

Dagvlindersoorten van zandverstuivingen in Nederland

“Hoe ziet de toekomst voor de kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) en heivlinder (*Hipparchia semele*) in Nederland eruit?”



Ida Verbraeken

Augustus 2020

Dagvlindersoorten van zandverstuivingen in Nederland

“Hoe ziet de toekomst voor de kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) en heivlinder (*Hipparchia semele*) in Nederland eruit?”

Student: Ida Verbraeken

Opleiding: Toegepaste Biologie

Datum: Augustus 2020

Plaats: Almere, Nederland

Afstudeerdocent: Erwin Roze



Colofon

Tekst

Ida Verbraeken

In opdracht van

Aeres Hogeschool Almere

Stadhuisstraat 18

1315 HC Almere

Stagedocent: Erwin Roze

Stagecoördinator: Yolanda Maas

Fotografie

Foto omslag: Staatsbosbeheer

Augustus 2020

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
Summary	6
1 Inleiding.....	7
1.1 Mondiale klimaatverandering	7
1.2 Klimaatverandering in Nederland	7
1.3 Effecten van klimaatverandering op de natuur in Nederland.....	8
1.4 Zandverstuivingen.....	9
1.5 Dagvlinders van zandverstuivingen.....	10
1.5.1 Kleine heivlinder.....	10
1.5.2 Heivlinder	12
1.6 Hoofd- en deelvragen	14
1.7 Doelstelling	14
2 Aanpak	15
2.1 Aanpak deelvragen.....	15
2.2 Zoekplan	16
3 Resultaten.....	18
3.1 KNMI-scenario's	18
3.2 Kootwijkerzand en Pampelsche Zand	19
3.3 Effecten klimatologische factoren op zandverstuivingen	22
3.4 Effecten klimatologische factoren op Kootwijkerzand en Pampelsche Zand.....	23
3.5 Effecten klimatologische factoren op kleine heivlinder en heivlinder	26
3.6 Toekomstige ontwikkeling populaties kleine heivlinder en heivlinder	28
4 Discussie	31
5 Conclusie en aanbevelingen	32
5.1 Conclusie	32
5.2 Aanbevelingen.....	33
Literatuurlijst.....	34

Samenvatting

Over de gehele wereld wordt al decennia lang onderzoek gedaan naar klimaatverandering en de effecten daarvan op mens en natuur. Ook in Nederland wordt veelvuldig onderzoek gedaan naar dit onderwerp, waaronder de effecten van klimaatverandering op de natuur in ons land. Een belangrijk ecosysteem waar de effecten van klimaatverandering goed zichtbaar zijn, zijn zandverstuivingen. Er komen diverse plant- en diersoorten op zandverstuivingen voor die zich aan dit unieke ecosysteem hebben aangepast. Zo ook de kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) en heivlinder (*Hipparchia semele*). De dagvlindersoorten komen nu nog op de stuifzanden voor, maar er zijn grote zorgen over het voortbestaan van beide soorten in ons land. In dit literatuuronderzoek wordt onderzocht wat de reden voor deze achteruitgang is en hoe de toekomst van beide soorten in Nederland eruit ziet.

Voor dit onderzoek zijn diverse online bibliotheken en databases doorzocht naar relevante Nederlands- of Engelstalige literatuur om de beantwoording van de hoofd- en deelvragen te onderbouwen. Vervolgens is ingezoomd en gekeken naar de effecten van klimatologische factoren op het macro- en microklimaat van de kleine heivlinder en heivlinder. Tevens is de huidige populatieontwikkeling van beide soorten bekeken.

De kleine heivlinder heeft nog één populatie op het Kootwijkerzand, het grootste stuifzandlandschap van Europa. De kwaliteit van het leefgebied van de soort neemt de laatste jaren af. Dit komt met name door de vastlegging van zand door mossoorten. Problemen tijdens diverse levensstadia van de kleine heivlinder zorgen ervoor dat aantallen van de soort in rap tempo afnemen. De verwachting is dat de soort binnen een aantal jaar in Nederland is verdwenen. De toekomstige ontwikkeling van de heivlinder is iets positiever. De soort heeft nog meerdere populaties en meer individuen dan de kleine heivlinder. Tevens is het leefgebied van betere kwaliteit en heeft de heivlinder minder habitateisen dan de kleine heivlinder, waardoor de verwachting is dat de heivlinder de komende jaren niet uitsterft in Nederland.

Het advies aan natuurbeheerders is dan ook om op korte termijn maatregelen voor de kleine heivlinder te treffen, zoals het plaggen van het stuifzand, het verwijderen van bomen en het plaatsen van meer nectarbronnen. Vervolgens kan gedacht worden aan een beheerplan op lange termijn, waarbij gekeken wordt naar uitbreiding van de populatie. Indien het voor de kleine heivlinder te laat is, kan het beheerplan ook voor de heivlinder worden toegepast, zodat de soort hopelijk zijn kwetsbare status kwijtraakt.

Summary

Studies on climate change and its effects on people and nature have been going on for decades. Extensive research on this subject has been done in The Netherlands, including the effects of climate change on nature. An important ecosystem where the effects of climate change are clearly visible are sand drifts. Many different plant and animal species have adapted to this unique ecosystem. Two examples are the tree grayling (*Hipparchia statilinus*) and rock grayling (*Hipparchia semele*). The butterfly species are still found on the sand drifts, but there are major concerns about the survival of both species in our country. This literature study examines the reason for this decline and the future of both species in The Netherlands.

For this research, various online libraries and databases were searched for relevant Dutch or English literature in order to substantiate the answers to the main and sub-questions. Next, the effects of climatological factors on the macro and microclimate of the tree grayling en rock grayling were analysed. The current population development of both species was also examined.

There is only one population of the tree grayling left on Kootwijkerzand, the largest sand drift landscape in Europe. The quality of the habitat has been declining for the last few years, mainly because of the fixation of sand by moss species. Problems during various life stages of the tree grayling are causing the numbers of the species to decline rapidly. The species is expected to disappear in The Netherlands within a few years. The future of the rock grayling looks slightly more positive. The species has multiple populations and more individuals than the tree grayling. The habitat of the rock grayling is also of better quality and the butterfly has fewer habitat requirements than the tree grayling. Because of this, it is expected that the rock grayling will not go extinct in the Netherlands within the coming years.

The advice to nature managers is to take short-term measures for the tree grayling, such as removing thick moss layers and trees and placing more nectar sources. After that, a long-term management plan can be considered, looking at the expansion of the population. The management plan can also be applied for the rock grayling if it is already too late for the tree grayling, so that the species will hopefully lose its vulnerable status.

