

Klimaatstresstest voor Dagvlinders in Drenthe



Klimaatstresstest voor Dagvlinders in Drenthe



Klimaatstresstest voor Dagvlinders in Drenthe

Tekst

Michiel Wallis de Vries

Foto's

Kim Huskens, Chris van Swaay en Michiel Wallis de Vries

Met medewerking van

Bas Oteman

Rapportnummer

VS2019.021

Projectnummer

P-2018.126

Productie

De Vlinderstichting
Mennonietenweg 10
Postbus 506
6700 AM Wageningen
T 0317 46 73 46
E info@vlinderstichting.nl
www.vlinderstichting.nl

Subsidiegever

Provincie Drenthe

Deze publicatie kan worden geciteerd als

Wallis de Vries, M.F. & Oteman, B. (2019). *Klimaatstresstest voor Dagvlinders in Drenthe*. Rapport VS2019.021, De Vlinderstichting, Wageningen.

Trefwoorden

Klimaatextremen, dagvlinders, populaties, monitoring, klimaatverandering

september 2019



provincie Drenthe

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt d.m.v. druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van De Vlinderstichting, noch mag het zonder een dergelijke toestemming gebruikt worden voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

Inhoud

Samenvatting	4
1. Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling	6
2. Methode.....	7
2.1 Overzicht van de analyse	7
2.2 Soortenselectie	7
2.3 Monitoringdata op populatieniveau.....	8
2.4 Omgevingsdata	8
2.4 Klimaatdata.....	10
2.5 Statistische analyse.....	11
2.6 Aanbevelingen voor lokale populaties.....	13
3. Invloeden van klimaat en omgeving	14
Aardbeivlinder.....	14
Bruine vuurvlinder.....	16
Geelsprietdikkopje	18
Gentiaanblauwtje.....	20
Grote vos.....	23
Grote weerschijnvlinder	24
Heideblauwtje	26
Heivlinder	29
Keizersmantel.....	32
Kommavlinder	33
Oranje zandoogje	35
Sleedoornpage	36
Veenbesblauwtje.....	37
Veenbesparelmoervlinder	38
Veenhooibeestje	39
Zilveren maan.....	41
4. Synthese	42
Literatuur	45

Samenvatting

Klimaatverandering is niet alleen een kwestie van een geleidelijke opwarming, maar gaat juist ook gepaard met een toename van weersextremen van zowel droogte als hevige neerslag. Voor een duurzaam behoud van biodiversiteit is het van belang om de risico's daarvan in beeld te krijgen voor onze kenmerkende bedreigde soorten. Dit rapport presenteert daarom de resultaten van een klimaatstresstest voor bedreigde dagvlinders voor de provincie Drenthe.

De klimaatstresstest is uitgevoerd door de invloed van klimaatfactoren op de populatieontwikkeling van dagvlinders vast te stellen aan de hand van gegevens uit het landelijk meetnet vlinders. De aantalsverandering van jaar-op-jaar is daartoe voor alle soorten met voldoende data met standaard lineaire modellen verklaard op basis van een combinatie van klimaatfactoren en omgevingscondities die van belang kunnen zijn om klimaatinvloeden te mitigeren. Als indicatoren voor klimaatextremen zijn met name beschouwd: het neerslagtekort, neerslagpieken, hitte en late nachtvorst.

Over alle soorten bezien waren de invloeden van temperatuur en neerslag in de zomer het vaakst significant. De zomertemperatuur heeft meestal een positieve invloed op de aantalsontwikkeling, maar hitte is vooral voor soorten uit heidegebieden een negatieve factor. De invloed van de neerslag is afhankelijk van de biotoop van de soort en de balans tussen het positieve effect van een goed aanbod van nectar of waardplanten en het negatieve effect van een kortere vliegtijd of inundatie. Perioden met forse buien in voorjaar of zomer en late vorst vormen een risico voor een kleiner aantal soorten.

Ook de lokale condities zijn, juist voor het opvangen van de klimaatinvloeden, van belang:

- grotere leefgebieden vergroten de veerkracht van populaties,
- reliëf is van toegevoegde waarde voor het bufferen van de invloed van droogte, hitte en extreme regenval
- bodemvocht is van positieve invloed om perioden van droogte op te kunnen vangen.

Droogte is al met al een belangrijke factor voor tweederde van de soorten: hetzij via verdroging van het leefgebied op lange termijn, hetzij via de overleving en voortplanting op korte termijn. Meer aandacht voor klimaatadaptatie verdient daarom een hoge prioriteit bij water- en natuurbeheerders.

Klimaatadaptatie voor het behoud van de leefgebieden van bedreigde dagvlinders is op verschillende manieren te verwezenlijken.

- stabilisatie van waterhuishouding en voorkomen van drainage en inundatie
- benutting van reliëf, variatie in bodem en vochtgradiënten
- het vergroten van de variatie in het microklimaat door aandacht voor heterogeniteit in het terreinbeheer
- aanpassing van begrazingsintensiteit en maaibeheer aan natte of droge jaren

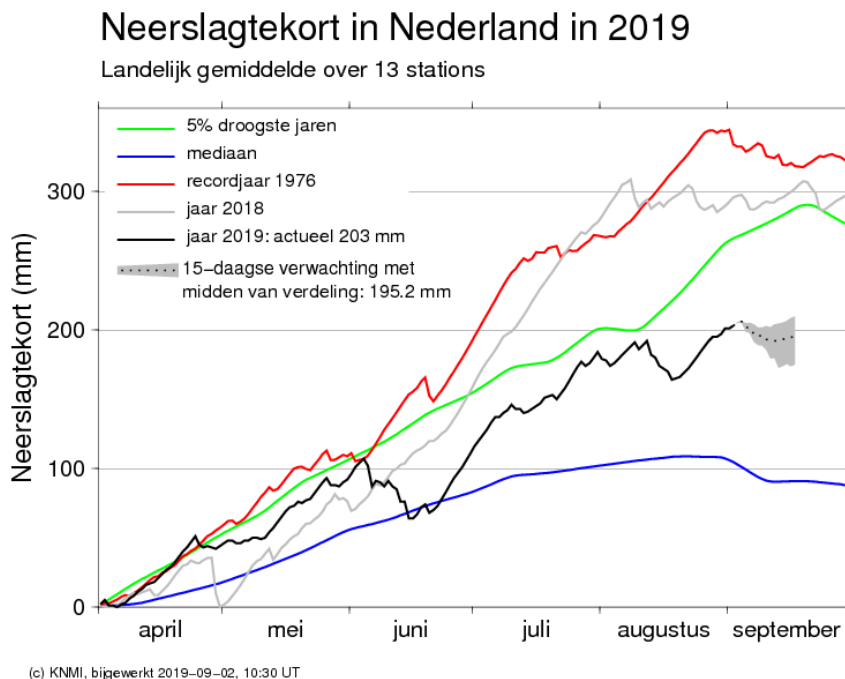
Voor de provincie Drenthe is klimaatadaptatie met name een topprioriteit voor gentiaanblauwtje, heivlinder, kommavlinder en de drie soorten veenvlinders.

1. Inleiding

Klimaatverandering is al geruime tijd aan de gang, maar de zomers van 2018 en 2019 wijzen ons nadrukkelijk op de risico's van toenemende klimaatextremen, onder meer voor het behoud van de biodiversiteit. Voor droogtegevoelige soorten vormen deze extremen een grote bedreiging. Bedreigde soorten zouden door de extra schade van klimaatextremen – bovenop de gevolgen van versnippering, vermisting en verzuring – zelfs geheel uit Nederland kunnen verdwijnen. Voor een goed inzicht in dergelijke gevolgen is het nodig een klimaatstresstest uit te voeren voor de dagvlindersoorten waarvoor in de Wet Natuurbescherming actieve bescherming is vereist. Op basis van de uitslag van deze stresstest kunnen maatregelen worden getroffen om de leefgebieden van deze soorten klimaatbestendig te maken.

1.1 Aanleiding

Klimaatverandering vormt een uitdaging voor de samenleving, maar niet minder voor de natuur. In het kader van natuurbescherming wordt er echter nog weinig aandacht aan besteed. Vooral gaat het dan om het bevorderen van verbindingen om het opschuiven van de arealen van soorten met geleidelijke opwarming mogelijk te maken. De invloed van klimaatextremen wordt daarbij nog onvoldoende meegenomen. Toch wijst een groeiend aantal studies juist op de gevolgen daarvan (bijv. Easterling *et al.*, 2000; Wallis de Vries *et al.*, 2011; McDermott *et al.*, 2016). De extreme zomers van 2018 en 2019 (Figuur 1.1) hebben de urgentie benadrukt van de opgave om klimaatextremen te kunnen opvangen.



Figuur 1.1: Het neerslagtekort in 2018 en 2019 was uitzonderlijk, net als 2014 en 2016 extreem natte zomers brachten (bron: KNMI).

Vaak wordt gedacht dat er op locatieniveau weinig maatregelen kunnen worden genomen om leefgebieden klimaatbestendig te maken, maar dat is wel degelijk mogelijk, wanneer goed gebruik gemaakt wordt van variatie in reliëf, waterhuishouding en microklimaat (Oliver *et al.*, 2010; De Frenne *et al.*, 2013; Suggitt *et al.*, 2018). In het pilotproject [Klimaatbestendig beheer voor de heidefauna](#) (Wallis de Vries *et al.*, 2018a) is dit voor de natte heide verkend door de

uitvoering van kleinschalige maatregelen te richten op uitbreiding van leefgebied over de vochtgradiënt van nat naar droog.

Om de gevoeligheid van soorten voor klimaatextremen inzichtelijk te maken is een klimaatstresstest nodig. Hierin wordt de invloed van klimaatextremen op de populatiegrootte van elke soort gekwantificeerd, zodat aangegeven kan worden voor welke soorten het nodig is om het leefgebied klimaatbestendig te maken. Dagvlinders lenen zich goed voor de uitvoering van een klimaatstresstest. Als koudbloedige dieren met een korte levenscyclus reageren ze snel op veranderingen in het klimaat. Door de langjarige tellingen uit het landelijk meetnet vlinders zijn vanaf 1992 de veranderingen van jaar op jaar op honderden locaties verspreid over het land goed gekwantificeerd. Tot voor kort was het niet goed uitvoerbaar om de respons van soorten op klimaatextremen te kwantificeren, omdat daarvoor ook gedetailleerde informatie op locatieniveau nodig is. Eerdere analyses lieten daarom geen overtuigende effecten van klimaatextremen zien (Wallis de Vries *et al.*, 2011; Malinowska *et al.*, 2014). Daarvoor moeten namelijk zowel de neerslag als de lokale condities voor bodem, grondwatertrap en reliëf bekend zijn. Deze gegevens zijn nu zeer gedetailleerd beschikbaar, waardoor een klimaatstresstest veel beter uitvoerbaar is om op de beheerpraktijk toegesneden informatie te leveren.

Door de analyse op landelijke schaal uit te voeren kunnen betrouwbaarder uitspraken over de gevolgen van klimaatextremen worden gedaan. Voor de provincies is het echter belangrijk dat de rapportage op provinciaal niveau wordt doorvertaald. Die lijn is in deze provinciale rapportage gevolgd.

De resultaten van de klimaatstresstest zullen van nut zijn bij het ontwikkelen van beleid voor klimaatbestendig beheer van en landgebruik in relatie tot biodiversiteit in bredere zin. Oplossingsrichtingen voor kwetsbare soorten zullen op basis van de resultaten kunnen worden gezocht in aanpassing van de waterhuishouding en benutting van heterogeniteit in het landschap. Spreiding van risico's zou voorts ook kunnen worden bereikt door bijplaatsing van vlinders in kansrijke, maar onbezette gebieden.

1.2 Doelstelling

Doel van deze rapportage is om voor alle bedreigde soorten dagvlinders in Drenthe, voor zover mogelijk de gevoeligheid voor klimaatextremen vast te stellen door een kwantitatieve analyse van populatietrends in relatie tot extreem weer. Daarbij wordt tevens de invloed van lokale condities ten aanzien van bodem, reliëf en waterhuishouding meegenomen.

Op basis van klimaatscenario's is vervolgens de kwetsbaarheid van soorten voor de toekomst doorvertaald. Op locatieniveau is per soort zo veel mogelijk inzichtelijk gemaakt in hoeverre de lokale condities kunnen worden aangepast om het leefgebied van populaties klimaatbestendig te maken. Hieruit volgen aanbevelingen voor de uitvoering van maatregelen.

2. Methode

De analyse heeft zich gericht op de soorten dagvlinders met populaties in Nederland waarvoor provincies een verantwoordelijkheid hebben voor actieve soortenbescherming, c.q. alle soorten die opgenomen zijn op de Rode Lijst Dagvlinders inclusief wettelijk beschermde soorten. Voor soorten met voldoende gegevens is de invloed van klimaatinvloeden per populatie bepaald. Voor de andere soorten is dit op kwalitatieve wijze gedaan. De klimaatinvloeden zijn zo veel mogelijk gekoppeld aan eigenschappen van de leefgebieden op populatieniveau om tot aanbevelingen voor uitvoering van maatregelen te komen.

2.1 Overzicht van de analyse

Voor de geselecteerde soorten met voldoende gegevens zijn de data van het landelijk meetnet vlinders (NEM) benut om voor de periode 1992-2018 de jaar-op-jaar veranderingen in talrijkheid te verklaren op basis van verschillende indicatoren voor klimaatextremen in het lopende en voorafgaande jaar. Deze klimaatgegevens zijn beschikbaar via de weerstations van het KNMI. Als indicatoren voor klimaatextremen zijn met name beschouwd: het neerslagtekort, neerslagpieken, hitte en late nachtvorst. Voor elke soort is de invloed hiervan beschouwd tijdens de vliegtijd van de vlinders en het hele daaraan voorafgaande jaar. De condities tijdens de winter zijn buiten beschouwing gelaten, omdat extreem weer in deze tijd van winterrust van weinig invloed is op de populatieontwikkeling (het geleidelijk milder worden van de winters kan wel van invloed zijn, maar op basis van eerder onderzoek is de verwachting is dat specifieke condities in afzonderlijke winters van weinig invloed is; Roy *et al.*, 2001; Wallis de Vries *et al.*, 2011).

De klimaatinvloeden zijn zo veel mogelijk geanalyseerd op het niveau van afgebakende populaties. Hiervoor zijn behalve de oppervlakte ook indicaties van bodemvocht en reliëf meegenomen als omgevingsfactoren waardoor klimaatinvloeden al of niet opgevangen kunnen worden.

De gevonden verbanden geven aanwijzingen voor de kritische factoren die veranderingen in populatiegrootte van elke soort verklaren. Ze zijn verder benut om de populatieontwikkeling te vergelijken onder het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van de door het KNMI gebruikte referentieperiode van 1981-2010. Dit toekomstscenario is voorts afgezet tegen de verwachte areaalverschuiving bij klimaatopwarming volgens de *Climatic risk atlas of European butterflies* (Settele *et al.*, 2008).

Bij elke soort zijn de consequenties van de gevonden invloeden doorvertaald naar de populaties in de provincie, met aanbevelingen voor maatregelen om eventueel bedreigende klimaatinvloeden en andere knelpunten op te heffen.

In de volgende paragrafen zijn de verschillende stappen in deze analyse verder toegelicht.

2.2 Soortenselectie

De analyse heeft van klimaatinvloeden heeft zich in eerste instantie gericht op de 32 soorten dagvlinders met een actuele Rode Lijst-status (Tabel 2.1).

De gele luzernevlinder, hoewel bedreigd, is daarbij niet meegenomen omdat dit een trekvlinder is zonder vaste populaties in Nederland. De soort kan in Nederland de winter niet overleven. De aantallen worden dus bepaald door factoren buiten ons land, waardoor een analyse van beschermingsmaatregelen in relatie tot klimaatverandering van weinig praktische waarde is.

Toegevoegd zijn twee thans niet bedreigde soorten met een wél ernstig bedreigde status op de vorige Rode Lijst uit 2006: grote weerschijnvlinder en iepenpage. Op grond daarvan zijn deze soorten nog steeds wettelijk beschermd.

Ook toegevoegd is de keizersmantel, die op de vorige Rode Lijst als ‘verdwenen uit Nederland’ te boek stond, maar nu als niet meer bedreigd geldt; gezien deze nog maar recente kentering is het de vraag hoe duurzaam de huidige populaties zijn en is de keizersmantel daarom uit voorzorg toch meegenomen.

Het groot dikkopje had op de vorige Rode Lijst een weinig bedreigde status (gevoelig) en geldt thans als niet meer bedreigd. De soort komt in deze klimaatstresstest daarom niet aan bod.

Voor Drenthe gaat het uiteindelijk om 14 soorten met actuele populaties, twee regelmatig voorkomende soorten met mogelijke populaties (grote vos en keizersmantel), twee soorten die slechts incidenteel voorkomen (bruin blauwtje en kleine parelmoervlinder) en twee soorten die na 1990 zijn verdwenen (bosparelmoervlinder en bruine eikenpage).

2.3 Monitoringdata op populatieniveau

Voor de analyse van de jaar-op-jaar veranderingen in talrijkheid zijn de data van het landelijk meetnet vlinders (NEM) benut uit de periode 1992-2018. Voor 28 van de 34 soorten waren er voldoende gegevens voor een kwantitatieve analyse (voor 8 soorten met een beperkt aantal waarnemingen, voor 20 soorten met >100 datapunten).

Een cruciaal onderdeel van de analyse is het betrekken van de condities op het locatieniveau van elke monitoringroute bij de analyse. Daarvoor zijn populaties afgebakend op basis van waarnemingen uit de Nationale Database Flora en Fauna (NDDF; over alle soorten gerekend 1346 populaties; d.d. 17 sept 2018), waar de monitoringroutes aan zijn toegedeeld. Een populatie is daarbij het leefgebied binnen een ‘minimum convex’ polygoon rond een cluster van minimaal 10 waarnemingen met een precisie van <100 m, gerekend vanaf 1990 (zie Van der Zee *et al.*, 2017); voor 11 populaties waarvan de waarnemingen eenzelfde coördinaat hadden werd een minimale oppervlakte van 100 m² aangehouden. Als maximale onderlinge afstand tussen waarnemingen binnen eenzelfde populatie is 500 meter aangehouden; voor mobiele soorten is dit een kleine afstand – en zouden sommige onderscheiden populaties beter bij elkaar gevoegd kunnen worden – maar voor het vaststellen van de lokale condities ten aanzien van reliëf van bodemvocht is deze schaal juist wel geschikt en daarom voor alle soorten aangehouden.

