



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

De droogte van 2018

Een analyse op basis van het potentiële neerslagtekort



Dit is een uitgave van:

KNMI

Rob Sluijter, Maarten Plieger, Geert Jan van Oldenborgh,
Jules Beersma en Hylke de Vries

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl

© KNMI | november 2018 | 117162

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Potentiële referentiegewasverdamping	5
1.2 Neerslagsommen van regenmeters	6
1.3 Neerslagsommen bepaald uit radarbeelden van de neerslag	7
1.4 Het potentiële neerslagtekort	8
1.4.1 <i>Het doorlopend potentieel neerslagoverschot</i>	8
2 Beschrijving weerbeeld 1 april – 30 september 2018	9
2.1 Waterbalans 1 januari – 31 maart 2018	9
2.2 Weerbeeld april 2018	10
2.2.1 <i>Ontwikkeling neerslagtekort in april 2018</i>	11
2.3 Weerbeeld mei 2018	12
2.3.1 <i>Ontwikkeling neerslagtekort in mei 2018</i>	13
2.4 Weerbeeld juni 2018	13
2.4.1 <i>Ontwikkeling neerslagtekort juni 2018</i>	14
2.5 Weerbeeld juli 2018	15
2.5.1 <i>Ontwikkeling neerslagtekort in juli 2018</i>	16
2.6 Weerbeeld augustus 2018	17
2.6.1 <i>Ontwikkeling potentieel neerslagtekort in augustus 2018</i>	18
2.7 Weerbeeld september 2018	19
2.7.1 <i>Ontwikkeling potentieel neerslagtekort in september 2018</i>	21
3 Het maximale neerslagtekort in 2018	22
3.1 Ruimtelijke verdeling maximale neerslagtekort	22
3.2 Datum waarop maximale tekort werd bereikt	24
4 Herhalingstijd van de droogte in 2018	26
5 De droogte van zomer 2018 in de context van klimaatverandering	28
5.1 Zomerneerslag en klimaatverandering	28
5.2 Potentiële verdamping en klimaatverandering	29
5.3 Potentieel neerslagtekort en klimaatverandering	29
Bijlage 1: Het potentieel neerslagtekort op geselecteerde dagen	31
Bijlage 2: Het potentieel neerslagtekort in 2018: Online kaarten	36

Samenvatting

Er is sprake van droogte als er gedurende langere tijd minder regen valt dan normaal in combinatie met grote verdamping. De gevolgen van droogte kunnen van plaats tot plaats zeer verschillen, afhankelijk van het type landschap en genomen beheersmaatregelen.

Internationaal zijn er talrijke indicatoren in gebruik om droogte te monitoren. Iedere indicator heeft haar eigen specifieke plus- en minpunten. In Nederland wordt door het KNMI de indicator 'potentieel neerslagtekort' gebruikt om droogte te monitoren.

Het potentiële neerslagtekort is het geaccumuleerde verschil tussen de hoeveelheid neerslag en de berekende potentiële referentiegevoerdamping. De potentiële referentiegevoerdamping is de hoeveelheid water dat verdampt uit een kort geknipt grasveld dat optimaal van vocht (en voedingsstoffen) is voorzien. De berekening van het neerslagtekort start op 1 april en loopt door tot eind september.

In deze rapportage wordt, op maandbasis, een analyse gegeven van de hoeveelheid neerslag en verdamping en het daaruit volgende verloop van het potentiële neerslagtekort. Door een combinatie van beelden van de KNMI-neerslagradars en metingen aan de grond is een kaart samengesteld die het potentiële neerslagtekort weergeeft op een ruimtelijke resolutie van 1x1 km.

Gemiddeld over het land was de maximale waarde van het potentiële neerslagtekort 309 millimeter, bereikt op 8 augustus 2018. Uit een statistische analyse is afgeleid dat een dergelijk neerslagtekort een herhalingsstijd heeft van circa dertig jaar. Sinds 1901 was het tekort in slechts vier zomers nog hoger. Het recordjaar 1976 had een herhalingsstijd van negentig jaar.

Over de afgelopen eeuw hebben de toename in zomerneerslag en potentiële verdamping door stijgende temperaturen en zonnigere zomers elkaar gecompenseerd, en is er geen trend in het potentieel neerslagtekort waar te nemen. De kans op een droge zomer zoals die van 2018 is dus tot nu toe niet veranderd door het versterkte broeikaseffect, en we kunnen de droogte er niet (gedeeltelijk) aan toeschrijven.

De combinatie van mogelijk sterk afnemende zomerneerslag in de toekomst en mogelijk sterk toenemende potentiële verdamping door hogere temperaturen en meer zonnestraling geeft voor de toekomst wel een risico op veel drogere zomers. In het meest extreme KNMI'14 klimaatscenario (Wh) neemt de herhalingsstijd van de droogte van dit jaar toe van dertig jaar naar tien jaar.

De kaart met de maximale waarde van het potentieel neerslagtekort in 2018 en de onderliggende kaarten met de waarde van het tekort per dag zijn online beschikbaar via:

geoservices.knmi.nl/droogtekaart2018

1 Inleiding

Tijdens het zomerhalfjaar van 2018 viel veel minder neerslag dan normaal. Het was bovendien uitzonderlijk warm en zeer zonnig. Hierdoor was de verdamping groot. Dit langaanhoudende weerpatroon leidde tot ernstige problemen door droogte. In deze rapportage wordt een analyse gegeven van de droogte aan de hand van het potentieel neerslagtekort. Het potentieel neerslagtekort is het in tijd geaccumuleerde verschil tussen neerslag en de potentiële referentiegewasverdamping.

In dit inleidende hoofdstuk wordt uitgelegd hoe het neerslagtekort wordt berekend. In hoofdstuk 2 wordt per maand het weersverloop en de ontwikkeling van het neerslagtekort in algemene zin beschreven. In hoofdstuk 3 volgt een ruimtelijke analyse van het maximaal bereikte neerslagtekort. Uit deze analyse is, in hoofdstuk 4, de herhalingstijd van de droogte berekend. Hoofdstuk 5 geeft aan hoe de droogte samenhangt met klimaatverandering en KNMI (2014) klimaatscenario's.

1.1 Potentiële referentiegewasverdamping

Het KNMI houdt niet alleen bij hoeveel neerslag er valt, maar ook hoeveel vocht verdwijnt naar de atmosfeer: de verdamping. Uit kale grond verdampt weinig, anders is dat op begroeide terreinen waar plantenwortels vocht onttrekken. De beschikbare hoeveelheid vocht hangt af van het verschil tussen de neerslag en verdamping.

Verdamping wordt in Nederland niet gemeten door het KNMI. Het is niet eenvoudig om de verdamping te meten, omdat ook planten

zelf een rol spelen in het verdampingsproces. Op dagen met hoge temperaturen en veel zonlicht zijn planten in staat hard te groeien en is er veel water nodig. Vlak na regen kunnen planten die groei ook realiseren. Maar zodra meer zuigkracht nodig is om water uit de grond op te nemen, wordt de aanvoer van vocht geremd en vermindert de groei. Met de afname van de groei neemt ook de snelheid van de verdamping af. In theorie kan de verdamping tijdens langdurige droogte hierdoor zelfs vrijwel nul worden.

Het KNMI hanteert het begrip 'potentiële referentie-gewasverdamping'. Het is de hoeveelheid water die verdampt uit een kort geknipt grasveld dat optimaal van vocht (en voedingsstoffen) is voorzien. De potentiële referentiegewasverdamping is gebaseerd op een rekenmethode en wordt in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid zonnestraling en de temperatuur.

Het is goed te beseffen dat de werkelijke verdamping van plaats tot plaats sterk kan en zal afwijken van de referentiegewasverdamping vanwege:

- De bodemsoort;
- de grondwaterstand;
- eventuele aanvoer of afvoer van water uit het gebied;
- een andere soort begroeiing dan gras, of kale grond of verhard terrein.

Er zijn gewasfactoren afgeleid om de referentiegewasverdamping voor gras eventueel om te rekenen naar een ander gewas (figuur 1.1).

Decade waarden voor gewasfactoren f , behorende bij de referentie-gewasverdamping E_r									
Maand	april			mei			juni		
Decade	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Gras	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Granen	0.7	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2
Mais	-	-	-	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2
Aardappelen	-	-	-	-	0.7	0.9	1.0	1.2	1.2
Suikerbieten	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.8	1.0	1.0
Peulvruchten	-	0.5	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2
Plantui	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0
Zaaiui	-	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
Witlof	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5
Winterpeen	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5
Knolselderij	-	-	-	-	-	0.5	0.7	0.7	0.7
Prei	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
Bol/Knolgewas	-	-	-	-	0.5	0.7	0.7	0.9	1.2
Pit/Steenvoer (volgroeid)	1.0	1.0	1.0	1.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6

Decade waarden voor gewasfactoren f , behorende bij de referentie-gewasverdamping E_r									
Maand	juli			augustus			september		
Decade	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Gras	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Granen	1.0	0.9	0.8	0.6	-	-	-	-	-
Mais	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Aardappelen	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.7	-	-
Suikerbieten	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1
Peulvruchten	1.0	0.8	-	-	-	-	-	-	-
Plantui	1.0	1.0	1.0	1.0	-	-	-	-	-
Zaaiui	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	-	-
Witlof	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Winterpeen	0.8	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Knolselderij	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	-
Prei	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9
Bol/Knolgewas	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Pit/Steenvoer (volgroeid)	1.7	1.7	1.7	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Figuur 1.1 Decadewaarden voor gewasfactoren.

1.2 Neerslagsommen van regenmeters

In deze rapportage worden alleen de neerslaggegevens gebruikt van de KNMI-neerslagstations¹. Op ca. 320 locaties van dit meetnet wordt dagelijks de neerslag gemeten met een handregenmeter. Figuur 1.2 toont de locaties van de stations.



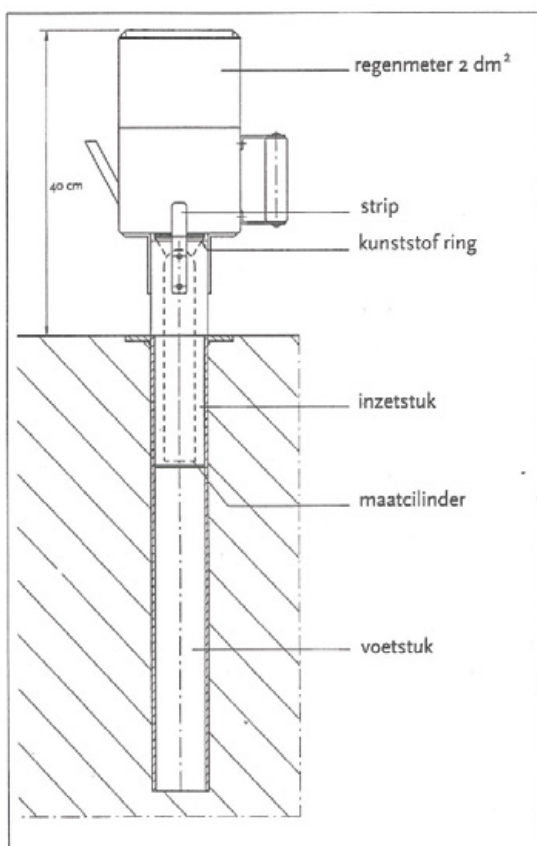
Figuur 1.2 Ligging van de KNMI-neerslagstations.

¹ Neerslagsommen worden ook (continue) bepaald met elektrische regenmeters op circa 35 automatische KNMI-weerstations. Voor statistisch onderzoek wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van de metingen van de KNMI-neerslagstations. De metingen van de elektrische regenmeters worden in deze rapportage niet gebruikt.

De meter die gebruikt wordt op de KNMI-neerslagstations is een zogenaamde Hellmann handregenmeter. Het is mondiaal één van de meest gebruikte neerslagmeters op officiële meteorologische stations. De meter is van koper en bestaat uit twee delen (zie ook figuur 1.3):

1. Een opvangtrechter met een vangoppervlak van 200 cm²;
2. een verzamelbak voorzien van tuit en handvat.

De regenmeter is zo geconstrueerd dat verliezen door verdamping worden geminimaliseerd. Bovendien kan spatwater de neerslagmeter niet bereiken. De bovenrand van de regenmeter bevindt zich op veertig centimeter boven het maaiveld. De afstand tussen de regenmeter en omliggende objecten (zoals bomen en huizen) moet minstens anderhalf tot twee keer de hoogte van deze objecten zijn (richtlijn Wereld Meteorologische Organisatie; WMO).



Figuur 1.3 De op de KNMI-neerslagstations gebruikte handregenmeter.

1.3 Neerslagsommen bepaald uit radarbeelden van de neerslag

Het KNMI heeft twee operationele neerslagradars, in Herwijnen en in Den Helder, die de neerslag boven Nederland en omstreken meten. Deze radars zenden en ontvangen radiostraling. Het vermogen van de terugkomende, verstrooide radiofrequente straling wordt gemeten. Bij radarmetingen wordt het terugkomende, verstrooide signaal, na onder andere een kalibratie en een afstandscorrectie, omgezet in een grootheid Z , de zogenaamde radarreflectiviteit.

Onder de aanname van een diameter-distributie van neerslagdruppeltjes en een afhankelijkheid van de valsnelheid van druppeltjes met hun diameter, kan de radarreflectiviteit worden omgerekend naar een hoeveelheid neerslag per tijdseenheid.

De radarreflecties van het station Herwijnen en Den Helder worden samengevoegd tot een zogenaamd composietbeeld. De ruimtelijke resolutie van de neerslagbeelden bedraagt (per pixel) circa 1 x 1 kilometer. Iedere vijf minuten is een composietbeeld beschikbaar.

Beelden van de neerslagradar zijn bijzonder geschikt om tijdvakken met neerslag en het intensiteitsverloop van de neerslag te bepalen. De berekende hoeveelheid neerslag uit beelden van de radar is, zonder nabewerking, minder betrouwbaar.

Deze nabewerking wordt uitgevoerd en bestaat uit een kalibratie van de beelden met waarnemingen aan de grond (de neerslagaftappingen van de circa 320 KNMI-neerslagstations). Op deze manier wordt een dagelijks (24 uren) landsdekkend (1x1 kilometer) beeld van de hoeveelheid neerslag samengesteld.

1.4 Het potentiële neerslagtekort

Door dagelijks het verschil te berekenen tussen de hoeveelheid neerslag en de berekende potentiële referentiegewasverdamping en vervolgens dit getal te sommeren over het seizoen, wordt het “potentiële neerslagtekort” verkregen. Dit verschil wordt gesommeerd in het tijdvak van 1 april tot en met 30 september. De berekeningswijze staat hieronder uitgelegd (tabel 1.1):

Dag	Neerslag	Pot.Verdamping	Potentieel Neerslagtekort
1	0	3	+3 (een tekort (0-3) wordt positief uitgedrukt)
2	2	4	5 (3-2+4)
3	10	2	0 (5-10+2 = -3 →0)
4	20	2	0 (0-20+2 = -18 →0)
5	0	4	4 (0+0+4)
6	0	5	9 (4+0+5)

Tabel 1.1 Berekening van het potentiële neerslagtekort (millimeter); neerslag minus verdamping. Een neerslagtekort (negatieve waarde) wordt positief uitgedrukt. De waarde blijft nul zolang neerslag de verdamping overtreft.

De berekening van het potentiële neerslagtekort (tabel 1.1) stopt op het moment dat het doorlopende tekort op nul uitkomt. De waarde blijft nul zolang de hoeveelheid neerslag groter is dan de potentiële referentiegewasverdamping.

De KNMI-website² presenteert van 1 april tot en met 30 september het verloop van het landelijk gemiddelde potentiële neerslagtekort in de vorm van een grafiek. In deze grafiek wordt het actuele neerslagtekort bepaald voor dertien, verspreid over het land liggende, representatieve KNMI-neerslagstations.

Deze rapportage presenteert kaarten met de ruimtelijke verdeling (1x1 kilometer) van het potentiële neerslagtekort (hoofdstuk 3) die speciaal voor dit doel zijn vervaardigd. Op basis van de kaarten is ook een droogtegrafiek gemaakt. Aangezien deze grafiek niet is gebaseerd op (een steekproef van) dertien stations, maar op basis van duizenden rastercellen, kan deze grafiek op detail afwijken, zie hiervoor ook hoofdstuk 3.

De getalswaarde van het potentieel neerslagtekort kan niet worden geïnterpreteerd als een absolute hoeveelheid water (in millimeter) die ‘tekort’ zou zijn. Het getal is namelijk gebaseerd op de potentiële referentie-gewasverdamping, niet de werkelijke. Bovendien is er bij de berekening geen rekening gehouden met afvoer(aanvoer) van water, een gegeven dat in de praktijk op veel plaatsen zeker een rol

zal spelen³. Het potentieel neerslagtekort en vooral het verloop van het getal is wel een goede index om droogte in het algemeen te monitoren.

1.4.1 Het doorlopend potentieel neerslagoverschot

Naast het potentiële neerslagtekort berekent het KNMI ook het doorlopend potentieel neerslagoverschot.

De berekening van het doorlopend potentieel neerslagoverschot is gelijk aan die van het potentiële neerslagtekort. Dagelijks wordt het verschil berekend tussen de hoeveelheid neerslag en de berekende potentiële referentiegewasverdamping en vervolgens wordt dit getal gesommeerd over het seizoen (1 april – 30 september). Er is echter één belangrijk verschil: De berekende waarde kan groter (overschot) of kleiner (tekort) zijn dan nul. De berekening wordt dus niet stopgezet indien de neerslag de verdamping overtreft (de waarde ‘door de nul gaat’)(tabel 1.2).

Dag	Neerslag	Pot.Verdamping	Potentieel Neerslagtekort
1	0	3	-3 (0-3) een tekort wordt negatief uitgedrukt)
2	2	4	-5 (-3+2-4)
3	10	2	+3 (-5+10-2)
4	20	2	+21 (+3+20-2)
5	0	4	+17 (21+0-4)
6	0	5	+12 (17+0-5)

Tabel 1.2 Berekening van het doorlopend potentieel neerslagtekort overschot (millimeter); neerslag minus verdamping met dezelfde waarden voor neerslag en verdamping als in tabel 1.1. Een doorlopend neerslagtekort wordt negatief uitgedrukt.

Kaarten met het dagelijkse niveau van het doorlopend potentieel neerslagoverschot staan op de KNMI-website⁴. In deze rapportage wordt het doorlopend potentieel neerslagoverschot, vanwege de andere berekeningswijze, verder niet gebruikt. Kaarten in deze rapportage zijn gebaseerd op het doorlopend potentieel neerslagtekort (par. 1.4).

² https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte

³ Een zware bui van 30 millimeter eind april wordt tot en met 30 september meegerekend in het neerslagtekort. In werkelijkheid zal die bui in veel gebieden al veel eerder ‘uit het systeem’ zijn verdwenen, bijvoorbeeld door afvoer(bemaling).