1 Inleiding

1.1 Mondiale klimaatverandering

Over de hele wereld is het klimaat aan het veranderen. In 2013 en 2014 heeft het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) drie rapporten gepubliceerd over klimaatverandering. De organisatie, opgezet door de Verenigde Naties, evalueert de risico's van klimaatverandering door de kennis van honderden wetenschappers vanuit de gehele wereld te bundelen. Het IPCC doet zelf geen onderzoek, maar evalueert onderzoek dat is gepubliceerd in peer-reviewed wetenschappelijke tijdschriften. Het eerste rapport, van IPCC Werkgroep I, gaat in op de basis en gevolgen van klimaatverandering en de maatregelen die getroffen kunnen worden om klimaatverandering tegen te gaan (Stocker *et al.*, 2013). Het rapport heeft hiermee een basis gelegd voor een groot deel van de wereldwijde, wetenschappelijke onderzoeken naar klimaatverandering. Het tweede IPCC rapport gaat over de effecten van klimaatverandering en over de mogelijkheden voor aanpassingen daaraan (Edenhofer *et al.*, 2014). Aanvullend daarop behandelt het derde rapport de mogelijkheden om klimaatverandering te beperken door de uitstoot aan broeikasgassen te verminderen (Field *et al.*, 2014). Deze drie rapporten tezamen vormen het vijfde IPCC klimaatrapport en inmiddels wordt er aan een zesde rapport gewerkt.

Uit deze rapporten komt onder andere naar voren dat de mondiale CO₂ concentraties sinds de pre-industriële tijd met 40% gestegen zijn, voornamelijk door fossiele brandstofemissies en veranderingen in het netto landgebruik. Waar de concentratie in de afgelopen 800.000 jaar varieerde tussen circa 180 en 280 ppm is dit aantal in de afgelopen 150 jaar gestegen naar 391 ppm eind 2011 (Stocker *et al.*, 2013). Verwacht wordt dat de CO₂ concentratie aan het einde van 2020 415-420 ppm bedraagt (IEA, 2019).

Een van de belangrijkste gevolgen van deze toename in CO₂ concentraties, en daarmee ook een van de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering, is de opwarming van het aardoppervlak. Menselijke activiteiten zoals de industriële ontwikkeling en ontbossing hebben naar schatting ongeveer 1,0°C van de opwarming van de aarde veroorzaakt sinds de pre-industriële tijd (1850-1900). Verwacht wordt dat de antropogene opwarming van de aarde met 0,2°C per decennium toeneemt. Indien deze trend zich voortzet, zal de aarde in de periode tussen 2030 en 2052 met 1,5°C zijn opgewarmd. Het IPCC heeft in het rapport van 2018 in kaart gebracht wat de gevolgen van 1,5°C opwarming voor de wereld zou betekenen. De gevolgen van een dergelijke snelle opwarming zijn onder andere extremer weer en een verschuiving van het neerslagpatroon. Centraal- en oost Noord-Amerika, Centraal- en Zuid-Europa, het noorden en zuiden van Afrika en West- en Centraal Azië zullen extremer weer meemaken. Bij een opwarming van 1,5°C worden extreme hittegolven geen uitzondering in deze gebieden. Verwacht wordt dat het aantal extreem warme dagen in de tropen het meest zal toenemen (Masson-Delmotte *et al.*, 2018). Hoewel de kans op extreme koudeperiodes in de winter blijft bestaan, zullen het aantal en de duur ervan afnemen (PBL & KNMI, 2015).

Naast de hierboven beschreven mondiale opwarming, is sinds 1901 de gemiddelde neerslag boven land op de gematigde breedten van het noordelijk halfmond toegenomen. Waarschijnlijk heeft de mens bijgedragen aan deze toename sinds 1950. Er ontstaan mondiale veranderingen in de waterkringloop, maar deze veranderingen verschillen van gebied tot gebied (PBL & KNMI, 2015). De regio's met de grootste toename in een verandering van het neerslagpatroon zijn verschillende hooggelegen gebieden (bijvoorbeeld Alaska, West-Canada, Oost-Canada, Groenland, IJsland, Noord-Europa en Noord-Azië), bergachtige regio's (waaronder het Tibetaans Plateau, Oost-Azië, inclusief China en Japan) en oostelijk Noord-Amerika. Ook droogte is een gevolg van de opwarming van 1,5°C aan het aardoppervlak. De grootste risicogebieden met het oog op droogte zijn het Middellands Zeegebied (inclusief Zuid-Europa en Noord-Afrika) en zuidelijk Afrika (Masson-Delmotte *et al.*, 2018).

1.2 Klimaatverandering in Nederland

Ook in Nederland is klimaatverandering waarneembaar. Aan de hand van KNMI-klimaatsscenario's, die op basis van de IPCC-rapporten zijn gemaakt, ontstaat een beeld van de toekomstige klimaatverandering in

Nederland. Uit dit beeld komt naar voren dat Nederland de komende eeuw te maken krijgt met gemiddeld hogere temperaturen, veranderende neerslagpatronen, een grotere kans op hittegolven in de zomer en een toename van neerslagextremen.

De gemiddelde wereldtemperatuur is in de periode 1907-2019 met circa 1,0°C toegenomen, in Nederland is de gemiddelde jaartemperatuur sinds 1907 met 2,1°C toegenomen (Compendium voor de Leefomgeving, 2020b). Tussen 1951 en 2013 was deze toename het grootst, namelijk 1,6°C. Sinds 1951 is de opwarming in Nederland en omliggende landen dus ongeveer twee keer zo sterk als de mondiale temperatuurstijging. Dit kan voor een belangrijk deel worden verklaard doordat de wind in de winters vaker uit het westen kwam. De zomers waren extra warm doordat de zonnestraling toenam, mede doordat er minder luchtverontreiniging was. 2019 was met een gemiddelde temperatuur van 11°C het zesde zeer warme jaar op rij (KNMI, 2020). Verwacht wordt dat de temperatuur in Nederland blijft stijgen, gemiddeld met 1,0 tot 2,3°C in 2050 (PBL & KNMI, 2015).

De jaarlijkse neerslagsom in Nederland is in de periode 1910-2017 gelijkmatig gestegen van 690 naar 874 millimeter. Dit is een toename van 27% in 108 jaar. De ruimtelijke spreiding van de toename is echter niet gelijk verdeeld over heel Nederland. Langs de kust is de toename het grootst, namelijk 30 tot 35% (een toename van 200 tot 250 mm). Langs de oostgrens en het zuidoosten van het land is de toename veel lager, namelijk 10 tot 25% (een toename van 70 tot 170 mm) (Compendium voor de Leefomgeving, 2020c). Verwacht wordt dat neerslagextremen het hele jaar door toenemen in Nederland. Dit komt doordat bij een opwarmend klimaat de hoeveelheid waterdamp in de lucht toeneemt (PBL & KNMI, 2015). Naast neerslagextremen komen sinds 1951 periodes met droogte iets vaker voor in Nederland. Indicatoren voor droogte, zoals het neerslagtekort gedurende het groeiseizoen (van 1 april tot en met 30 september) nemen in de klimaatscenario's van de KNMI toe. Verwacht wordt dat deze trend zich in de toekomst doorzet (PBL & KNMI, 2015).

