plaats in de Krimpenerwaard bij Gouderak. The cranberry company is het eerste bedrijf dat cranberry's verbouwt op de veengrond. In september 2019 is de eerste bescheiden oogst binnengehaald (The Cranberry Company, z.d.).

Azolla

Azolla is een exoot in Nederland. Het is een zeer snelgroeiend kroosvaren en drijft dus op het water; de waterstand moet hiervoor hoger dan 5 cm zijn. Over de teelt van azolla in de praktijk is nog weinig bekend. Azolla leeft in symbiose met een cyanobacterie kan daardoor stikstof uit de lucht binden (UU, 2019). Het is dan ook een eiwitrijk gewas, dat potentie heeft om zowel als veevoer en voor menselijke consumptie gebruikt te worden. Het kroosvaren neemt veel CO₂ op en kan dus geschikt zijn om CO₂ vast te leggen. Dan moet het niet gebruikt worden voor bijvoorbeeld veevoer, maar op een of andere manier blijvend in de bodem opgeslagen worden. Azolla is een woekeraar en verdubbelt ongeveer in 1 week. Een sloot is dan in korte tijd vol gegroeid. Onder de laag azolla wordt het water zuurstofloos, wat funest is voor de rest van het waterleven. Deze exoot is daarom verre van gewenst in natuurgebieden. Over een jaar is er een waterberging van tussen de 3000 en 8000 m³/ha mogelijk (Kennisprogramma bodemdaling, 2019 -b).

Natuur en recreatie

Als men de bodemdaling volledig tegen wil gaan is er geen ruimte meer voor de veeteelt, die er nu veelvuldig plaatsvindt. Vanuit economisch oogpunt kan deze landbouw kan gemist worden. Volgens het CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2019) staat Nederland op de tweede plaats als het gaat om landbouwgoederenexport met een exportbedrag van 90,3 miljard euro in 2018. Ongeveer 75 % van de Nederlandse landbouwgoederen zijn voor het buitenland. Al met al was het aandeel van de landbouw aan het bbp in 2018 slechts 1,4 % (Dolman, Jukema, & Remeakers, 2019).

Het aandeel van de landbouw in de Nederlandse economie is dus niet zo groot. Daarom zou het goed mogelijk zijn om de boeren uit te kopen en natuurgebied van de landbouwgrond te maken waarbij de grondwaterstand omhoog kan. Met de

bovenstaande gewassen kunnen nieuwe natuurgebieden gevormd worden. Lisodde, veenmos en rietlanden vormen samen een perfect habitat voor moerasleven. De aanleg van natuurgebieden, al dan niet gecombineerd met natte teelten, zou het toerisme in het gebied bevorderen, wat op den duur meer geld opbrengt dan de huidige landbouw. De culturele waarde van het land gaat omhoog en het land zelf daalt niet meer. De CO₂-uitstoot van het veen wordt door al deze maatregelen teruggedrongen en er wordt zelfs CO₂ vastgelegd. Door het uitkopen van de boeren wordt de veestapel verkleind wat ook weer CO₂-uitstoot reduceert. Verkleining van de veestapel draagt bovendien bij aan de verlaging van de stikstofuitstoot. Het Planbureau van de Leefomgeving (PBL, 2015) heeft dit uitgewerkt voor het Groene Hart en kwam tot de conclusie dat de kosten van bovenstaande maatregelen kleiner zijn dan de kosten van nog nadeligere gevolgen die ontstaan als er op de huidige manier van landbouw wordt doorgegaan.

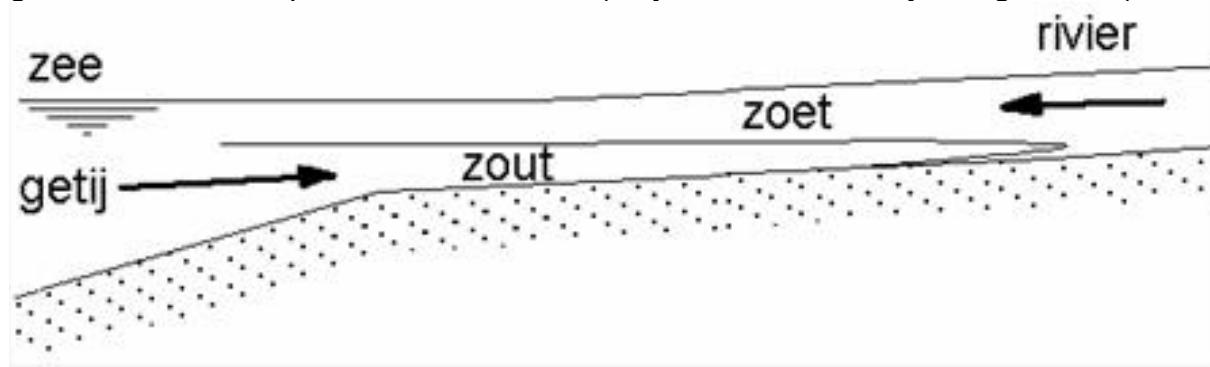
Kortom, het hele gebied wordt met bovenstaande maatregelen schoner en de biodiversiteit neemt toe. Een nadeel is wel dat niet alle boeren in het gebied hun bedrijf willen opgeven omdat het vaak gaat om familiebedrijven waar al generaties lang wordt geboerd.