⁴ <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagoverschot>

2 Beschrijving weerbeeld 1 april – 30 september 2018

Dit hoofdstuk geeft een synoptische beschrijving van de opeenvolging van weerpatronen in het tijdvak van 1 april - 30 september 2018 omdat over dit tijdvak het potentiële neerslagtekort wordt bepaald. Het potentiële neerslagtekort is de droogte indicator die deze rapportage gebruikt voor de droogteanalyse. Om praktische redenen wordt een paragraafindeling per maand gehanteerd. In aanvulling op de analyse wordt eerst ook de waterbalans van het tijdvak 1 januari - 31 maart 2018 beknopt besproken.

2.1 Waterbalans 1 januari – 31 maart 2018

Tabel 2.1 presenteert de neerslagsommen en de potentiële referentiegewasverdamping over de maanden 1 jan 31 maart 2018. Uit de tabel blijkt dat, gesommeerd over de eerste drie maanden van het jaar, zowel de neerslaghoeveelheid als de potentiële referentie-gewasverdamping maar zeer weinig afwaken van de normale waarden. De uiteindelijke waterbalans over het tijdvak 1 januari 31 maart week met een surplus van 133,4 mm nauwelijks af van de normale waarde van 136,6 mm.

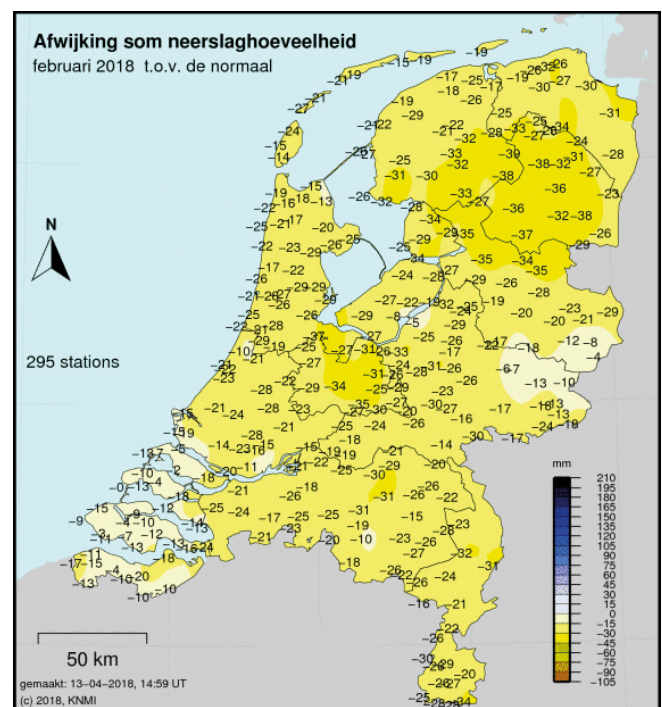
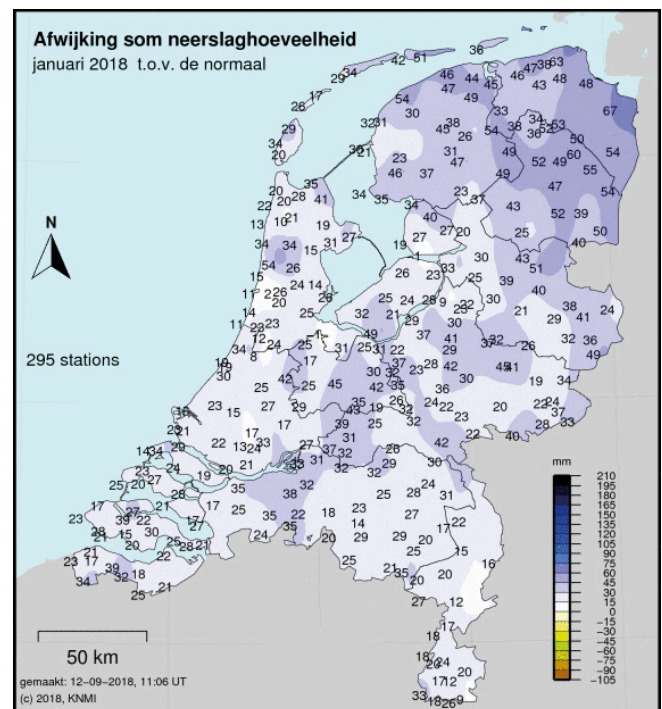
2018	Potentiële referentiegewasverdamping (mm)		Neerslagsom (mm)		Waterbalans (mm)	
	L5 berekend	L5 Normaal	L5 gemeten	L5 normaal	L5 gemeten	L5 normaal
Jan	8.6	8.6	102.2	72.8	+93,6	+64,2
Feb	20.5	15.6	31.7	54.6	+11,2	+39,0
Mrt	33.2	34.2	61.8	67.6	+28,6	+33,4
Totaal	62.3	58.4	195.7	195.0	+133,4	+136,6

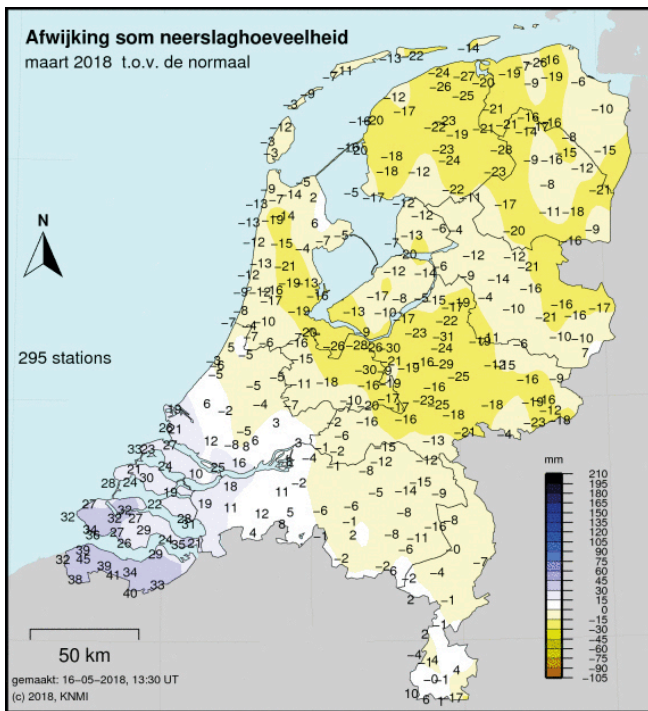
Tabel 2.1 Potentiële referentiegewasverdamping, neerslagsom en het verschil tussen verdamping en neerslag ('waterbalans') voor de maanden januari, februari en maart 2018. L5= Gemiddelde van vijf KNMI-stations (De Kooy, Eelde, De Bilt, Vlissingen en Maastricht). Normaal = het langjarige gemiddelde over het tijdvak 1981-2010.

In de winter en het vroege voorjaar worden afwijkingen in de waterbalans met name bepaald door de hoeveelheid gevallen neerslag aangezien de potentiële verdampingssom in absolute zin dan nog klein is. Specifiek voor 2018 week de potentiële verdamping bovendien niet veel af (tabel 2.1) van de normaal.

Figuur 2.1 presenteert de neerslaganomalieën in januari, februari en maart 2018 op de KNMI-neerslagstations. In januari was er op alle stations sprake van een forse positieve anomalie (er viel meer neerslag dan normaal). In februari viel er op alle stations juist minder neerslag dan normaal. Maart laat een complexer beeld zien: In het zuidwesten viel toen veel meer regen dan normaal, in de rest

van het land juist minder. De vrijwel normale waterbalans in het tijdvak 1 januari 31 maart werd dus voornamelijk veroorzaakt door het surplus in januari. In februari en maart viel in een groot deel van het land minder neerslag dan normaal.

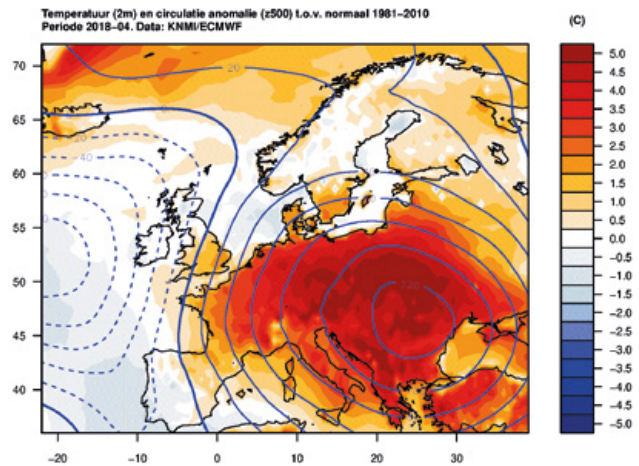




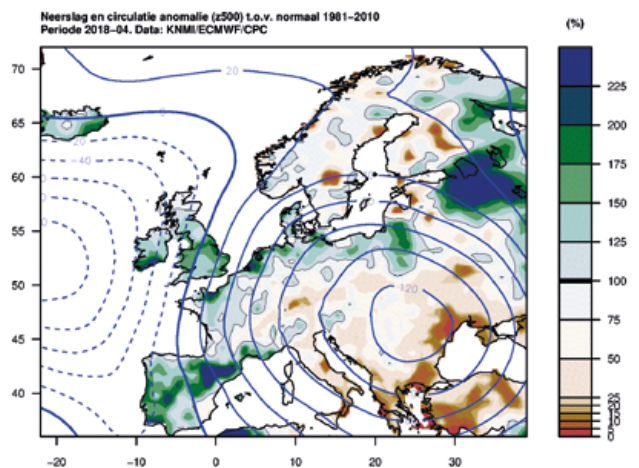
Figuur 2.1 Afwijking van de neerslagsom (neerslaganomalie) in mm t.o.v. de normaal (het langjarige gemiddelde 1981-2010) op de KNMI-neerslagstations in de maanden januari, februari en maart 2018.

2.2 Weerbeeld april 2018

Met in De Bilt een gemiddelde temperatuur van 12,2 °C tegen een langjarig gemiddelde van 9,2 °C was april zeer zacht. De maand komt daarmee op een gedeelte derde plaats van warmste aprilmaanden sinds 1901. Gemiddeld over het land was het ook een natte maand met 74 millimeter neerslag tegen 44 millimeter normaal. Het (maandgemiddelde) luchtdrukpatroon op 500 hPa liet in april een positieve anomalie zien boven Oost-Europa en Noord-Europa en een negatieve boven de Atlantische Oceaan ten westen van Ierland. Hiermee samenhangend was er niet alleen in ons land maar ook in een groot deel van Europa sprake van bovennormale temperaturen. Boven de oceaan was het koeler dan normaal (figuur 2.2). Met name in Zuidoost-Europa en Centraal-Europa was april droog. In West-Europa, aan de rand van de positieve drukanomalie, viel op maandbasis vaak meer neerslag dan gebruikelijk (figuur 2.3).



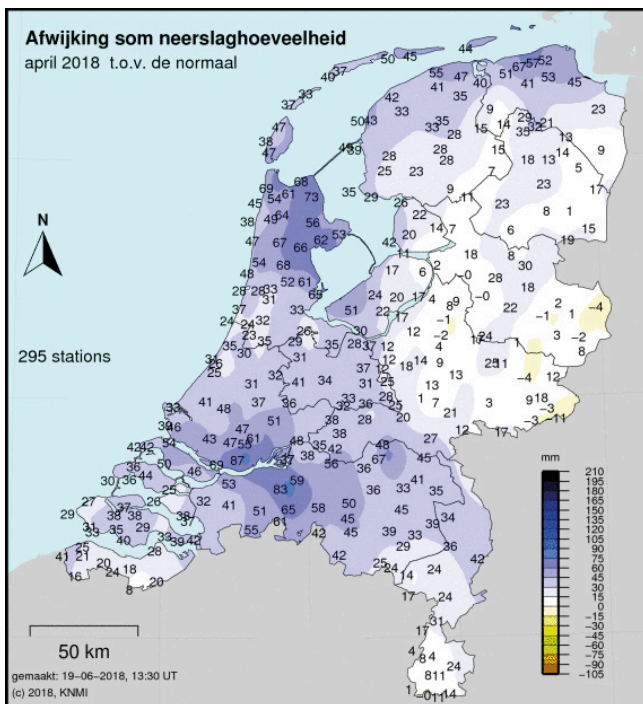
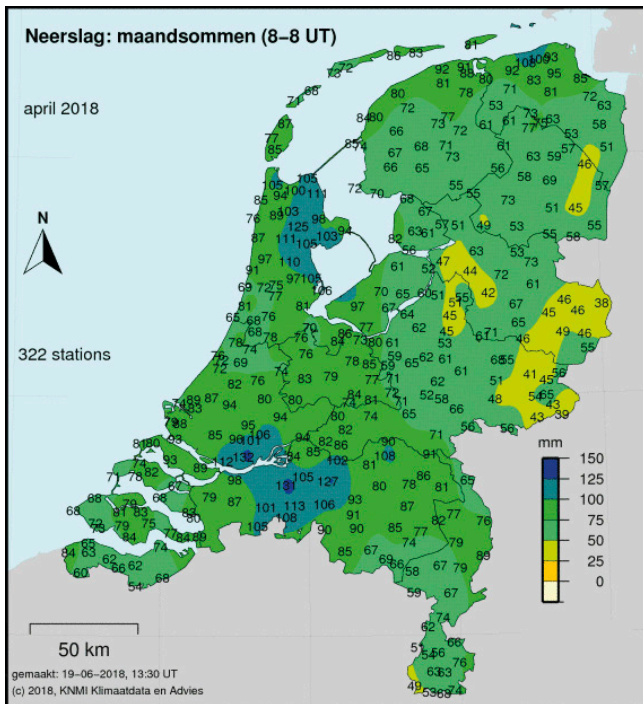
Figuur 2.2: Temperatuur-anomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in april 2018.



Figuur 2.3 Neerslaganomalie en drukanomalie 500 hPa in april 2018.

De eerste week van april was het in ons land, onder invloed van lagedrukgebieden, wisselvallig met geregeld regen en temperaturen rond de normale waarde voor de tijd van het jaar. Na de eerste week kwamen we onder invloed van hogedrukgebieden boven Oost- en Noord-Europa. Er volgde een langdurig tijdvak met zacht tot zeer zacht weer. De hoeveelheid regen was beperkt en vooral vanaf het midden van de maand was er dagelijks veel zon. De laatste week van de maand lag de temperatuur rond of iets onder normaal. Depressies bepaalden het beeld en er was niet veel zon. Een depressie die van Frankrijk via ons land naar het noorden trok, veroorzaakte op 29 en 30 april veel regen. Landelijk gemiddeld viel die dagen 29 millimeter (34 millimeter als 1 mei wordt meegerekend), circa veertig procent van de totale maandsom in april.

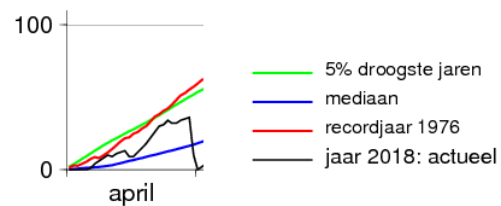
Figuur 2.4 presenteert de neerslagsommen voor de maand april 2018 en de afwijking ten opzichte van het langjarig gemiddelde 1981-2010. In een groot deel van het land was sprake van een positieve neerslaganomalie, voor een belangrijk deel veroorzaakt door het neerslagevent aan het einde van de maand.



Figuur 2.4 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) ten opzichte van het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand april 2018.

2.2.1 Ontwikkeling neerslagtekort in april 2018

Figuur 2.5 toont de ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in de maand april. De eerste week van april bleef het tekort gemiddeld over het land dichtbij nul. Daarna ontwikkelde zich geleidelijk een neerslagtekort. Vanaf het midden van de maand liep het tekort sterk op onder invloed van het vaak zonnige en warme weer. Door de toenemende wisselvalligheid vlakte de stijging aan het einde van de maand af. Het neerslagevent (gemiddeld over het land 29 millimeter regen) aan het einde van de maand, liet het neerslagtekort tot bijna nul millimeter dalen.



Figuur 2.5 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in millimeter, gemiddeld over het land in de maand april 2018. Fragment van grafiek website KNMI⁵. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende later in het seizoen het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

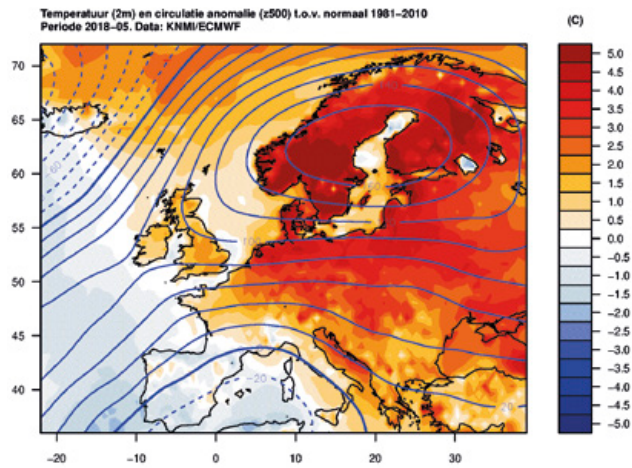
De ruimtelijke verdeling van het neerslagtekort op een aantal dagen in april wordt gepresenteerd in bijlage 1. Met name in het oosten van het land was er sprake van een zich ontwikkelend neerslagtekort. Echter, door de regen van eind april was in een groot deel van het land geen sprake meer van een tekort op 30 april.

⁵ https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/geografische-overzichten/neerslagtekort_droogte. Deze grafiek werd in de communicatie rond het thema droogte gebruikt. Ook de Landelijke Commissie Waterverdeling en het Management Team Water maakte gebruik van deze grafiek. Het actuele neerslagtekort (2018) in de grafiek wordt berekend uit het gemiddelde van dertien, over het land verspreide, representatieve KNMI-neerslagstations.

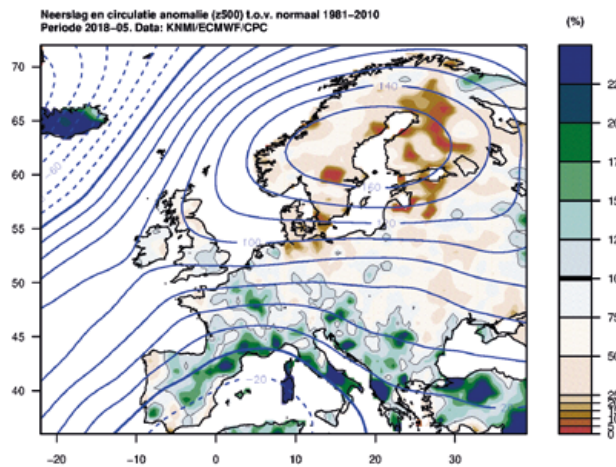
2.3 Weerbeeld mei 2018

Met in De Bilt een gemiddelde temperatuur van 16,4°C was mei de warmste meimaand sinds minimaal 300 jaar. In mei 1889 was het gemiddelde 16,0°C, de warmste meimaand sinds 1901 tot nu toe was mei 2008 met 15,7°C. Het langjarig gemiddelde (1981-2010) bedraagt 13,1°C. Mei was een vrij droge maand met landelijk gemiddeld vijftig millimeter neerslag tegen 61 millimeter normaal. Mei was ook zeer zonnig met landelijk gemiddeld 290 zonuren, tegen een langjarig gemiddelde van 213 uren.