1.3 Effecten van klimaatverandering op de natuur in Nederland

Bovengenoemde klimatologische factoren zijn van invloed op de natuur in Nederland. Nederland heeft van oorsprong een grote variatie aan landschappen: kust- en waddegebieden in het westen en noorden, laaggelegen veengebieden, zeekleigebieden en rivierkleigebieden verspreid over het land en hoger gelegen zandgronden in het oosten en zuiden. Bij die diversiteit aan landschappen hoort een grote biodiversiteit: er zijn veel soorten planten en dieren die van deze leefgebieden afhankelijk zijn. Door de eeuwen heen is het Nederlandse landschap echter grondig veranderd. Zo is er nauwelijks ongerepte natuur meer aanwezig: Nederland is een cultuurlandschap, in grote mate gevormd en beïnvloed door landbouw. Tweederde van het landoppervlak in Nederland is in agrarisch gebruik (Compendium voor de Leefomgeving, 2020a). De populatieomvang van diersoorten van natuurgebieden op het land is sinds 1990 met gemiddeld ongeveer 40 procent afgenomen (Compendium voor de Leefomgeving, 2019c). In open natuurgebieden is de populatieomvang van karakteristieke diersoorten zelfs met gemiddeld ruim 50 procent afgenomen (Compendium voor de Leefomgeving, 2019b). De laatste 10 jaar lijken deze trends stabiel te blijven. In bovengenoemde studies van het Compendium voor de Leefomgeving worden de leefgebieden verdeeld in bos en open natuurgebied (heide, duin en halfnatuurlijk, extensief beheerd grasland). In deze literatuurstudie zal de aandacht uitgaan naar stuifzandgebieden die, samen met restanten hoogveen, in heidegebieden liggen en daarom in de heide-categorie geplaatst worden.

Een mix van factoren is verantwoordelijk voor de veranderingen in populatieomvang van diersoorten in bos, heide (waaronder dus ook stuifzandgebieden) en halfnatuurlijk grasland. Een eerste drukfactor is het verlies aan oppervlakte en de versnippering van natuurgebieden. Het areaal bos is sinds 1990 weinig veranderd. Tussen 1990 en 2013 nam het areaal zelfs licht toe door aanleg van nieuwe bossen, vooral in laag Nederland. Maar de groei van bosareaal is de laatste jaren weer geslonken door kap, in veel gevallen om open natuur te creëren (Schelhaas, Arets, & Kramer, 2017). Hoewel het totaaloppervlak aan natuurgebieden enigszins is toegenomen, is een aanzienlijk deel van deze gebieden te klein of te versnipperd om genoeg ruimte te bieden voor stabiele populaties. Dit geldt met name voor heidegebieden en halfnatuurlijke graslanden (Compendium voor de Leefomgeving, 2018b) (Compendium voor de Leefomgeving, 2016).

Een tweede drukfactor op de natuur is verdroging. Verdroging was al voor 1990 een groot probleem in natuurgebieden. Op veel plaatsen is de grondwaterstand verlaagd voor landbouw en bewoning of door waterwinning. Wanneer er droge periodes zijn, wordt vaak water onttrokken, onder andere voor de landbouw. In veel natuurgebieden is de grondwaterstand hierdoor gedaald. Een te lage grondwaterstand in het voorjaar is een belangrijke oorzaak voor de achteruitgang van soorten in ecosystemen. Vooral natte heiden, natte graslanden en vochtige bossen van zandgronden zijn verdroogd (Compendium voor de Leefomgeving, 2018a).

Een derde drukfactor, en daarmee de twee grootste bedreigingen voor natuur op het land, zijn vermesting en verzuring. Van de totale stikstofneerslag in Nederland is 68 procent afkomstig uit Nederlandse bronnen: 46 procent vanuit de landbouw en ruim 20 procent vanuit overige bronnen; wegverkeer, huishoudens en industrie (Compendium voor de Leefomgeving, 2019a).

Klimaatverandering versterkt de effecten van bovengenoemde drukfactoren op de natuur. Een voorbeeld is de samenhang tussen versnippering en weersextremen. Een koud, nat voorjaar of een lange, hete periode in de zomer kunnen leiden tot extra sterfte of het mislukken van de voortplanting van soorten. Wanneer een gebied versnipperd is, duurt het herstel van de populatie veel langer dan in gebieden met een goede ruimtelijke samenhang. In sterk versnipperende delen van het leefgebied, leidt ineenstorting van de aantallen veel vaker tot uitsterven van populaties. Wanneer verstoringen als gevolg van weersextremen elkaar sneller gaan opvolgen, kan dit het regionaal uitsterven van soorten tot gevolg hebben (Vos & Kuiters, 2007).

1.4 Zandverstuivingen

Een belangrijk ecosysteem waar de gevolgen van klimaatverandering goed zichtbaar zijn, zijn zandverstuivingen. Nederland heeft binnen Europa het grootste areaal aan stuifzand, en daarmee een belangrijke verantwoordelijkheid voor behoud, herstel en beheer van deze gebieden. De meeste stuifzanden zijn te vinden op de Veluwe, maar ook in Brabant en Drenthe zijn een aantal grote en kleinere stuifzandgebieden (Riksen, Sparrius, & Nijssen, 2020). (Figuur 1).

Zandverstuivingen vinden hun oorsprong in de tweede helft van de laatste ijstijd. De wind zette zogenaamd dekzand af vanuit de droge zeeën op hogere delen in het land. Na de ijstijd ontstond loofbos op deze afzettingen. Vanaf de middeleeuwen ontstonden door de mens grootschalige zandverstuivingen. Door een combinatie van ontbossingen en het beweiden, branden of afplaggen van de daarna ontstane heide kon de wind opnieuw actief stuifzand vormen. Tot het einde van de 19^e eeuw was ongeveer 800 km² van Nederland bedekt met zandverstuivingen, waarvan een derde op de Veluwe. Rond 1900 begon men de zandverstuivingen vast te leggen door grootschalig grove den (*Pinus sylvestris*) aan te planten. Het areaal actief stuifzand is de laatste decennia zo sterk afgenomen dat het behoud van het stuifzandlandschap voor de toekomst onzeker is geworden. Naar schatting is er in Nederland niet meer dan 1250 hectare (12,5 km²) levend stuifzand over (Nijssen, *et al.*, 2010).

De depositie van stikstof in de vorm van verschillende verbindingen, geldt momenteel als de belangrijkste bedreiging voor zandverstuivingen. Stuifzanden zijn gevoelig voor een hoge depositie, omdat ze van nature voedselarm zijn. De stikstofverbindingen belanden op de bodem en gaan daar chemische reacties aan, wat vervolgens een vermestend en verzurend effect heeft met directe gevolgen voor planten (Wereld Natuur Fonds, 2020). Het veranderde aanbod van voedingsstoffen beïnvloedt onder andere de chemische samenstelling van planten: ze bevatten meer stikstof in verhouding tot fosfor en sporenelementen (Wereld Natuur Fonds, 2020). Door de hoge stikstofdepositie hebben stikstofminnende soorten zoals het mos grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) in korte tijd de Nederlandse stuifzanden gekoloniseerd. De soort is in 1961 voor het eerst in Nederland waargenomen en komt oorspronkelijk op het zuidelijk halfrond voor. Het mos heeft als eigenschap om over grote oppervlakten zeer dichte "matten" te vormen, waardoor hij andere inheemse plantensoorten als buntgras wegconcurrert. De natuurlijke successie van open zand wordt hierdoor



Figuur 1 Kaart met de landduinen en actieve stuifzanden in Nederland (Nationaal Georegister, z.d.).

verstoord en het stuifzand wordt vastgelegd. Karakteristieke korstmossoorten als hamerblaadje (*Cladonia strepsilis*) en ijslands mos (*Cetraria islandica*) zijn hierdoor zeer sterk achteruit gegaan of inmiddels verdwenen in Nederland (Riksen *et al.*, 2020).