Verziltting en verdroging

Probleem

Alle genoemde oplossingen voor de problemen die worden versterkt door klimaatverandering berusten op minimaal een ding: water. Meestal is er water genoeg in Nederland en stroomt het water direct naar zee, maar in een droge zomer, zoals die van 2018, ontstaat er een watertekort. Ook als gevolg van de droogte ontstaat er verziltting. In de Utrechtse veenweide ontstaat deze door de verdamping van water door planten waarbij het zout uit het water achterblijft in de grond. Ook het gebruik van kunstmest draagt hier aan bij (De Boer & Radersma, 2011).

Naast verdamping komt er ook zoutwater door de rivieren de polders in, de zogenoemde zouttong (figuur 8). Bij een lage rivierafvoer komt er zoutwater vanaf zee de rivier in zetten. Als dit water de inlaten van polder bereikt gaat de zoutconcentratie in de polder flink omhoog. Dit is voornamelijk aan de westkant van de veenweide het geval en bereikt de provincie Utrecht niet (Twynstra Gudde & Hydrologic, 2019).



Figuur 8: De dichtheid van zout water is hoger dan die van zoet water, waardoor er een zoutwatertong de rivier in gaat (Rijksoverheid, z.d.).

Oplossing

Opstuwen

Het zeewater dat de rivieren in kruipt is tegen te houden met stuwen. Hiermee wordt het rivierwater opgestuwd, waardoor het zoute water niet het land in kan kruipen. Bij de monding van de Hollandse IJssel is al een keersluis die wordt afgesloten als de zoutconcentratie te hoog wordt (De Boer & Radersma, 2011).

Ontpoldering

Het verdampen van oppervlakte water en verdamping door planten is niet tegen te houden. Om het zout uit de polders te krijgen is het noodzakelijk om de polder regelmatig 'door te spoelen' met zoet water. Tijdens een droogteperiode komt dit niet uit de lucht. Het zal dus uit zoetwatervoorraden moeten komen. Deze zoetwatervoorraden zijn nu echter, en zeker in de toekomst, niet altijd beschikbaar. Dit hebben we gemerkt in de zomer van 2018. Dit watertekort zou kunnen worden opgevangen door een paar polders aan de oostkant van het veenweidegebied als wateropslag te gebruiken om hiermee extra zoetwatervoorraden te vormen. Deze polders liggen het meest stroomopwaarts waardoor deze niet zo snel door de 'zouttong' worden bereikt dus het doorspoelwater zoet blijft. In de winter kunnen deze polders als waterbergingsgebied dienen tijdens piekbelastingen en in de zomer kunnen de andere polders met het water worden doorgespoeld. Deze aanpassing heeft wel tot gevolg dat het gebied onbewoonbaar wordt en de boeren bedrijven dus weg moeten of op terpen moeten worden gezet. Dat ontpoldering mogelijk is bewijst de ontpoldering van de Noordwaard bij Werkendam (Ruimte voor de Rivier, 2018).

Een geschikte polder om als bergingsgebied te gebruiken moet ten eerste een verbinding hebben met oppervlakte water met een relatief hoog waterpeil zodat de wateraanvoer maximaal is. Ten tweede moet het bergingsgebied verbinding hebben met de polders in het veenweidegebied. Ook is het fijn als er weinig bebouwing in het gebied is.