Het drukpatroon op 500 hPa liet in mei een sterke blokkade zien boven Scandinavië. Hiermee samenhangend was het in Europa, met uitzondering van het zuidwesten, veel warmer dan normaal (figuur 2.6). De noordelijke helft van Europa was veel droger dan normaal, het zuiden van Europa natter (figuur 2.7).



Figuur 2.6 Temperatuur-anomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in mei 2018.

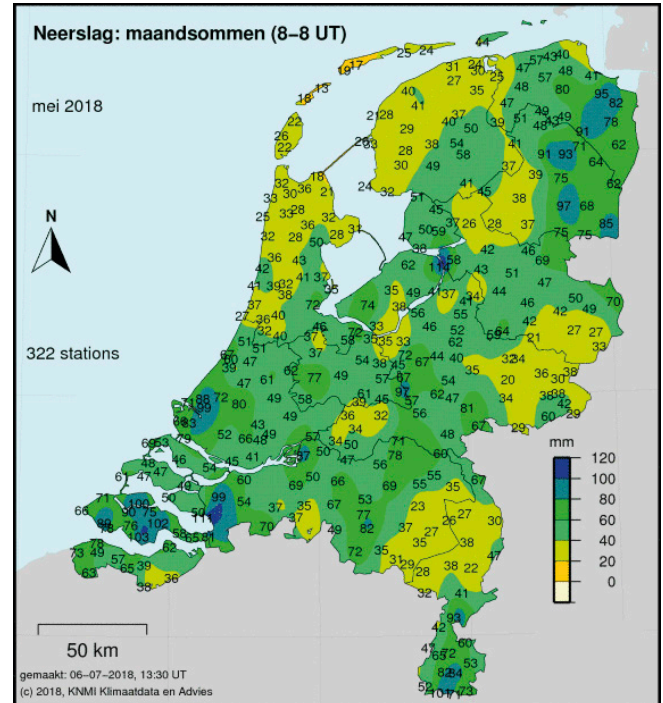


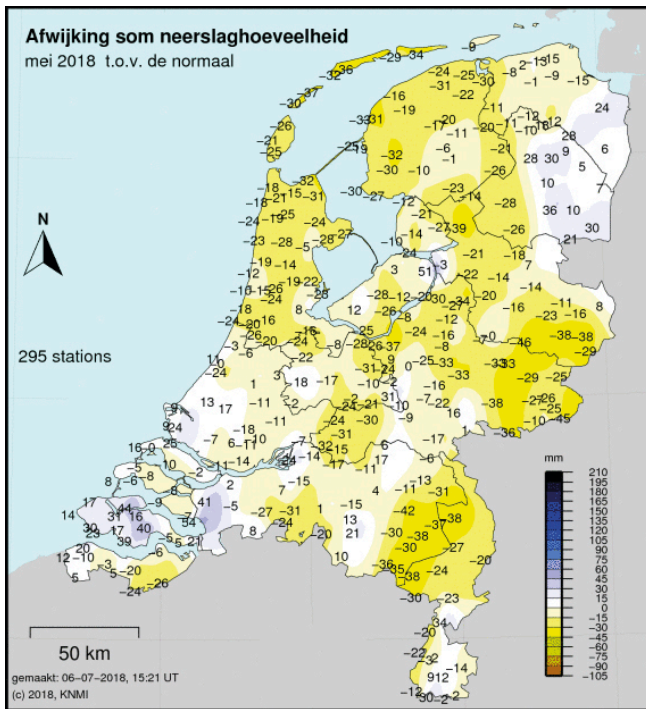
Figuur 2.7 Neerslaganomalie en drukanomalie 500 hPa in mei 2018.

Mei begon koel en nat (zie neerslagevent eind april), maar het werd al snel zonnig en zomers warm. Een groot deel van de maand bleven hogedrukgebieden met centra ten noorden van ons land bepalend voor het weer. De invloed van lagedrukgebieden was soms merkbaar, met name in de laatste week van de maand.

Op 13 mei viel in het noordoosten tijdens onweersbuien plaatselijk vijftig tot zeventig millimeter neerslag met wateroverlast tot gevolg. Een groot deel van de maandsom neerslag viel op de meeste plaatsen tijdens onweersbuien in de laatste week. Eerst kreeg vooral het zuiden en soms oosten met lokale onweersbuien te maken die op enkele plaatsen dertig tot vijftig millimeter neerslag achterlieten. In de middag en avond van 29 mei was er in grote delen van Nederland overlast en schade door onweersbuien met zware regen, plaatselijk viel vijftig tot zeventig millimeter in enkele uren tijd. Op 31 mei waren er in het westen en noorden opnieuw zware onweersbuien.

Figuur 2.8 toont de neerslagsommen voor de maand mei 2018 en de afwijking ten opzichte van het langjarig gemiddelde 1981-2010. Het ruimtelijk patroon laat een grillig beeld zien waarbij in grote delen van het land minder neerslag viel dan normaal. Vooral op stations die te maken kregen met zware buien aan het einde van de maand was sprake van een positieve anomalie.

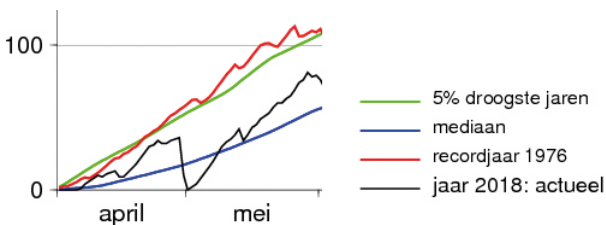




Figuur 2.8 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) tov het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand mei 2018.

2.3.1 Ontwikkeling neerslagtekort in mei 2018

Door het vaak warme, zonnige weer en de lange daglichtperiode was er op veel dagen in mei sprake van een potentiële referentiege-wasverdamping van drie tot vijf millimeter. Figuur 2.9 laat zien dat het potentiële neerslagtekort hierdoor in mei snel toenam. De lokale buien, rond het midden van de maand en in de laatste week, verminderden het neerslagtekort gemiddeld over het land tijdelijk. Door de grote hoeveelheid regen eind april, was het absolute niveau van het neerslagtekort hoger dan de mediane waarde maar nog ruim verwijderd van het vijf procent droogste jaren niveau (voor dat moment in het seizoen).



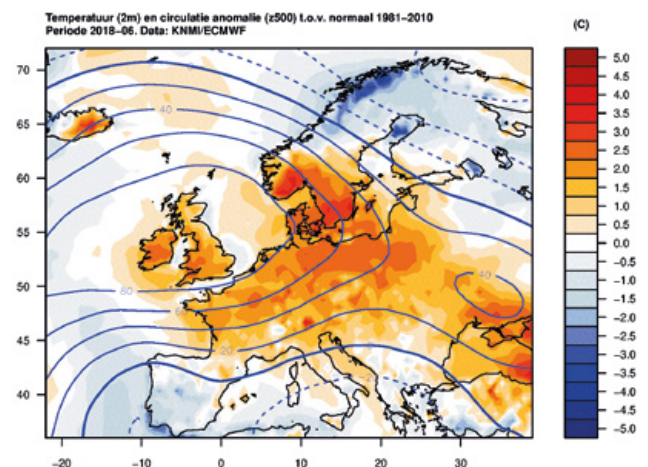
Figuur 2.9 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in mm, gemiddeld over het land tot eind mei 2018. Fragment van grafiek website KNMI. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende later in het seizoen het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

De ruimtelijke verdeling van het neerslagtekort op verschillende data in mei wordt gepresenteerd in bijlage 1. Aan het begin van de maand was het potentieel neerslagtekort overal klein, gedurende de maand steeg het snel waarbij de hoogste waarden in het oosten van het land werden bereikt.

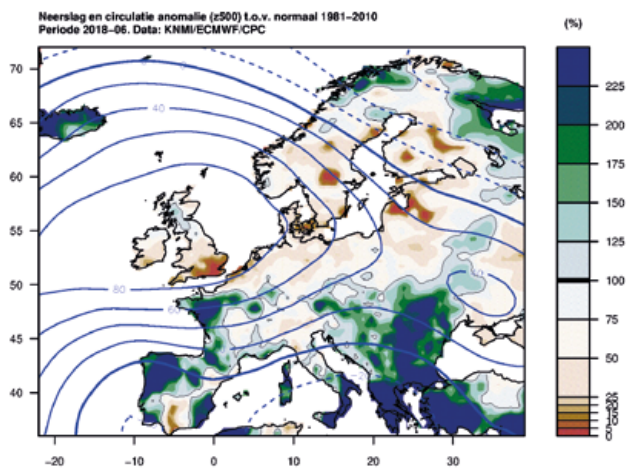
2.4 Weerbeeld juni 2018

Na een recordwarme mei en zeer zachte april was ook juni met gemiddeld 17,5°C tegen normaal 15,6°C veel warmer dan normaal. De maand eindigde op een zesde plek in de top tien van warmste junimaanden. Met gemiddeld over het land 29 millimeter neerslag tegen normaal 68 millimeter was de maand zeer droog. De maand eindigde daarmee in de top tien van droogste junimaanden sinds 1906. In Zeeland viel lokaal in de gehele maand slechts één tot twee millimeter. Met gemiddeld over het land 213 uren zon tegen 201 normaal week de maand niet veel af van het langjarig gemiddelde.

Figuur 2.10 toont de afwijking van het normale drukpatroon op 500 hPa en de afwijking van de temperatuur ten opzichte van het langjarige gemiddelde voor de maand juni. Ook in deze maand was er sprake van een sterke positieve drukanomalie boven grote delen van Europa, nu met zwaartepunt van de Britse Eilanden via Polen naar Oekraïne. Boven Zuid-Europa was de druk nog steeds relatief laag. De drukverdeling heeft geleid tot boven normale temperaturen boven onder andere onze omgeving. Uit figuur 2.11 blijkt dat er in Zuid-Europa meer regen viel dan normaal. Onder de hogedruk-anomalie viel veel minder neerslag dan gebruikelijk, vooral in het zuidwesten van Nederland, de kuststrook van België en Zuid-Engeland.



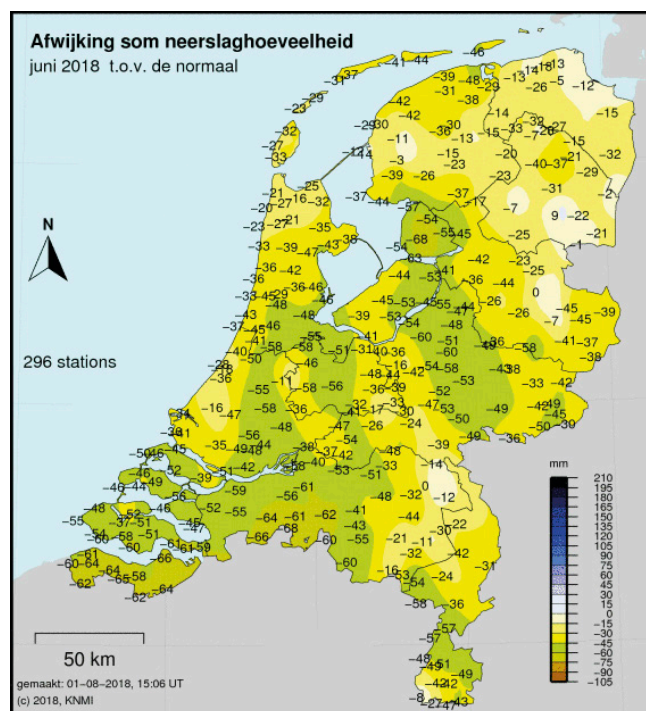
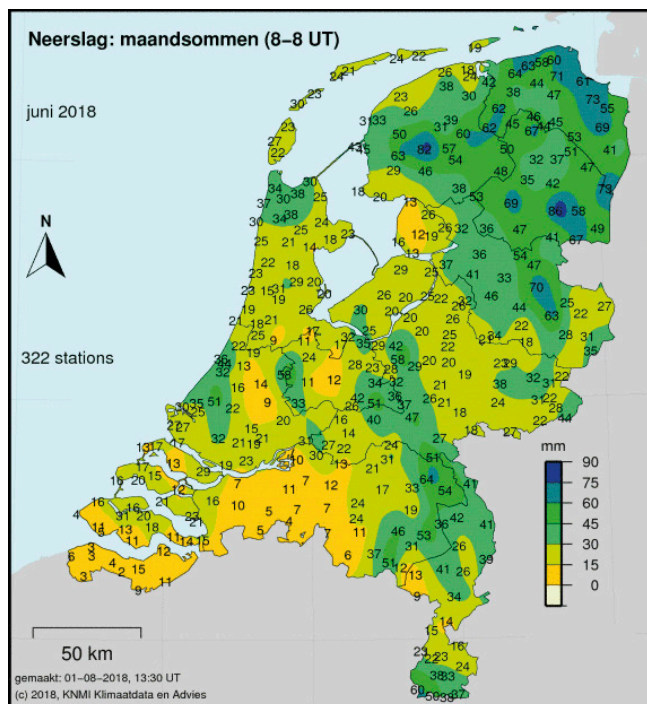
Figuur 2.10 Temperatuur-anomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in juni 2018.



Figuur 2.11 Neerslaganomalie en drukanomalie 500 hPa in juni 2018.

Het weer werd het overgrote deel van de maand bepaald door hogedrukgebieden in onze omgeving. Slechts kleine verstoringen wisten het land te bereiken.

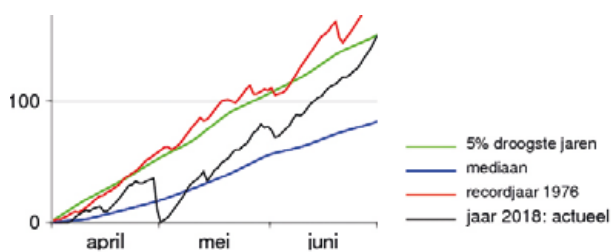
Uit figuur 2.12 blijkt dat in het gehele land de maandsom neerslag kleiner was dan het langjarige gemiddelde. De regionale verschillen waren echter groot, met name samenhangend met het al dan niet voorkomen van zware buien op 1 juni.



Figuur 2.12 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) ten opzichte van het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand juni 2018.

2.4.1 Ontwikkeling neerslagtekort juni 2018

In figuur 2.13 zijn de lokale zware onweersbuien in vooral het noordoosten van het land op 1 juni goed zichtbaar aan de daling in het neerslagtekort gemiddeld over het land. De rest van de maand steeg het potentiële neerslagtekort, het sterkst aan het einde van de maand toen er sprake was van zeer zonnig en warm zomerweer. Het tekort bereikte het 95-percentiel (vijf procent droogste jaren) aan het einde van de maand.



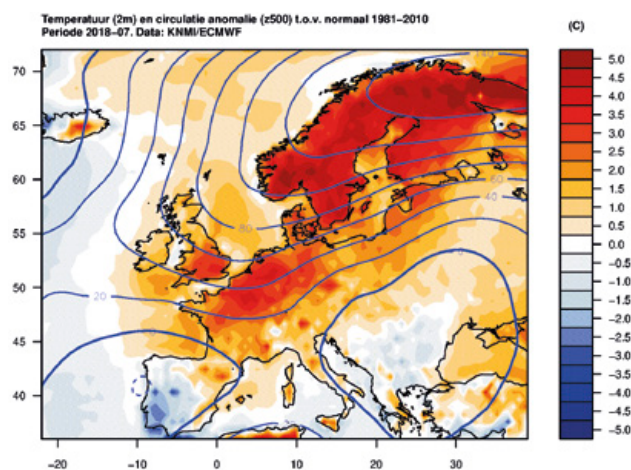
Figuur 2.13 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in millimeter, gemiddeld over het land tot eind juni 2018. Fragment van grafiek website KNMI. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende later in het seizoen het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

In bijlage 1 wordt de ruimtelijke ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort op een aantal dagen in juni gepresenteerd. Het nu snel oplopende tekort liet een grillig ruimtelijk patroon zien, voornamelijk bepaald door de lokale zware buien op 1 juni.

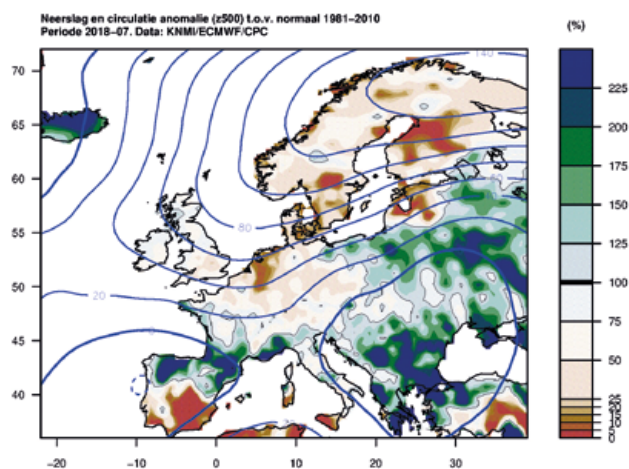
2.5 Weerbeeld juli 2018

Met een gemiddelde temperatuur van 20,7°C tegen 17,9°C normaal was juli zeer warm, goed voor een derde plaats in de rij van warmste julimaanden sinds 1901. Toch waren het vooral de aanhoudende droogte en de buitengewone hoeveelheid zon die de maand echt uitzonderlijk maakten. Gemiddeld viel er over het land slechts acht millimeter neerslag tegen 78 millimeter normaal. In De Bilt viel zelfs niet meer dan 5,3 millimeter, tegen 81,1 millimeter normaal. Een nieuw record voor de maand juli. Het vorige record stond op naam van juli 1921, toen er in De Bilt 11,4 millimeter werd afgetapt.

In juli was er nog steeds sprake van een sterke positieve druk anomalie boven Noord-Europa, op 500 hPa lag het zwaartepunt boven Scandinavië met een sterke rug over de Britse Eilanden (figuur 2.14). Boven Zuid-Europa was de anomalie nog steeds negatief. De hiermee samenhangende temperatuurverdeling boven Europa liet boven-normale temperaturen zien in het grootste deel van Europa. Uit figuur 2.15 blijkt dat in grote delen van Noord- en West-Europa veel minder neerslag viel dan normaal, met een uitzonderlijk droge anomalie juist in Nederland. In Zuid- en Oost-Europa was het vaak natter.