De natuurlijke successie van stuifzand begint met de vestiging van een pioniervegetatie. Dit wordt gevormd door buntgras (*Corynephorus canescens*), verschillende korstmossen (*Cladonia sp.* en *Cladina sp.*) en ruig haarmos (*Polytrichum piliferum*). Vervolgens vestigt zandzegge (*Carex arenaria*) zich. Door deze planten en mossen wordt het zand vastgelegd, waarna andere grassen zoals zandstruisgras (*Agrostis vinealis*) en ruig- en fijn schapengras (*Festuca ovina ssp. hirtula* en *F. filiformis*) zich kunnen vestigen. Na verloop van tijd doen ook andere plantensoorten hun intrede, zoals heidespurrie (*Spergula morisonii*), schapenzuring (*Rumex acetosella*) en uiteindelijk struikhei (*Calluna vulgaris*). In het laatste stadium kan zich zelfs stuifzandbos ontwikkelen. In een intact stuifzandgebied zijn alle successiestadia vertegenwoordigd (Nijssen *et al.*, 2010).

Stuifzanden kennen een extreem microklimaat, fysische stress door stuivend zand en een schaarste aan nutriënten. Op zonnige dagen kan de temperatuur plaatselijk oplopen tot boven de 50° Celsius en het is er zeer droog. 's Nachts daarentegen kan het plaatselijk zeer koud en vochtig zijn. Het zand heeft nauwelijks vermogen water vast te houden en wanneer het regent stroomt het meeste water over de oppervlakte weg. Daarnaast heeft de wind vrij spel binnen dit landschap (Nijssen *et al.*, 2010). Er zijn maar weinig soorten die op deze extreme omstandigheden zijn aangepast. Levensgemeenschappen van stuifzanden worden dan ook beschreven als soortenarm, maar zeer karakteristiek. De meeste diersoorten die karakteristiek zijn voor stuifzanden behoren tot de kevers, mieren en wespen en populaties hiervan staan onder druk. 86% van de diergroepen van zandverstuivingen staan als 'kwetsbaar' tot 'ernstig bedreigd' op de Rode Lijst (Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, z.d.). De hierboven genoemde effecten van vermisting en verzuring op aanwezige planten hebben op hun beurt op verschillende manieren invloed op kenmerkende diersoorten van stuifzandgebieden. Een hogere stikstofdepositie zorgt ervoor dat het natrium-fosfaat balans in planten en het bodemleven verstoord raakt. Er ontstaat zo een tekort aan mineralen in het voedsel van vlindersoorten als de kleine heivlinder en heivlinder. Door het hoge stikstofgehalte in de waardplanten moeten de rupsen meer eten om zo voldoende stikstof op te kunnen nemen. De toename van grijs kronkelsteeltje heeft ook een negatieve invloed op de ontwikkeling van beide soorten. Het mos buffert de luchtvochtigheid, waardoor met name in de winter problemen optreden voor beide soorten. Door het hoge vochtgehalte krijgen rupsen eerder infecties, raken beschimmeld en sterven. Rupsen die nuchter de winter in gaan, zoals de kleine heivlinder, zijn hier meer vatbaar voor dan rupsen die al voedsel tot zich hebben genomen, zoals de heivlinder (Nijssen *et al.*, 2010).

1.5 Dagvlinders van zandverstuivingen

Er komen diverse dagvlindersoorten op de hoge zandgronden in Nederland voor, ieder met hun eigen levenscyclus en habitateisen. Dagvlinders hebben naast bloemen, specifieke waardplanten nodig om optimaal te kunnen functioneren. Sommige soorten zijn heel mobiel, maar veel soorten verplaatsen zich slechts zelden meer dan een aantal kilometer. De meeste soorten hebben één generatie per jaar, sommige soorten kunnen twee tot drie of zelfs meer generaties per jaar produceren. Vlinderpopulaties reageren dus snel op veranderingen en kunnen als graadmeter voor veranderingen in de leefomgeving dienen (de Vries, 2017). In dit rapport wordt specifiek ingegaan op twee kenmerkende dagvlindersoorten van stuifzandgebieden, te weten de kleine heivlinder en heivlinder.

1.5.1 Kleine heivlinder

De kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) is een dagvlinder uit de familie Nymphalidae, en de subfamilie Satyrinae. De vlinder is donker grijsachtig bruin. De bovenkant van de voorvleugel van de kleine heivlinder is grijs zonder oranje band. De onderkant van de voorvleugel is (donker)bruin en heeft enkele oogvlekken. Bij het mannetje heeft de onderkant van de achtervleugel lichte en donkere banden, bij het vrouwtje is de onderkant vrijwel effen grijs (Figuur 2) (Wynhoff, van Swaay, Veling, & Vliegthart, 2016, pp. 310-311).

De rupsen zijn in het beginstadium bruin, daarna worden ze groen met donkergroene strepen en een maand later zijn ze bruin met groen-gelige strepen (Figuur 3) (De Vlinderstichting, 2020b).



Figuur 2 Imago van de kleine heivlinder. Links mannetje, rechts vrouwtje (Schut, 20 augustus 2013).



Figuur 3 Verschillende stadia van de rups van de kleine heivlinder. Links: rups 4 mm, midden: rups 13 mm en rechts: rups 18 mm (Omon, 2013).



De kleine heivlinder komt voor bij de overgangen van stuifzanden die begroeid zijn met buntgras, korstmossen en verspreide pollen struikhei, vooral op de overgang van open stuifzand naar heide, met name als daar enkele grotere bomen staan. Uit verschillende studies (Slootweg, 2012) (van Deijk & Vermeer, 2013) is gebleken dat de kleine heivlinder veel verschillende elementen gebruikt binnen het stuifzandlandschap (Tabel 1).