Ontpoldering Lopikerwaard

Uitwerking

Het volgende deel van dit PWS gaat over het omvormen van de Lopikerwaard naar een waterbergingsgebied (zie blz. 32: Ontpoldering Lopikerwaard: Uitwerking). Het doel van dit gebied is zoet water vast te houden die tijdens droogte het veenweidegebied nat kan houden. Een andere functie is het ontlasten van de Lek tijdens piekafvoeren. Het is de bedoeling om het gebied in de winter tijdens hoog rivierwater onder te laten lopen en in de zomer leeg te laten lopen om dan het water te gebruiken in het veenweidegebied. De aanleiding van dit project is het dreigende zoet water tekort in een droge zomer zoals die van 2018.

De Lopikerwaard is de polder gelegen tussen de Hollandse IJssel, de Vlist, de Lek en de Kromme IJssel. Om het beoogde waterbergingsgebied liggen de stad IJsselstein en de dorpjes Benschop, Polsbroekerdam, Polsbroek, Cabauw, Lopik, Uitwijk en

Lopikerkapel (kaartenbijlage kaart 1 & 4). De oppervlakte van het gebied is 2.300 ha (kaartenbijlage kaart 2). De gemiddelde maaiveldhoogte is 1 meter onder NAP (kaartenbijlage kaart 5). De bergingscapaciteit is ongeveer 126.500.000 m³ indien die helemaal vol zit.

Dijk

Om het waterbergingsgebied te kunnen realiseren moet er een dijk worden aangelegd die het gebied begrenst. Om zo min mogelijk weerstand van de lokale bevolking te krijgen moet er rekening worden gehouden met boerderijen, huizen, bedrijventerreinen et cetera. Aan de zuidkant van het gebied wordt de dijk langs de eerste wetering gelegd. De eerste wetering ligt dus buiten het gebied omdat deze nodig is voor het afwateren van het stuk land tussen de Lopikerwetering en de Eerste Wetering. Aan de noordkant loopt de dijk 500 meter ten zuiden van de Polsbroeker voorwetering parallel tot de achterwetering zuidzijde. Langs dit stuk dijk is er geen wetering nodig vanwege de Oude wetering zuidzijde die het water afvoert. De dijk volgt vervolgens de Achterwetering zuidzijde en gaat rechtdoor tot aan IJsselstein. Vanaf hier gaat de dijk parallel aan de Weg der Verenigde naties naar het zuiden.

De dijk maakt twee omwegen: de eerste om het bedrijventerrein de Copen' en een paar winturbines bij Lopik en een tweede om het park Wilhelmina's hof, de sportvelden en de volkstuintjes bij Benschop (kaartenbijlage foto's 1 & 2). Om dit plan door te kunnen zetten moet het land worden opgekocht. Het uitkopen van de boeren heeft enkele positieve uitwerkingen zoals een kleinere veestapel en daardoor minder CO₂- en stikstofuitstoot.

Het onderloopgebied wordt gevuld door het water van de Lek tijdens een hoge waterstand. In de afgelopen tien jaar was de hoogste waterstand van de Lek Beneden de stuw bij Hagestein 420 cm boven NAP (kaartenbijlage grafiek 1). Hoger dan deze waterstand kan het water in het bergingsgebied niet komen. Door dit gegeven stel ik de kruin van de dijk op 5 meter boven NAP. De maximale waterhoogte van het bergingsgebied is ongeveer 4,5 m boven NAP. Dit leidt tot een maximale waterbergingscapaciteit van ongeveer 126.500.000 m³.

Effectiviteit

Uit onderzoek (Jansen, Querner, & Kwakernaak, 2007) in de polder Zegveld, bleek dat er in de droogste zomer ooit gemeten in Nederland, die van 1976, 278 mm water ingelaten zou moeten worden om, bij de aanwezigheid van drainagepijpen, het waterpeil op 30 cm onder het maaiveld te houden. Voor de volgende berekeningen gebruik ik dit aantal voor het hele Utrechtse veenweidegebied, dus om aan de veilige kant te blijven rond ik dat af op 300 mm water. Het zelfde rapport voorspelde dat er 43 % meer water nodig zal zijn door de klimaatverandering. Dit komt neer op $300 \cdot 1,43 = 429$ mm. In de provincie Utrecht is er ongeveer 42.000 ha veenweidegebied (Provincie Utrecht, 2019).