Voor enkele wijder verbreide soorten (bruin blauwtje, geelsprietdikkopje, oranje zandoogje) waren nog geen populaties afgebakend. In grotere datasets traden namelijk complicaties op bij de afbakening van populaties en bij het geelsprietdikkopje is bovendien in oudere waarnemingen vaak niet meer te achterhalen is of de soort betrouwbaar is onderscheiden van het zwartsprietdikkopje. Voor de drie wijder verbreide soorten zijn de omgevingsdata in plaats van aan populatiepolygonen gekoppeld aan de coördinaten van monitoringroutes waarop de soorten zijn geteld.

2.4 Omgevingsdata

De eigenschappen van de omgeving binnen de afgebakende populaties zijn bepaald aan de hand van oppervlakte, reliëf en bodemtype.

Als oppervlakte is eenvoudig de grootte van de polygoon van elke populatie genomen.

Voor reliëf – feitelijk de variatie in reliëf – is het Actueel Hoogte bestand Nederland (AHN) gebruikt om voor elke populatie de gemiddelde hoogte en de hoogte variatie te berekenen op een schaal van 5x5 m (meer detail leek niet van veel toegevoegde waarde, terwijl de benodigde capaciteit voor dataverwerking er wel enorm door vergroot zou worden). Hiervoor hebben we de ‘Zonal Statistics As Table’ tool in ArcGIS 10.6 gebruikt. Voor de analyse is de standaardafwijking van de hoogten van alle 5x5 m cellen binnen elke populatiepolygoon in de analyse gebruikt als indicator van variatie in reliëf; deze is overigens sterk gecorreleerd met het verschil tussen

Tabel 2.1: Lijst van beschouwde soorten met hun actuele status op de Rode Lijst (RL); voor soorten met een RL-status (anders dan TNB of Verdwenen uit Nederland) heeft de provincie een verantwoordelijkheid voor actieve soortenbescherming. **Vetgedrukt** zijn de soorten waarvoor een kwantitatieve analyse is uitgevoerd. De RL-status is die van de actuele Rode Lijst (Van Swaay, 2019). Soorten waarvan de status is veranderd (voorheen niet bedreigd of nu juist wel bedreigd) zijn met * aangeduid.

Afgebakende populaties: deze kolom geeft aan of de populaties van de soort ruimtelijk goed te omgrenzen zijn.

Voldoende data: hiermee is aangegeven of een kwantitatieve statistische analyse van monitoringdata zinvol was (x: <100 datapunten, X: >100 datapunten).

De rechter kolom geeft het aandeel (in procenten) per provincie van het aantal bezette kilometer-hokken voor alle dagvlinders met populaties in Nederland. Geel gemarkeerd zijn de combinaties waarbij het aandeel groter is dan het aandeel van die provincie in de landoppervlakte in Nederland (naar Van Swaay, 2019).

Voor na 1990 verdwenen soorten is het laatste jaar van waarneming tussen haakjes aangeduid.

	RL-status	Afgebakende Populaties	Voldoende data	Drenthe
Aardbeivlinder	BE	X	X	26
Bosparemoervlinder	EB	X	X	(1996)
Bruin blauwtje	GE		X	0
Bruine eikenpage	BE	X	X	(2001)
Bruine vuurvlinder	KW	X	X	40
Geelsprietdikkopje	BE*		X	4
Gentiaanblauwtje	BE	X	X	27
Grote vos	KW			2
Grote weerschijnvlinder	TNB* ¹	X	x	13
Heideblauwtje	KW	X	X	28
Heivlinder	KW	X	X	6
Keizersmantel	TNB* ¹	X	x	4
Kleine paremoervlinder	KW	X	X	0
Kommavlinder	BE	X	X	19
Oranje zandoogje	GE		X	12
Sleedoornpage	BE	X	X	3
Veenbesblauwtje	EB	X	x	80
Veenbesparemoervlinder	EB	X	X	100
Veenhooibeestje	EB	X	x	71
Zilveren maan	BE	X	X	11

RL-status: EB: Ernstig bedreigd, BE: Bedreigd, KW: Kwetsbaar, GE: Gevoelig, TNB: Thans niet bedreigd; ¹wel wettelijk beschermd op basis van passieve soortenbescherming.

hoogste en laagste punt in een polygoon ($r=0,95$). Voor 11 populaties was de berekening hiervan vanwege een te kleine oppervlakte niet mogelijk.

Gegevens over bodemfysische eenheid (PAWN 25 m; <https://data.nhi.nu/>) zijn op een andere manier gecombineerd met de vlinderpopulaties. Voor elke populatie is voor elke bodemfysische eenheid een ruimtelijk histogram gemaakt met de ArcGIS tool 'Zonal Histogram'. Deze tool telt het aantal cellen van elk type binnen de aangegeven polygoon en maakt hier een tabel van. Voor een beperkt aantal kleine polygonen of puntpopulaties (met waarnemingen van slechts één coördinaat) is steeds de waarde op het middelpunt van de populatiepolygoon genomen.

De bodemfysische eenheden zijn vervolgens vertaald naar een score van 1 tot 5 die overeenkomt met de berekende hoeveelheid moeilijk opneembaar vocht in de wortelzone (in cm water op een wortelzone met een dikte van 30 cm; Wösten et

al., 2012). Voor elk populatiepolygoon is het naar oppervlakteaandeel gewogen gemiddelde van deze score in de analyse gebruikt als indicator van het beschikbare bodemvocht (voor puntpopulaties is de score van het bodemtype van de betreffende locatie genomen).

Verkend is of gegevens van de grondwatertrappenkaart ook benut konden worden als alternatieve indicator voor bodemvocht, maar deze bron is niet gebruikt omdat grote delen van Nederland (hoge zandgronden, duinen, rivierengebied en Zuid-Limburg) hierin niet zijn gedekt.

2.4 Klimaatdata

De weersgegevens zijn afkomstig van het KNMI: op 26-02-2019 zijn de gegevens voor alle 50 meetpunten gedownload voor de periode 1991-2018, voor zover beschikbaar. De coördinaten van deze stations zijn omgezet naar het Rijksdriehoekstelsel (RD) met de 'Project' tool in ArcGIS. Voor het middelpunt van elke vlinderpopulatie is voor elke beschikbare dag een interpolatie gemaakt voor:

- maximum temperatuur (Tx),
- minimum temperatuur (Tn),
- etmaal gemiddelde temperatuur (Tg),
- etmaalsom neerslag (RH),
- gewasverdamping (EV24): dit is de referentiegewasverdamping volgens de formule van Makkink. De referentiegewasverdamping is de hoeveelheid water die verdampt uit een grasveld dat goed voorzien is van water en nutriënten. Deze waarde wordt in de hydrologie gebruikt als basis om te kunnen berekenen hoeveel water verdampt uit oppervlakte grond met diverse soorten gewassen. De verzadigingsdampspanning neemt bij benadering kwadratisch toe met de temperatuur, waardoor hitte tot een extra hoge verdamping leidt.

De KNMI-data zijn afkomstig van de volgende 50 meetpunten:

IJmond, Valkenburg, Voorschoten, IJmuiden, De Kooy, Schiphol, Vlieland, Wijdenes, Berkhout, Hoorn (Terschelling), Wijk Aan Zee, Houtribdijk, De Bilt, Soesterberg, Stavoren, Lelystad, Leeuwarden, Marknesse, Deelen, Lauwersoog, Heino, Hoogeveen, Eelde, Hupsel, Huibertgat, Nieuw Beerta, Twenthe, Cadzand, Vlissingen, Hoofdplaat, Oosterschelde, Vlake V.D. Raan, Hansweert, Schaar, Westdorpe, Wilhelminadorp, Stavenisse, Hoek Van Holland, Tholen, Woensdrecht, R'Dam-Geulhaven, Rotterdam, Cabauw, Gilze-Rijen, Herwijnen, Eindhoven, Volkel, Eil, Maastricht, Arcen.

De interpolaties zijn gedaan middels een Shepard's Inverse Distance Weighting (IDW), op basis van de drie dichtstbijzijnde punten. De analyse was ingesteld op twee dimensies en had een power (p) van 4 (om ervoor te zorgen dat meetpunten die dichtbij zijn relatief zwaar wegen). Voor deze interpolatie is de C# plugin CSharpIDW gebruikt. Op basis van deze geïnterpoleerde gegevens zijn de volgende klimaatindicatoren voor elke populatie berekend:

- Neerslagoverschot in het voorjaar: $RH - EV$, gesommeerd over de periode 1 april – 15 juni.
- Neerslagoverschot van voorjaar tot het eind van de zomer: $RH - EV$, gesommeerd over de periode 1 april - 31 augustus.
- Late Vorst: het aantal dagen met $T_n < 0$ in de periode 15 april – 31 augustus.
- Buien met zware neerslag in het voorjaar: het aantal dagen met $RH > 20$ in de periode 1 mei – 30 juni.
- Buien met zware neerslag dagen zomer: het aantal dagen met $RH > 20$ in de periode 1 juli – 31 augustus.
- Hitte dagen: het aantal dagen met $T_x > 30$
- Gemiddelde voorjaarstemperatuur: gemiddelde T_g in de periode 1 april – 15 juni.

- Gemiddelde zomertemperatuur: gemiddelde Tg in de periode 16 juni – 31 augustus.

In dit rapport is het neerslagoverschot voor de leesbaarheid verder aangeduid als 'neerslag' en zijn de dagen met zware neerslag aangeduid als 'buien'.

2.5 Statistische analyse

De analyses zijn steeds op landelijke schaal uitgevoerd zodat een zo groot mogelijke dataset kon worden benut. De uitkomsten zijn vervolgens in meer detail op het niveau van de provincie Drenthe behandeld.

Verwachtingen

Effecten van klimaatfactoren zullen sterk wisselen tussen de soorten in afhankelijkheid van hun ecologische relaties, maar soms ook worden beïnvloed door de lokale condities.

Droogte en hitte kunnen zowel voor soorten van droge als vochtiger biotopen negatief doorwerken. Hoge temperaturen en droogte kunnen voor koudbloedige dieren tot op zekere hoogte echter ook positief uitpakken vanwege een snellere ontwikkeling en betere voortplanting. Door de sterk toenemende verdamping bij hitte, kan de droogtestress bij hitte eveneens extreem worden.

Een neerslagrijke periode kan negatief doorwerken door beperking van de vliegtijd en soms ook door inundatie van het leefgebied, maar deze kan ook een positief effect hebben door een betere groei van waardplanten en meer bloei van nectarplanten.

Van late vorst en hevige neerslag (buien) worden alleen negatieve effecten verwacht op met name de overleving van rupsen of poppen in het voorjaar en de vliegtijd en voortplanting van de vlinders.

De populatieontwikkeling zal vaak positiever zijn bij een grotere oppervlakte leefgebied, omdat zowel grotere populaties als omgevingsvariatie ervoor kunnen zorgen dat fluctuaties in populatiegrootte worden gedempt.

Op reliëfrijke locaties, waar het leefgebied meer verspreid over de vochtgradiënt kan voorkomen, mag worden verwacht dat voor sommige soorten de effecten van klimaatextremen minder groot zijn.

Effecten van droogte zullen naar verwachting minder sterk zijn op sterker vochthoudende bodems, terwijl effecten van inundatie daar eerder zullen optreden.

Vergelijking van bestaande en verdwenen populaties

Behalve de analyse van de jaar-op-jaar veranderingen in populatie-ontwikkeling is ook een vergelijking gemaakt tussen de eigenschappen van de omgeving van bestaande en verdwenen populaties van een soort. Daarbij is 'verdwenen' opgevat als een populatie zonder waarnemingen na 2015 (dus de afgelopen drie jaar).

In deze vergelijking is getoetst of er een verschil was in oppervlakte, variatie in reliëf en bodemvocht tussen bestaande en verdwenen populaties (t-test of

Data-voorbereiding

De jaar-op-jaar veranderingen in de aantallen vlinders (of eitjes voor enkele soorten) op de monitoringroutes zijn geanalyseerd op basis van $\ln(n+1)$ -getransformeerde aantallen, waarbij gevallen werden uitgesloten waarin zowel in het lopende jaar als het voorafgaande jaar geen vlinders (eitjes) werden geteld. Het $\ln(n+1)$ -getransformeerde aantal in het voorafgaande jaar werd als covariabele in de analyse meegenomen. De oppervlakte van de populatiepolygoon werd van tevoren $\log_{10}$ -getransformeerd.

Voor de analyse zijn voor elke soort de klimaatvariabelen in de vliegtijd van het lopende teljaar meegenomen samen met degene over het hele voorafgaande jaar. Voor de sleedoornpage berust de monitoring op eitellingen en zijn de in de winter getelde eitjes gekoppeld aan de condities in de voorafgaande vliegtijd.

Voor de neerslag werden ook optimumverbanden tot de mogelijkheden gerekend en zijn daarom ook de kwadratische componenten van het neerslagoverschot meegenomen in de analyse.

Bij de doorwerking van het klimaat van het voorafgaande jaar werd verondersteld dat vooral de neerslagbalans over het hele groeiseizoen van belang is. Voor het vaststellen van mogelijke interacties tussen klimaatinvloeden en lokale condities zijn daarom twee mogelijke interacties meegenomen: één tussen het neerslagoverschot van april tot eind augustus en het reliëf (om te toetsen of droogte anders doorwerkt in reliëfrijke dan wel –arme gebieden) en één tussen het neerslagoverschot van april tot eind augustus en het bodemvocht (om te toetsen of droogte anders doorwerkt in droge dan wel natte gebieden).

Data-exploratie

Voor elke soort zijn allereerst correlaties tussen de verklarende variabelen van klimaat en omgeving onderzocht. Van onderling sterk gecorreleerde variabelen ($r > 0,70$) zou er slechts één in de analyse opgenomen mogen worden. Zulke sterke correlaties deden zich echter voor geen enkele soort voor.

Vervolgens werd eerst een ‘stepwise forward’ lineaire regressie uitgevoerd om potentieel significante variabelen op te sporen. Bij effecten van late vorst en hevige neerslag werden speciaal op negatieve invloeden gelet.

Lineaire modellen

De significante variabelen uit de stepwise regressie werden vervolgens opgenomen in een lineair model met de verklarende klimaat- en omgevingsvariabelen, het $\ln(n+1)$ -getransformeerde aantal in het voorafgaande jaar werd als covariabele en populatie-ID als random factor (voor het verdisconteren van overige, willekeurige verschillen tussen populaties). Voor de drie soorten zonder populatiepolygonen werden de individuele monitoringroutes als random factor opgenomen. In het uiteindelijke model werden alleen de significante variabelen opgenomen. De residuen weken over het geheel niet sterk af van een normale verdeling (Shapiro Wilk W 0,945 of groter).

Bij de bespreking van elke soort zijn de significante verbanden tussen de jaarlijkse aantalsverandering en de verklarende klimaat- en omgevingsvariabelen uiteen gezet (met het aantal datapunten en de totale verklaarde variatie [R^2] van het lineaire model). Ter illustratie is daarbij steeds een figuur opgenomen met het percentage van de variatie dat door elke variabele wordt verklaard. Bij positieve verbanden is dit percentage van een plusteken voorzien en bij negatieve verbanden van een minteken.

Klimaatscenario's

De statistisch significante effecten zijn gebruikt om de gevolgen van waarschijnlijke klimaatscenario's, zoals opgesteld door het KNMI, door te rekenen. Hiervoor zijn de KNMI'14 (http://www.klimaatscenario's.nl/scenarios_samengevat/index.html) scenario's voor 2030 gebruikt, omdat deze de ontwikkelingen in de nabije toekomst duidelijk maken. Zo wordt inzichtelijk gemaakt welke gevolgen klimaatverandering voor het duurzaam behoud met zich meebrengt.

De populatieontwikkeling in de referentieperiode en onder het klimaatscenario (zie Figuur 3.20 voor een voorbeeld) is vergeleken aan de hand van de gemiddelde verandering van de populatie-index (met 100 als startwaarde van de index).

Ten opzichte van de referentieperiode 1981-2010 voorziet het gemiddelde klimaatscenario van 2030 een opwarming van de gemiddelde voorjaarstemperatuur van 0,8 graden en van 1,0 voor de zomertemperatuur. Het aantal dagen per jaar met late vorst neemt met 1-2 dagen af. Het neerslagtekort in het voorjaar neemt gemiddeld met 1-3 mm af, maar in de zomer neemt dit met 4-6 mm toe. Hevige neerslag neemt in het voorjaar nauwelijks toe en in de zomer evenmin (0,1-0,2 dagen per jaar). Het aantal hittedagen neemt met 2-3 per jaar wel duidelijk toe.

Kanttekening bij deze scenario's is wel dat klimaatextremen er nog niet goed in zijn opgenomen, aangezien voor 2030 dezelfde standaardafwijking van de genoemde

klimaatvariabelen van jaar op jaar is gehanteerd als in de referentieperiode. Klimaatextremen zijn in deze scenario's dus waarschijnlijk onderschat.

Een andere scenario-ontwikkeling is ontleend aan de *Climatic risk atlas for European butterflies* (Settele *et al.*, 2008), waarin areaalverschuivingen van de behandelde soorten zijn gemodelleerd onder toekomstige klimaatscenario's.

Voor de grote vos, waarvoor onvoldoende gegevens beschikbaar waren voor een statistische analyse, is op basis van soortspecifieke ecologische kennis en de voorspelde areaalverschuiving alleen een kwalitatieve beoordeling opgesteld van de populatieontwikkeling onder invloed van klimaatfactoren.

2.6 Aanbevelingen voor lokale populaties

Voor afzonderlijke soorten is een kort overzicht gegeven van de populaties in de provincie met hun status en eigenschappen ten aanzien van actuele status, oppervlakte en voor zover zinvol reliëf en bodemvocht. Op basis daarvan en de gevonden klimaatinvloeden zijn aanbevelingen gedaan om de klimaatbestendigheid van de populaties waar mogelijk te vergroten. Daarbij is ook gewezen op andersoortige knelpunten voor een duurzaam behoud van de soorten, zoals vermesting, verzuring en beheer.