Tabel 1: Het belang van verschillende habitatelementen voor de kleine heivlinder

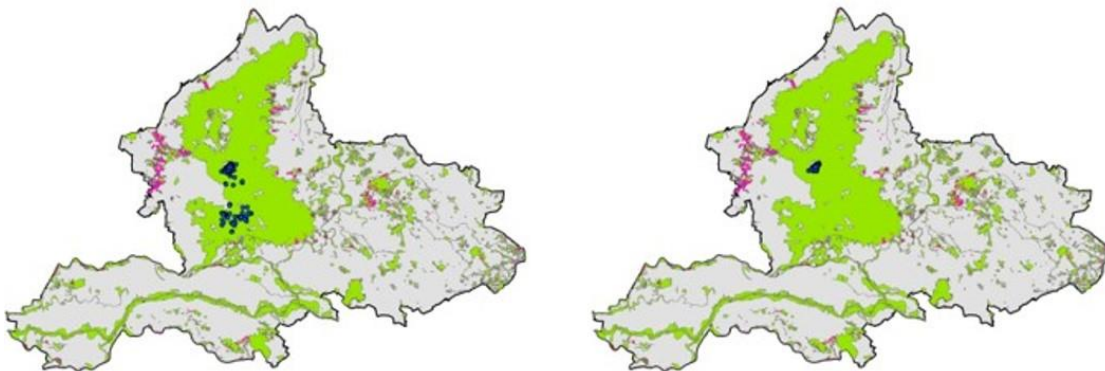
Element	Belang voor de kleine heivlinder
Kaal zand	Rupsen graven zich in om te ontpoppen Onderdeel van extreem "woestijn" microklimaat
Buntgras/schapengras	Eitjes worden afgezet Eten voor rupsen Beschutting tegen predatie en slecht weer
Stuifduin	Uitkijkpost van imago's
Struikheide	Nectar voor imago's
Vrijstaande bomen	Windschaduw Slaapplaats (voornamelijk mannetjes) Verzamelplek mannetjes als baltsplaats Sappen van bijvoorbeeld ruwe berk en grove den als voeding
Ruig haarmos	Warme (donkere) ondergrond om op te warmen/rusten Om eieren op af te zetten (direct naast een graspol)

De kleine heivlinder vliegt vrij kort en laat in het seizoen in één generatie tussen juni en oktober (Tolman & Lewington, 2017, p. 238) en overwintert als vrijwel nuchtere rups, wat betekent dat de rups niet eet voor de winter (Bos, Bosveld, Groenendijk, van Swaay, & Wynhoff, 2006, pp. 238-240). De waardplant van de kleine heivlinder is vooral buntgras, maar soms wordt ook schapengras gebruikt (Wynhoff *et al.*, 2016, p. 310). Na de bevruchting duurt het iets minder dan een week voordat de eitjes rijp zijn. Voor het afzetten van de eitjes kiest het vrouwtje pollen buntgras die groeien in een zeer lage en open vegetatie met (korst)mossen en hier en daar wat open zand. De eitjes worden afzonderlijk op de waardplant afgezet (De Vlinderstichting, 2020b).

De rups komt eind september uit en gaat daarna meteen nuchter in overwintering aan de basis van een graspol. Vanaf februari gaat de rups eten. De rups verpopt zich in het kale zand, net onder het oppervlak. De eerste vlinders verschijnen begin augustus. De vlinders halen de nectar vooral uit struikhei, maar als daar

weinig van aanwezig is, wordt overgeschakeld naar sappen van bomen. Het vrouwtje heeft voor het rijpen van de eitjes veel voedsel nodig. De nectar zoekt ze mogelijk alleen nabij geschikte plaatsen om de eitjes af te zetten (van Deijk & Vermeer, 2013).

De soort is de meest bedreigde vlindersoort in Nederland (De Vlinderstichting, 2020b). Uit het Landelijk Meetnet Vlinders blijkt dat de kleine heivlinder in de afgelopen vijf jaar met meer dan 75% in aantal achteruit is gegaan (Bos *et al.*, 2006, pp. 238-240). De soort vloog aan het begin van de twintigste eeuw op de Utrechtse Heuvelrug en grote delen van de Veluwe. Verder waren er enkele verspreide vindplaatsen in Midden-Limburg en Noord-Brabant. Sinds de jaren tachtig komt de kleine heivlinder uitsluitend nog op de zuidelijke Veluwe voor. Waar de soort in 2006 nog 5 populaties op De Hoge Veluwe, Planken Wambuis, de Zanding, de Harskamp en het Kootwijkerzand had (Bos *et al.*, 2006, pp. 238-240), is er nu nog maar één populatie in het noordelijke deel van het Kootwijkerzand (Figuur 4). In het zuidelijke deel komen alleen zwervende individuen voor (van Deijk & Vermeer, 2013).



Figuur 4 Afname van het aantal populaties van de kleine heivlinder in Nederland. Links zijn er 10 populaties te zien in de provincie Gelderland in de periode van 2002-2012. Rechts is er nog maar één populatie over in de periode van 2009-2012. De zwarte stippen laten waarnemingen van de soort zien (Vliegthart, 2013).

1.5.2 Heivlinder

Een andere dagvlindersoort van stuifzanden is de heivlinder (*Hipparchia semele*). De soort komt net als de kleine heivlinder uit de familie Nymphalidae en de subfamilie Satyrinae. De heivlinder heeft meer contrast in zijn kleuren dan de kleine heivlinder. De bovenkant van de vleugels is grijsbruin met een brede oranje band. De onderkant van de voorvleugel heeft oranje vlekken. Op de voorvleugel bevinden zich twee zwarte oogvlekken zonder rand. De onderzijde van de achtervleugel is grijs-bruinig met een lichte tekening. Het mannetje heeft hier, in tegenstelling tot het vrouwtje, een duidelijke witte band over lopen (Wynhoff *et al.*, 2016, p. 309) (Figuur 5). De rupsen zijn in het beginstadium groenig, daarna worden ze bruin met licht- en donkerbruine strepen (De Vlinderstichting, 2020a) (Figuur 6).



Figuur 5 Imago van de heivlinder. Links vrouwtje, rechts mannetje (Slootweg, 2012).



Figuur 6 Verschillende stadia van de rups van de heivlinder. Links: rups 2 mm, midden: rups 12,5 mm en rechts: rups 25 mm (van Rijsewijk, 2018).

De heivlinder komt op stuifzanden voor, maar ook op droge heiden, droge heischrale graslanden en open duinen. De soort heeft een voorkeur voor een open en afwisselend landschap. Uit de studie van Slootweg (2012) kwam naar voren welke elementen de heivlinder gebruikt binnen het stuifzandlandschap (Tabel 2). De heivlinder heeft een groter habitat dan de kleine heivlinder en is meer op struikheide verder van het stuifzandgebied te vinden (Slootweg, 2012).

Tabel 2: Het belang van verschillende habitatelementen voor de heivlinder

Element	Belang voor de heivlinder
Rand stuifzand	Paring
Buntgras/schapengras	Eitjes worden afgezet Eten voor rupsen Rustplaats overdag
Struikheide	Nectar voor imago's Rustplaats overdag
Vrijstaande bomen	Windschaduw Slaapplaats Sappen van bijvoorbeeld ruwe berk en grove den als voeding
Ruig haarmos	Warme (donkere) ondergrond om op te warmen/rusten Om eieren op af te zetten (direct naast een graspol)

Waardplanten van de heivlinder zijn diverse grassen zoals schapengras (*Festuca spec.*), rood zwenkgras (*Festuca rubra*), gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) en buntgras (*Corynephorus canescens*) (Wynhoff et al., 2016, p. 308) (Slootweg, 2012).

De soort vliegt van juni tot september en heeft één generatie per jaar (Tolman & Lewington, 2017, p. 230). De vlinders vliegen vaak korte afstanden in een krachtige, snelle vlucht. Na de paring duurt het 14 tot 18 dagen voordat de eitjes rijp zijn. Eitjes van de vlinder zijn tussen midden augustus en midden september te vinden en worden vlakbij de bodem afzonderlijk afgezet op groene of dorre delen van de waardplant. Na ongeveer 18 dagen kruipt de rups uit het ei. De rupsen verbergen zich overdag in graspollen en eten vooral 's nachts. De soort overwintert als halfvolgroeide rups. In het voorjaar daarop groeien de rupsen verder. De rups verpopt in een kleine holte, ongeveer één cm onder de grond. Begin juli komen de eerste vlinders tevoorschijn (De Vlinderstichting, 2020a).