De gemiddelde piekwaterstand van de Lek zit rond de 3 m boven NAP. Het wateroppervlak in het bergingsgebied kan dus ongeveer 3 meter boven NAP komen. De bodem ligt gemiddeld op 1 m beneden NAP. Dit betekent dat er dan ongeveer 4 meter water in het waterbergingsgebied zit. Wordt dit gedeeld door 429 mm, dan kom

je uit op ongeveer 9,3. Dit betekent dat er 9,3 keer de oppervlakte van het waterbergingsgebied kan worden nat gehouden: $9,3 \cdot 2300 = 21.390$ ha. Dit is iets meer dan de helft van het Utrechtse veenweidegebied. Naar mijn mening is dat redelijk effectief (een deel van de 42.000 ha ligt in het waterbergingsgebied zelf en is nog geeneens meegenomen in de berekening).

De totale lengte van de dijk is ongeveer 35,5 km (kaartenbijlage kaart 3). Deze zal afhankelijk van de locatie 5 tot 7 meter boven het maaiveld uitsteken. Bij aanleg moet hij nog hoger worden gebouwd vanwege de zetting van het materiaal en de veen- en kleibodem eronder (kaartenbijlage kaart 11). Voor de aanleg van de dijk is veel zand en klei nodig. Een gedeelte van de benodigde klei kan van het gebied zelf komen dat voor een deel uit klei bestaat.

Inlaat

De inlaat van het waterbergingsgebied (zie model van de inlaat Lopikerwaard) bepaalt hoeveel water er in het gebied komt. Deze inlaat is ten oosten van Lopikerkapel. Bij deze inlaat moet worden rekening gehouden met de hoogte van de drempel aangezien niet elke winter het water boven 300 cm boven NAP komt (kaartenbijlage grafiek 1). Ook in winters met een relatieve lage waterstand in de Lek moet er water in het gebied kunnen worden gelaten om toch nog een watervoorraad te hebben mocht het in de zomer droog worden. Het maaiveld van dit inlaatgebied is op zijn hoogst anderhalve meter bij de kade van de Enge IJssel. Deze anderhalve meter boven NAP is laag genoeg om vrijwel elke winter water in het waterbergingsgebied te kunnen voeren. Op deze hoogste plek zal de schuif worden geplaatst die bepaalt of er water in het gebied kan stromen en er ook voor zorgt dat het water niet eruit stroomt als het waterbergingsgebied vol zit. Een voorbeeld voor zo'n schuif is die van de 'groene rivier' bij het Pannerdenskanaal (kaartenbijlage, foto 4).

De Enge IJssel vormt ook nog een punt van aandacht. Deze waterweg doorkruist het inlaatgebied. Om ervoor te zorgen dat deze het water in het waterbergingsgebied niet afvoert moet de Enge IJssel 'afgesloten' worden van het inlaatgebied. Dit kan door hem af te dammen, ofwel de twee dijken er gewoon dwars door heen te leggen, of door middel van een duiker. Met een duiker kan het water van de Enge IJssel onder de het water van het waterbergingsgebied door. Deze oplossing is waarschijnlijk het veiligst doordat hierdoor niks kan mis gaan met het waterpeil van de Enge IJssel wat wel het geval kan zijn als die wordt afgedamd. De vaarroute wordt bij beide oplossingen onderbroken (kaartenbijlage kaarten 12 & 13 & 14 en foto 3 & 4).

Uitlaat

De uitlaat is aan de kant van Polsbroek. Dit is in feite een klep die het water kan lozen op de vaart. Via de Lange vliet gaat het water naar het bestaande gemaal de 'Keulenvaart' waar het in de Hollandse IJssel wordt uitgeslagen (kaartenbijlage kaart 6). De capaciteit van dit gemaal is $320 \text{ m}^3/\text{min}$. Dit betekent het $126.500.000 / 320 / 60 / 24 = 275$ etmalen duurt voordat het hele waterbergingsgebied is leeggepompt indien die helemaal vol zat. Als het waterbergingsgebied tot 200 cm boven NAP vol zit, dan zit er $69.000.000 \text{ m}^3$ water in. Dit duurt $69.000.000 / 320 / 60 / 24 = 150$ etmalen om leeg te malen. Om de maximale hoeveelheid water die in het veenweidegebied kan worden gelaten omhoog te brengen moet er een gemaal bij komen.

De Lopikerwaard wordt al gebruikt als wateraanvoerroute. Bij gemaal 'De Koekoek' aan de Lekdijk wordt er water ingelaten. De Keulenvaart pompt het water dan weer het gebied uit (kaartenbijlage kaart 6). Deze wateraanvoerroute zal voor een deel moeten worden verlegd via de Eerste Wetering. De capaciteit van deze wateraanvoerroute wordt op het moment vergroot in het kader van de Capaciteitsuitbreiding Klimaatbestendige WaterAanvoer (KWA) (HDRS, z.d.).