2.7 Leeswijzer

In Hoofdstuk 3 worden de resultaten voor elke soort als volgt gepresenteerd:

- Elke soort wordt eerst kort getypeerd.
- De resultaten voor de analyse van jaar-op-jaar veranderingen in de aantallen vlinders is samengevat in een figuur en in een tabel. In de tabel staat het aantal datapunten en de totale verklaarde variatie [R^2] van het lineaire model, met de significante variabelen (hoe groter de F-waarde, hoe sterker het verband). In de figuur staat het percentage van de variatie dat door elke variabele wordt verklaard (de F-waarde als percentage van de F-waarden over alle significante variabelen). Bij positieve verbanden is dit percentage van een plusteken voorzien en bij negatieve verbanden van een minteken.
- De gevonden verbanden worden beknopt toegelicht. Daarbij wordt ook aangegeven of verdwenen populaties (zonder waarnemingen na 2015) een leefgebied met een kleinere oppervlakte hadden (populaties met een oppervlakte beneden de genoemde kritische waarde zijn betiteld als 'van kleine omvang').
- Vervolgens wordt de verwachte areaalverschuiving van de soort bij klimaatverandering op Europese schaal besproken (Settele *et al.*, 2008)
- Daarbij wordt ook de verwachte aantalsontwikkeling onder het klimaatscenario van 2030 in Nederland vergeleken met die in de referentieperiode 1981-2010.
- De status van de populaties in Nederland en in de provincie Drenthe wordt toegelicht, met een typering van de populaties naar omvang en vochtcondities.
- Afgesloten wordt met aanbevelingen voor het klimaatbestendig maken van het leefgebied en overige maatregelen voor een duurzaam behoud van de soort.

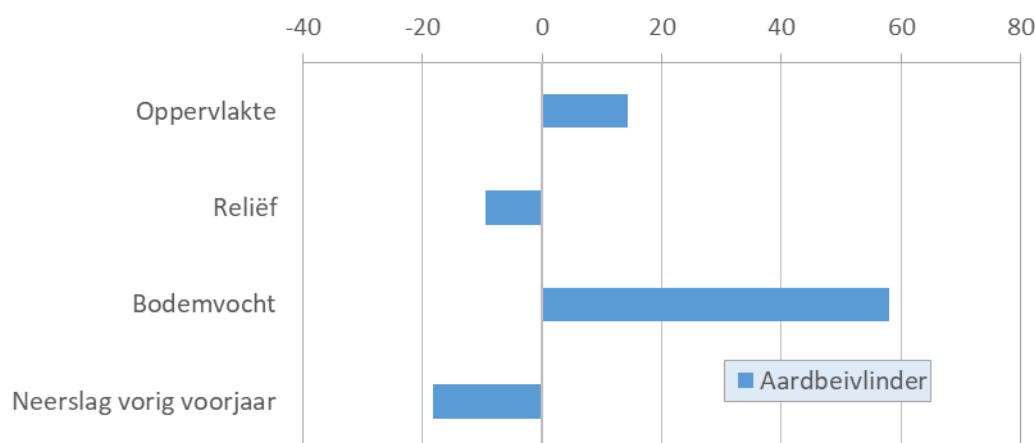
In Hoofdstuk 4 wordt een synthese gegeven van de resultaten van de gehele analyse, met de implicaties voor de bescherming van de soorten op provinciaal niveau.

3. Invloeden van klimaat en omgeving

Voor alle 16 soorten met atuele of mogelijke populaties in de provincie Drenthe worden in dit hoofdstuk de invloeden van klimaat en omgeving besproken. Alleen voor de grote vos was dit nog niet mogelijk aan de hand van een kwantitatieve analyse. Voor elke soort worden aanbevelingen gegeven voor maatregelen om de klimaatbestendigheid van de leefgebieden te vergroten en een duurzaam behoud in bredere zin te bevorderen.

Aardbeivlinder

De aardbeivlinder is een bedreigde soort. In het binnenland is de vlinder kenmerkend voor heischrale graslanden en vochtige schraallanden met een open structuur en voldoende waardplanten van met name tormentil of kruipganzerik. De aardbeivlinder is kwetsbaarder op droge locaties van beperkte oppervlakte en is minder talrijk na een natte zomer in het voorafgaande jaar, wanneer de rupsen groeien.



Figuur 3.1: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen aardbeivlinders verklaart.

Tabel 3.1: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de aardbeivlinder (significantie: $-/+ p < 0,05$; $- /++ p < 0,01$; $-- /+++ p < 0,001$; $--- /++++ p < 0,0001$).

Aantal waarnemingen	767	
R ²	0.21	
Variabele	F-waarde	sign.
Oppervlakte	7,19	++
Reliëf	4,71	–
Bodemvocht	29,17	++++
Neerslag vorig voorjaar	9,19	--

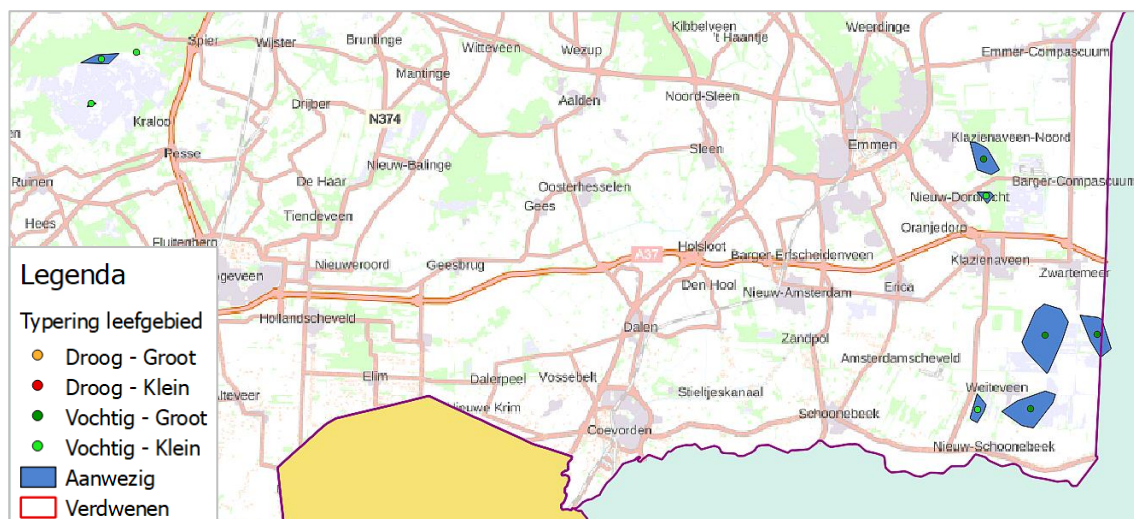
Verdwenen populaties zijn significant vaker van kleine omvang ($p < 0,05$), waarbij de kritische grens bij 50 ha ligt.

De jaarlijkse verschillen in talrijkheid worden vooral positief beïnvloed door een vochtiger bodem en in mindere mate door een groter leefgebied en drogere zomers in het vorige jaar. De geringe negatieve invloed van reliëfrijke locaties hangt samen met een negatievere ontwikkeling van de duinpopulaties.

De klimatologische invloed op de aantallen is beperkt. Algehele klimaatopwarming leidt naar verwachting tot noordwaartse uitbreiding van het areaal van de

aardbeivlinder in Europa. Het klimaatscenario van 2030 leidt echter niet tot een afwijkende ontwikkeling vergeleken bij het klimaat van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil -1). De drogere zomers zouden in Nederland een licht positief effect op de populatieontwikkeling kunnen hebben, maar dan vooral bij lokaal vochtige condities. Droge leefgebieden zijn dus kwetsbaar, zeker wanneer ze klein zijn (<10 ha).

Van alle 38 sinds 1990 bekende populaties van de aardbeivlinder in Nederland zijn er 9 (24%) verdwenen. Voor Drenthe zijn dat er 9 en zijn er geen verdwenen. De populaties zijn alle gelegen in vochtig gebied en 5 ervan zijn van kleine omvang (dus < 50 ha).



Figuur 3.2: Ligging en typering van de populaties van de aardbeivlinder in Drenthe.

Voor een klimaatbestendig leefgebied voor de aardbeivlinder is het belangrijk om:

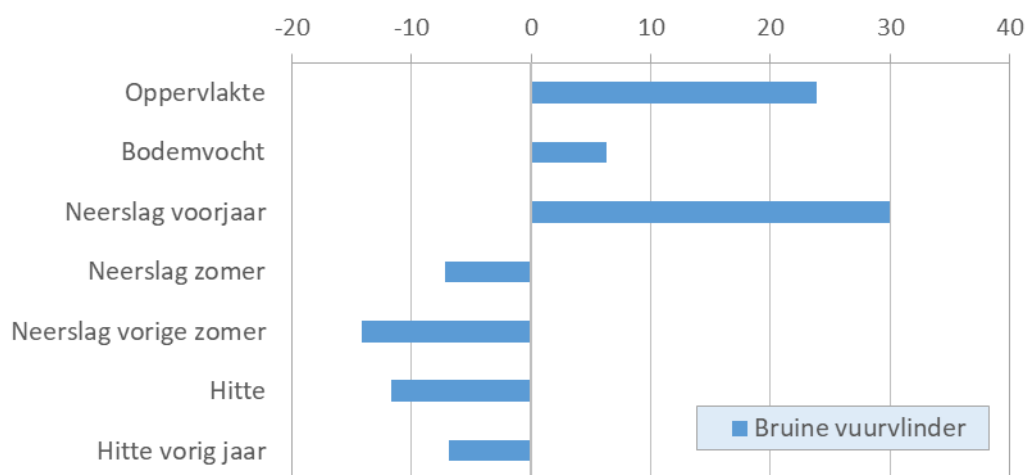
- de vochtige condities te handhaven

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de kleine leefgebieden te vergroten, o.m. door herstel van heischrale graslanden (Van der Zee *et al.*, 2017)
- stikstofdepositie en bodemverzuring tegen te gaan
- een open vegetatiestructuur te bevorderen

Bruine vuurvliinder

De bruine vuurvliinder komt sinds 1980 vrijwel alleen nog voor in Drenthe en Gelderland. De Rode Lijst-status is kwetsbaar. Het is een warmteminnende soort van heischrale, licht gebufferde overgangen van droog naar nat. De rupsen leven vooral van schapenzuring maar ook veldzuring. Droogte vormt vooral voor kleine populaties een risicofactor.



Figuur 3.3: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen bruine vuurvlinders verklaart.

Tabel 3.2: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de bruine vuurvliinder (significantie: -/ + $p < 0,05$; - - $p < 0,01$; +++ $p < 0,001$; ++++ $p < 0,0001$).

Aantal waarnemingen	573	
R ²	0,46	
Variabele	F-waarde	sign.
Oppervlakte	14,81	+++
Bodemvocht	3,91	+
Neerslag voorjaar	18,55	++++
Neerslag zomer	4,46	-
Neerslag vorige zomer	8,74	- -
Hitte	7,24	- -
Hitte vorig jaar	4,26	-

Verdwenen populaties zijn significant vaker van kleinere omvang (mediane oppervlakte 17 ha ten opzichte van 60 ha voor actuele populaties; $p < 0,0001$), met een kritische grens rond 25 ha.

De talrijkheid van de bruine vuurvliinder is vooral groter in grotere leefgebieden bij een nat voorjaar. Zowel hitte als veel neerslag in de zomer (zowel de vorige als de lopende zomer) hebben echter een negatieve invloed. De abundantie wordt licht bevorderd door een vochtiger leefgebied.

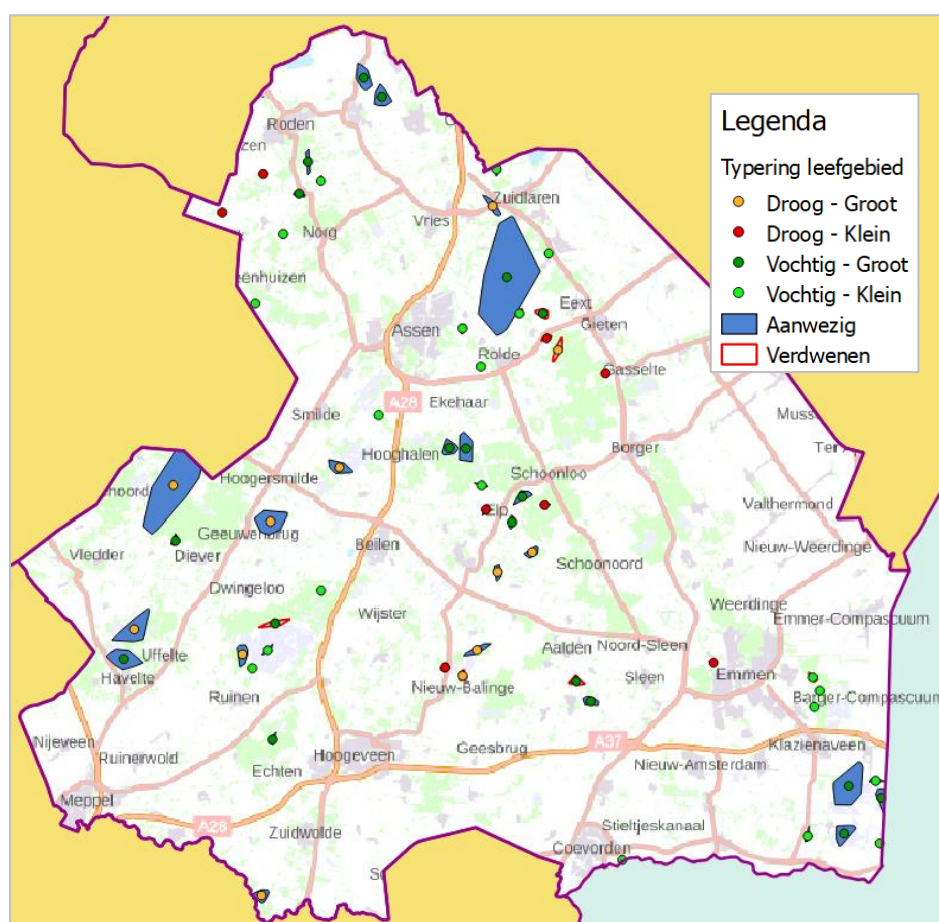
Droogte is dus een risicofactor voor de bruine vuurvliinder. Dit is vooral het geval in het voorjaar. In de zomer lijkt vooral de hoge temperatuur van invloed. Dat de bruine vuurvliinder minder talrijk is na en in natte zomers houdt waarschijnlijk verband met een kortere vliegtijd.

Bij klimaatopwarming wordt in Europa een noordwaartse uitbreiding van het areaal verwacht. Daarentegen geeft de huidige analyse onder het klimaatscenario van 2030 in Nederland door de toegenomen zomerhitte een ongunstiger ontwikkeling te zien ten opzichte van die bij het klimaat in 1981-2010 (gemiddeld indexverschil -25).

Van alle 147 sinds 1990 bekende populaties van de bruine vuurvliinder in Nederland zijn er 42 (29%) verdwenen (Tabel 3.3). In Drenthe zijn er van de 58 populaties 15 (26%) verdwenen. Bij de kleine populaties is dat percentage veel hoger dan bij de grote (37 vs. 16%). Grotere populaties liggen nog langs de Drentsche Aa, het Drents-Friese Wold, de Havelterberg en het Bargerveen (Figuur 3.4).

Tabel 3.3: Aantal sinds 1990 bekende populaties van de bruine vuurvliinder dat aanwezig is of verdwenen (zonder waarnemingen na 2015).

Bruine vuurvliinder	Aanwezig	Verdwenen	Totaal	% Verdwenen
Nederland	105	42	147	29
Drenthe	41	15	58	26
Droog - Groot	10	2	12	17
Droog - Klein	5	3	8	38
Vochtig - Groot	16	3	19	16
Vochtig - Klein	12	7	19	37



Figuur 3.4: Ligging en typing van de populaties van de bruine vuurvliinder in Drenthe.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het vooral belangrijk om:

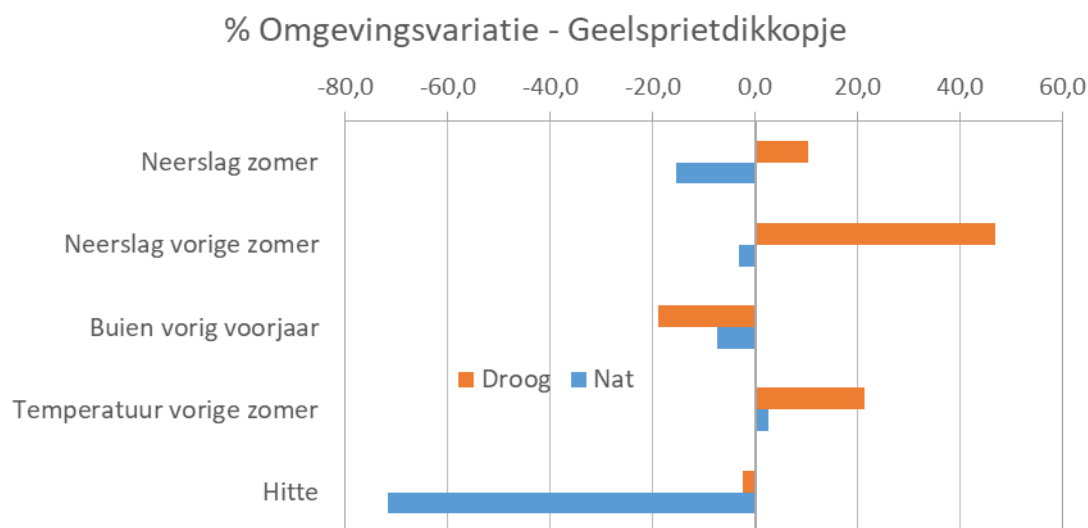
- te zorgen voor variatie in vochtcondities door spreiding van het leefgebied over vochtgradiënten

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- kleine leefgebieden te vergroten, bijvoorbeeld door natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond (zie Van der Zee *et al.*, 2017; Wallis de Vries & Bult, 2017)
- stikstofdepositie te verminderen
- bodemverzuring op te heffen
- insectenvriendelijk (gefaseerd) beheer toe te passen in schrale bermen waar de bruine vuurvliinder vroeger veel voorkwam

Geelsprietdikkopje

Het geelsprietdikkopje is een nieuwkomer op de Rode Lijst met door een aanhoudend sterke achteruitgang direct een bedreigde status. De soort leeft vooral in extensief gebruikte heischrale milieus en vochtige schraallanden langs bosranden. Zowel in droge als vochtige leefgebieden vormen hete en droge zomers een bedreiging.