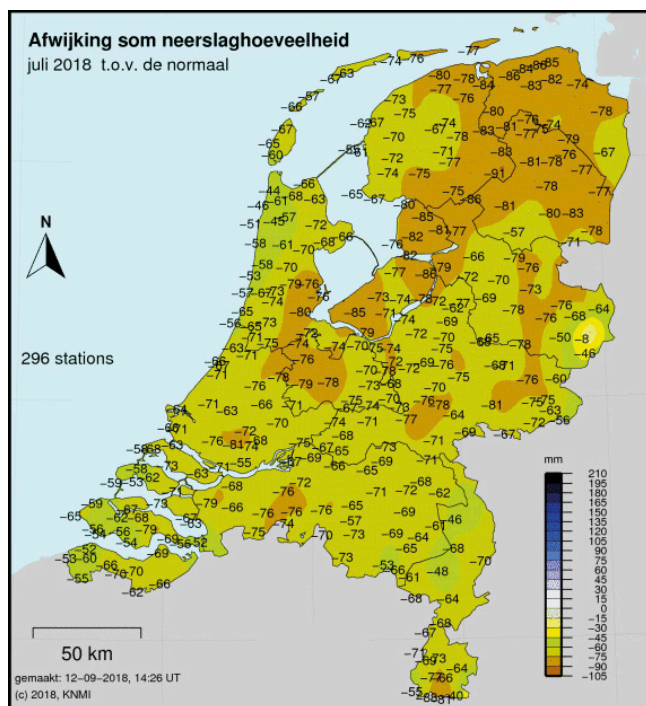
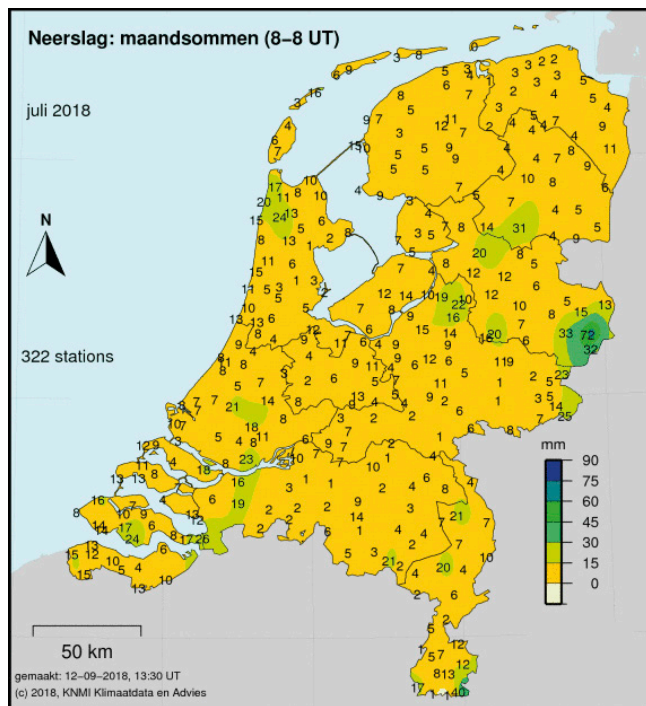
Figuur 2.14 Temperatuur anomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in juli 2018.



Figuur 2.15 Neerslag anomalie en drukanomalie 500 hPa in juli 2018.

Onder invloed van hogedrukgebieden ten noordwesten en noorden van ons land domineerden deze maand de noordelijke stromingen. Door de in het algemeen vrij zwakke wind en flinke zonnige perioden, warmde de lucht echter gemakkelijk op. Hierdoor werd het vooral verder landinwaarts regelmatig zomers warm, in het zuidoosten lokaal tropisch warm. Gedurende de laatste decade, vanaf 21 juli, werd het geleidelijk steeds warmer en met het naar het oosten draaien van de wind bereikte de heetste lucht ons op 26 en 27 juli. Vanaf de 23 juli lagen de maximumtemperaturen vrijwel overal boven de 25°C. Op 24 en 25 juli werd het landinwaarts al op uitgebreide schaal meer dan 30°C en op de 26 en 27 juli was dit zelfs in het hele land het geval. Uitzonderlijker is dat het op deze dagen landinwaarts op veel plaatsen ook recordwarm werd met temperaturen boven de 35°C. Op 28 juli verdreef een koufront de ergste hitte en kwam er in De Bilt wel een einde aan een hittegolf van dertien dagen. De afkoeling was echter van korte duur. Op 30 juli werd het landinwaarts alweer op uitgebreide schaal tropisch warm. Alleen op 28 juli viel er op de meeste plaatsen enkele millimeters neerslag bij het passeren van het koufront. De rest van de maand was het of droog of viel er slechts heel lokaal wat regen of een (onweers) bui. Toch kwamen er gedurende de warmste periode van 25 tot 27 juli enkele lokale stevige onweersbuien tot ontwikkeling die plaatselijk voor veel neerslag zorgden in korte tijd. Zo viel er op 25 juli in Twente, in het westen van Noord-Brabant en in het zuiden van Limburg zeer lokaal meer dan twintig tot dertig millimeter regen. Juli was gemiddeld over het land de zonnigste juli sinds 1901. Het zonnigst was het in het westen en midden van het land, rond de 340-345 uur terwijl het zuiden, oosten en noorden van het land gemiddeld tot 310-320 uur zijn gekomen.

In figuur 2.16 geeft de neerslagsommen weer zoals deze in juli 2018 zijn afgetapt op de KNMI-neerslagstations en de anomalie ten opzichte van normaal. Vrijwel overal in het land was de maand extreem droog, op slechts enkele plaatsen brachten onweersbuien aan het einde van de maand meer regen.

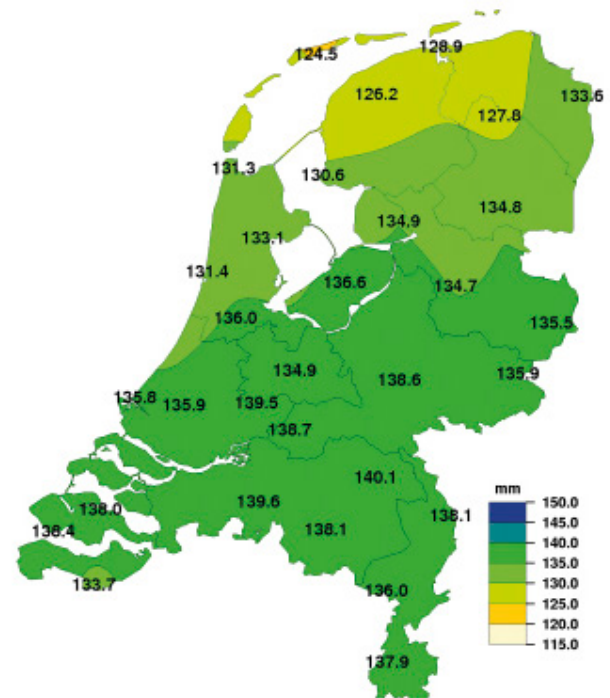


Figuur 2.16 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) ten opzichte van het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand juli 2018

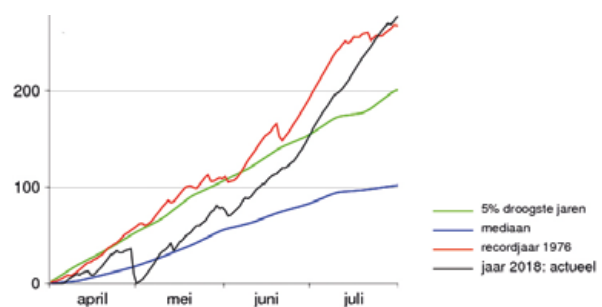
2.5.1 Ontwikkeling neerslagtekort in juli 2018

Door het grote aantal dagen met zonnige, warme condities was de potentiële referentiegewasverdamming in juli zeer groot. In het noorden van het land circa 125 millimeter, in het midden en zuiden 135-140 millimeter (figuur 2.17). De neerslagsom was zeer beperkt waardoor het potentiële neerslagtekort (figuur 2.18) in juli een grote stijging liet zien. Aan het einde van de maand was het neerslagtekort landelijk gemiddeld hoger dan in 1976 (voor dat moment in het seizoen).

Maandsom referentiegewasverdamming, juli 2018



Figuur 2.17 Potentiële referentiegewasverdamming (mm) in juli 2018 op KNMI-stations.



Figuur 2.18 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in millimeter, gemiddeld over het land tot eind juli 2018. Fragment van grafiek website KNMI. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende later in het seizoen het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

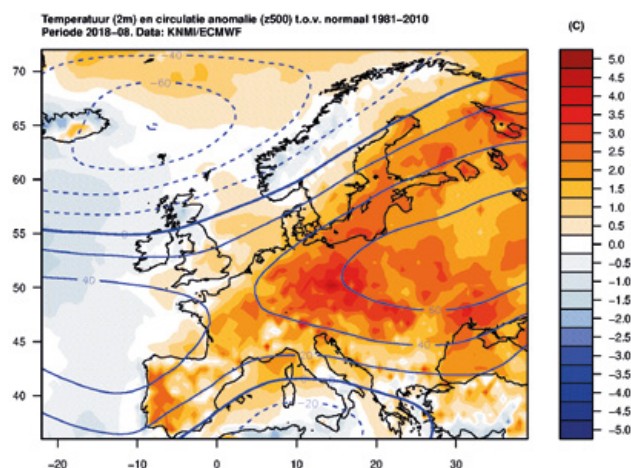
In bijlage 1 wordt het ruimtelijk beeld gepresenteerd van het potentiële neerslagtekort op een aantal dagen in de maand juli. Goed is de zeer sterke stijging gedurende de maand te zien. Het ruimtelijk patroon wordt nog steeds voornamelijk bepaald door de lokale buien die in mei en juni vielen: Dit zijn de regio's met het kleinste potentiële neerslagtekort. In Gelderland langs de oostgrens is een gebied te zien waar het neerslagtekort aan het einde van de maand wat afnam door lokale buien.

2.6 Weerbeeld augustus 2018

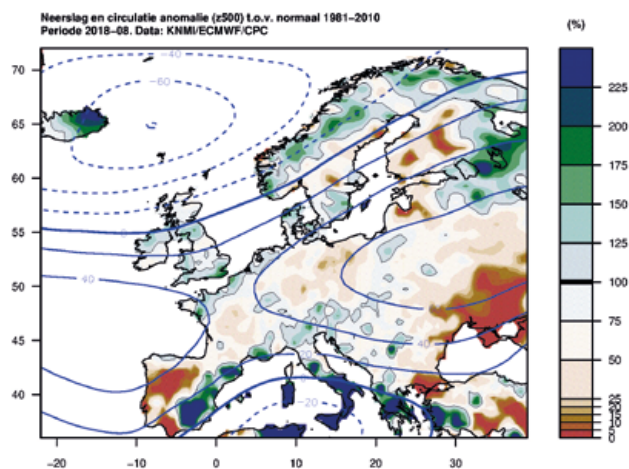
Met in De Bilt een gemiddelde temperatuur van 18,5°C tegen 17,5°C normaal eindigde augustus nipt in de top tien van warmste augustusmaanden sinds 1901. Gemiddeld over het land was het met 85 millimeter regen tegen 78 millimeter iets natter dan normaal. Het aantal zonuren week niet veel af van het langjarige gemiddelde.

De positieve drukanomalie (op 500 hPa, figuur 2.19) die al de gehele zomer aanwezig was boven Europa, bleef ook in augustus prominent aanwezig. Het zwaartepunt lag deze maand zuidelijker, van Frankrijk naar Oost-Europa. Boven het noorden van de oceaan was de druk lager dan normaal. Tussen beide systemen werd het stromingspatroon boven met name Noord-Europa meer zonaal waarmee storingen van de oceaan dit gebied weer vaker konden bereiken.

In een groot deel van Europa (figuur 2.19) was augustus warmer dan normaal. Onder de hogedrukanomalie viel minder neerslag dan normaal (figuur 2.20), ten zuiden en ten noorden daarvan was het vaak natter dan normaal.



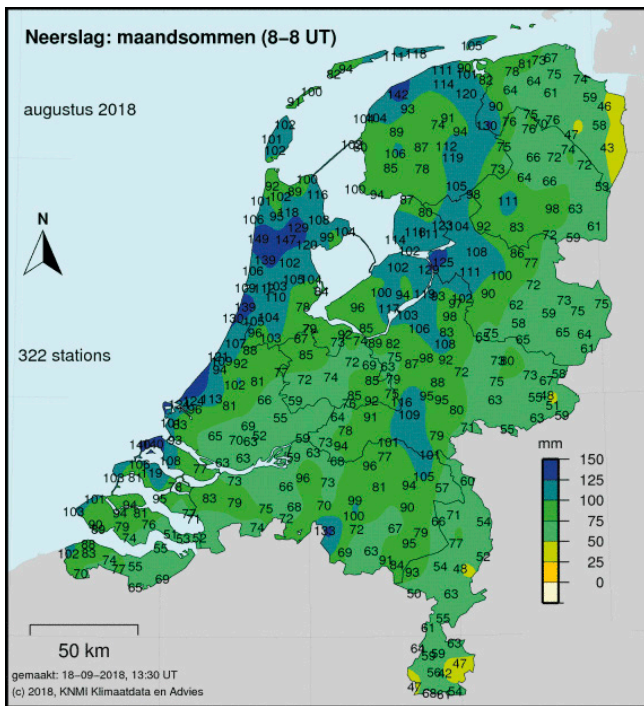
Figuur 2.19 Temperatuuranomalië (2m) en drukanomalie 500 hPa in augustus 2018.



Figuur 2.20 Neerslaganomalië (2m) en drukanomalie 500 hPa in augustus 2018.

De eerste week van augustus zette de hitte van het einde van juli zich voort. De tweede landelijke hittegolf duurde van 29 juli tot en met 7 augustus. In het zuiden en zuidoosten eindigde op 8 of 9 augustus een hittegolf die op 12 juli was begonnen. De langste regionale hittegolf in ruim een eeuw met ook de grootste warmteproductie. Daarna werd het wisselvallig zomerweer met temperaturen rond normaal. De maxima lagen meest tussen 20 en 25°C, waarbij het in het zuidoosten nog regelmatig zomers warm werd. Alleen in de laatste week was het vaak duidelijk koeler.

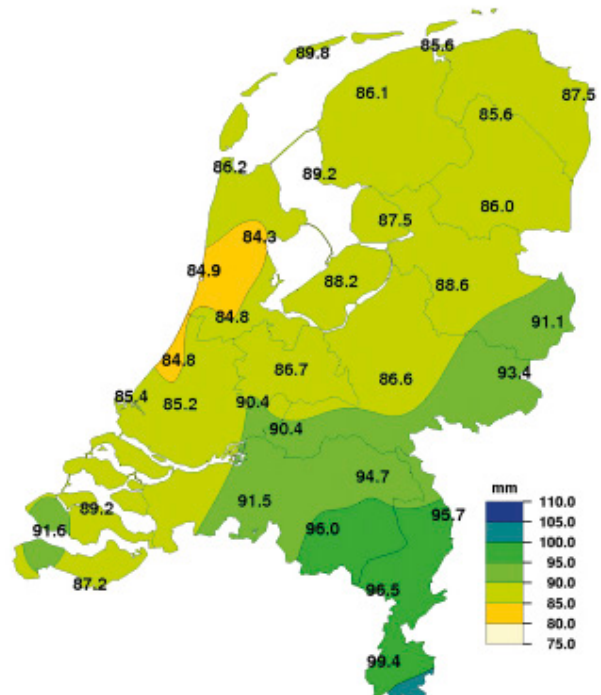
De eerste week van augustus was niet alleen zeer warm en zonnig maar verliep ook droog. Daarna hadden we regelmatig te maken met depressie-invloed boven het Noordzeegebied en viel er regelmatig regen. Als gevolg van het zeer warme zeewater waren er in de kustgebieden van tijd tot tijd zware buien. Bijvoorbeeld op 9, 10 en 24 augustus, plaatselijk met wateroverlast als gevolg. Op vier dagen viel in augustus op tenminste één KNMI-neerslagstation vijftig millimeter regen of meer. Over de hele maand augustus viel de meeste neerslag in de kustprovincies (figuur 2.21). Op sommige plaatsen in Noord-Holland en Friesland werd ruim 140 millimeter afgetapt. Het anomaliekaartje laat een grillig ruimtelijk patroon zien. Op sommige plaatsen is er sprake van een negatieve anomalie, op andere van een, soms fors, positieve anomalie.



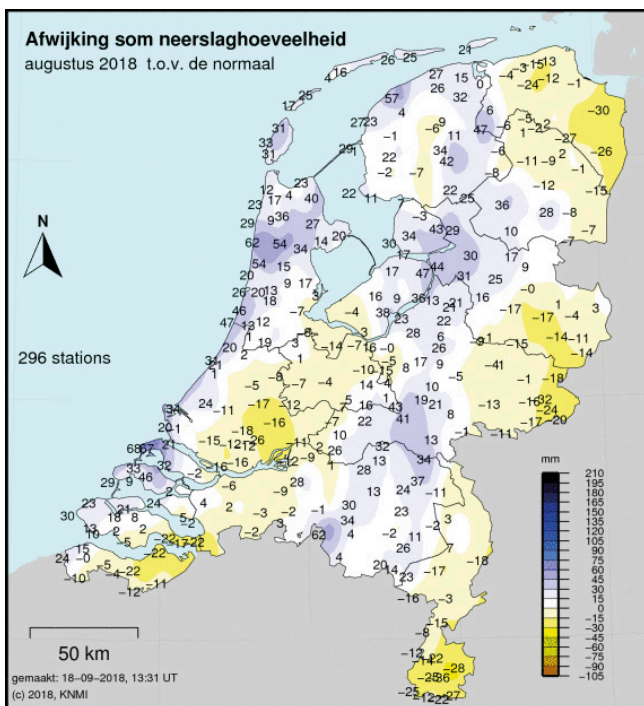
2.6.1 Ontwikkeling potentieel neerslagtekort in augustus 2018

Boven het warme zeewater ontstond vaker bewolking (en buien), dan in het diepe binnenland. Het aantal zonuren (globale straling) was daardoor in het westen lager dan in het zuidoosten. Daarmee samenhangend liet ook de maandsom van de potentiële referentie-gewasverdamming deze gradiënt over het land zien (figuur 2.22).

Maandsom referentie-gewasverdamming, augustus 2018

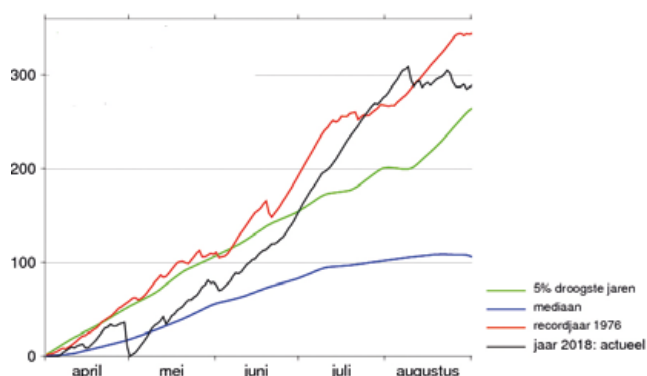


Figuur 2.22 Potentiële referentie-gewasverdamming (mm) in juli 2018 op KNMI-stations.



Figuur 2.21 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) ten opzichte van het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand augustus 2018.

Het potentiële neerslagtekort bereikte de hoogste waarde op 8 augustus, tijdens de tweede landelijke hittegolf. Gemiddeld over het land bedroeg het tekort op dat moment 309 mm (figuur 2.23). Het tekort lag op dat moment ruim boven het tekort in 1976. Na de eerste week daalde het tekort door de regen, van een doorzettende daling was echter geen sprake. In augustus (figuur 2.22) is de potentiële verdamping nog aanzienlijk en deze verdamping compenseerde in belangrijke mate de neerslag die viel. Aan het einde van de maand was het tekort gemiddeld over het land 280 mm.