Vanaf de Hollandse IJssel gaat het water via de Enkele Wiericke of de Lange Linschoten of de Montfoortse wetering naar de Oude Rijn waarvan het via de Grecht verder het veenweidegebied kan worden ingelaten. De route via de Enkele Wiericke is al eerder gebruikt om tijdens de droogte van 2003 zoet water in west Nederland te krijgen (Lantschap, 2005).

Wegen

De belangrijkste wegen die door het gebied gaan zijn de N210 en de N204 (kaartenbijlage kaart 8). De N210 zal vanaf IJsselstein op de Noordelijke dijk worden gelegd. De N204 zal met een brug over het waterbergingsgebied heen gaan tot aan de huidige rotonde met de N210. Deze verbinding zal verschuiven naar de noordkant van de brug, dus naar de plek waar de toekomstige noordelijke dijk de N204 kruist. De Lopikerweg Oost zal bij de inlaat over de schuiven heen gaan.

De Lekdijk wordt op enkele plekken onderbroken. Hier gaat de weg door als een brug. De situatie zal vergelijkbaar zijn met de onderbreking van de dijk bij de Noordwaard bij Werkendam zoals te zien op foto 5 van de kaartenbijlage.

De Damweg (kaartenbijlage 9) is de weg naar Polsbroekerdam vanaf de Lopikerwetering. Deze zal eveneens op een brug moeten worden geplaatst.

Het Kerkepad is een fietspad tussen Cabauw en halverwege Polsbroek en Polsbroekerdam. Dit fietspad wordt helaas onbruikbaar. Als compensatie wordt er een fietspad op de westelijke dijk gelegd. Hiermee is er alsnog een fietsverbinding naar Polsbroek. Tevens is de Middelste molen van Cabauw hierdoor beter bereikbaar voor bezoek wat weer een cultureel voordeel is. Als men van Cabauw naar Polsbroekerdam wilt, moet men via de Damweg (kaartenbijlage 10).

Natuurontwikkeling

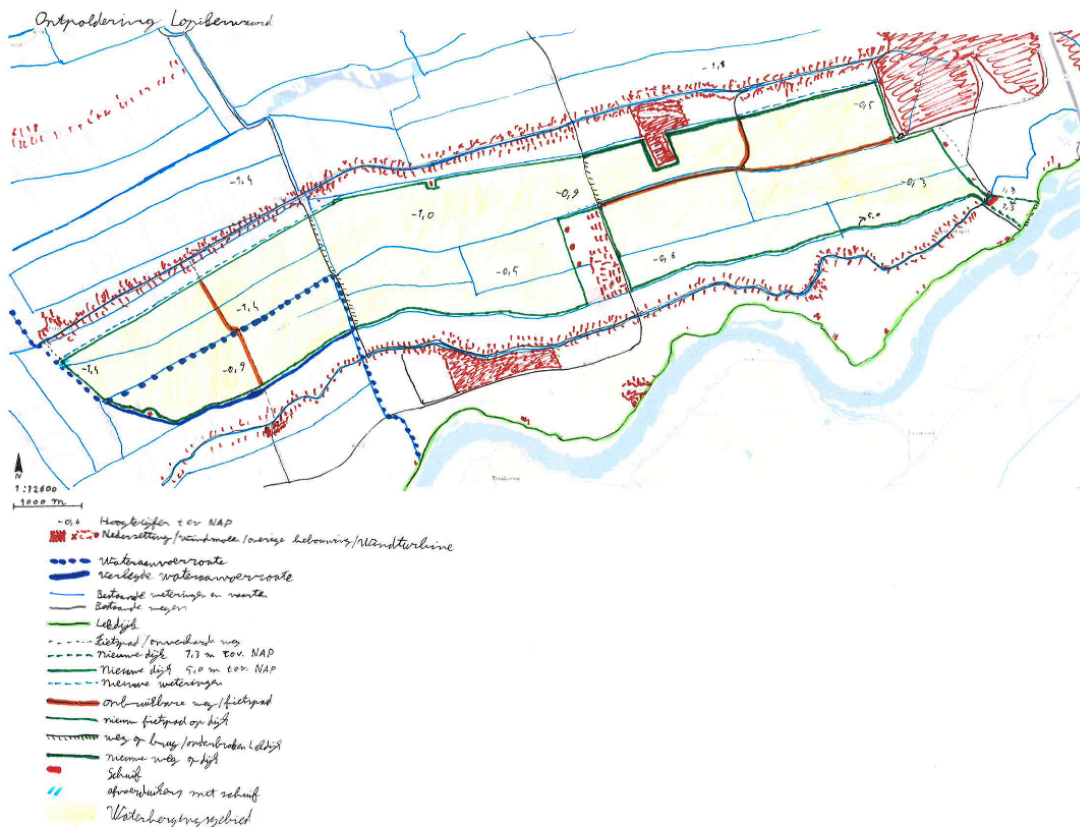
In het waterbergingsgebied kan de natuur haar eigen gang gaan. De bedoeling is dat het gaat lijken op de Bovenboezem achter Haastrecht dat een waterbergingsgebied is voor de Hollandse IJssel.