Figuur 3.5: Richting en percentage van de klimaatvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen geelsprietdikkopjes verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.4: Samenvatting van significante klimaatvariabelen voor het geelsprietdikkopje (significantie: -/+ $p < 0,05$; --/++ $p < 0,01$; ---/+++ $p < 0,001$; ----/++++ $p < 0,0001$).

Aantal waarnemingen	1491	
R ²	0,54	
Variabele	F-waarde	sign.
Neerslag zomer	7,62	++
Neerslag vorige zomer	44,91	++++
Buien vorig voorjaar	39,93	---
Temperatuur vorige zomer	30,91	++++
Hitte	14,58	---
Vocht x Neerslag vorige zomer	18,71	----

De klimaatinvloeden op de talrijkheid van het geelsprietdikkopje verschillen tussen droge en vochtiger leefgebieden. In droge leefgebieden zijn neerslagrijke en warme zomers bevorderlijk. In vochtige leefgebieden heeft met name hitte in de zomer een sterk negatief effect. Buien in het voorjaar hebben een negatief effect tijdens de laatste periode van de larvale ontwikkeling.

Zowel in droge als vochtige leefgebieden vormen hete en droge zomers dus een bedreiging voor de populaties.

Bij klimaatopwarming wordt in Europa een noordwaartse uitbreiding van het areaal verwacht, maar omdat Nederland zich in het centrum daarvan bevindt zal dat hier vooralsnog weinig veranderingen teweeg brengen. De huidige analyse geeft onder het klimaatscenario van 2030 een gunstiger ontwikkeling te zien voor de aantalsontwikkeling in populaties van droge leefgebieden ten opzichte van het klimaat in 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +20), maar een negatieve ontwikkeling voor de populaties van vochtige leefgebieden (gemiddeld

indexverschil –11). Of de positievere ontwikkeling in droge leefgebieden op termijn stand houdt is echter de vraag.

Voor het geelsprietdikkopje zijn nog geen populaties afgebakend, waardoor de ontwikkelingen niet op populatieniveau kunnen worden besproken. In Drenthe is de soort de laatste jaren vooral bekend van de Havelterberg, de omgeving van Oosterhesselen en Ansen.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het voor het geelsprietdikkopje vooral belangrijk om:

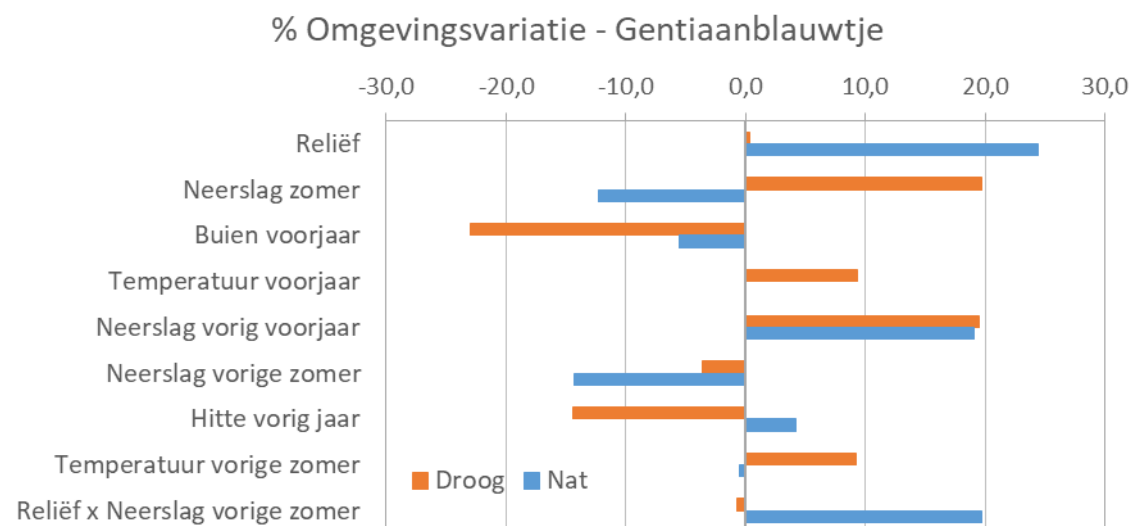
- te zorgen voor variatie in vochtcondities door spreiding van het leefgebied over vochtgradiënten

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- uitbreiding van leefgebied te realiseren door herstel van droge en vochtige schraallanden, bijvoorbeeld door natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond (zie Van der Zee *et al.*, 2017; Wallis de Vries & Bult, 2017)
- stikstofdepositie te verminderen
- bodemverzuring op te heffen

Gentiaanblauwtje

Het gentiaanblauwtje geldt al langer als een bedreigde soort, maar de afname duurt nog onverminderd voort. In vochtige schraallanden komt de soort nauwelijks meer voort, zodat het gentiaanblauwtje thans nagenoeg tot natte heiden beperkt is. Daar is hij voor de ontwikkeling van de rups afhankelijk van de aanwezigheid van vitale klokjesgentianen en bos- of moerassteekmieren op korte afstand van elkaar. De klokjesgentianen verjongen zich alleen op kale minerale bodem die enigszins gebufferd is. In droge en natte leefgebieden worden tegengestelde invloeden van droogte dan wel overvloedige neerslag gevonden die het belang van reliëfrijke – en ook grotere – leefgebieden benadrukken.



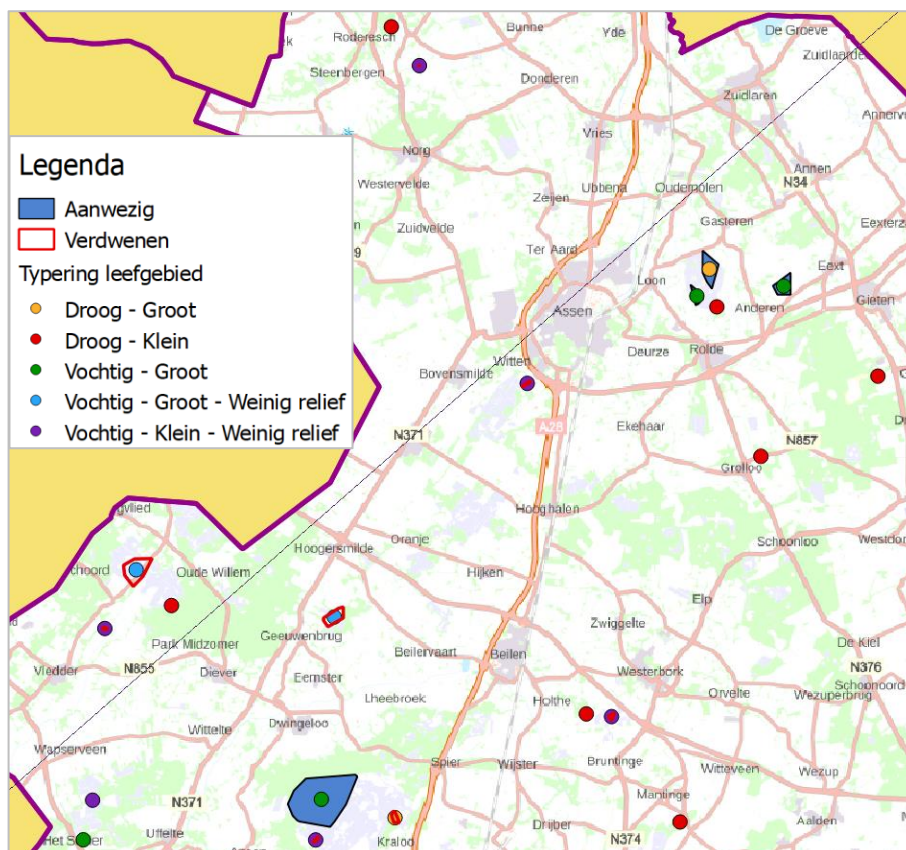
Figuur 3.6: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen gentiaanblauwtjes verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.5: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor het gentiaanblauwtje (significantie : + $p < 0,05$; -- $p < 0,01$; --- $p < 0,001$; (-) $p < 0,10$; ns $p > 0,10$).

	Droog leefgebied		Nat leefgebied	
Aantal waarnemingen	601		376	
R ²	0,32		0,21	
Variabele	F-waarde	sign.	F-waarde	sign.
Reliëf	0,21	ns	5,72	+
Neerslag zomer	11,62	+++	2,88	(-)
Buien voorjaar	13,57	---	1,29	ns
Temperatuur voorjaar	5,52	+	0,001	ns
Neerslag vorig voorjaar	11,54	+++	4,47	+
Neerslag vorige zomer	2,15	ns	3,35	(-)
Hitte vorig jaar	8,52	--	0,99	ns
Temperatuur vorige zomer	5,48	+	0,11	ns
Reliëf x Neerslag vorige zomer	0,44	ns	4,61	+

Verdwenen populaties zijn van significant kleinere omvang ($p=0,0001$) met een kritische grens bij 7 ha.

Hoewel de overgebleven leefgebieden van het gentiaanblauwtje vooral in natte heiden te vinden zijn, komt er toch een verschil naar voren in de aantalsontwikkeling tussen drogere en nattere leefgebieden. De talrijkheid in droge leefgebieden heeft baat bij warme maar vooral neerslagrijke zomers, terwijl dit in natte leefgebieden eerder andersom is. Hitte heeft alleen in droge



Figuur 3.7: Ligging en typering van de populaties van het gentiaanblauwtje in Drenthe.

leefgebieden een negatieve invloed. Buiten in het voorjaar, wanneer de rupsen zich nog ontwikkelen hebben vooral in droge leefgebieden een negatieve invloed, mogelijk doordat de waardmieren dan minder actief zijn; dit zou in natte leefgebieden ook mogen worden verwacht, maar de negatieve invloed werd daar niet significant bevonden.

Reliëf blijkt in natte leefgebieden een toegevoegde waarde te hebben en wel juist bij nat weer in de vliegtijd wanneer de eitjes worden gelegd en de rupsen van klokjesgentiaan naar het nest van de waardmieren moeten overstappen. Inundatie is dan fataal, maar de kans hierop is kleiner in een reliëfrijke omgeving. Droogte is dus het belangrijkste risico in droge leefgebieden, terwijl inundatie een bedreiging vormt in de natte leefgebieden.

Bij klimaatopwarming wordt een noordwaartse opschuiving van het areaal van het gentiaanblauwtje verwacht. Voor de situatie in Nederland heeft dat op middellange termijn nog weinig verandering tot gevolg en eerder een positieve dan een negatieve. Ook de huidige analyse geeft onder het klimaatscenario van 2030 een gunstiger ontwikkeling te zien voor de aantalsontwikkeling ten opzichte van het klimaat in 1981-2010 met een duidelijk gunstiger ontwikkeling in natte leefgebieden (gemiddeld indexverschil +27 in droge leefgebieden en +178 in natte leefgebieden).

De hier gevonden klimaatinvloeden laten echter wel zien dat klimaatextremen een grote invloed kunnen hebben afhankelijk van de lokale omgeving van de populatie.

Van alle 83 sinds 1990 bekende populaties van het gentiaanblauwtje in Nederland zijn er maar liefst 58 (70 %) verdwenen (Tabel 3.6). In Drenthe zijn er van de 21 populaties 13 (62%) verdwenen. Vooral de kleine populaties raken in snel tempo verloren. Daarnaast zijn populaties in vochtige leefgebieden met weinig reliëf (met name Doldersummer Veld) zwaar getroffen.

De populaties van het Dwingelderveld en Ballooër-Eexterveld zijn de meest robuuste (Figuur 3.7). Ook de condities rond de Havelterberg lijken goed, al is dit leefgebied relatief klein.

Tabel 3.6: Aantal sinds 1990 bekende populaties van het gentiaanblauwtje dat aanwezig is of verdwenen (zonder waarnemingen na 2015).

Gentiaanblauwtje	Aanwezig	Verdwenen	Totaal	% Verdwenen
Nederland	25	58	83	70
Drenthe	8	13	21	62
Droog - Groot	1	1	2	50
Droog - Klein	2	5	7	71
Vochtig - Groot	4		4	0
Vochtig - Groot - Weinig reliëf		2	2	100
Vochtig - Klein - Weinig reliëf	1	5	6	83

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het voor het gentiaanblauwtje vooral belangrijk om (zie ook Wallis de Vries *et al.*, 2018a):

- te zorgen voor een buffer tegen extremen van droogte en inundatie door spreiding van het leefgebied over vochtgradiënten
- droge leefgebieden geleidelijk te vernatten
- natte leefgebieden hoger op de gradiënt uit te breiden
- in reliëfarme gebieden vooral te streven naar het voorkomen van inundatie

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- kleine leefgebieden te vergroten
- stikstofdepositie en bodemverzuring te verminderen
- kleinschalige heterogeniteit te bevorderen en overmatige vergrassing tegen te gaan



Grote vos

De grote vos is de laatste jaren minder zeldzaam geworden in de zuidelijke en oostelijke delen van Nederland. Daardoor is de Rode Lijst-status veranderd van ernstig bedreigd naar kwetsbaar. De soort komt voor in structuurrijke bossen op meestal leemhoudende bodems, waar de rupsen op boswilg, iep en zoete kers gevonden kunnen worden. De grote vos lijkt de komende decennia vooral te zullen profiteren van klimaatverandering.

Voor de grote vos zijn er nog niet voldoende gegevens voor een analyse van klimaatinvloeden. De toename van waarnemingen in de laatste jaren suggereren dat de soort profiteert van de klimaatopwarming. Dit stemt overeen met de voorspelde noordwaartse areaaluitbreiding onder invloed van klimaatverandering, die in onze streken de komende decennia de herkolonisatie van Nederlandse bossen vooral zal bevorderen.

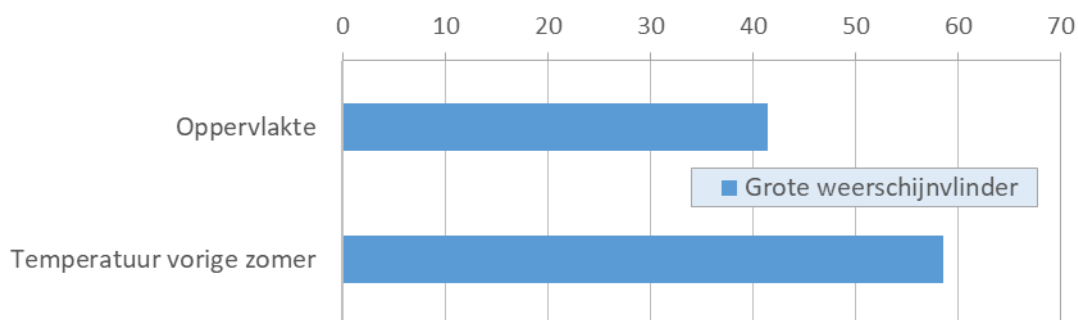
De grote vos wordt verspreid waargenomen en de afbakening van populaties is daarom moeilijk. Er zijn er sinds 2007 twaalf bekend, waarvan er vijf (42%) zonder recente waarnemingen zijn, maar het is de vraag of dit betekent dat de soort er ook niet meer zit. In Drenthe zijn de laatste jaren verspreid enige tientallen waarnemingen van zwervende individuen gedaan maar is (nog) geen vaste populatie bekend.

Voor de grote vos zijn er geen duidelijke maatregelen nodig om de populaties klimaatbestendiger te maken. Verbetering van de habitatkwaliteit is mogelijk door:

- vergroting van structuurvariatie in bossen door kleinschalig bos(rand)beheer
- bevorderen van dood hout in het bos (voor de overwintering)
- aanplant van iep en zoete kers in bossen op leemhoudende bodem

Grote weerschijnvlinder

De grote weerschijnvlinder gold op de vorige Rode Lijst nog als ernstig bedreigd, maar door het recente herstel in de oostelijke helft van ons land staat hij er nu helemaal niet meer op. Wel staat de soort door zijn eerdere status nog als wettelijk beschermd te boek. De grote weerschijnvlinder is een mobiele soort die vooral te vinden is in structuurrijke vochtige loofbossen en wilgenbroekbos met boswilg of ook wel grauwe wilg. Op middellange termijn lijkt de grote weerschijnvlinder van klimaatopwarming te profiteren, mits vochtige bossen behouden blijven.



Figuur 3.8: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen grote weerschijnvlinders verklaart in droge en natte leefgebieden.