Het verspreidingsgebied van de soort is tussen het begin van de vorige eeuw en 1965 min of meer gelijk gebleven. Sindsdien is het aantal heivlinders in Nederland gehalveerd. De soort is nu een vrij schaarse standvlinder langs de gehele kust en in veel heideterreinen in het noorden en zuiden van het land. De soort

komt alleen in Europa voor. Uit negen van de 34 landen waar de soort voorkomt, wordt een achteruitgang gemeld (De Vlinderstichting, 2020a).

1.6 Hoofd- en deelvragen

Zoals hierboven beschreven, is er sprake van een groeiend inzicht in de gevolgen van klimaatverandering voor Nederland en het effect daarvan op de natuur en biodiversiteit in ons land. De voor zandverstuivingen kenmerkende soorten, waaronder de kleine heivlinder en heivlinder, maken (nog) onderdeel uit van deze diversiteit in Nederland. Er is uitvoerig onderzoek gedaan naar de habitateisen van deze dagvlindersoorten en er is een continue monitoring van hun populatieontwikkeling. De hoofdvraag is nu hoe de toekomst voor de kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) en heivlinder (*Hipparchia semele*) in Nederland eruit ziet. Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn enkele deelvragen opgesteld:

- Wat voor invloed hebben temperatuurstijging, droogte, extreem weer en een grotere hoeveelheid neerslag op de zandverstuivingen in Nederland?
- Wat is de invloed van deze klimatologische factoren op de kleine heivlinder en heivlinder in Nederland?
- Wat is de toekomstige ontwikkeling, op basis van huidige populatieveranderingen, van de populaties kleine heivlinder en heivlinder in Nederland?

1.7 Doelstelling

Het doel van deze scriptie is om de literatuur over zandverstuivingen en de typerende dagvlindersoorten die daarbij horen overzichtelijk bij elkaar te brengen. Tevens wordt gekeken welke klimatologische factoren van invloed zijn op zandverstuivingen en de bijbehorende dagvlindersoorten. Dit wordt gedaan om een onderbouwd beeld te kunnen schetsen van de trend en daarmee de toekomst van deze dagvlindersoorten in Nederland.

Deze scriptie kan door natuurbeheerders van zandverstuivingen in Nederland gebruikt worden om een beheerplan op te stellen voor de desbetreffende dagvlindersoorten, met als doel deze soorten voor Nederland te behouden.

2 Aanpak

In dit hoofdstuk is de aanpak van de scriptie uitgewerkt. Hierin is beschreven hoe de antwoorden op de deelvragen zijn verkregen en hoe het zoekplan voor het literatuuronderzoek eruit ziet.

2.1 Aanpak deelvragen

In deze paragraaf wordt de aanpak beschreven die is gebruikt om tot beantwoording van de deelvragen te komen.

Deelvraag 1: Wat voor invloed hebben temperatuurstijging, droogte, extreem weer en een grotere hoeveelheid neerslag op de zandverstuivingen in Nederland?

Uit de inleiding komt al naar voren dat temperatuurstijging, extremer weer en een grote hoeveelheid neerslag de belangrijkste gevolgen van klimaatverandering voor Nederland zijn. Deze klimatologische factoren zijn van invloed op de natuur in Nederland, en daarmee ook op het landschapstype zandverstuivingen. Voor een goede afbakening is voor elke klimatologische factor een minimum en een maximum bepaald. Deze cijfers zijn uit andere onderzoeken gehaald. Tevens is een afbakening van gebieden die onder het landschapstype zandverstuivingen vallen bepaald. De huidige vliegplaatsen van de kleine heivlinder en heivlinder zijn in deze scriptie gebruikt.

Vervolgens is in de literatuur gezocht naar onderzoeken die de invloed van klimaatverandering in zandverstuivingen hebben onderzocht. Er werden onderzoeken gebruikt die in Nederland zijn uitgevoerd.

Deelvraag 2: Wat is de invloed van bovengenoemde klimatologische factoren op de kleine heivlinder en heivlinder in Nederland?

Voor de tweede deelvraag is informatie uit de vorige deelvraag gebruikt om een brede analyse te maken specifiek voor de kleine heivlinder en heivlinder in Nederland. In de eerste deelvraag zijn de gebieden afgebakend en de klimatologische factoren en hun minimum en maximum bepaald.

Per dagvlindersoort werden de klimatologische factoren langsgeslagen en werd voor zowel het minimum als het maximum op basis van literatuuronderzoek onderzocht hoe de soort daar vermoedelijk op zal reageren.

Deelvraag 3: Wat is de toekomstige ontwikkeling, op basis van huidige populatieveranderingen, van de populaties kleine heivlinder en heivlinder in Nederland?

Voor de laatste deelvraag is de analyse uit de vorige deelvraag gebruikt om een uiteindelijk beeld te schetsen van de toekomstige populatieontwikkeling van beide soorten in Nederland. Er is een hypothese gegeven of beide soorten in aantallen zullen stijgen of dalen, en daarmee zullen verdwijnen of blijven bestaan binnen de zandverstuivingen in Nederland. Er zijn echter geen uitspraken gedaan over exacte aantallen, aangezien dit bijna niet te onderzoeken is, maar over de vermoedelijke trend. Indien er voor beide soorten verschillen zijn gevonden, werd geprobeerd hiervoor een verklaring te geven.

Vervolgens kon de hoofdvraag beantwoord worden. Deze luidt als volgt: 'Hoe ziet de toekomst voor de kleine heivlinder (*Hipparchia statilinus*) en heivlinder (*Hipparchia semele*) in Nederland eruit?' Met de informatie uit de drie deelvragen is een voorspelling gegeven over het voortbestaan van deze twee soorten in Nederland.

De hypothese is dat, ondanks dat beide soorten een vrijwel gelijke levensloop hebben, ze door het verschil in habitateisen een andere trend zullen volgen. De kleine heivlinder kent meer specifieke habitateisen dan de heivlinder, waardoor de soort meer kwetsbaar voor veranderingen in de leefomgeving is. Indien een belangrijk element binnen het leefgebied verdwijnt, zal dat grotere gevolgen voor de kleine heivlinder hebben dan voor de heivlinder. Ook heeft de kleine heivlinder nog maar één populatie in ons land, waardoor er geen buffer is om de negatieve veranderingen de leefomgeving op te vangen. De soort is uitgestorven in ons land wanneer deze populatie is verdwenen. Het zal dan ook een grote opgave voor deze soort zijn om ons land weer opnieuw te koloniseren. De heivlinder heeft nog meerdere populaties in het land. Indien er één populatie

verdwijnt, zijn er nog een aantal andere populaties om het voortbestaan van de soort in ons land te garanderen.