Ontpoldering Lopikerwaard: Uitwerking

Model van de inlaat Lopikerwaard



Kaart Ontpoldering Lopikerwaard



Overzichtskaart van de Lopikerwaard met alle aanpassingen die nodig zijn om dit gebied als overloop- en retentiegebied in te richten.

Conclusie

Het veenweidegebied kent de problemen van bodemdaling, verzilting en watertekorten. Met drukdrainage kan de bodemdaling flink worden geremd op agrarische percelen. Nog beter zou het zijn om het waterpeil te verhogen en er andere gewassen op te telen hetzij terug te geven aan de natuur. Dit zal ook ten goede komen aan het toerisme in het gebied. De verzilting kan tegen worden gegaan door het gebied regelmatig door te spoelen met zoet water. Hiertoe zou bijvoorbeeld de Lopikerwaard ontpolderd kunnen worden tot waterbergingsgebied. Dit gebied kan tijdens piekafvoeren van de Lek worden gevuld.

Bronnen

1. Actueel Hoogtebestand Nederland. (z.d.). AHN-viewer. Geraadpleegd op 8 januari 2020, van <http://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
2. Alterra. (2006). Grondsoortenkaart. Geraadpleegd op 23 oktober 2019, van <https://www.wur.nl/nl/show/Grondsoortenkaart.htm>
3. Aquo. (2014). Aquo Lex en Objecten Catalogus. Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van <https://www.aquolex.nl/html5/?id=23715&type=term>
4. Biologievoorjou. (z.d.). Het broeikaseffect | Biologievoorjou [Foto]. Geraadpleegd van <https://biologie.jouwweb.nl/het-broeikaseffect>
5. Blokhuis, C. (Producent), Eyk, M. (Producent & Regisseur). (2017). Het zinkende land [documentaire]. Nederland: ScienceView.
6. Centraal Bureau voor de Statistiek. (2019, 18 januari). Landbouwexport ruim 90 miljard euro in 2018. Geraadpleegd op 6 januari 2020, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/03/landbouwexport-ruim-90-miljard-euro-in-2018>
7. CLO. (z.d.). Inleiding tot het broeikaseffect. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0163-inleiding-tot-broeikaseffect>
8. CLO. (2015). Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1906 - 2015 | Compendium voor de Leefomgeving [Grafiek]. Geraadpleegd van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl022612-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>
9. CLO. (2017). Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1906 - 2017 | Compendium voor de Leefomgeving. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0226-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>
10. De Boer, H., & Radersma, S. (2011). Verzilting in Nederland: oorzaken en perspectieven (531). Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/186856>
11. Dinoloket. (z.d.). Ondergrondmodellen | DINOloket. Geraadpleegd op 8 januari 2020, van <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
12. Dolman, M., Jukema, G., & Remeakers, P. (2019). De Nederlandse landbouwexport in 2018 in breder perspectief (2019-001). Geraadpleegd van https://www.cbs.nl/-/media/_pdf/2019/03/2019-001%20cbs%20wur%20publicatie%20gruene%20woche.pdf
13. Flora van Nederland. (z.d.). Flora van Nederland: Grote lisdodde - Typha latifolia [Foto]. Geraadpleegd van https://www.floravannederland.nl/planten/grote_lisdodde#