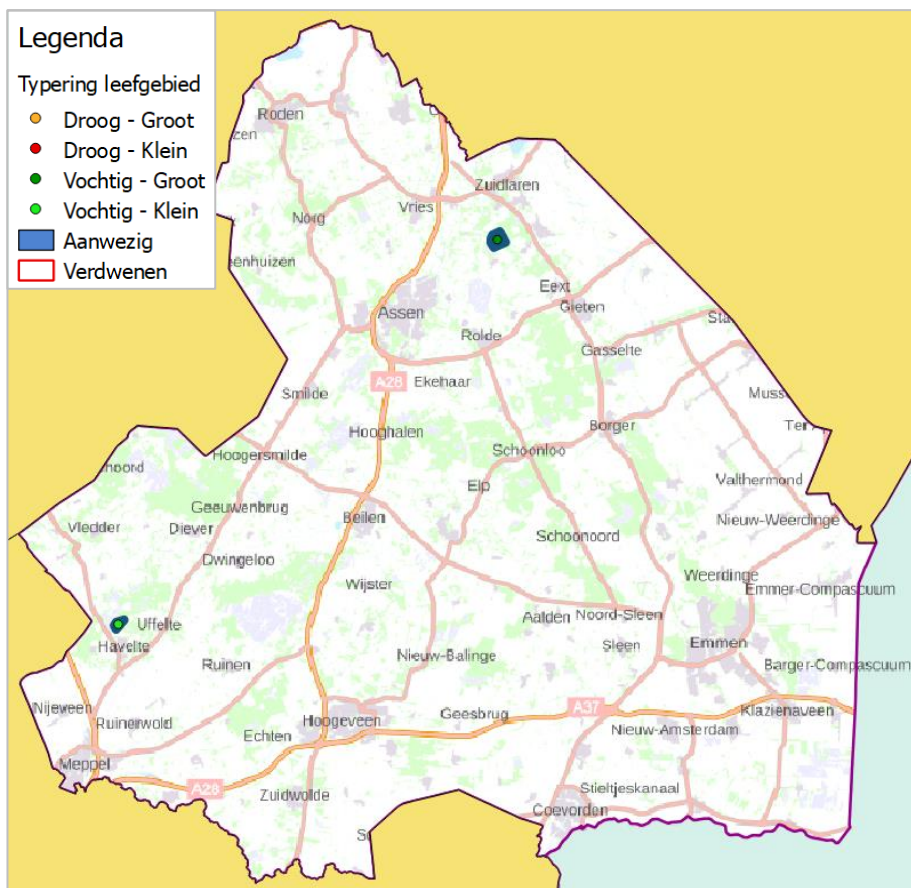
Tabel 3.7: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de grote weerschijnvlinder (significantie: –/ + $p < 0,05$; (+) $p < 0,10$).

Aantal waarnemingen	65	
R ²	0,50	
Variabele	F-waarde	sign.
Oppervlakte	3,97	(+)
Temperatuur vorige zomer	5,6	+

Voor de grote weerschijnvlinder berust de analyse alleen op een kleine hoeveelheid gegevens uit de laatste jaren, waardoor het resultaat alleen een indicatie van de omgevingsinvloed vormt. De positieve invloed van een warme zomer in het voorgaande jaar op de aantallen bevestigt wel het beeld dat de soort profiteert van de opwarming. Het is niet verrassend dat de aantallen hoger lijken in grotere leefgebieden ($p=0,051$).

De bij klimaatopwarming verwachte areaalverschuiving van de grote weerschijnvlinder betekent in onze streken een noordwaartse uitbreiding. In de tweede helft van de 21^e eeuw zou dit echter kunnen omslaan in een afname wanneer Nederland bij verdere opwarming aan de zuidrand van het areaal van de grote weerschijnvlinder komt te liggen. In 2030 wordt nog wel een gunstige ontwikkeling verwacht ten opzichte van het klimaat van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +26). Deze verwachting veronderstelt wel dat het bodemvocht in zijn leefgebied op peil blijft.

Van de 31 sinds 1990 bekende populaties van de grote weerschijnvlinder in Nederland is er slechts één kleine populatie verdwenen (3%). In Drenthe zijn er twee populaties bekend, bij Gasteren en bij Havelte (Figuur 3.9).



Figuur 3.9: Ligging en typering van de populaties van de grote weerschijnvlinder in Drenthe.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het voor de grote weerschijnvlinder vooral belangrijk om:

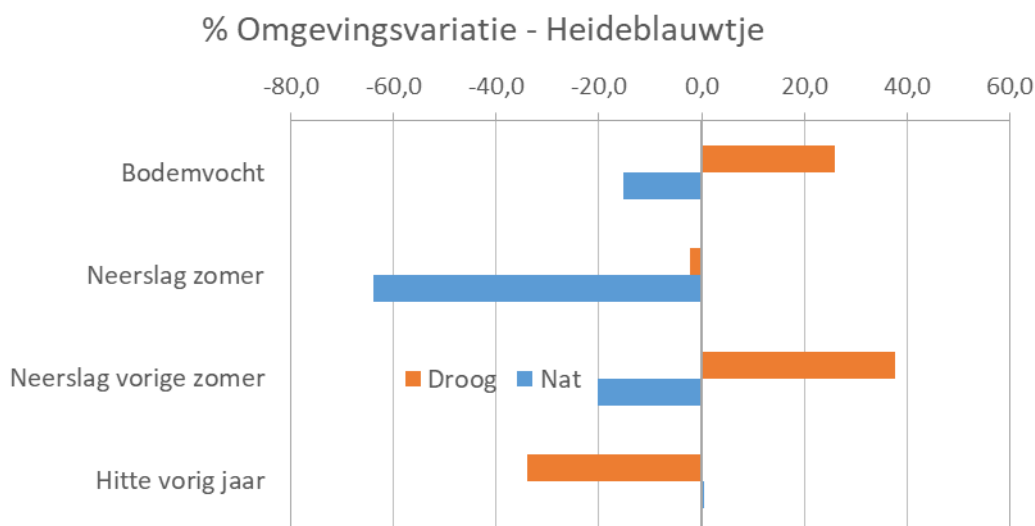
- te zorgen voor een goede waterhuishouding voor het behoud van vochtige loofbossen

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de leefgebieden te vergroten door de structuurvariatie in vochtige loofbossen te bevorderen

Heideblauwtje

Het heideblauwtje staat als kwetsbaar op de Rode Lijst door een afname in zowel verspreiding als talrijkheid. In gebieden met voldoende natte heide kan de soort zich nog goed handhaven. Verdroging vormt echter een probleem dat wordt versterkt door klimaatopwarming. Door behoud van voldoende natte leefgebieden kan dit worden opgevangen.



Figuur 3.10: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen heideblauwtjes verklaart in droge en natte leefgebieden.

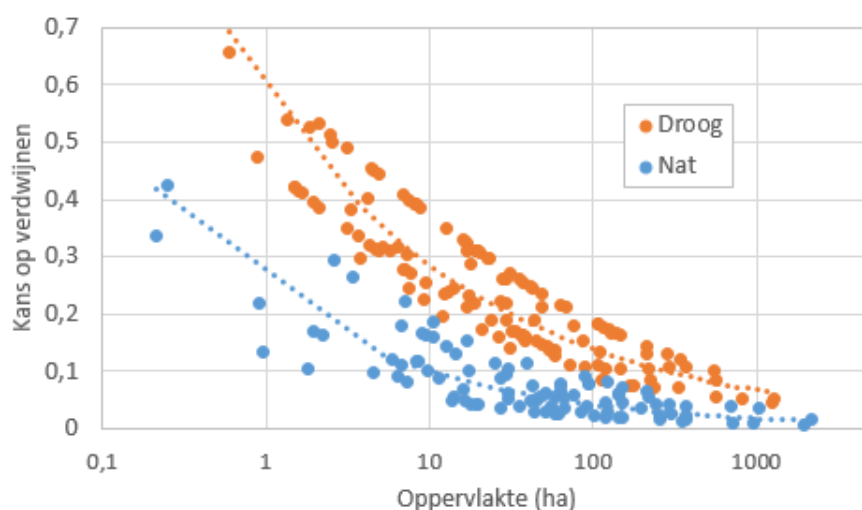
Tabel 3.8: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor het heideblauwtje (significantie: ns $p > 0,10$; -/+ $p < 0,01$; - -/+ $p < 0,001$; - - -/+ $p < 0,0001$).

	Droog leefgebied		Nat leefgebied	
Aantal waarnemingen	445		335	
R ²	0,13		0,15	
Variabele	F-waarde	sign.	F-waarde	sign.
Bodemvocht	15,94	++++	1,66	ns
Neerslag zomer	1,39	ns	6,91	--
Neerslag vorige zomer	23,2	+++	2,19	ns
Hitte vorig jaar	20,86	---	0,06	ns

Verdwenen populaties van het heideblauwtje zijn vaker van kleine omvang ($p = 0,0001$) en het betreft vooral drogere leefgebieden ($p = 0,01$). De kritische oppervlakte ligt rond 24 ha. In droge leefgebieden is de kans op verdwijnen ca. drie keer zo groot als in natte leefgebieden (figuur 3.11).

Ook in de veranderingen in talrijkheid is er een verschil tussen droge en natte leefgebieden, met een significante interactie tussen bodemvocht en neerslag in de vorige zomer ($p < 0,001$). Binnen de droge leefgebieden zijn de droogste locaties in het nadeel. De aantallen zijn er hoger na een natte zomer en lager na een hete zomer. In de natte leefgebieden is een natte zomer juist negatief voor de talrijkheid.

Daarnaast was er ook nog een invloed van het reliëf, met een significante interactie tussen reliëf en neerslag in de vorige zomer ($p < 0,001$). In droge leefgebieden geeft een voorafgaande droge zomer extra lage aantallen in gebieden met weinig reliëf. In natte leefgebieden daarentegen, levert juist een natte vorige zomer lage aantallen in reliëfrijke gebieden. De verschillende doorwerking van het reliëf is



Figuur 3.11: Kans op verdwijnen van populaties van het heideblauwtje uit droge en natte leefgebieden van verschillende oppervlakte (populaties zijn als verdwenen beschouwd wanneer de laatste waarneming van 2015 of eerder dateert, terwijl er daarvoor wel waarnemingen uit minimaal vijf jaren bekend zijn).

mogelijk als volgt te verklaren:

- In droge leefgebieden betekent meer reliëf dat er ook een grotere kans is op laagten die wat vochtiger blijven in droge jaren, zodat de populatie minder door droogte wordt getroffen
- In natte leefgebieden betekent reliëf doorgaans dat heideblauwtjes in de laagten zitten. Natte zomers zorgen hier voor inundatie, wat sterfte en dus lagere aantallen heideblauwtjes geeft.

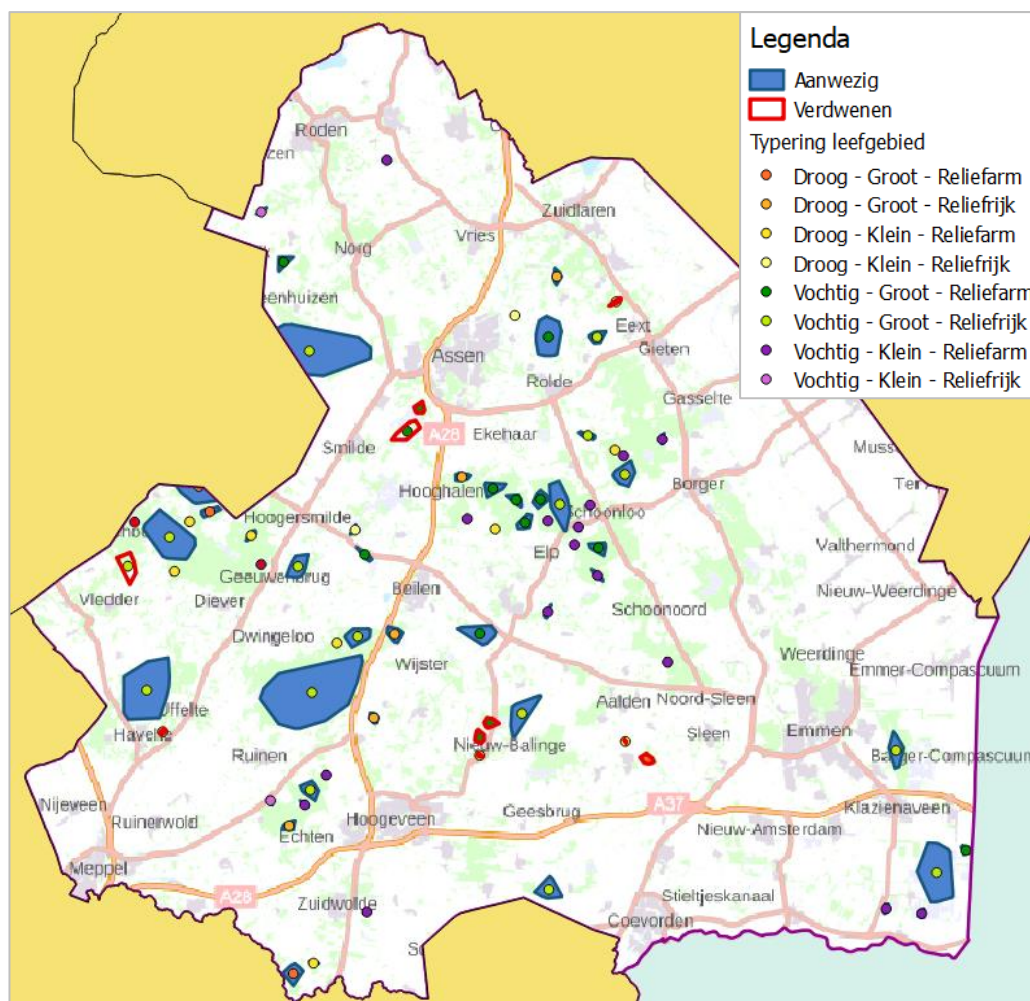
Het areaal van het heideblauwtje schuift bij verdere klimaatopwarming noordwaarts op, maar omdat Nederland zich redelijk centraal in het areaal bevindt (zij het dicht bij de noordwestelijke rand die door Engeland loopt), heeft de opwarming in dit opzicht weinig gevolgen voor het heideblauwtje. Het klimaat van 2030 geeft dan ook nauwelijks een afwijkende ontwikkeling te zien ten opzichte van de periode 1981-2010. Veeleer is van een meer geleidelijke bedreiging sprake door verdroging van het leefgebied.

Tabel 3.9: Aantal sinds 1990 bekende populaties van het heideblauwtje dat aanwezig is of verdwenen (zonder waarnemingen na 2015).

Heideblauwtje	Aanwezig	Verdwenen	Totaal	% Verdwenen
Nederland	196	48	244	20
Drenthe	60	12	72	17
Droog - Groot - Reliëfrijk	6		6	0
Vochtig - Groot - Reliëfrijk	15	1	16	6
Vochtig - Groot - Reliëfarm	10	4	14	29
Droog - Groot - Reliëfarm	2	1	3	33
Droog - Klein - Reliëfarm	7	3	10	30
Droog - Klein - Reliëfrijk	2	1	3	33
Vochtig - Klein - Reliëfrijk	2		2	0
Vochtig - Klein - Reliëfarm	16	2	18	11

Van alle 244 sinds 1990 bekende populaties van het heideblauwtje in Nederland zijn er 48 (20 %) verdwenen (Tabel 3.9). In Drenthe zijn er van de 70 populaties 12 (17 %) verdwenen. Vooral de populaties in reliëfarme gebieden zijn relatief vaak verdwenen ten opzichte van die in reliëfrijke gebieden (22% vs. 7%). Of ze daarbij

in droge of natte heidegebieden liggen, maakt in Drenthe, met zijn keileem en vochtiger klimaat, niet veel uit. De grootste populaties zijn die van het Dwingelderveld, Fochteloërveen, Havelterberg, Drents-Friese Wold, Balloërveld en het Bargerveen.



Figuur 3.12: Ligging en typering van de populaties van het heideblauwtje in Drenthe.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het voor het heideblauwtje vooral belangrijk om:

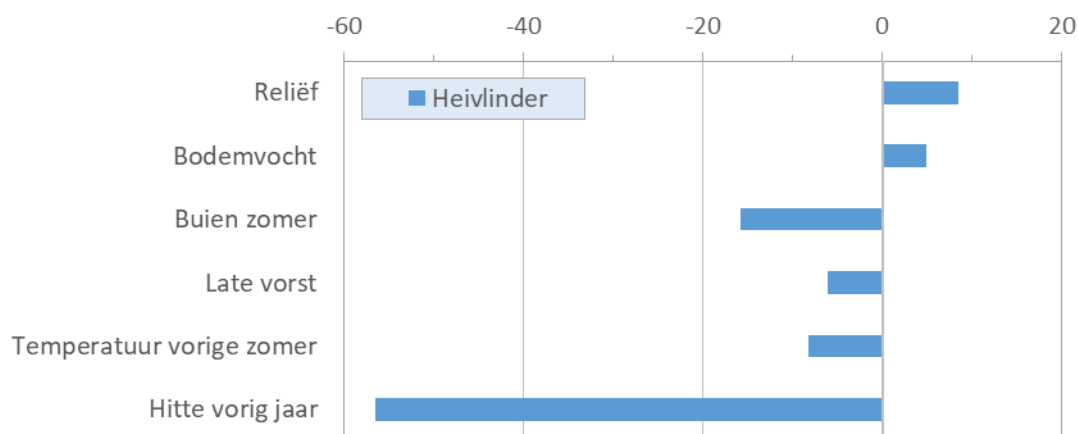
- de vochtcondities in natte leefgebieden te behouden
- droge leefgebieden geleidelijk te vernatten
- in reliëfarme gebieden inundatie in het zomerhalfjaar zo veel mogelijk te voorkomen

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- kleine leefgebieden te vergroten
- stikstofdepositie en bodemverzuring te verminderen, met name in droge leefgebieden
- jonge vitale struik- en dopheivegetaties te behouden door kleinschalig te begrazen, te maaien of in sterk vergraste situaties te branden of te chopperen.

Heivlinder

De status van de heivlinder op de Rode Lijst is kwetsbaar. De aantallen van de soort zijn de laatste jaren sterk gedaald. Op de zandgronden komt de soort voor op droge heide en stuifzand met voldoende dynamiek om open plekken te handhaven. In droge zomers kan het nectaraanbod echter beperkend zijn. Vooral hetere zomers vormen zowel op korte als op lange termijn een bedreiging voor de heivlinder.



Figuur 3.13: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen heivlinders verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.10: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de heivlinder (significantie: -/+ $p < 0,05$; --/++ $p < 0,01$; ---/+++ $p < 0,001$).