Figuur 2.23 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in mm, gemiddeld over het land tot eind augustus 2018. Fragment van grafiek website KNMI. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

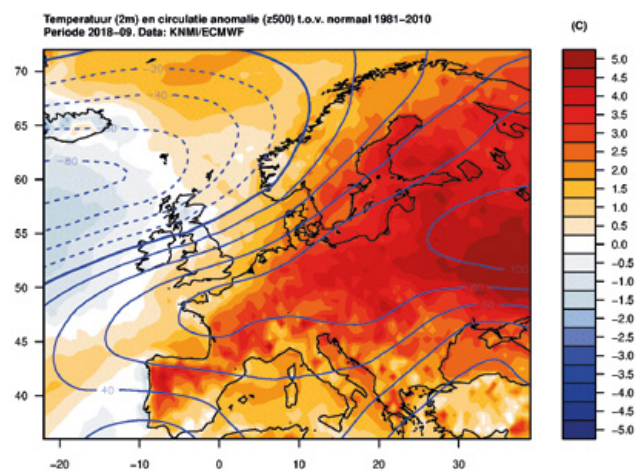
Het ruimtelijk patroon van het potentiële neerslagtekort liet begin augustus nog een stijging zien in geheel Nederland. Op 11 augustus (bijlage 1) was er in het noordwestelijk deel van het land sprake van een duidelijke daling, elders niet. Daarna steeg het tekort op veel plaatsen weer licht (21 augustus). Door de buien was het tekort aan het einde van de maand met name in het westen lager.

2.7 Weerbeeld september 2018

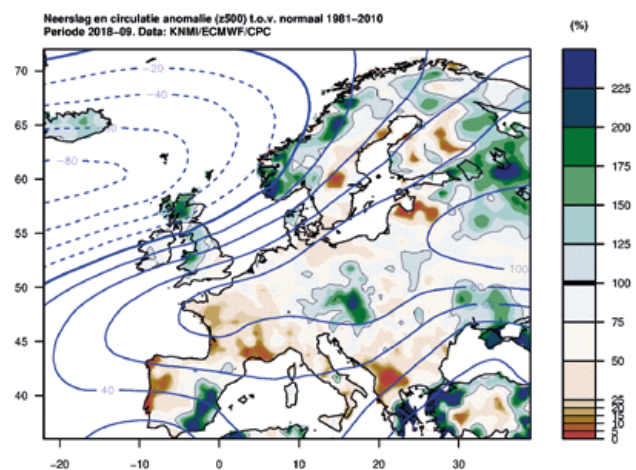
Met een gemiddelde temperatuur van 14,7°C tegen een langjarig gemiddelde van 14,5°C was september iets warmer dan normaal. Met landelijk gemiddeld een hoeveelheid neerslag van 52 millimeter tegen 78 millimeter normaal was september ook vrij droog. De regionale verschillen waren echter zeer groot. Met gemiddelde over het land 193 uur zon tegen 143 uur normaal was de maand zeer zonnig.

De anomalie van het drukpatroon op 500 hPa in september week weinig af van het patroon in augustus. Het zwaartepunt van een positieve anomalie lag boven Oost-Europa met uitloper tot boven de Golf van Biscaye. De negatieve anomalie lag deze maand wat zuidwestelijker dan in augustus, ten zuiden van Ierland (figuur 2.24).

Door deze verdeling was het in geheel Europa warmer dan normaal (figuur 2.24). Aan de noordflank van de positieve drukanomalie was het vaak natter dan normaal (bijvoorbeeld in Noorwegen), onder de positieve drukanomalie droger dan normaal (figuur 2.25).



Figuur 2.24 Temperatuur-anomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in september 2018.

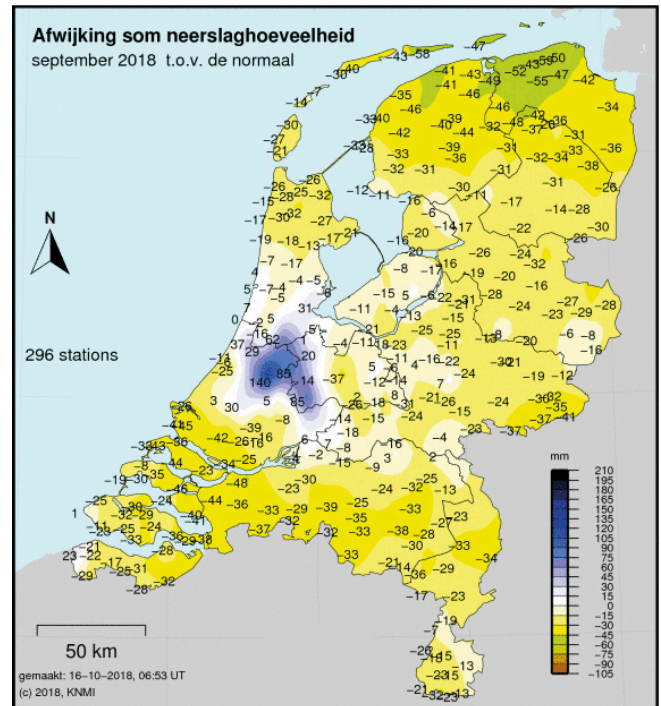
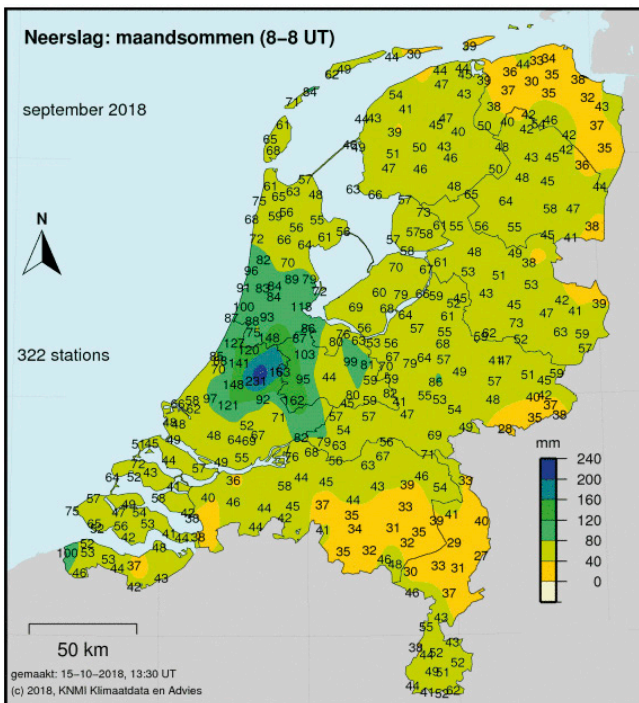


Figuur 2.25 Neerslaganomalie (2m) en drukanomalie 500 hPa in september 2018.

De eerste dagen van september verliepen droog. Op 5 september lag er een gebied met onweersbuien boven het westen van het land. Omdat er vrij weinig wind stond, trok dit gebied slechts zeer langzaam naar het noordwesten en viel er lokaal zeer veel neerslag. Op grote schaal viel er in en rond het Groene Hart veertig tot zeventig millimeter regen, lokaal zelfs meer dan honderd millimeter. Ook op 6 en 7 september viel er in het westen, en later in het noorden, nog veel neerslag met lokaal twintig tot 25 millimeter. Daarna werd het vanaf 8 september nagenoeg droog tot en met 20 september. Vervolgens werd het weer wisselvallig. Op 23 september

regende het langdurig in een groot deel van het land. De meeste regen viel die dag in het zuiden van het land, circa twintig millimeter. Vanaf de 24 september werd het droog en viel er de rest van de maand vrijwel geen neerslag meer.

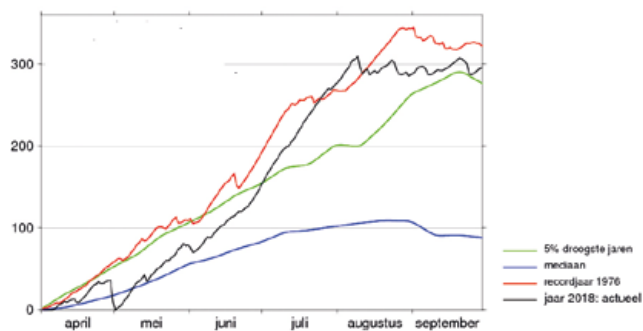
De ruimtelijke verdeling van de neerslagsommen en de afwijking ten opzichte van normaal (figuur 2.26) laat zien dat in een groot deel van het land minder neerslag viel dan gebruikelijk. In het noorden was de negatieve anomalie het grootst. In delen van Zuid- en Noord-Holland en Utrecht viel veel meer neerslag dan gebruikelijk. Oorzaak waren de zware buien van begin september.



Figuur 2.26 Maandsom neerslag op KNMI-neerslagstations en afwijking (anomalie) ten opzichte van het langjarige gemiddelde, 1981-2010, maand september 2018.

2.7.1 Ontwikkeling potentieel neerslagtekort in september 2018

Na het maximum (landelijk gemiddeld) van begin augustus bleef het potentieel neerslagtekort tot en met eind september fluctueren binnen een vrij smalle band van circa 280 – 305 millimeter. Begin september was het droog en steeg het tekort licht, daarna volgde een daling van 5 tot en met 7 september. Daarna steeg het tekort tot de 20 september waarna het weer daalde door het wisselvallige weer. Vanaf de 24^e september werd het opnieuw droog en steeg het tekort.



Figuur 2.27 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort in millimeter, gemiddeld over het land tot eind september 2018. Fragment van grafiek website KNMI. Mediaan en vijf procent droogste jaren zijn de niveaus die in vijftig procent, respectievelijk vijf procent van de jaren worden overschreden. 1976 kende het hoogste maximale neerslagtekort sinds 1906 en is om die reden ingetekend.

In bijlage 1 wordt het ruimtelijk beeld van het potentieel neerslagtekort voor een aantal dagen in september gegeven. Opvallend is dat in een aantal regio's in het zuidoosten van het land het tekort nog steeg en in september de maximale waarde bereikte, terwijl in de noordwestelijke helft van het land het tekort in het algemeen daalde.

3 Het maximale neerslagtekort in 2018

Paragraaf 2.1 beschrijft hoe het potentieel neerslagtekort wordt berekend. Dit hoofdstuk presenteert het ruimtelijk beeld (1x1 km) van het potentiële neerslagtekort in ons land.

De benodigde berekeningen om tot het ruimtelijk beeld en afgeleide producten te komen zijn uitgevoerd in een Geografisch Informatie Systeem (GIS), met de volgende invoergegevens:

- Neerslag - 24-uurneerslagaccumulaties (08-08 uur UT) van klimatologische met regenmeterdata gecorrigeerde radardataset voor Nederland (1 km raster)⁶
- Potentiële referentiegewasverdamping (0-24 uur UT) - geïnterpoleerde dagelijkse Makkink verdamping in Nederland (1 km raster)⁷

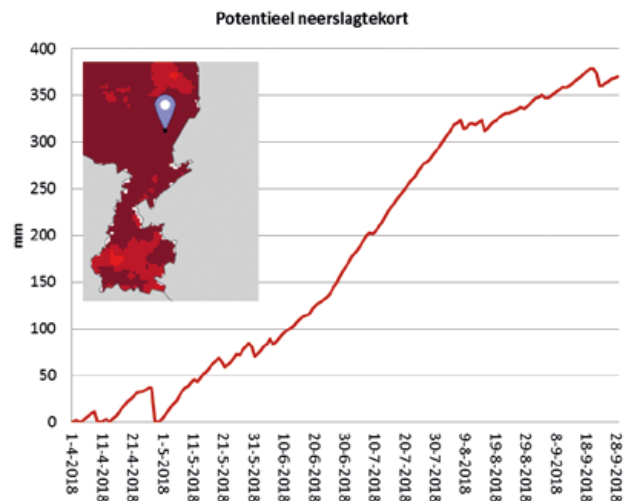
De berekening is gestart op 1 april 2018 en liep door tot en met 30 september 2018. De verdamping van dag N+1 (0-24 uur UT) is steeds gecombineerd met de neerslaggegevens (08-08 uur UT) van dag N+2 omdat op deze manier de grootste overlap in tijd wordt verkregen⁸.

3.1 Ruimtelijke verdeling maximale neerslagtekort

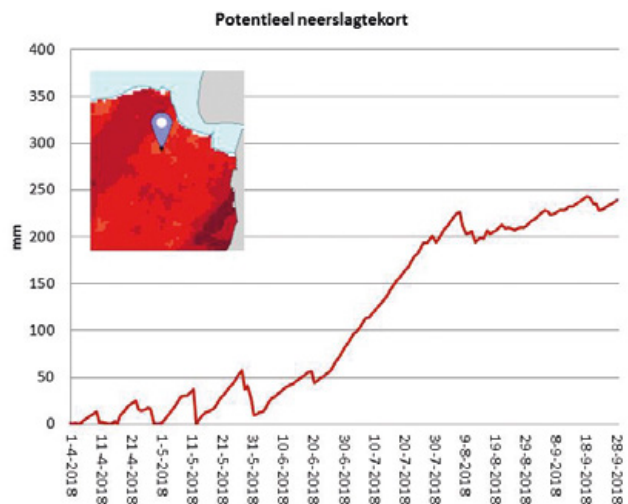
Figuur 3.1 geeft de maximaal bereikte waarde van het potentiële neerslagtekort weer die is bereikt in het tijdvak tussen 1 april en 30 september, op een resolutie van 1x1 kilometer.

De hoogste waarden van het potentieel neerslagtekort kwamen voor in de zuidoostelijke helft van het land. In delen van Gelderland, Overijssel, Zeeuws-Vlaanderen, Noord-Brabant en Limburg werd een waarde van circa 350-370 millimeter bereikt. (figuur 3.2).

Daar waar (herhaaldelijk) zware onweersbuien vielen, vooral in mei, bereikte het potentiële neerslagtekort een minder hoge waarde van lokaal 200-250 millimeter (figuur 3.3).



Figuur 3.2 Voorbeeld ontwikkeling potentieel neerslagtekort op een locatie in Limburg. Het tekort liet vanaf begin mei een vrijwel voortdurende stijgende lijn zien tot een niveau van circa 378 millimeter. Dit maximum werd rond 20 september bereikt.

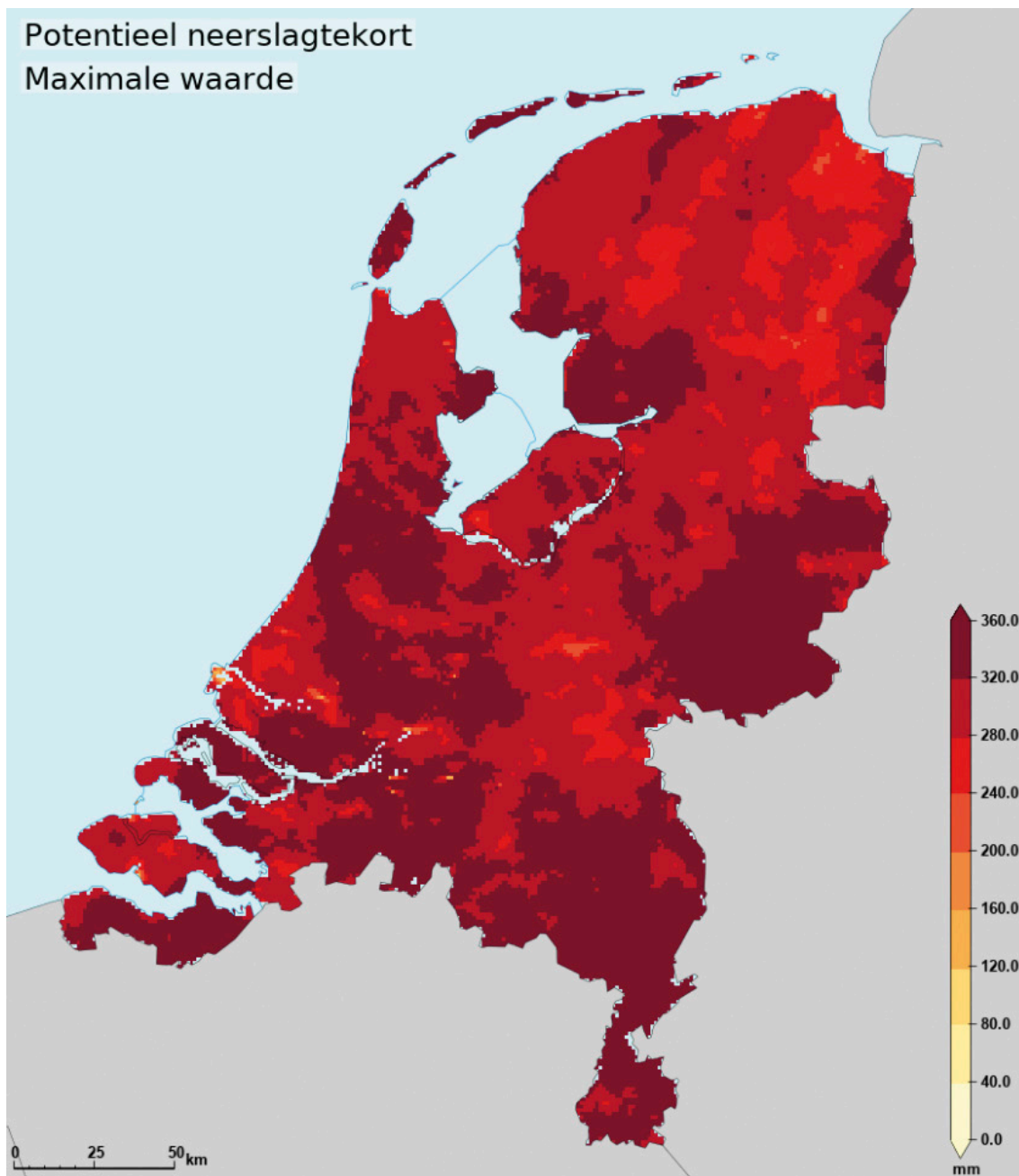


Figuur 3.3 Voorbeeld ontwikkeling potentieel neerslagtekort op een locatie in Groningen. Door zware onweersbuien in mei liet het tekort een aantal malen een forste daling zien. Uiteindelijk steeg het tekort in de eerste week van augustus tot circa 230 millimeter waarna buien weer voor een daling zorgden. In september liep het tekort weer geleidelijk op naar circa 250 millimeter.

⁶ https://data.knmi.nl/datasets/rad_nl25_rac_mfbs_24h/2.0?q=precipitation,gauged&dtstart=2018-01-01T00:00Z&dtend=2018-10-31T23:59Z

⁷ <https://data.knmi.nl/datasets/EV2q/2?q=verdamping>

⁸ De potentiële referentiegewasverdamping wordt berekend uit gegevens van o.a. globale straling. Als er geen daglicht is zal de verdamping nul zijn.



Figuur 3.1 Maximaal behaalde waarde potentieel neerslagtekort (mm), 2018. Kaartresolutie 1x1 km⁹.