2.2 Zoekplan

De hoofdvraag en de bijbehorende deelvragen zijn beantwoord door middel van systematisch literatuuronderzoek. Systematisch literatuuronderzoek is het proces van systematisch lokaliseren, waarderen en synthetiseren van onderzoeksresultaten, verkregen met wetenschappelijk onderzoek, met als doel een betrouwbare analyse en overzicht te krijgen (Glasziou *et al.*, 2001). Het belangrijkste voordeel van systematisch literatuuronderzoek is dat er een zo compleet mogelijk beeld verkregen wordt wat er over het onderzoeksonderwerp in de wetenschap bekend is. Bij systematisch literatuuronderzoek dient er een zoekstrategie bepaald te worden (White, 1994). Deze wordt hieronder aan de hand van een stappenplan weergegeven.

Stap 1 Bij het raadplegen van literatuur is enkel peer-reviewed literatuur of niet- peer-reviewed, maar wel betrouwbare bronnen geraadpleegd. Peer-reviewed bronnen zijn bijvoorbeeld artikelen uit tijdschriften, rapporten van onderzoeksinstituten en boeken. Betrouwbare bronnen die niet peer-reviewed zijn, zijn bijvoorbeeld rapporten van erkende organisaties en instellingen, vaktijdschriften, publicaties van overheidsinstellingen en handboeken voor methoden en technieken.

Stap 2 Bij het zoeken van literatuur is op internet gezocht. Voor peer-reviewed en andere betrouwbare bronnen is uitsluitend Google Scholar (www.scholar.google.com) en ResearchGate (www.researchgate.net) gebruikt. Voor niet peer-reviewed bronnen zoals nieuwsartikelen en factsheets is Google (www.google.com) gebruikt. Rapporten van de Vlinderstichting en Waarneming.nl (www.waarneming.nl) zijn gebruikt om de huidige populatieontwikkeling van beide soorten te volgen. Voor de ecologie van de kleine heivlinder en heivlinder is zowel het internet als Nederlandstalige boeken gebruikt. Voor het vinden van geschikte literatuur is tevens de "Sneeuwball-methode" gebruikt. Dit betekent dat relevante literatuur uit de bronnenlijst van eerder gevonden artikelen is gehaald.

Stap 3 De bronnen dienen dan wel in het Nederlands of in het Engels te zijn. Literatuur uit andere talen is voor dit literatuuronderzoek niet meegenomen, omdat als deze vertaald worden naar het Nederlands ze wellicht verkeerd geïnterpreteerd konden worden.

Stap 4 Om op zoek te gaan naar geschikte literatuur zijn bepaalde zoektermen gebruikt. De zoektermen zijn zowel in het Nederlands als in het Engels gezocht (Tabel 3). Onderstaande zoektermen zijn apart of in combinatie met andere zoektermen gebruikt.

Tabel 3: Gebruikte zoektermen en hun combinaties

Zoekterm	In combinatie met
klimaatverandering	wereld, mondiaal, Europa, Nederland
temperatuurstijging	wereld, mondiaal, Europa, Nederland
extreem weer	wereld, mondiaal, Europa, Nederland
hogere neerslag	wereld, mondiaal, Europa, Nederland
effecten klimaatverandering	wereld, mondiaal, Europa, Nederland, natuur Nederland, zandverstuivingen Nederland
zandverstuivingen	Nederland, soorten, dagvlinders, soortbescherming, beheer, herstel
kleine heivlinder	Nederland, ecologie, klimaatverandering, toekomst
heivlinder	Nederland, ecologie, klimaatverandering, toekomst

Stap 5 Wanneer dan wel een peer-reviewed of niet-peer reviewed, maar wel betrouwbare bron is gevonden, werd gekeken hoe recent de bron was. Klimaatverandering is een dynamisch onderwerp waarin snel nieuwe ontwikkelingen plaatsvinden. Daarom is het belangrijk dat er recente literatuur gebruikt werd, het liefst niet

meer dan 5 jaar oud. In Google (Scholar) is gefilterd op bronnen die gepubliceerd zijn van 2015 tot en met 2020. Over het landschapstype zandverstuivingen en de twee dagvlindersoorten die daarin voorkomen kon oudere literatuur gebruikt worden, omdat ontwikkelingen zich minder snel opvolgen. Voor literatuur rondom deze onderwerpen gold dat deze hooguit 10 jaar geleden gepubliceerd moeten zijn. Ook hier is op Google (Scholar) gefilterd op bronnen die gepubliceerd zijn van 2010 tot en met 2020.

Stap 6 Wanneer een geschikte bron is gevonden, is met CTRL+F naar specifieke zoektermen binnen het document gezocht. Deze zoektermen konden hetzelfde zijn als de termen die in stap 4 staan beschreven. Zo kon er bijvoorbeeld over een rapport over mondiale klimaatverandering met CTRL+F gezocht worden naar de term "Nederland" om te kijken of daar informatie over te vinden was in het document.

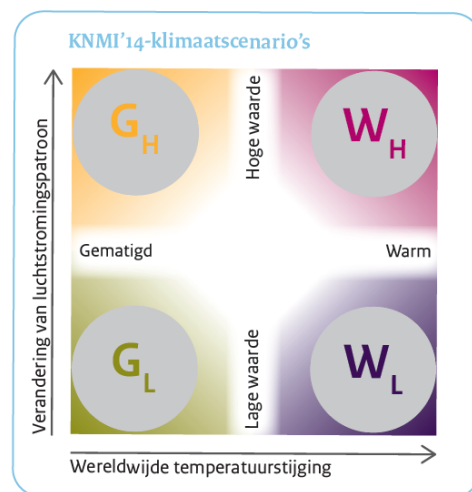
Stap 7 Als laatste is de tekst uit de bron in eigen woorden en met bronvermelding in het literatuuronderzoek opgenomen.

3 Resultaten

3.1 KNMI-scenario's

Het KNMI maakt regelmatig nieuwe klimaatscenario's van een mogelijk toekomstig klimaat voor Nederland. Klimaatscenario's vormen de basis voor onderzoek naar de effecten van klimaatverandering en adaptatie aan die verandering. De scenario's zijn gebaseerd op de onderzoeksresultaten van de meest recente IPCC-klimaat rapporten (Stocker *et al.*, 2013). De meest recente zijn de KNMI'14 scenario's, waarin het KNMI vier nieuwe scenario's presenteert (KNMI, 2015). Ieder scenario geeft een samenhangend beeld van veranderingen in twaalf klimaatvariabelen, waaronder temperatuur, neerslag, zeespiegel en wind. De veranderingen gelden voor het klimaat rond 2050 ten opzichte van het klimaat in de referentieperiode 1981-2010 (KNMI, 2011).

De wereldwijde temperatuurstijging is het eerste kenmerk waarmee de scenario's worden onderscheiden. Het gematigde scenario (G) gaat uit van een gemiddelde stijging van de wereldtemperatuur voor 2050 met 1°C ten opzichte van 1990, terwijl het warme scenario (W) uitgaat van een stijging met 2°C. Naast de wereldwijde temperatuurstijging is ook de verandering van het luchtstromingspatroon van invloed op de klimaatverandering in Nederland. Verandering van het luchtstromingspatroon is daarom gekozen als het tweede kenmerk voor het onderscheiden van de scenario's. In de lage of L-scenario's (G_L en W_L) is de invloed van deze verandering klein, in de hoge of H-scenario's (G_H en W_H) is de invloed groot (Figuur 7) (KNMI, 2015).