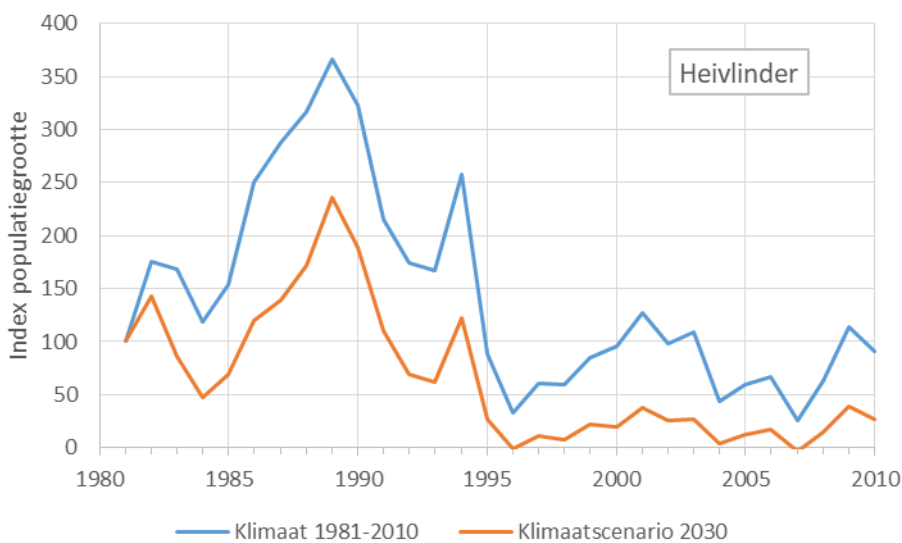
Aantal waarnemingen	1420	
R ²	0,26	
Variabele	F-waarde	sign.
Reliëf	9,15	++
Bodemvocht	5,21	+
Buien zomer	17,00	---
Late vorst	6,61	-
Temperatuur vorige zomer	8,91	--
Hitte vorig jaar	60,81	---

Verdwenen populaties van de heivlinder lagen in kleinere leefgebieden dan nog aanwezige populaties ($p < 0,0001$), waarbij de kritische oppervlakte rond 70 ha ligt.

Reliëf en bodemvocht komen de talrijkheid ten goede, vermoedelijk door een grotere dynamiek, grotere variatie in microklimaat en een beter nectaraanbod in de vliegtijd van de vlinders. Vooral hitte en buien in de vorige zomer leiden tot lage aantallen; late vorst lijkt voor de rupsen ook van negatieve invloed te zijn. De extreem warme zomer van 2003 zorgde eerder al voor een daling van de aantallen heivlinders. Daarbij was in de vliegtijd sprake van een sterk zwervgedrag, wat vermoedelijk door het verdrogen van het leefgebied werd veroorzaakt (Wallis de Vries *et al.*, 2011).

Het areaal van de heivlinder gaat bij aanhoudende klimaatverandering naar verwachting vooral krimpen omdat de zuidgrens noordelijker komt te liggen en de noordwaartse uitbreiding in Scandinavië beperkt blijft. Voor Nederland zou dat de komende decennia voor de heivlinder nog weinig gevolgen moeten hebben omdat ons land zich centraal in het areaal bevindt. De huidige analyse geeft echter een sterk verslechterde populatieontwikkeling van de heivlinder onder het verwachte

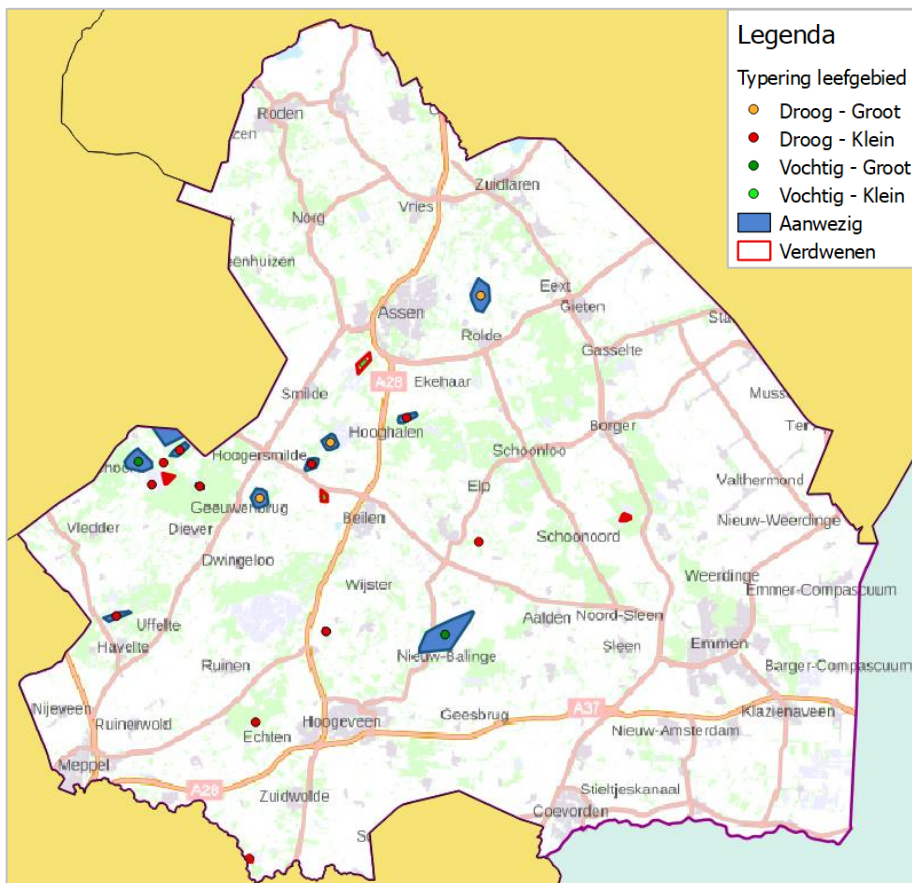
klimaat van 2030 ten opzichte van de periode 1981-2010 (Figuur 3.14; gemiddeld indexverschil -81).



Figuur 3.14: Gesimuleerde populatieontwikkeling van de heivlinder in Nederland bij het klimaat van de referentieperiode 1981-2010 en het klimaatscenario van 2030.

Tabel 3.11: Aantal sinds 1990 bekende populaties van de heivlinder dat aanwezig is of verdwenen (zonder waarnemingen na 2015).

Heivlinder	Aanwezig	Verdwenen	Totaal	% Verdwenen
Nederland	110	42	152	28
Drenthe	15	8	23	35
Droog - Groot	5		5	0
Droog - Klein	8	6	14	43
Vochtig - Groot	2		2	0
Vochtig - Klein		2	2	100



*Figuur 3.15: Ligging en
typering van de populaties
van de heivlinder in
Drenthe.*

Van alle 152 sinds 1990 bekende populaties van de heivlinder in Nederland zijn er 42 (28 %) verdwenen (Tabel 3.11). In Drenthe zijn er van de 22 populaties 8 (35 %) verdwenen, dus een wat groter deel. Juist de populaties in kleine gebieden zijn verdwenen. Of ze daarbij in droge of natte heidegebieden liggen, maakt in het relatief koele Drenthe, net als voor het heideblauwtje, niet veel uit. De grootste populaties liggen op het Mantingerzand, in het Drents-Friese Wold en op het Ballooërveld (Figuur 3.15).

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het voor de heivlinder belangrijk om:

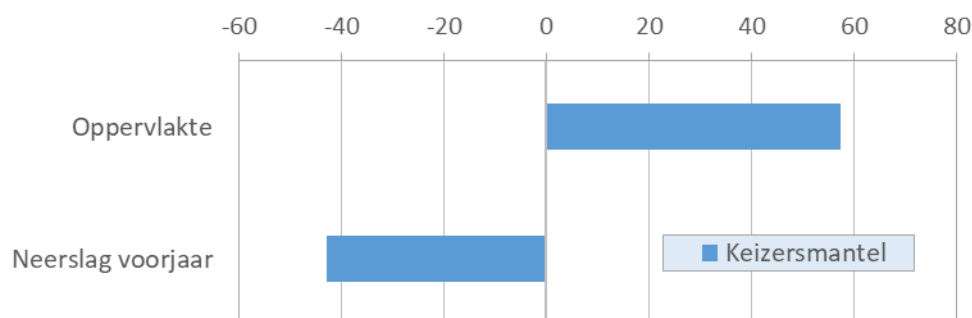
- de vochtcondities rond de droge voortplantingslocaties zo te houden dat er voldoende nectarbronnen op korte afstand beschikbaar zijn
- voldoende structuurvariatie te bieden in de kruidlaag voor een grotere spreiding van warm naar koeler microklimaat (dus geen hoge begrazingsintensiteit in droge zomers)
- vliegdenen te behouden zodat de vlinders dekking kunnen vinden op hete dagen

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- kleine leefgebieden te vergroten
- stikstofdepositie en bodemverzuring te verminderen
- reliëfrijke overgangen tussen stuivend zand en heide te koesteren.

Keizersmantel

De keizersmantel heeft net als enige andere mobiele bossoorten zijn populatie in Nederland de laatste jaren belangrijk kunnen uitbreiden. De vlinder is nu niet meer bedreigd, waar hij eerst nog als landelijk verdwenen op de Rode Lijst stond. Zijn leefgebied bestaat uit open plekken in bossen met viooltjes. Deze zijn vooral te vinden op leemhoudende en kalkrijke bodems. De soort lijkt van klimaatopwarming vooral te profiteren.



Figuur 3.16: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen keizersmantels verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.12: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de keizersmantel (significantie: $-/+ p < 0,05$; $--/++ p < 0,01$).

Aantal waarnemingen	62	
R ²	0,31	
Variabele	F-waarde	sign.
Oppervlakte	8,24	++
Neerslag voorjaar	6,16	–

Voor de keizersmantel zijn nog maar weinig gegevens voor een uitgebreide analyse van klimaatinvloeden. De huidige analyse laat zien dat de talrijkheid groter is in grotere leefgebieden en bij een droger voorjaar, wanneer de rupsen zich ontwikkelen.

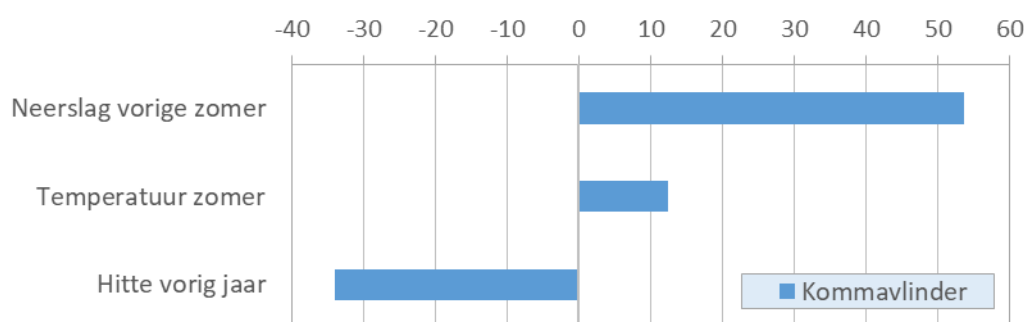
Nederland bevindt zich centraal in het areaal van de keizersmantel. Bij klimaatopwarming zal dat de komende eeuw naar verwachting zo blijven. De toegenomen aantallen keizersmantels wijzen erop dat de herkolonisatie wordt bevorderd door de warme zomers. Uit de huidige analyse komt nog geen verschil naar voren in de ontwikkeling bij het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van het klimaat van 1981-2010.

Van alle 23 sinds 1990 bekende populaties van de keizersmantel in Nederland zijn er 3 kleine locaties (13 %) weer verdwenen. In Drenthe wordt de keizersmantel verspreid waargenomen maar is er geen vaste populatie bekend.

Voor de keizersmantel lijken er geen specifieke klimaatgerichte maatregelen nodig. De vlinder profiteert van kleinschalig bos(rand)beheer, waardoor plekken met bosviooltjes meer licht krijgen en het nectaraanbod wordt vergroot (Omon *et al.*, 2015).

Kommavlinder

De kommavlinder is nog steeds een bedreigde soort. De vlinder is in het binnenland te vinden op droge heiden en stuifzandheide met een heischraal karakter en een vaak enigszins gebufferde bodem. De kommavlinder is kwetsbaar voor droge, hete zomers.



Figuur 3.17: Richting en percentage van de klimaatvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen kommavinders verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.13: Samenvatting van significante klimaatvariabelen voor de kommavlinder (significantie: + $p < 0,05$; ---/+ $p < 0,0001$).

Aantal waarnemingen	419	
R ²	0,27	
Variabele	F-waarde	sign.
Neerslag vorige zomer	21,96	++++
Temperatuur zomer	5,06	+
Hitte vorig jaar	13,92	---

Verdwenen populaties van de kommavlinder zijn relatief klein ($p < 0,01$), waarbij de kritische oppervlakte 60 ha bedraagt.

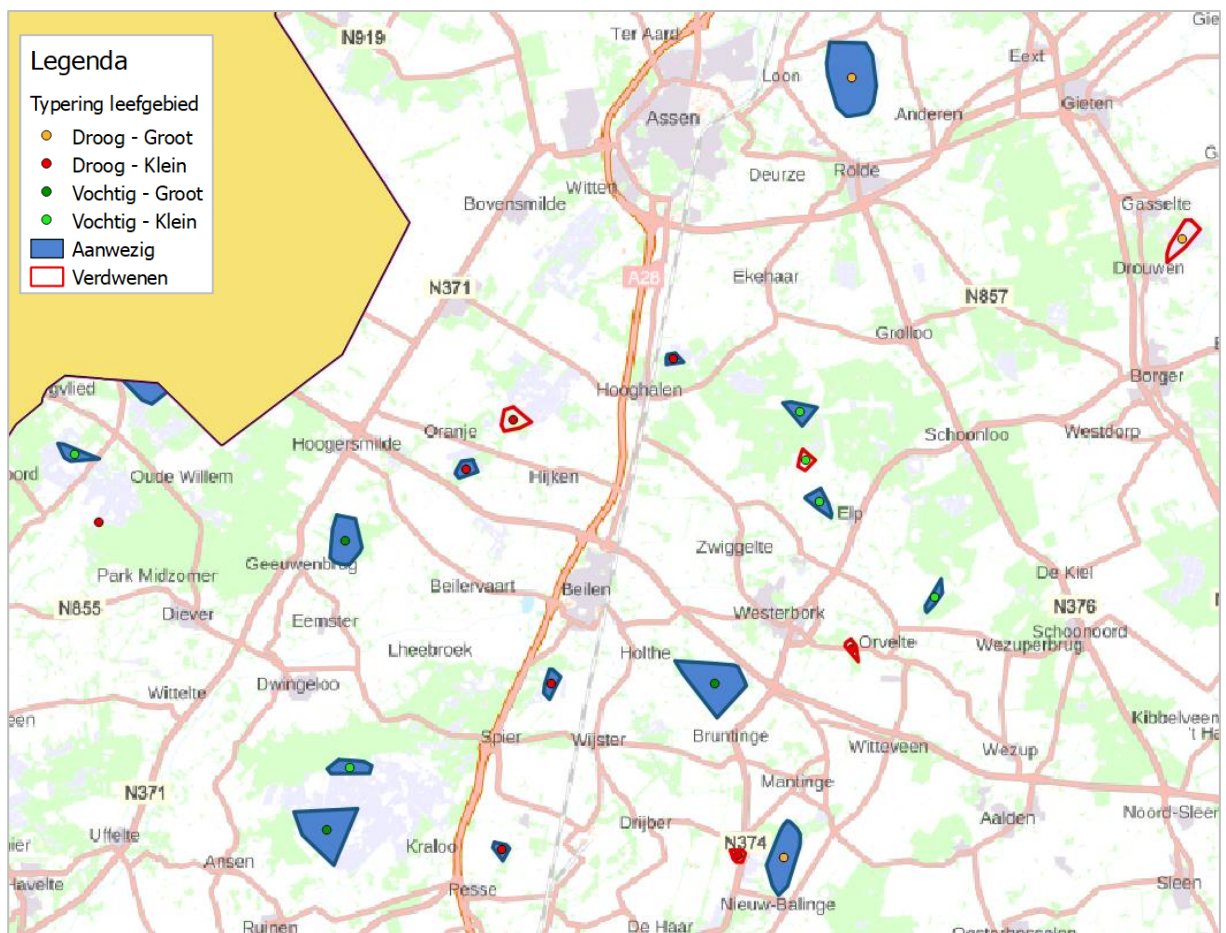
De aantallen kommavinders zijn hoger na een zomer met meer neerslag en weinig hitte; alleen na een extreem natte zomer met een neerslagoverschot zijn de aantallen lager. Warme zomers hebben een licht positief effect. Dit betekent dat de kommavlinder te lijden heeft van droge, hete zomers. Davies *et al.* (2006) vonden ook dat kommavinders bij hitte koelere plekken opzoeken voor eiafzet.

De kommavlinder zit in Nederland dicht bij de noordwestgrens van zijn areaal. In zuid-Engeland heeft de soort geprofiteerd van klimaatopwarming in combinatie met actief terreinbeheer (Lawson *et al.*, 2013). Door het positieve effect van warme zomers wordt bij het klimaatscenario van 2030 ook een gunstiger ontwikkeling voorspeld dan bij het klimaat van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +30). Echter, klimaatextremen lijken in de klimaatscenario's nog onderschat te worden. In streken met een continentaal klimaat met warme, droge zomers wordt een inkrimping van het areaal verwacht. Dit scenario lijkt door de gevoeligheid van de kommavlinder voor hitte en droogte ook op de hoge zandgronden waarschijnlijk.

Tabel 3.14: Aantal sinds 1990 bekende populaties van de kleine ijsvogelvlinder dat aanwezig is of verdwenen (zonder waarnemingen na 2015).

Kommavlinder	Aanwezig	Verdwenen	Totaal	% Verdwenen
Nederland	52	20	72	28
Drenthe	15	6	21	29
Droog - Groot	3	1	4	25
Droog - Klein	4	4	8	50
Vochtig - Groot	3	0	3	0
Vochtig - Klein	5	1	6	17

Van alle 72 sinds 1990 bekende populaties van de kommavlinder in Nederland zijn er 20 (28%) verdwenen. Voor Drenthe zijn er van de 21 populaties 6 verdwenen (29%). De verdwenen populaties waren vooral van kleine omvang en gesitueerd in droge gebieden. De grotere populaties liggen op het Ballooërveld, Dwingelderveld, Mantingerzand, Scharreveld, Leggelderveld en Drents-Friese Wold.



Figuur 3.18: Ligging en typering van de populaties van de kommavlinder in Drenthe.