Kaarten van het potentieel neerslagtekort zijn online beschikbaar

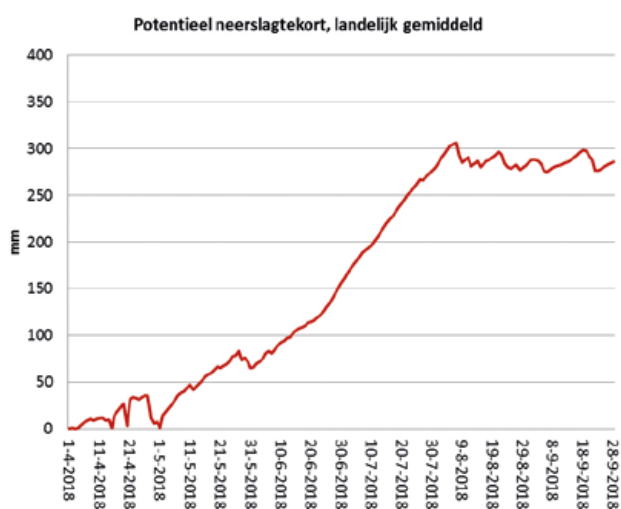
De kaart met de maximale waarde van het potentieel neerslagtekort en de onderliggende kaarten met de waarde van het tekort per dag, zijn online beschikbaar via [https://www.geoservices.knmi.nl/droogtekaart 2018](https://www.geoservices.knmi.nl/droogtekaart%202018)

De kaarten worden gepresenteerd in een kaartviewer. De functionaliteit van de viewer is beschreven in bijlage 2 van deze rapportage.

⁹ De Maasvlakte laat een onrealistisch lage waarde zien van het maximaal potentieel neerslagtekort. De oorzaak is gelegen in 'valse' radarreflecties ('clutter') waardoor er onterecht een neerslagsignaal ontstaat. Deze reflecties zijn soms niet te scheiden van 'echte' neerslag.

3.2 Datum waarop maximale tekort werd bereikt

Figuur 3.4 geeft het verloop van het potentiële neerslagtekort weer als functie van de tijd, gemiddeld over het land op basis van alle 1x1 kilometer rastercellen. Het maximale tekort werd bereikt op 8 augustus en bedroeg landelijk gemiddeld 306 mm¹⁰.

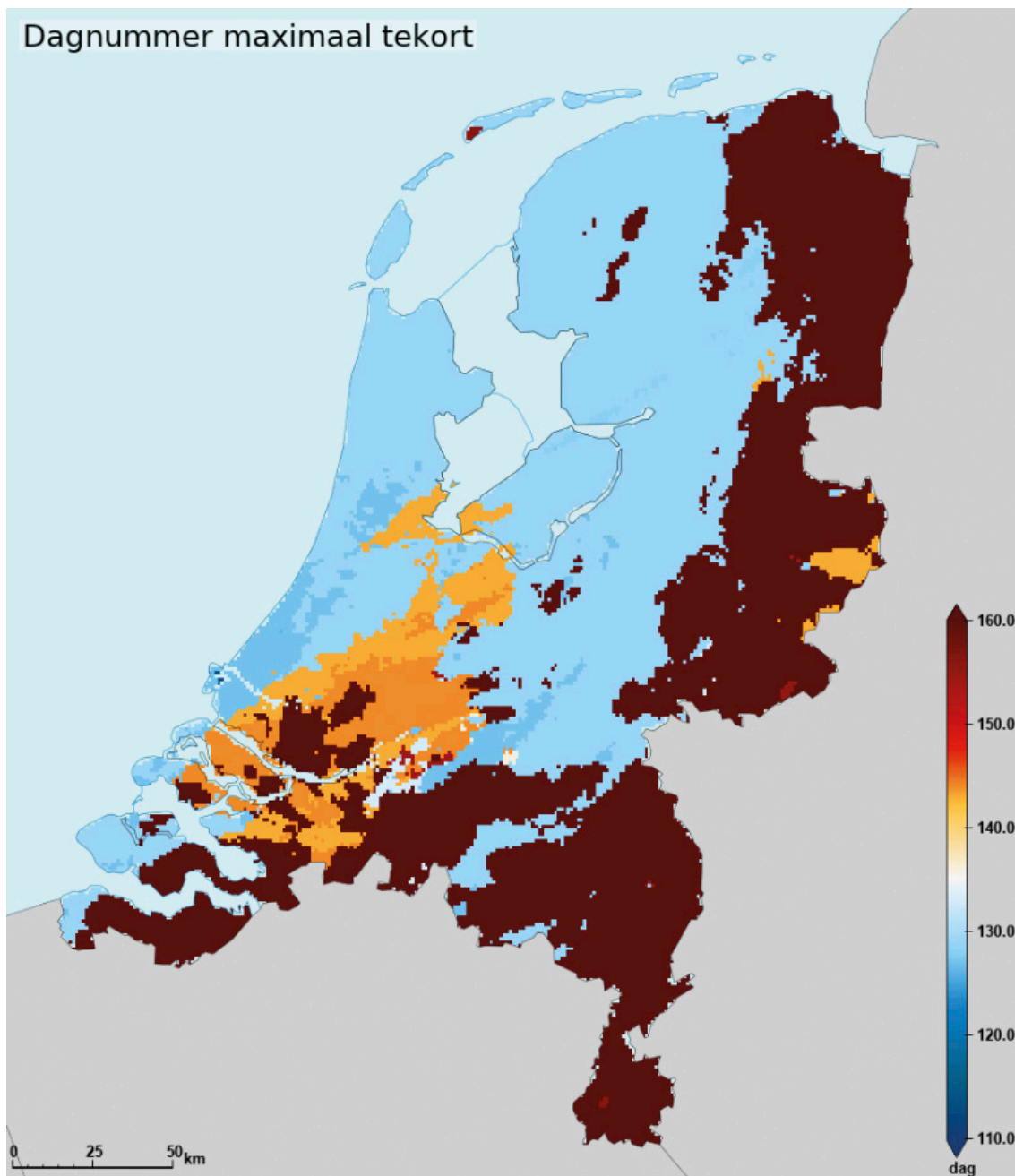


Figuur 3.4 Ontwikkeling van het potentiële neerslagtekort (mm), gemiddeld over het land op basis van alle 1x1 km rastercellen uit figuur 3.1. De maximale waarde was 306 millimeter.

Niet in het hele land werd het maximale tekort op dezelfde datum bereikt, de datum was afhankelijk van het moment dat in augustus de neerslag de verdamping overtrof. Voor iedere gridcel is bepaald op welke datum het maximale potentiële neerslagtekort werd bereikt, het resultaat wordt gepresenteerd in figuur 3.5.

Uit figuur 3.5 wordt duidelijk dat in een groot deel van het land de het maximale tekort werd bereikt rond 8 augustus. Met name langs de oostgrens (delen van Gelderland, Groningen en Limburg) was dit veel later, lokaal pas rond 20 september.

¹⁰ In hoofdstuk 4 wordt de herhalingstijd van de droogte afgeleid op basis van het maximale potentiële neerslagtekort zoals dit werd bepaald in het operationele monitorings-product op basis van dertien KNMI neerslagstations. Het maximale tekort uit dertien KNMI-stations bedroeg 309 millimeter. Het verschil tussen 306 en 309 millimeter wordt voornamelijk veroorzaakt door de steekproefgrootte (geheel Nederland 1x1 mm versus dertien puntmetingen).



Figuur 3.5 Aantal dagen na 1 april waarop het maximale potentiële neerslagtekort werd bereikt: 1 augustus = dag 123, dagnummer 130 = 8 augustus, 140 = 18 augustus, 150 = 28 augustus, 160 = 7 september.

4 Herhalingstijd van de droogte in 2018

In 2004 droeg het KNMI bij aan de Nationale Droogtestudie Nederland¹¹. In dat rapport is ook een kansverdeling voor het maximale neerslagtekort in Nederland afgeleid. Op basis daarvan kan een uitspraak gedaan worden over de kans waarmee een historisch maximaal neerslagtekort overschreden wordt. Het is gebruikelijk om die kans uit te drukken in een zogenoemde herhalingstijd. Hoe kleiner de kans, hoe langer de herhalingstijd.

Voor het afleiden van zo'n kansverdeling met een zo klein mogelijke onzekerheid, is het van belang dat de historische reeks met maximale neerslagtekorten zo lang en homogeen mogelijk is. In 2004 is hiervoor de historische periode 1906-2000 gebruikt. Daarbij werd het (maximale) neerslagtekort voor elk jaar berekend uit de aftappingen van dertien KNMI-neerslagstations verspreid over Nederland (aangeduid met L13) en de dagelijkse Makkink verdamping (ofwel de potentiële referentie gewasverdamping) van slechts 1 station, namelijk het KNMI-station De Bilt.

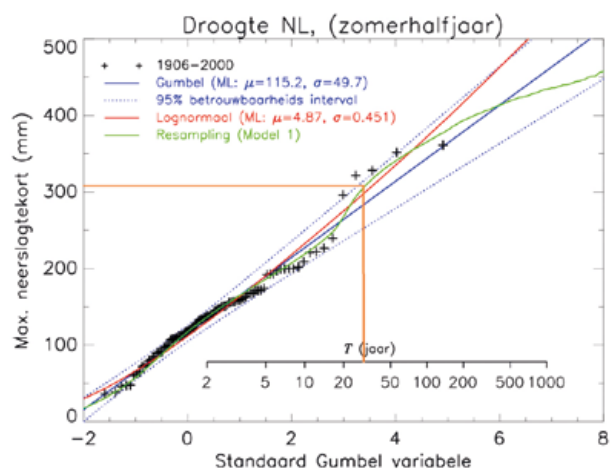
Idealiter wordt de Makkink verdamping berekend uit de gemeten globale straling en de temperatuur. Globale straling wordt in Nederland echter pas vanaf de jaren zestig systematisch gemeten. Station De Bilt is het eerste station waar dagelijks de globale straling gemeten wordt en hiermee werd aangevangen in 1958. Echter voor station De Bilt zijn vanaf 1906 wel dagelijkse zonneshijnduur metingen beschikbaar en de globale straling kan uit de zonneshijnduur geschat worden.

Indien de zonneshijnduur gebruikt wordt in plaats van de globale straling kan dus voor het afleiden van de kansverdeling voor het maximale neerslagtekort een reeks vanaf 1906 in plaats van vanaf 1958 gebruikt worden, wat vanuit statistisch oogpunt verre te prefereren is. Helaas worden er vanaf ongeveer 2001 geen systematische zonneshijnduur metingen meer in Nederland verricht, wel wordt de globale straling gemeten, zo ook op station De Bilt. Het ligt daarmee voor de hand om vanaf 2001 bij de neerslagtekort berekening voor Nederland in plaats van de Makkink verdamping voor station De Bilt op basis van de zonneshijnduur de Makkink verdamping voor station De Bilt op basis van de globale straling te gebruiken. Hiermee wordt weliswaar een inhomogeniteit in de berekening van het neerslagtekort voor Nederland geïntroduceerd maar dit is onvermijdelijk omdat geen enkele verdampingsberekening voor de hele periode 1906 tot nu beschikbaar is. De neerslagtekort berekening op deze wijze vanaf 2001 continueren geeft ook de kleinste mogelijke inhomogeniteit en daarmee de beste mogelijk-

heid om de kansverdeling voor het neerslagtekort die op de periode 1906-2000 is afgeleid te blijven gebruiken voor het bepalen van de herhalingstijden van de neerslagtekorten vanaf 2001.

Op deze wijze is in 2004 ook de herhalingstijd voor het neerslagtekort van 2003 afgeleid. En op deze wijze is nu ook de herhalingstijd voor het maximale neerslagtekort in Nederland in 2018 (309 millimeter) berekend (figuur 4.1). Figuur 4.1 is overgenomen uit Beersma e.a. (2004) en bevat de kansverdeling die in dat rapport is gebruikt om de herhalingstijden voor een aantal historische jaren (inclusief 2003) te berekenen. Het gaat om de (cumulatieve) kansverdeling die wordt weergegeven door de groene lijn in de figuur. Deze kansverdeling geeft voor het maximale neerslagtekort van 2018 van 309 millimeter een herhalingstijd van ongeveer dertig jaar (zie oranje lijn).

Hierbij is echter nog wel een ding van belang. Er zit geen (historische) trend in het maximale neerslagtekort in Nederland en daarmee kan de in 2004 afgeleide kansverdeling gebruikt blijven worden. Een trend in het neerslagtekort ligt voor de hand omdat er wel systematische trends in met name de temperatuur en de neerslag in Nederland te zien zijn (beide nemen toe). Er blijkt echter dat er (nog) geen systematische trend in het maximale neerslagtekort gemiddeld over Nederland merkbaar is (zie hoofdstuk 5). Hierdoor kan de in 2004 afgeleide kansverdeling voor het neerslagtekort van 2018 gebruikt blijven worden, net als dat in 2004 voor het neerslagtekort van 2003 (tot 2018 het meest recente droge jaar) is gedaan.



Figuur 4.1 Afleiding van de herhalingstijd van de droogte in 2018 op basis van het maximale potentiële neerslagtekort, gemiddeld over het land (L13=309 mm). De herhalingstijd is circa dertig jaar.

¹¹ Beersma, J.J., T.A. Buijsand en H. Buiteveld, 2004. Droog, droger, droogst; KNMI/RIZA-bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland. KNMI-publicatie 199-II, KNMI, De Bilt.

Historisch gezien komt 2018 met 309 millimeter op de vijfde plek (tabel 4.1). Koploper blijft 1976 met een maximaal neerslagtekort van 361 millimeter gevolgd door 1959 met 352 millimeter. Voor de top zes van historische jaren en voor 2003 (tiende plek) is het maximale neerslagtekort en de bijbehorende berekende herhalingstijd weergegeven in onderstaande tabel (Let wel: Herhalingstijden in tabel 4.1 zijn afgerond op vijf jaar).

Rangorde	Jaar	Neerslag-tekort [mm]	Herhalingstijd [jaar]
1	1976	361	90
2	1959	352	70
..3	1911	328	45
4	1921	321	40
5	2018	309	30
..6	1947	296	25
...			
10	2003	234	10

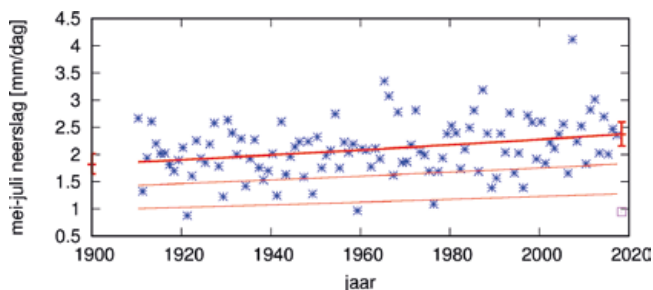
Tabel 4.1 Het maximale neerslagtekort in een aantal droge jaren, gemiddeld over het land. Herhalingstijd afgerond op vijf jaren. Analyse vanaf 1906.

5 De droogte van zomer 2018 in de context van klimaatverandering

Zoals besproken in hoofdstukken 2 - 4 waren de maanden mei - juli uitzonderlijk droog in Nederland. De droogte bestaat uit twee componenten: Gebrek aan neerslag en hoge potentiële verdamping. Dit hoofdstuk analyseert eerst de lage neerslag en daarna de hoge potentiële verdamping. Vervolgens bespreekt het hoofdstuk de scenario's voor het potentiële neerslagtekort.

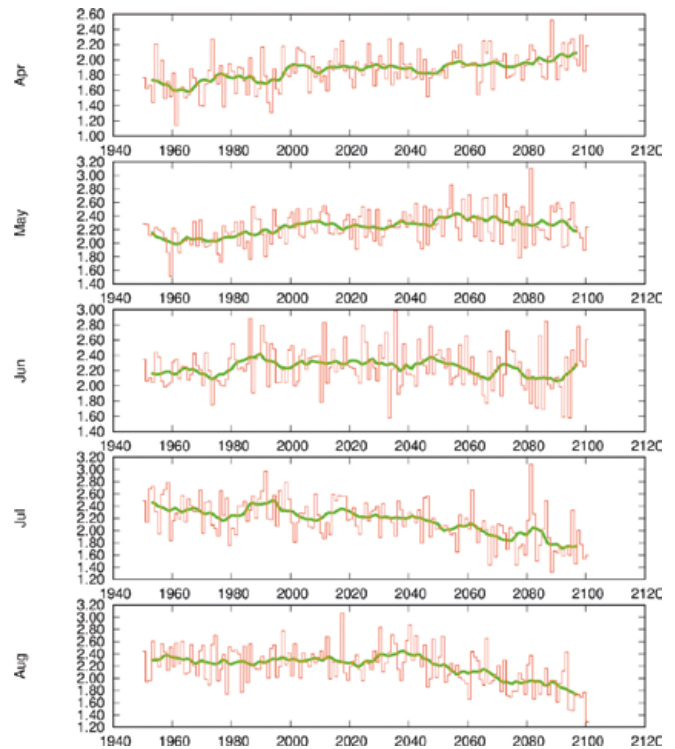
5.1 Zomerneerslag en klimaatverandering

De waarnemingen laten gemiddeld over Nederland een toename van de neerslag zien in de lente en de zomer, zo'n vijftien tot dertig procent. Deze toename is vooral langs de kust. Dit resulteert in een afname van de kans op een lage neerslag zoals in mei - juli 2018 met een factor van ongeveer twee: Zo'n droge periode is nu minder waarschijnlijk dan honderd jaar geleden. Het jaar 2018 was uitzonderlijk in deze reeks, met een herhalingstijd van de mei - juli neerslagsom van ongeveer 250 jaar (meer dan negentig jaar).



Figuur 5.1 mei - juli gemiddelde dagneerslag van 1910 2017 (blauw) met een fit aan een normaalverdeling die schaalt met de tijd (rood). De waarde in 2018 (vierkant) is, tegen de trend in, heel laag.

Het regionale klimaatmodel RACMO laat een soortgelijk beeld zien (figuur 5.2): Een toename van de neerslag tot nu toe, vooral aan de kust. Deze toename is echter wat kleiner. In dit model neemt de mei - juli neerslag in De Bilt met ongeveer zeven procent (-één tot vijftien %) af tot 2018. Voor de toekomst voorspelt dit model een verdere toename in april, een lichte afname in mei en juni, en een zeer sterke afname van de neerslag in juli en augustus beginnend rond 2040.