14. Florès, E. (2014, 2 januari). Lisdoddewortelknol op zoetzuur | Wildplukken.nl. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <http://wildplukken.nl/geen-categorie/lisdoddewortelknol-op-zoetzuur>
15. Geologie van Nederland. (z.d.-a). Veen, bruinkool en steenkool - Geologie van Nederland. Geraadpleegd op 4 december 2019, van <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/veen-bruinkool-en-steenkool>
16. Geologie van Nederland. (z.d.-b). Veenmos - Geologie van Nederland. Geraadpleegd op 31 oktober 2019, van <http://www.geologievannederland.nl/fossielen/planten/veenmos>
17. Geologie van Nederland. (z.d.-c). Veenlandschap - Geologie van Nederland. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.geologievannederland.nl/landschap/landschappen/veenlandschap>
18. HDRS. (z.d.). Informatieavond voortgang project KWA Lopikerwaard. Geraadpleegd op 10 februari 2020, van <https://www.hdsr.nl/beleid-plannen/klimaatbestendige/nieuws-kwa/nieuws/informatieavond/>
19. Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden. (z.d.). Interactieve kaart leggers oppervlaktewater en waterkeringen. Geraadpleegd op 8 januari 2020, van <https://hdsr.webgispublisher.nl/ErrorPages/Error.aspx?aspxerrorpath=/Viewer.aspx>
20. Hoving, I.E., Akker, J.J.H., Massop, H.T.L., Holshof, G.J., & Houwelingen, K. (2019). Precisiewatermanagement op veenweidegrond met pompgestuurde onderwaterdrains. (Wageningen Livestock Research rapport 1123) Geraadpleegd van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/461252>
21. Jansen, P. C., Querner, E. P., & Kwakernaak, C. (2007). Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden (Alterra-rapport 1516). Geraadpleegd van <https://www.veenweiden.nl/wp-content/uploads/2013/08/Effecten-van-waterpeilstrategieën-in-veenweidegebieden.pdf>
22. Kennisprogramma bodemdaling. (2019 -a). onderwater- en drukdrainage. (Veelgestelde vragen over onderwaterdrainage en drukdrainage) Geraadpleegd van <http://www.kennisprogrammabodemdaling.nl/home/wp-content/uploads/2019/05/Factsheet-Onderwater-drukdrainage-2018.pdf>
23. Kennisprogramma bodemdaling. (2019 -b). Natte teelten. Geraadpleegd van <http://www.kennisprogrammabodemdaling.nl/home/wp-content/uploads/2019/05/Factsheet-Natte-teelten-2018-1.pdf>

24. KNMI. (z.d.). KNMI - Zeespiegelstijging. Geraadpleegd op 6 januari 2020, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/zeespiegelstijging>
25. KNMI. (2018). KNMI - Droogte. Geraadpleegd op 3 oktober 2019, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>
26. KNMI. (2019-a). KNMI - Klimaat. Geraadpleegd op 20 oktober 2019, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/klimaat>
27. KNMI. (2019-b). KNMI - Neerslagtekort / Droogte [Grafiek]. Geraadpleegd van https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte
28. Kwakernaak, C., Van Den Akker, J., Veenendaal, E., Van Huissteden, C., & Kroon, P. (2010 juni). Veenweiden en klimaat. *Bodem*, 3, 6–8.
29. Lantschap. (2005). Duizend jaar waterbeheer in de Stichtse Rijnlanden. Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/67442>
30. Maas, L. (2017). Middelste molen van Cabouw [Foto]. Geraadpleegd van Persoonlijk gekregen
31. Meek, H. (2017). *Ecologica*, waarom verkleining van de menselijke impact op de biosfeer moeilijk maar onvermijdelijk is.
32. Natuurinformatie. (z.d.-a). Het Kwartair [Tabel]. Geraadpleegd van <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000381.html>
33. Natuurinformatie. (z.d.-b). Het Laat-Pleistoceen. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000408.html#Eemi> en
34. Natuurinformatie. (z.d.-c). Het Midden-Pleistoceen. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.mcp/natuurdatabase.nl/i000407.html>
35. Natuurinformatie. (z.d.-d). Natuurinformatie - Kwartair: het tijdperk van de moderne mens. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <http://www.natuurinformatie.nl/nm.dossiers/natuurdatabase.nl/i002858.html>
36. NCG. (z.d.). Bodemdalingskaart.nl. Geraadpleegd op 23 oktober 2019, van <https://bodemdalingskaart.nl/portal/index>
37. Provincie Utrecht. (2019). AANPAK VEENWEIDEN: GEBIED IN BEWEGING. Geraadpleegd van https://www.provincie-utrecht.nl/publish/pages/227692/rapport_aanpak_veenweiden.pdf