Voor een klimaatbestendig leefgebied voor de kommavlinder is het belangrijk om:

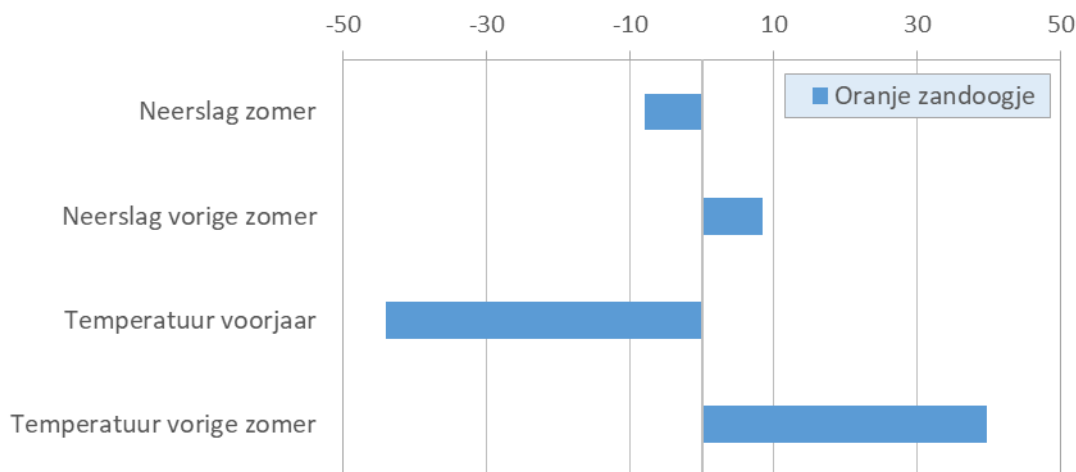
- de vochtcondities rond de voortplantingslocaties zo te houden dat er voldoende nectarbronnen op korte afstand beschikbaar zijn
- voldoende structuurvariatie te bieden in de kruidlaag voor een grotere spreiding van warm naar koeler microklimaat (dus geen hoge begrazingsintensiteit in droge zomers)

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de kleine leefgebieden te vergroten, o.m. door herstel van heischrale graslanden (Van der Zee *et al.*, 2017)
- stikstofdepositie en bodemverzuring tegen te gaan
- een open vegetatiestructuur te bevorderen

Oranje zandoogje

Het oranje zandoogje was eerder niet bedreigd maar door de populatieafname in het noordoosten (Drenthe en delen van aangrenzende provincies) staat de soort nu als gevoelig op de Rode Lijst. Hij is veel te vinden op overgangen van bosranden naar ruige, vochtige graslanden. De soort lijkt te profiteren van klimaatopwarming, maar warme voorjaars hebben daarbij wel een sterk negatieve invloed.



Figuur 3.19: Richting en percentage van de klimaatvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen oranje zandoogjes verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.15: Samenvatting van significante klimaatvariabelen voor het oranje zandoogje (significantie: -- -/+++ $p < 0,001$, --- -/++++ $p < 0,0001$).

Aantal waarnemingen	1514	
R ²	0,36	
Variabele	F-waarde	sign.
Neerslag zomer	13,94	---
Neerslag vorige zomer	14,95	+++
Temperatuur voorjaar	77,8	----
Temperatuur vorige zomer	70,3	++++

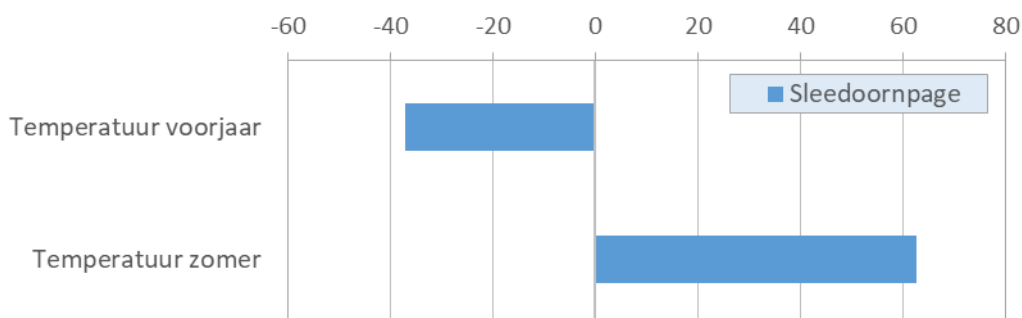
Het oranje zandoogje is talrijker na een warme en ook vochtige zomer, maar beduidend minder talrijk na een warm voorjaar. In een natte zomer zijn de aantallen lager.

Het oranje zandoogje heeft een vooral atlantische verspreiding buiten het Middellandse zeegebied. Nederland bevindt zich aan de noordgrens van het areaal. Bij klimaatopwarming wordt een noordwaartse uitbreiding van het areaal verwacht, die een toename in Nederland aannemelijk maakt. Dit wordt bevestigd door een gunstiger ontwikkeling bij het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +14). De negatieve invloed van een warm voorjaar kan deze ontwikkeling echter ongunstig beïnvloeden, zeker in drogere gebieden.

Voor het oranje zandoogje zijn nog geen populaties afgebakend, waardoor de ontwikkelingen niet op populatieniveau kunnen worden besproken. In Drenthe zijn de aantallen sinds 1992 maar liefst met 90% gedaald, maar komt de soort toch nog wel wijd verbreid voor. Voor zowel een klimaatbestendiger als kwalitatief hoogwaardig leefgebied is het belangrijk om in vochtige milieus te zorgen voor geleidelijke overgangen van bosranden en houtwallen naar graslanden op verschillende exposities ten opzichte van de zon. Ook de hoge stikstofdepositie lijkt echter een belangrijke beperking voor het oranje zandoogje.

Sleedoornpage

De sleedoornpage is en blijft een bedreigde soort in Nederland. De soort is gebonden aan vitale sleedoornstruwelen in zowel natuurlijke als stedelijke omgeving. Over het geheel profiteert de sleedoornpage van klimaatopwarming, al lijkt een warm voorjaar ongunstig te zijn.



Figuur 3.20: Richting en percentage van de klimaatvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen sleedoornpages verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.16: Samenvatting van significante klimaatvariabelen voor de sleedoornpage (significantie: -- -/+++ $p < 0,001$).

Aantal waarnemingen	426	
R ²	0,37	
Variabele	F-waarde	sign.
Temperatuur voorjaar	7,16	-- -
Temperatuur zomer	12,07	+++

Verdwenen populaties van de sleedoornpage zijn relatief klein ($p < 0,05$), waarbij de kritische oppervlakte 15 ha bedraagt.

De sleedoornpage is talrijker in warme zomers maar juist wat minder talrijk na een warm voorjaar, mogelijk door een negatief effect van droogte op de ontwikkeling van de rupsen.

Nederland bevindt zich in de noordelijke helft van het verspreidingsgebied van de sleedoornpage, zodat over het geheel een positieve ontwikkeling bij klimaatopwarming wordt verwacht. Dit blijkt ook uit een positievere ontwikkeling bij het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +23).

Van alle 72 sinds 1990 bekende populaties van de sleedoornpage in Nederland zijn er 9 (13%) verdwenen. In Drenthe zijn er 2 populaties van grotere omvang aanwezig in het stedelijk gebied van Zuidwolde.

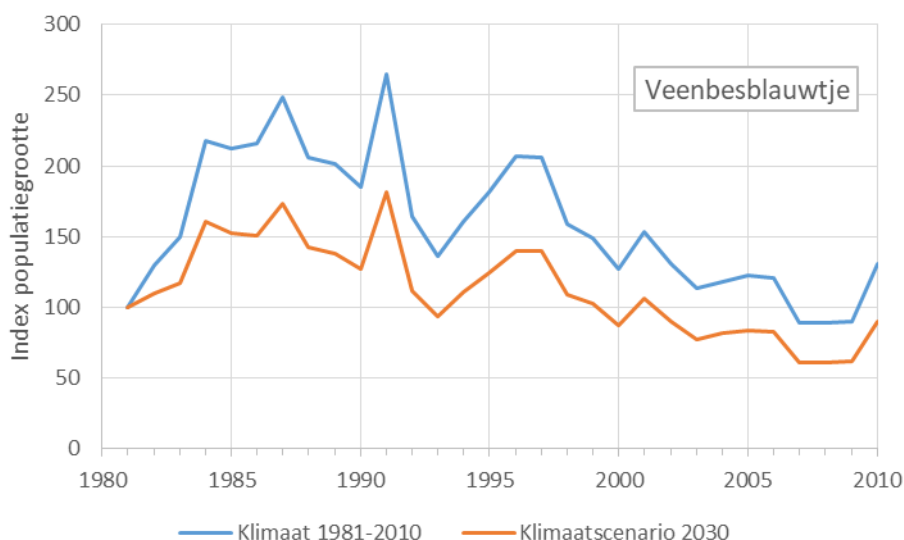
Voor een klimaatbestendig leefgebied voor de sleedoornpage zijn geen speciale acties nodig. Voor een duurzaam behoud is in stedelijke en agrarische omgeving vooral een gefaseerd snoei-beheer van sleedoornstruwelen belangrijk. In natuurgebieden op kalkrijke of leemhoudende bodem is extensieve begrazing een prima beheer.

Veenbesblauwtje

Het veenbesblauwtje is met twee resterende kleine populaties een ernstig bedreigde soort in Nederland. De soort komt alleen voor in kleine door bos omgeven hoogveentjes met een stabiele waterhuishouding. Bij klimaatopwarming komt het veenbesblauwtje onder druk te staan, maar met hydrologische maatregelen is dat tot op zekere hoogte op te vangen.



Door het geringe aantal gegevens ($n=65$) was er maar een beperkte analyse mogelijk van klimaatinvloeden. Daaruit bleek dat warmte in het voorjaar, in de periode van groei van de rupsen tot aan de vliegtijd van de vlinders, een negatieve invloed heeft op de talrijkheid van het veenbesblauwtje ($F_{1,60} = 4,56$, $p < 0,05$; $R^2 = 0,24$).



Figuur 3.21: Gesimuleerde populatieontwikkeling van het veenbesblauwtje in Nederland bij het klimaat van de referentieperiode 1981-2010 en het klimaatscenario van 2030.

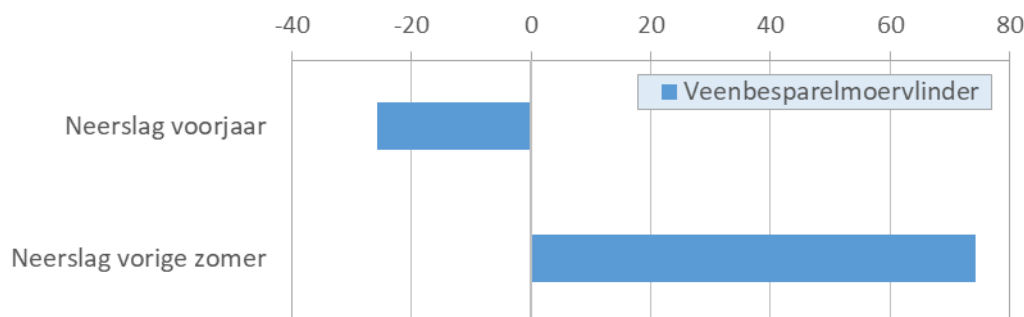
De negatieve invloed van de voorjaarswarmte leidt tot een veel slechtere ontwikkeling onder het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van het klimaat van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil -49). Dit stemt overeen met de verwachte inkrumping van het areaal bij klimaatopwarming. Toch is de populatieontwikkeling met het klimaatscenario van 2030 niet alleen maar negatief (Figuur 3.21). Dit suggereert dat mitigerende maatregelen succes kunnen hebben.

Er resteren twee populaties in Nederland, waarvan de Drentse populatie in het Dwingelderveld twee kernen omvat.

Het voortbestaan van het veenbesblauwtje in Nederland hangt aan een zijden draad. Aanbevelingen voor stabilisatie van de waterhuishouding en verbetering van de habitatkwaliteit zijn opgesteld door Norda *et al.* (2019) en Wallis de Vries & Manger (2019). Voorts moet er ook aan worden gewerkt om de stikstofdepositie te verminderen.

Veenbesparelmoervlinder

De veenbesparelmoervlinder is een ernstig bedreigde soort die alleen nog in Drenthe voorkomt. Net als het veenbesblauwtje is de soort te vinden op kleine door bos omgeven hoogveentjes met goed ontwikkelde veenmosbulten, waar de waardplant veenbes groeit. Droge zomers vormen bij klimaatopwarming een bedreiging, maar het behoud van de veenbesparelmoervlinder lijkt zeker niet onmogelijk.



Figuur 3.22: Richting en percentage van de klimaatvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen veenbesparelmoervlinders verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.17: Samenvatting van significante klimaatvariabelen voor de veenbesparelmoervlinder (significantie: – $p < 0,05$; ++ $p < 0,01$).

Aantal waarnemingen	205	
R ²	0,19	
Variabele	F-waarde	sign.
Neerslag voorjaar	4,8	–
Neerslag vorige zomer	13,8	++

De veenbesparelmoervlinder is talrijker na een neerslagrijke zomer, maar ook na een relatief droog voorjaar in de aanloop naar de vliegtijd van de vlinder. Bij een stabiele waterhuishouding hoeft dat niet meteen tot droogte te leiden.

Net als het veenbesblauwtje wordt verwacht dat het geschikte areaal voor de veenbesparelmoervlinder gaat krimpen, zij het bij de veenbesparelmoervlinder in mindere mate. Toch laat de ontwikkeling bij het klimaatscenario van 2030 geen verschil zien met die onder het klimaat van 1981-2010. Dat kan betekenen dat de veenbesparelmoervlinder met verdere maatregelen voor stabilisatie van de waterhuishouding voor Nederland behouden kan blijven.

Van de 11 sinds 1990 bekende populaties van de veenbesparelmoervlinder in Nederland, c.q. Drenthe, zijn er 7 verdwenen (64 %). In 2019 zijn er nog slechts waarnemingen uit 3 populaties bekend.

Het voortbestaan van de veenbesparelmoervlinder in Nederland hangt aan een zijden draad.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het belangrijk om:

- te zorgen voor een stabiele waterhuishouding
- een door beboste omgeving te behouden voor een beschut microklimaat, waarbij bomen die in het veen wortelen wel kunnen worden verwijderd om onnodige verdamping tegen te gaan

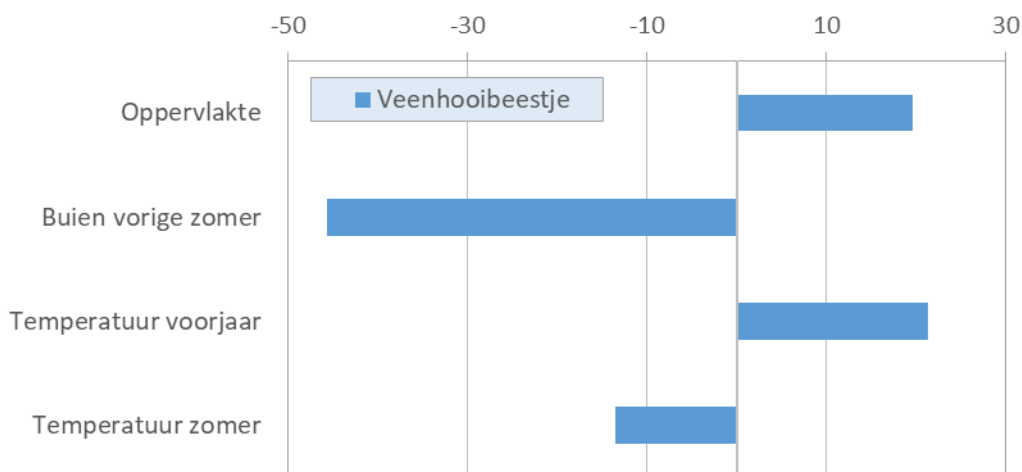
Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de stikstofdepositie te verminderen

Aanbevelingen voor verbetering van de waterhuishouding en de habitatkwaliteit zijn opgesteld door Norda *et al.* (2019) en Wallis de Vries & Manger (2019).

Veenhooibeestje

Het veenhooibeestje is net als de twee andere veenvlinders ernstig bedreigd, met het verschil dat de populatie van het veenhooibeestje zich na 2000 positief heeft ontwikkeld. De soort is behalve in kleine veentjes ook in grotere hoogvenen aan te treffen, en dan vooral in de randzones met eenarig wollegras. Kleine populaties zijn kwetsbaar. De gevolgen van klimaatverandering voor het veenhooibeestje zijn niet eenduidig; de dreiging ervan is duidelijk, maar wanneer het hoogveen behouden kan blijven dan biedt dat ook goede kansen voor het veenhooibeestje.



Figuur 3.23: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen veenhooibeestjes verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.18: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor het veenhooibeestje (significantie: – $p < 0,05$; ++ $p < 0,01$; --- $p < 0,001$).

Aantal waarnemingen	81	
R ²	0,43	
Variabele	F-waarde	sign.
Oppervlakte	7,18	++
Buien vorige zomer	16,73	---
Temperatuur voorjaar	7,81	++
Temperatuur zomer	4,92	–

Er waren voor het veenhooibeestje weinig monitoringgegevens beschikbaar voor een analyse van klimaatinvloeden, zodat de resultaten vooral een indicatie geven van mogelijke verbanden. Het veenhooibeestje is talrijker in grotere leefgebieden en minder talrijk na hevige neerslag in de vorige zomer, waardoor de levensduur van de vlinders mogelijk wordt verkort en daarmee de eiafzet vermindert. De talrijkheid is groter na een warm voorjaar, maar in een warme zomer is de vliegtijd ook weer versneld afgelopen.

Ook voor het veenhooibeestje wordt bij klimaatopwarming een sterke inkrimping van het leefgebied verwacht. Toch constateerden Franco *et al.* (2006) dat het verdwijnen van Britse populaties van het veenhooibeestje niet aan klimaatverandering te wijten was maar door verslechtering van habitatkwaliteit door landgebruik. De voorspelde ontwikkeling onder het klimaatscenario van 2030 vertoont zelfs groei, maar blijft wel sterk achter bij de ontwikkeling onder het klimaat van 1981-2010 (gemiddeld indexverschil –39). Vooralsnog lijkt de boodschap dat de potentiële winst van hoogveenherstel groter is dan de dreiging van klimaatverandering.