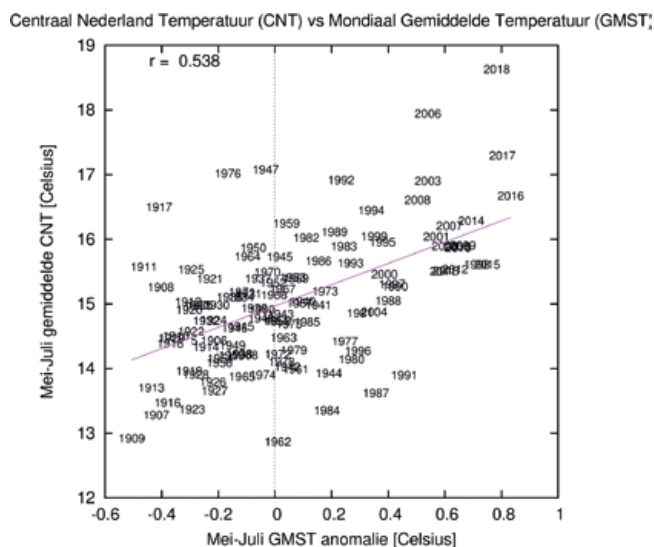
Figuur 5.2 Neerslagverloop per maand in De Bilt gemiddeld over de zestien ensembleleden van het RACMO regionale klimaatmodel met het hoge emissiescenario RCP8.5. De groene lijn geeft een tien jaar lopend gemiddelde aan.

Dit gedrag komt in meer klimaatmodellen voor, maar niet in alle. Ook de startdatum van de afname varieert van 2020 tot 2040. Op basis daarvan zijn in de KNMI'14 klimaatscenario's de L en H scenario's gedifferentieerd. De L scenario's beschrijven de mogelijkheid dat deze afname van de hoogzomerneerslag niet optreedt en de H scenario's zeggen dat dat wel gaat gebeuren. De niet-lineariteit van de respons, een toename van de zomerneerslag tot ergens tussen 2020 en 2040, en een afname daarna, is echter niet in de scenario's verwerkt.

5.2 Potentiële verdamping en klimaatverandering

Zoals in de hoofdstuk 1 besproken, wordt de potentiële verdamping bepaald door de temperatuur en de zonnestraling. Hoe hoger de temperatuur en hoe hoger de zonnestraling, des te groter de potentiële verdamping.

De temperatuur in Nederland is de afgelopen eeuw sterk opgelopen. Het is hier nu zo'n 1,5 tot 2,0°C warmer dan aan het begin van de twintigste eeuw (figuur 5.3). De trends sinds 1950 zijn nog wat hoger. De laatste jaren lijken warmer dan op basis van dit lineaire verband verwacht zou worden, met een trend rond de twee keer de wereldwijde temperatuurstijging. De temperatuur gemiddeld over mei - juli en de meteorologische zomer, juni - augustus, was het hoogste in deze reeks (en ook in de historische reeks die tot 1706 teruggaat). In het huidige klimaat is dit niet eens zo heel uitzonderlijk meer, maar een eeuw geleden was dit bijna onmogelijk geweest.

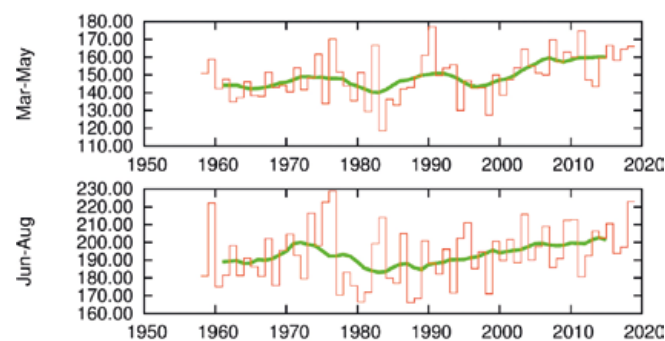


Figuur 5.3 Centraal Nederland Temperatuur versus de wereldgemiddelde temperatuur, tijdvak mei - juli.

Uiteraard gaan de KNMI'14 klimaatscenario's uit van een verdere temperatuurstijging, die afhankelijk is van de verandering in circulatie en van de mondiale temperatuurstijging. Deze laatste factor hangt weer van af hoe snel we er in slagen de uitstoot van broeikasgassen naar vrijwel nul te reduceren. De verder oplopende temperaturen doen de potentiële verdamping verder oplopen.

De ander factor in de berekening van de potentiële verdamping is de inkomende zonnestraling aan de grond. Deze heeft sinds het begin van de jaren 1970 twee langjarige trends laten zien: Een

afname tot midden jaren 1980 en een even grote toename daarna. Eerst een toename van de luchtvervuiling door aerosolen en daarna weer een afname daarvan, zorgde voor hiervoor. (Dit is ook terug te zien in het temperatuurverloop, met gemiddeld koelere zomers in de periode 1975-1990 dan op basis van de trend verwacht zou worden.). Ook vertonen de metingen van de zonnestraling hier bovenop een trend naar meer zonnestraling in de lente en zomer (van Oldenborgh en anderen, 2009). Deze zou een gevolg kunnen zijn van minder bewolking in drogere lucht bij zuidenwind, aangezien het Middellandse Zee gebied droger wordt. Klimaatmodellen hebben deze trend ook maar lijken de grootte ervan te onderschatten.



Figuur 5.4 verloop van de inkomende kortgolvlige straling (directe plus indirecte zonnestraling) in de Bilt 1958-2018. De metingen zijn tot begin jaren 1970 minder betrouwbaar.

Op basis van klimaatmodellen geven de KNMI'14 klimaatscenario's tot 2100 een verdere toename van de kortgolvlige straling met één procent tot 9.5 procent. Gegeven de trend tot nu toe zou dit een onderschatting kunnen zijn, hiervoor is verder onderzoek nodig en de resultaten daarvan worden in de volgende scenario's verwerkt.

De verder oplopende temperatuur en de toenemende kortgolvlige straling aan de grond geven een toenemende potentiële verdamping, in de KNMI'14 scenario's tussen de 3.5% (GL) en 15% (WH).

5.3 Potentieel neerslagtekort en klimaatverandering

Over de afgelopen eeuw hebben de toename in zomerneerslag en potentiële verdamping door stijgende temperaturen en zonnigere zomers elkaar gecompenseerd, en is er geen trend in het potentiële neerslagtekort waar te nemen. De kans op een droge zomer zoals die van 2018 is dus tot nu toe niet veranderd door het versterkte broeikas effect, en we kunnen de droogte er niet (gedeeltelijk) aan toeschrijven. Dit geldt voor het gemiddelde over Nederland, het is nog onbekend of er regionaal wel trends zijn.

De combinatie van mogelijk sterk afnemende zomerneerslag in de toekomst en mogelijk sterk toenemende potentiële verdamping door hogere temperaturen en meer zonnestraling geeft voor de toekomst wel een risico op veel drogere zomers. In de KNMI'14 klimaatscenario's geeft bijvoorbeeld het W_H scenario in 2085 een toename van het gemiddelde maximale neerslagtekort van zo'n vijftig procent.

In plaats van naar de verandering in het gemiddelde maximale neerslagtekort volgens de KNMI'14 klimaatscenario's te kijken, kan die verandering ook vertaald/omgerekend worden naar een verandering van de herhalingstijd van extreme historische neerslagtekorten zoals gepresenteerd in tabel 5.1.

Dit geeft voor de maximale neerslagtekorten van 1976, 2018 en 2003, de volgende veranderingen in de herhalingstijden voor 2050 en 2085. De kortste herhalingstijd, in de weergegeven range, correspondeert hierbij met het meest extreme van de vier KNMI'14 klimaatscenario's. De langste herhalingstijd met het minst extreme klimaatscenario. In alle klimaatscenario's neemt de herhalingstijd af (en de kans dus toe). Voor het meest extreme scenario neemt de kans op deze historische events dus met een factor 3 tot 5 toe in 2085 (resp. 90/20, 30/10 en 10/2).

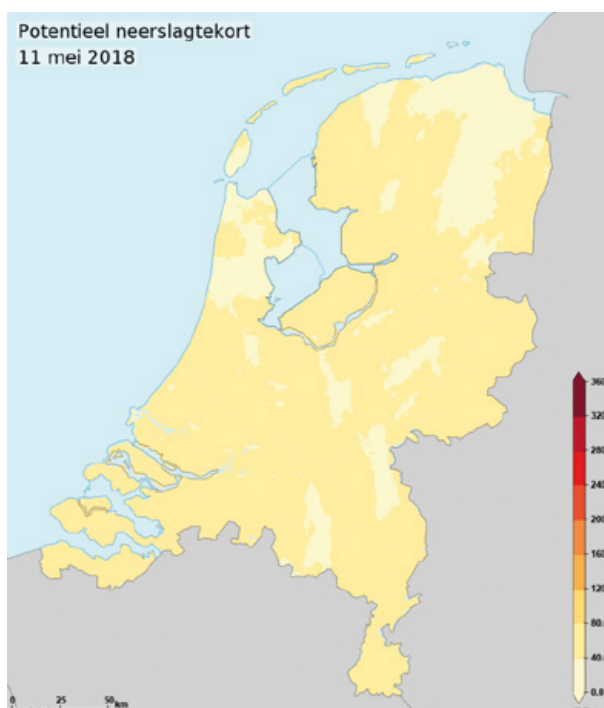
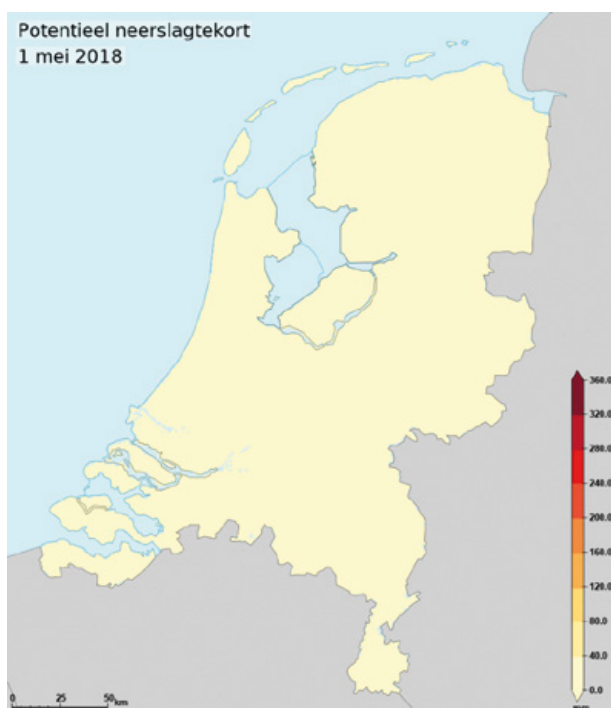
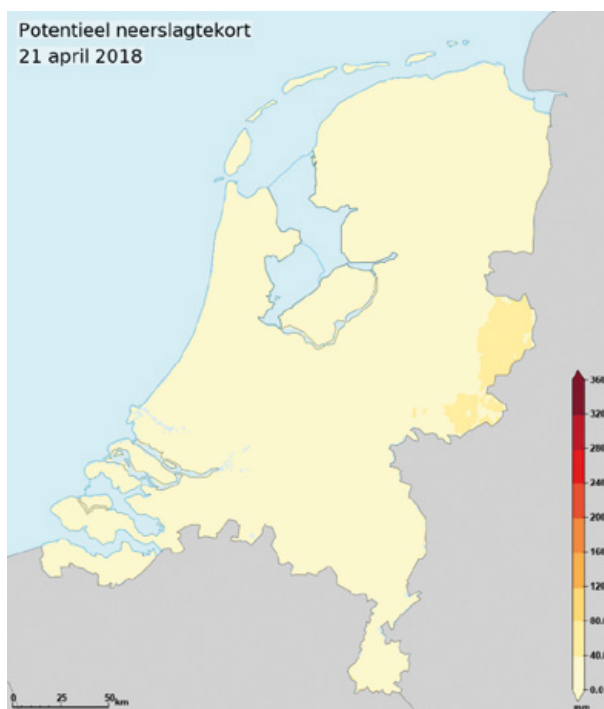
Rangorde	Jaar	Neerslag-tekort [mm]	Herhalingstijd [jaar]		
			Nu	2050	2085
1	1976	361	90	30 tot 60	20 tot 60
5	2018	309	30	15 tot 25	10 tot 25
10	2003	234	10	3 tot 8	2 tot 8

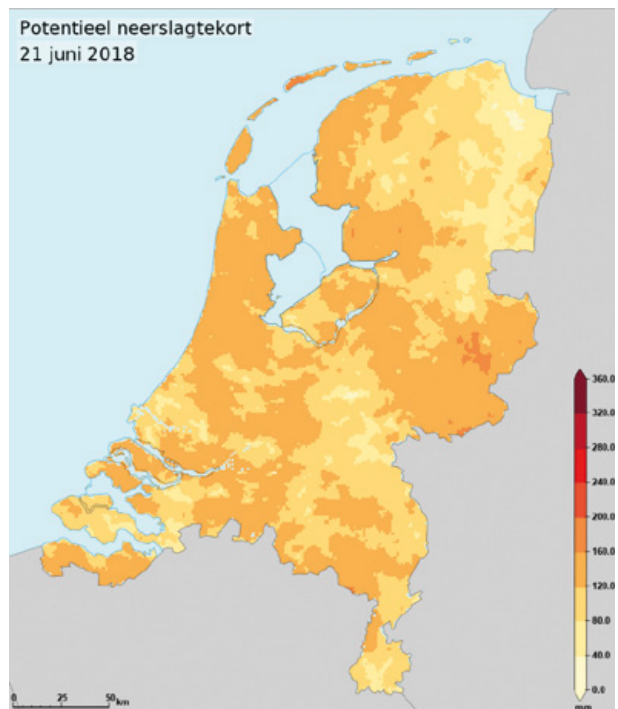
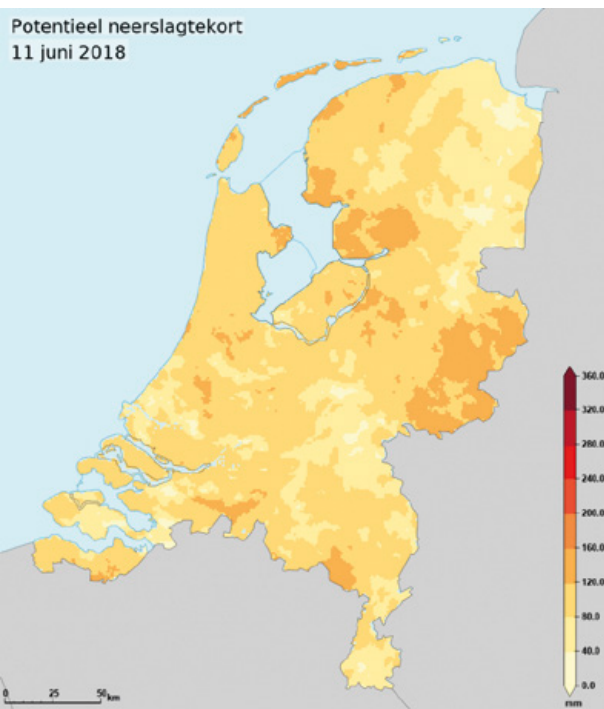
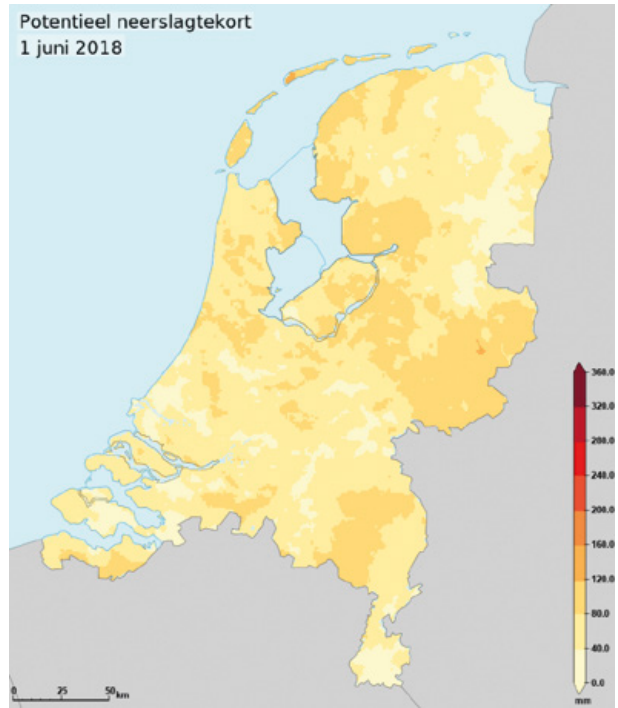
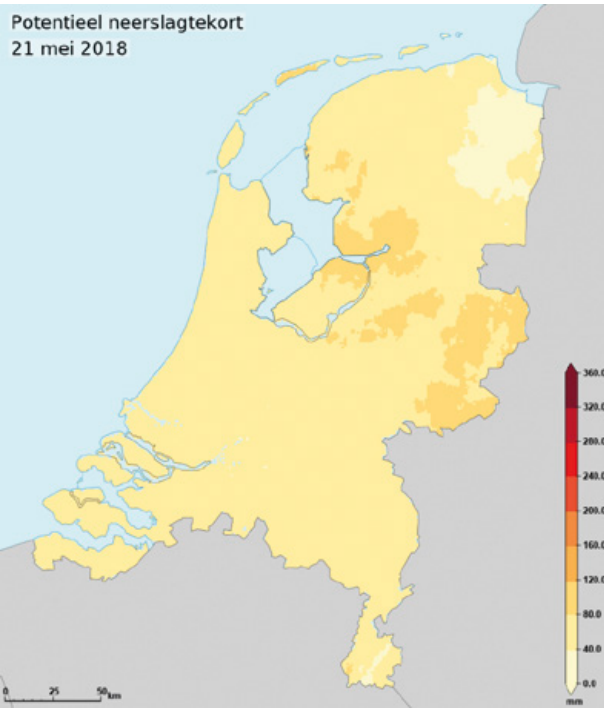
Tabel 5.1 Verandering in herhalingstijd van enkele historische jaren met een groot potentieel neerslagtekort op basis van de KNMI'14 klimaatscenario's.