38. Otten, W. (1985). NADER ONDERZOEK NAAR OXYDATIE VAN VEENGRONDEN, LITERATUUR- OVERZICHT EN METINGEN AAN VEENMONSTERS (ICW nota 1620). Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/214028>
39. PBL. (2015). HET GROENE HART IN BEELD, Een uniek veengebied midden in de Randstad(1351). Geraadpleegd van <https://www.nvwk.nl/download/CAwdEAwUUKNGXEQ=&type=pdf>
40. Renes, H. (2012). Veenweiden; om de toekomst van een historisch landschap. Geraadpleegd op 22 oktober 2019, van https://www.academia.edu/2570518/Veenweiden_om_de_toekomst_van_een_historisch_landschap
41. Rienks, W., & Gerritsen, A. (2005 november). Veenweide 25x belicht. Alterra speciale uitgaven. Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/21196>
42. Rijksoverheid. (z.d.). Verzilting. Geraadpleegd op 31 oktober 2019, van <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/water-ruimte/waterkwantiteit/verzilting/>
43. Ruimte voor de Rivier. (2018, 13 november). Ontpoldering Noordwaard. Geraadpleegd op 6 januari 2020, van <https://www.ruimtevoorderivier.nl/project/ontpoldering-noordwaard/>
44. Santer, B. D. (2019, 25 februari). Celebrating the anniversary of three key events in climate change science. Geraadpleegd op 31 december 2019, van <https://www.nature.com/articles/s41558-019-0424-x>
45. Schie, A., & Hoekstra, J. (2019). STUREN MET GRONDWATER. (BEDRIJVENPROEF SPENGEN, BEVINDINGEN 2017/2018) Geraadpleegd van https://www.hdsr.nl/publish/pages/37767/sturen_met_grondwater_bedrijvenpr_oef_spenge_n_-_samenvatting_bevindingen_2017-2018_1.pdf
46. Schie, A., & Hoekstra, J. (z.d.). Bedrijvenproef Sturen met Grondwater Spengen. (Achtergrond rapportage Bevindingen 2017 en 2018) Geraadpleegd van https://www.hdsr.nl/publish/pages/37767/sturen_met_grondwater_bedrijvenpr_oef_spenge_n_-_achtergrond_rapportage_1.pdf
47. Schothorst, C.J. (1967 01 November). Bepaling van de componenten van de zakking na grondwaterstands daling. Landbouwkundig Tijdschrift, 79(11) 401-411.
48. Smolders, A., Verhoeven, J., Tomassen, H., Van Mullekom, M., Van Kempen, M., Roelofs, J., & Lamers, L. (2013). Waterberging en veenvorming als klimaatbuffer. Landschap, 4. Geraadpleegd van <https://edepot.wur.nl/306481>

49. Stenvert, R., Kolman, C., Olde Meierink, B., Tholens, M., Kooij, B. & Rommes, R. Monumenten in Nederland. Utrecht. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist / Waanders Uitgevers, Zwolle 1996
50. Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland (samengesteld). (1977). Atlas van Nederland 1963-1977 (1ste editie). Den Haag: Staatsdrukkerij- en Uitgeverijbedrijf.
51. Stokhuyzen, Ir. F. (1963). Molens (2de editie). Bussum: C. A. J. van Dishoeck.
52. The Cranberry Company. (z.d). The Cranberry Company. Geraadpleegd op 31 October 2019, van <https://www.thecranberrycompany.nl>
53. Twynstra Gudde, & Hydrologic. (2019). Handreiking Verzilting. Geraadpleegd van https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/162129/190319_handreiking_verziling_openbaar.pdf
54. UU. (2019, 21 oktober). Azolla – duurzaam en eiwitrijk gewas. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.uu.nl/botanischetuinen/onderwijs-en-onderzoek/onderzoek/azolla-duurzaam-en-eiwitrijk-gewas>
55. van Etten, C. (2019, 6 maart). Cranberry; een wonderbesje? Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.dokter.nl/nieuws/nieuws-voeding/672-cranberry-een-wonderbesje/>
56. Veenweiden inovatiecentrum. (2016a, 30 september). Factsheet Lisdodde. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.veenweiden.nl/wp-content/uploads/2016/10/Factsheet-Lisdodde.pdf>
57. Veenweiden inovatiecentrum. (2016b, 30 september). Factsheet Veenmos. Geraadpleegd op 30 januari 2020, van <https://www.veenweiden.nl/wp-content/uploads/2016/10/Factsheet-Veenmos.pdf>