Van de 8 sinds 1990 bekende populaties van het veenhooibeestje in Nederland zijn er 3 verdwenen (38 %). In Drenthe gaat het om 6 populaties, waarvan er één (17 %) uit het Dwingelderveld is verdwenen. De overgebleven populaties komen voor in het Fochteloërveen en de boswachterijen Hooghalen, Grolloo en Schoonloo; buiten Drenthe komt het veenhooibeestje alleen in het Fochteloërveen ook op het Friese deel voor.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het belangrijk om:

- te zorgen voor een stabiele waterhuishouding in het hoogveen

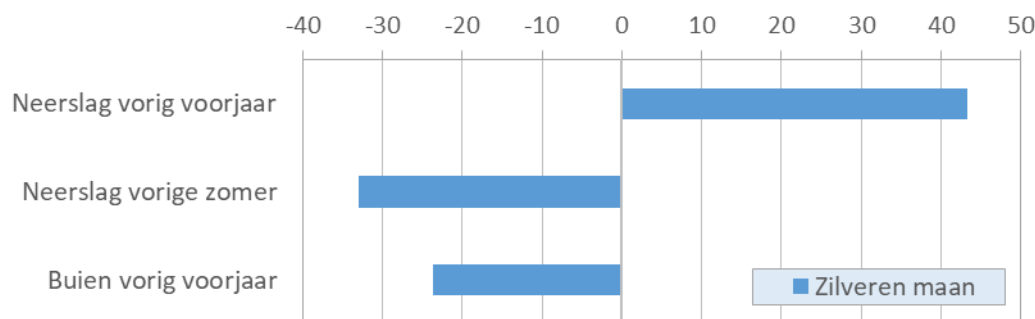
Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de stikstofdepositie te verminderen

Ook kan worden overwogen om het veenhooibeestje in herstelde leefgebieden te herintroduceren.

Zilveren maan

De zilveren maan is nog steeds een bedreigde soort in Nederland. Hij is vooral aangewezen op natte schraallanden, al kan de vlinder ook in andere leefgebieden met voldoende viooltjes en een vochtig microklimaat voorkomen. Behoud van deze leefgebieden is de hoogste prioriteit. Voor het overige is de invloed van klimaatverandering voor de zilveren maan nog onzeker.



Figuur 3.24: Richting en percentage van de klimaat- en omgevingsvariatie die de jaar-op-jaar verschillen in de aantallen zilveren manen verklaart in droge en natte leefgebieden.

Tabel 3.19: Samenvatting van significante klimaat- en omgevingsvariabelen voor de zilveren maan (significantie: -- $p < 0,01$; ---/+++ $p < 0,001$).

Aantal waarnemingen	339	
R ²	0,23	
Variabele	F-waarde	sign.
Neerslag vorig voorjaar	13,76	+++
Neerslag vorige zomer	10,5	---
Buien vorig voorjaar	7,51	--

De zilveren maan is talrijker wanneer het vorige voorjaar nat is geweest, maar zonder hevige neerslag, en de vorige zomer droog. Veel neerslag in de vliegtijd van de tweede generatie kan het voortplantingssucces verminderen. Neerslag in het voorjaar kan deze vochtminnende soort ten goede komen en mogelijk ook een buffer vormen tegen droogte gedurende de zomer.

De areaalverschuiving van de zilveren maan kan nog niet betrouwbaar worden voorspeld. De modellen wijzen wel op een verslechtering van de condities in het laagland van West- en Midden-Europa, en dus ook in onze streken. De huidige analyse geeft geen duidelijk afwijkende ontwikkeling onder het klimaatscenario van 2030 ten opzichte van het klimaat uit 1981-2010 (gemiddeld indexverschil +5). Vooralsnog lijkt klimaatverandering voor de zilveren maan een minder grote bedreiging dan landgebruik, met name vermessing en drainage van leefgebied.

Van de 33 sinds 1990 bekende populaties van de zilveren maan in Nederland zijn er 9 (27 %) verdwenen. In Drenthe gaat het om 5 populaties, waarvan twee bij de Elperstroom en twee in het Reestdal. Eén uitgezette populatie (20 %) van kleine omvang bij Gasselte is verdwenen.

Voor een klimaatbestendig leefgebied is het vooral belangrijk om:

- te zorgen voor het behoud en herstel van de vochtige condities voor natte schraallanden

Voorts moet er ook aan worden gewerkt om:

- de stikstofdepositie te verminderen
- bij ontwikkeling en herstel van blauwgrasland ook de potenties voor de zilveren maan mee te nemen, met name door te zorgen voor voldoende hoge dichtheden moerasviooltjes, met een voldoende oppervlakte leefgebied op landschapsschaal
- een gefaseerd maaibeheer toe te passen

4. Synthese

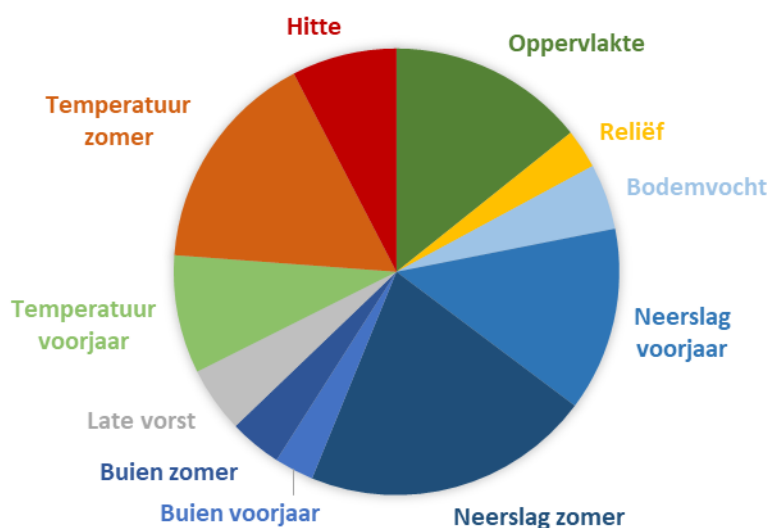
Klimaatverandering lijkt in het natuur- en het waterbeheer eindelijk de hoge prioriteit te krijgen die het verdient. Vooral de omgang met extremen van droogte en hevige neerslag vereisen daarbij extra aandacht. De hier uitgevoerde klimaatstresstest voor bedreigde dagvlinders onderstreept dat en geeft handvatten voor de uitvoering van maatregelen.

De klimaatstresstest voor dagvlinders heeft zich gericht op 34 soorten bedreigde en wettelijk beschermde dagvlindersoorten in Nederland. Voor de provincie Drenthe gaat het om 16 soorten met actuele of – voor grote vos en keizermantel – mogelijke populaties.

Over alle soorten bezien zijn de invloeden van temperatuur en neerslag (c.q. neerslag minus verdamping) in de zomer het vaakst significant (Figuur 4.1). De zomertemperatuur heeft meestal een positieve invloed op de aantalsontwikkeling (15 van de 17 gevallen), maar hitte is voor acht soorten uit heidegebieden een negatieve factor. De invloed van de neerslag is even vaak positief als negatief (19 om 17 gevallen), afhankelijk van de biotoop van de soort en de balans tussen het positieve effect van een goed aanbod van nectar of waardplanten en het negatieve effect van een kortere vliegtijd of inundatie. Perioden met forse buien in voorjaar of zomer vormen voor zeven soorten een risico en late vorst voor vijf soorten. Ook de lokale condities zijn van belang (22% van de gevallen), juist ook voor het opvangen van de klimaatinvloeden:

- grotere leefgebieden vergroten de veerkracht van populaties,
- reliëf is vooral voor gentiaanblauwtje, heideblauwtje en heivlinder van toegevoegde waarde om de invloed van droogte, hitte en extreme regenval te bufferen
- bodemvocht is bij aardbeivlinder, bruine vuurvlinder, heideblauwtje en heivlinder van positieve invloed om perioden van droogte op te kunnen vangen.

Droogte is al met al een belangrijke factor voor tweederde van de soorten: hetzij via verdroging van het leefgebied op lange termijn, hetzij via de overleving en voortplanting op korte termijn. Meer aandacht voor klimaatadaptatie verdient daarom een hoge prioriteit bij water- en natuurbeheerders.



Figuur 4.1: Verdeling van 105 significante invloeden van klimaat en omgeving op de populatieontwikkeling van bedreigde dagvlinders.

Een duurzame bescherming van de voor klimaatverandering kwetsbare soorten vergt niet alleen maatregelen voor klimaatadaptatie. Ook andere knelpunten vergen de aandacht. Sterker: juist doordat andere reeds bestaande bedreigingen de staat van instandhouding van de bedreigde soorten al hebben verzwakt, kan de toevoeging van klimaatverandering het voortbestaan van de soorten op het spel zetten. Om de andere knelpunten op te heffen is vooral actie nodig ten aanzien van:

- vergroting van leefgebieden en de connectiviteit ertussen op landschapsschaal
- vermindering van stikstofdepositie en herstel van buffercapaciteit in verzuurde bodems op zandgronden.

In tabel 4.1 zijn de prioriteiten voor klimaatadaptatie, uitbreiding van leefgebied en afname van stikstofbelasting aangegeven voor de behandelde soorten op basis van de huidige analyse en kennis over soorteigenschappen (zie Wallis de Vries, 2014).

- Klimaatadaptatie heeft topprioriteit voor gentiaanblauwtje, heivlinder, kommavlinder en de drie soorten veenvlinders.
- De prioriteit is voor klimaatadaptatie even hoog als voor uitbreiding van leefgebied en afname van stikstofbelasting Voor bruine vuurvlinder en heideblauwtje.
- Voor geelsprietdikkopje, grote weerschijnvlinder, oranje zandoogje en zilveren maan is klimaatadaptatie wel nodig, maar lijkt dit goed te verwezenlijken door generieke maatregelen of eenvoudiger maatwerk in biotoopbeheer.
- Voor een beperkte groep van drie soorten – grote vos, keizersmantel en sleedoornpage – is geen specifieke klimaatadaptatie nodig.

Klimaatadaptatie voor het behoud van de leefgebieden van bedreigde dagvlinders is op verschillende manieren te verwezenlijken.

Een grotere flexibiliteit in het waterbeheer is daarbij een absolute noodzaak. Vooral is een sterkere nadruk nodig op het opbouwen van buffers in het grondwater op de hoge zandgronden voor de overbrugging van droge perioden. Dit moet in principe mogelijk zijn omdat ook in de toekomst in een gemiddeld jaar nog steeds een neerslagoverschot wordt verwacht. Het vergt echter nog een verdere omslag in het denken bij de waterbeheerders van ontwatering naar waterbehoud – en dat zonder dat kwetsbare vochtige leefgebieden in natte jaren door inundatie verdrinken.

Concrete acties voor klimaatadaptatie van de leefgebieden voor bedreigde dagvlinders zijn met name gericht op:

- stabilisatie van waterhuishouding en voorkomen van drainage met:
 - geleidelijke vernatting in verdroogde leefgebieden
 - in natte terreinen uitbreiding van leefgebied hoger op de gradiënt
- benutting van reliëf, variatie in bodemtype en vochtgradiënten om te zorgen voor risicospreiding tegen extremen van droogte en inundatie door spreiding
- het voorkomen van inundatie van leefgebied in reliëfarme gebieden
- het vergroten van de variatie in het microklimaat door:
 - kleinschalig bosrandbeheer op verschillende exposities ten opzichte van de zon
 - structuurvariatie in de kruidlaag te bevorderen voor een grotere spreiding van warm naar koeler microklimaat (dus aanpassing van begrazingsintensiteit en maaibeheer aan droge of juist natte zomers)
 - vliegdenen in droge heidegebieden te behouden zodat de vlinders dekking kunnen vinden op hete dagen
- behoud van het nectaraanbod in droge jaren door aanpassing van begrazingsintensiteit en maaibeheer, waarbij bloemrijke graslanden of bermen in de naaste omgeving van heidegebieden van toegevoegde waarde kunnen zijn.

Tabel 4.1: Prioriteitstelling voor klimaatadaptatie ten opzichte van de opgaven voor uitbreiding van leefgebied en afname van stikstofbelasting voor bedreigde en beschermde soorten dagvlinders in de provincie Drenthe.

Rood: zeer hoge prioriteit, **Oranje:** hoge prioriteit, **Lichtgroen:** nodig en goed te realiseren, **Donkergroen** of niet gekleurd: geen specifieke acties nodig.

Soort	Rode Lijst status	Prioriteitstelling		
		Klimaat-adaptatie	Uitbreiding leefgebied	Afname N-belasting
Aardbeivlinder	BE			
Bruine vuurvlinder	KW			
Geelsprietdikkopje	BE			
Gentiaanblauwtje	BE			
Grote vos	KW			
Grote weerschijnvlinder	TNB ¹			
Heideblauwtje	KW			
Heivlinder	KW			
Keizersmantel	TNB ¹			
Kommavlinder	BE			
Oranje zandoogje	GE			
Sleedoornpage	BE			
Veenbesblauwtje	EB			
Veenbesparelmoervlinder	EB			
Veenhooibeestje	EB			
Zilveren maan	BE			

¹ Wel opgenomen op de Rode Lijst Dagvlinders van 2006; grote weerschijnvlinder is nog wel wettelijk beschermd.

Literatuur

- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D.A., Baeten, L., Verstraeten, G. et al. (2013) Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 (46), 18561–18565
- Davies, Z.G., Wilson, R.J., Coles, S. & Thomas, C.D. (2006) Changing habitat associations of a thermally constrained species, the silver-spotted skipper butterfly, in response to climate warming. *Journal of Animal Ecology* 75 (1), 247-256.
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. & Mearns, L.O. (2000) Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science* 289 (5487), 2068-2074
- Franco, A.M.A., Hill, J.K., Kitschke, C., Collingham, Y.C., Roy, D.B., Fox, R., Huntley, B. & Thomas, C.D. (2006) Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. *Global Change Biology* 12 (8), 1545-1553.
- Lawson, C.R., Bennie, J.J., Thomas, C.D., Hodgson, J.A. & Wilson, R.J. (2013) Active management of protected areas enhances metapopulation expansion under climate change. *Conservation Letters* 7, 111–118.
- Malinowska, A.H., Strien, A.J., Verboom, J., Wallis de Vries, M.F. & Opdam, P. (2014) No evidence of the effect of extreme weather events on annual occurrence of four groups of ectothermic species. *PLoS ONE* 9(10), e110219.
- McDermott Long, O., Warren, R., Price, J., Brereton, J.M., Botham, M.S. & Franco, A.M.A. (2016) Sensitivity of UK butterflies to local climatic extremes: which life stages are most at risk? *Journal of Animal Ecology* 86, 108-116.
- Norda, L., M. Koopmans, W. Beekman, H.J.W. Vermeulen, A. Woldering, D. Maes & R. Van Diggelen (2019) *Omgang met boszones rond heideveentjes*. OBN-rapport, VBNE, Driebergen (in druk).
- Oliver, T., Roy, D.B., Hill, J.K., Brereton, T. & Thomas, C.D. (2010) Heterogeneous landscapes promote population stability. *Ecology Letters* 13 (4), 473-484.
- Omon, B., Veling, K. & Wallis de Vries, M.F. (2015) De keizersmantel als indicator voor het herstel van lichte en viooltjesrijke hellingbossen. *De Levende Natuur* 116 (5), 204-207.
- Roy, D.B., Rothery, P., Moss, D., Pollard, E. & Thomas, J.A. (2001) Butterfly numbers and weather : predicting historical trends in abundance and the future effects of climate change. *Journal of Animal Ecology* 70 (2), 201-217.
- Settele, J., Kudrna, O., Harpke, A., Kühn, I., Swaay, C. van, Verovnik, R., Warren, M., Wiemers, M., Hanspach, J., Hickler, T., Kühn, E., Halder, I. van, Veling, K., Vliegthart, A., Wynhoff, I. & Schweiger, O. (2008) *Climatic risk atlas of European butterflies*. BioRisk 1, Special Issue, Pensoft, Sofia.
- Suggitt, A.J., Wilson, R.J., Isaac, N.J.B., Beale, C.M., Auffret, A.G., August, T. et al. (2018) Extinction risk from climate change is reduced by microclimatic buffering. *Nature Climate Change* 8, 713–717.
- Van der Zee, F.F., Bobbink, R., Wallis de Vries, M.F., Oostermeijer, J.G.B., Luijten, S.H. & de Graaf, M. (2017) *Naar een Actieplan Heischrale Graslanden: hoe*

behouden en herstellen we heischrale graslanden in Nederland? Rapport 2812, Wageningen Environmental Research, Wageningen.

Van Swaay, C.A.M. (2019) *Basisrapport Rode Lijst Dagvlinders 2019 volgens Nederlandse en IUCN-criteria*. Rapport VS2019.001, De Vlinderstichting, Wageningen.

Wallis de Vries, M.F. (2014) Linking species assemblages to environmental change: moving beyond the specialist-generalist dichotomy. *Basic and Applied Ecology* 15, 279-287.

Wallis de Vries, M.F. & Bult, R. (2018) *25 jaar natuurontwikkeling na ontgronden: effecten op vegetatie en dagvlinders*. Rapport Monitoring OBN-18-NZ, VBNE, Driebergen.

Wallis de Vries, M.F. & Manger, R. (2019). *Ontwikkeling van de habitatkwaliteit van heideveentjes voor de veenvlinders in Drenthe tussen 2005 en 2018*. Rapport VS2019.004, De Vlinderstichting, Wageningen.

Wallis de Vries, M.F., Baxter, W. & van Vliet, A.J.H. (2011) Beyond climate envelopes: effects of weather on regional population trends in butterflies. *Oecologia* 167 (2), 559-571.

Wallis de Vries, M.F., Noordijk, J., Smit, J., Lambriks, N., van Rijsewijk, A. & Zollinger, R. (2018a). *Naar een klimaatbestendige heidefauna in Noord-Brabant: Rapportage Fase 2*. Rapport VS2018.021, De Vlinderstichting / Stichting RAVON / EIS-Kenniscentrum Insecten, Wageningen.

Wösten, H. de Vries, F., Hoogland, T., Massop, H., Veldhuizen, A., Vroon, H., Wesseling, J., Heijkers, J. & Bolman, A. (2012) *BOFEK2012, de nieuwe, bodemfysische schematisatie van Nederland*. Alterra-rapport 2387, Wageningen.