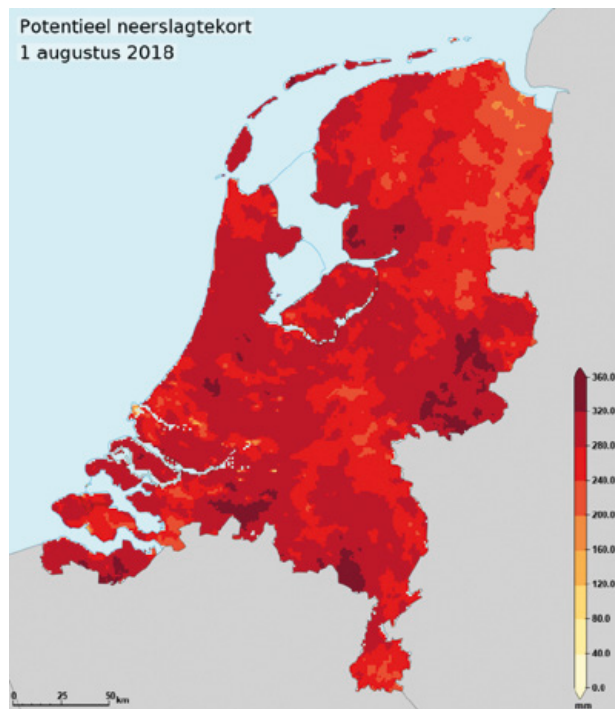
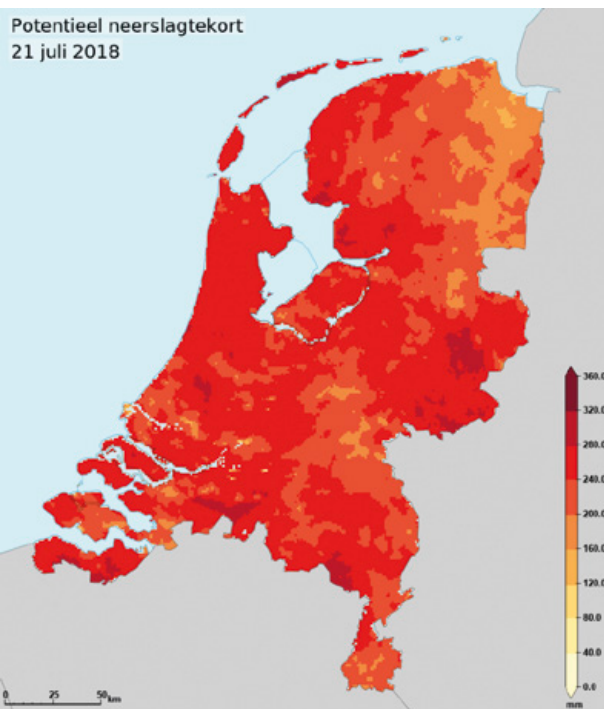
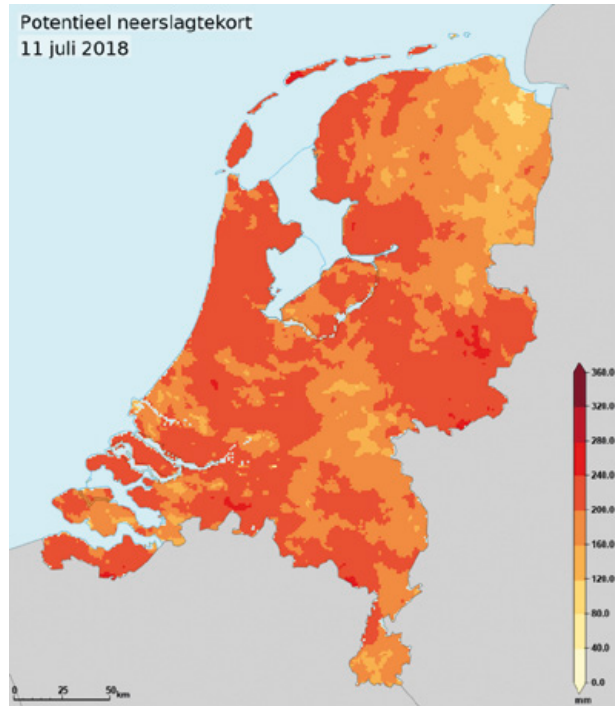
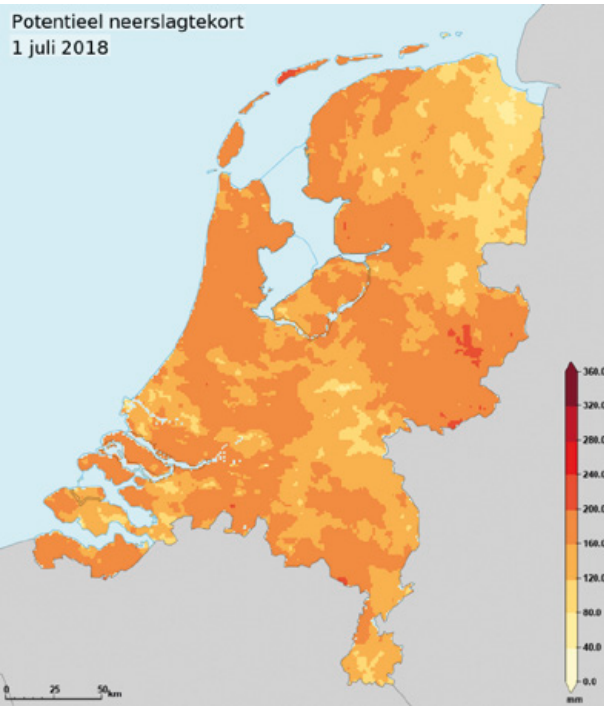
Bijlage 1:

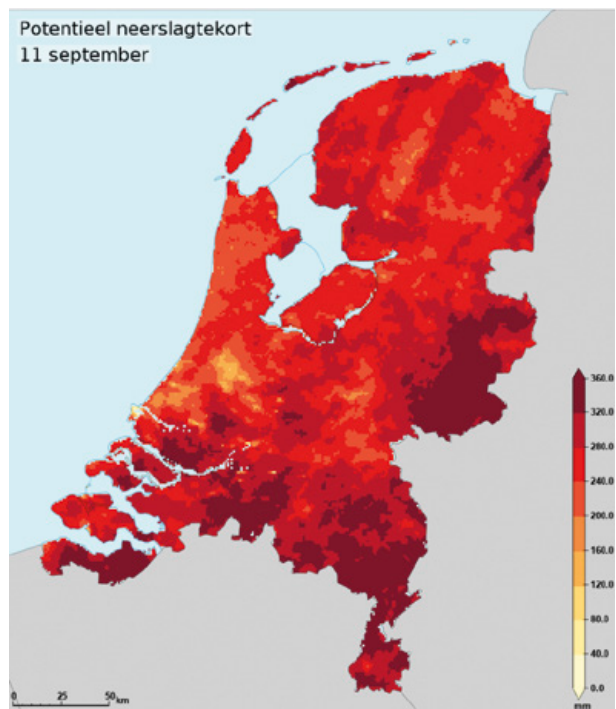
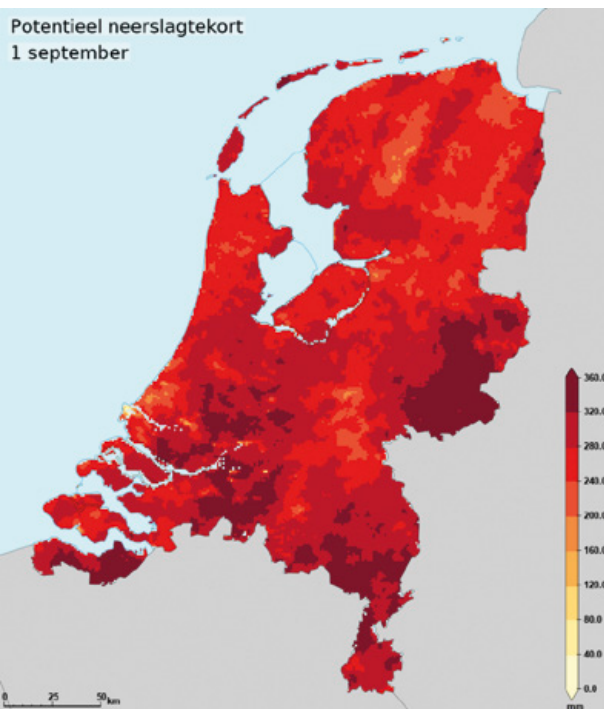
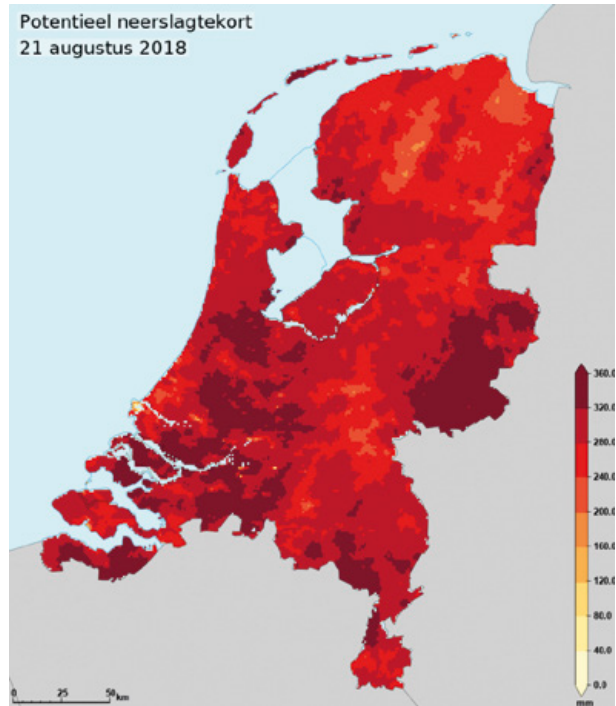
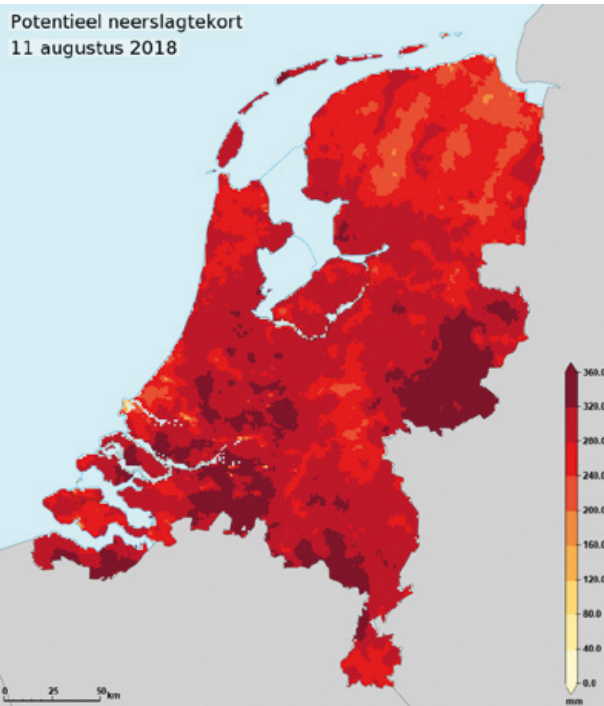
Het potentiële neerslagtekort op geselecteerde dagen

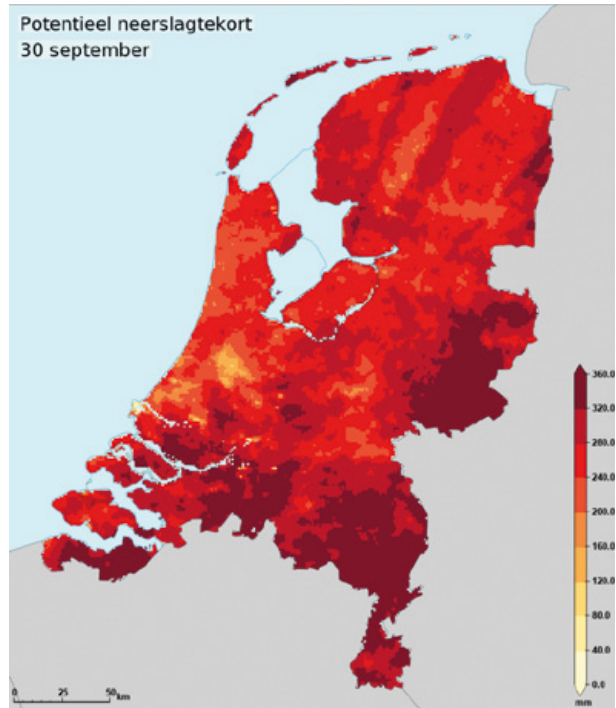
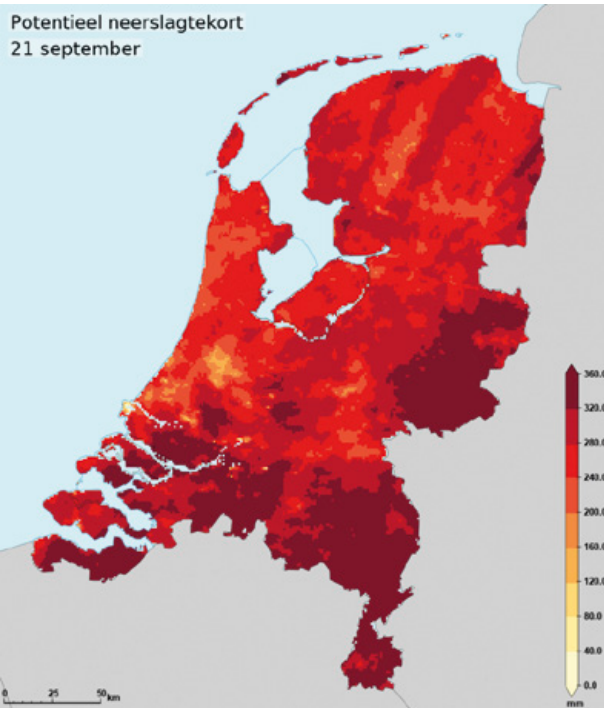
Het potentiële neerslagtekort op de 1^e, 11^e en 21^e in de maanden april tot en met september 2018.











Bijlage 2: Het potentieel neerslagtekort in 2018: Online kaarten

De kaart met de maximale waarde van het potentieel neerslagtekort in 2018, alsmede alle onderliggende kaarten op datum, zijn online beschikbaar via:

<https://geoservices.knmi.nl/droogtekaart 2018>.

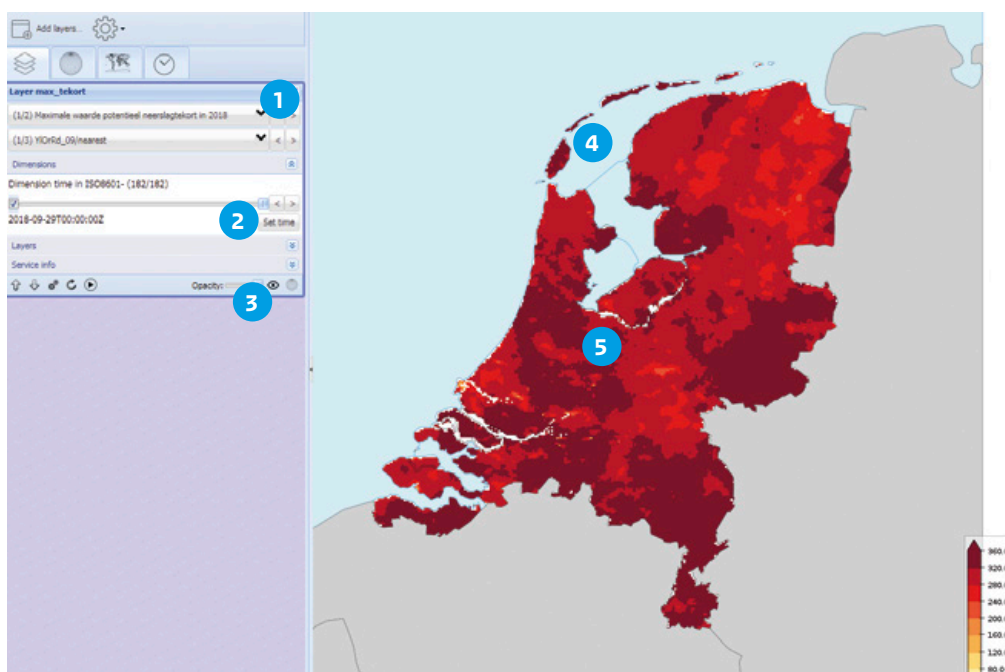
Het kaartmateriaal wordt gepresenteerd in een kaartviewer. De beschikbare functionaliteit van de viewer staat hieronder beknopt beschreven.

Onderstaande figuur toont een overzicht van de applicatie. Er zijn twee soorten kaarten beschikbaar:

- Kaart 'Maximaal bereikte waarde potentieel neerslagtekort in 2018' (opent de applicatie mee)
- Kaart 'Potentieel neerslagtekort per dag'

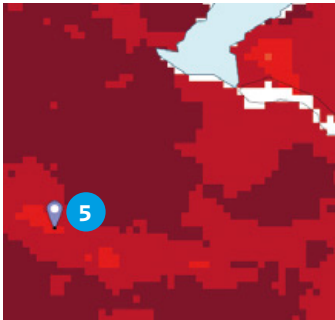
In het menu kan bij 1 gewisseld worden tussen beide kaarten. Indien de kaart 'potentieel neerslagtekort per dag' wordt gekozen, is het mogelijk om bij 2 door de dagelijkse kaarten in het tijdvak van 1 april tot eind september te bladeren (heen/terug), of een specifieke datum te laden.

Het is met 3 mogelijk om de kaart transparanter te maken zodat de onderliggende kaart van Nederland zichtbaar wordt. Door boven de kaart 4 te scrollen met de muis kan worden ingezoomd op een bepaalde regio. Door beide opties is het eenvoudig om heel gedetailleerd het neerslagtekort in een bepaalde regio te visualiseren.



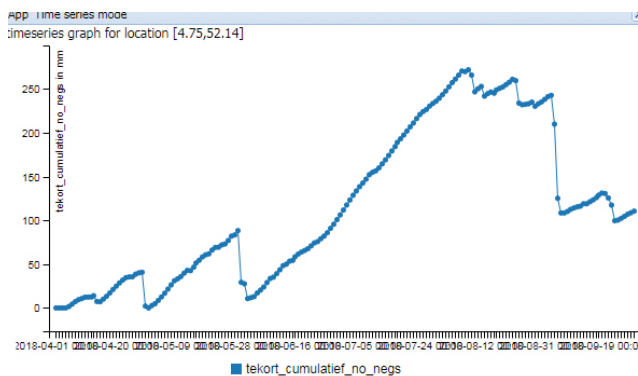
Figuur: Overzicht kaartviewer. De cijfers verwijzen naar de tekst.

Door met de muis in een kaart te klikken **5** zal er een marker worden geplaatst. Voor dat punt verschijnt vervolgens een grafiek.

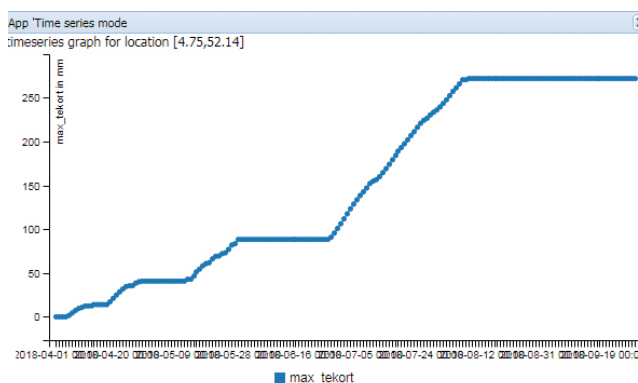


Afhankelijk van de gekozen kaart zal de grafiek andere informatie geven:

Kaart 'Potentieel neerslagtekort per dag': De grafiek laat het verloop van het potentieel neerslagtekort zien van 1 april tot aan eind september. Het maakt daarbij niet uit welke datumkaart er op dat moment wordt gepresenteerd in de viewer (zie hieronder).



Kaart 'Maximaal bereikte waarde potentieel neerslagtekort in 2018': Zolang het neerslagtekort stijgt, zal de lijn in de grafiek ook stijgen. Op het moment dat het tekort daalt zal in de grafiek het hoogste niveau tot dan toe worden vastgehouden. Op deze manier is de datum van het maximale tekort eenvoudig af te lezen (zie hieronder).



Dit is een uitgave van:

KNMI

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl

© KNMI | november 2018 | 117162