Figuur 7 KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI, 2015)

In de L-scenario's waait het in de winter vaker uit het westen. Ten opzichte van de H-scenario's betekent dit een zachter en natter weertype. In de H-scenario's hebben hogedrukgebieden in de zomer een grotere invloed op het weer. Vergeleken met de L-scenario's zorgen ze voor meer oostenwinden, die in Nederland zorgen voor warmer en droger weer (Tabel 4) (KNMI, 2015).

Tabel 4: KNMI'14-scenario's voor het klimaat van Nederland in 2050 (KNMI, 2015)

KNMI'14 scenario	Wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging in 2050 (t.o.v. 1990)	Verandering in luchtcirculatiepatronen
G_L	+1°C	klein
G_H	+1°C	groot
W_L	+2°C	klein
W_H	+2°C	groot

Op basis van deze vier scenario's zijn de volgende veranderingen van het klimaat in Nederland te verwachten (Tabel 5). De genoemde cijfers uit de verschillende scenario's zijn gebruikt als minimum en maximum voor de klimatologische factoren temperatuur, (extreme) neerslag en droogte. Uit het rapport van KNMI waarin de scenario's staan beschreven volgt dat de W_L scenario's en W_H scenario's een hogere waarschijnlijkheid hebben dan de G_L en G_H scenario's (KNMI, 2015). Uit rapporten van het IPCC volgt dat de opwarming van de aarde met 0,2°C per decennium toeneemt. Indien deze trend zich voortzet, zal de aarde in de periode tussen 2030 en 2052 met 1,5°C zijn opgewarmd (Masson-Delmotte *et al.*, 2018). Een wereldwijde gemiddelde temperatuurstijging in 2050 van 2°C heeft daarom een hogere waarschijnlijkheid dan een temperatuurstijging van 1°C in 2050. Voor dit onderzoek worden daarom de W_L scenario's en W_H scenario's gebruikt.

Tabel 5: Overzicht van de klimaatveranderingen corresponderend met de KNMI'14-scenario's voor verschillende temperatuur en neerslagvariabelen (KNMI, 2015)

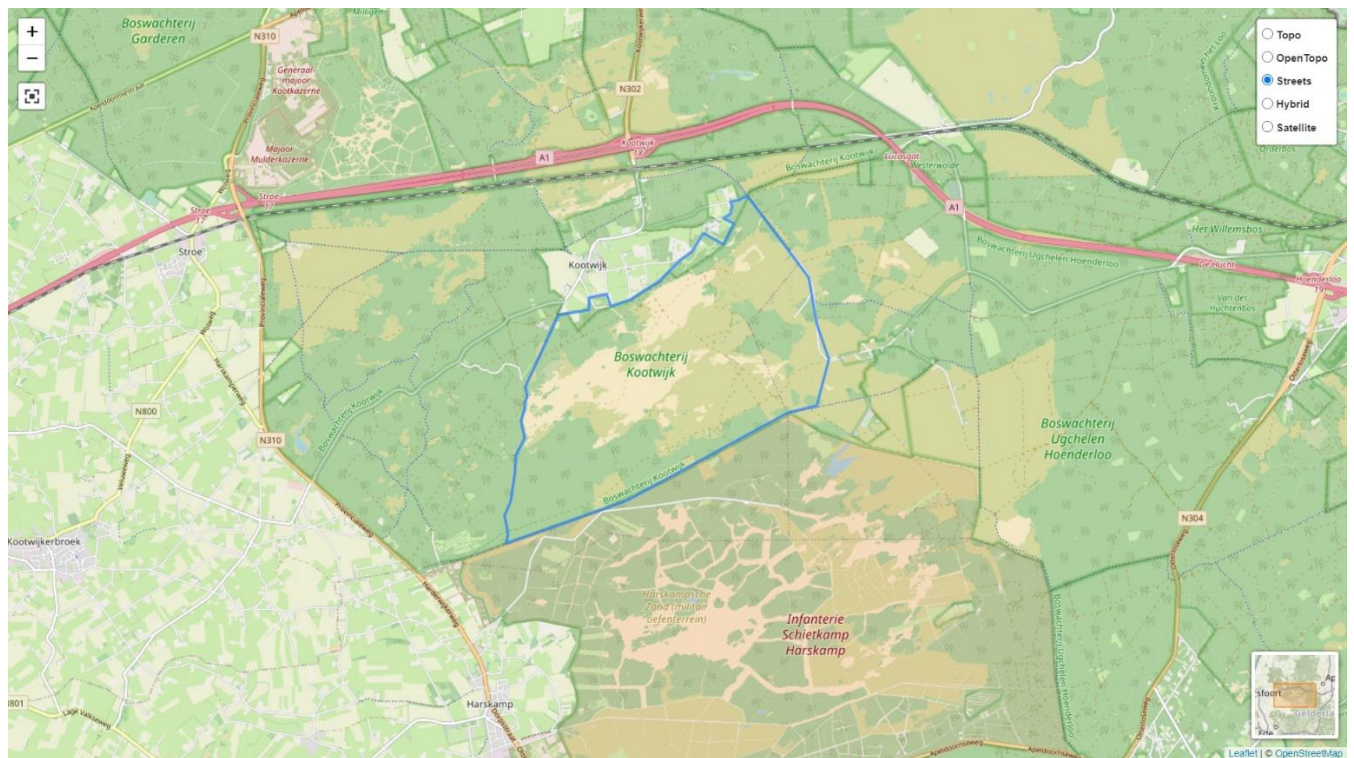
Variabele	Klimaat 1981-2010	GL	GH	WL	WH
<i>Jaar</i>					
Gemiddelde temperatuur	10,1 °C	+1,0 °C	+1,4 °C	+2,0 °C	+2,3 °C
Gemiddelde hoeveelheid neerslag	851 mm	+4%	+2,5%	+5,5%	+5%
<i>Zomer</i>					
Gemiddelde temperatuur	17,0 °C	+1°C	+1,4 °C	+1,7 °C	+2,3 °C
Maximum uurneerslag per jaar	15,1 mm/uur	+5,5 tot +11%	+7 tot +14%	+12 tot +23%	+13 tot +25%
Gemiddelde hoeveelheid neerslag	224 mm	+1,2%	-8%	+1,4%	-13%
Aantal natte dagen (>0,1 mm)	43 dagen	+0,5%	-5,5%	+0,7%	-10%
Gemiddelde hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen	144 mm	+4,5%	+20%	+0,7%	+30%
<i>Winter</i>					
Gemiddelde temperatuur	3,4 °C	+1,1 °C	+1,6 °C	+2,1 °C	+2,7 °C
Gemiddelde hoeveelheid neerslag	211 mm	+3%	+8%	+8%	+17%
Aantal natte dagen (>0,1 mm)	55 dagen	-0,3%	+1,4%	-0,4%	+2,4%

3.2 Kootwijkerzand en Pampelsche Zand

Sinds de jaren tachtig komt de kleine heivlinder uitsluitend nog op de zuidelijke Veluwe voor. Het zwaartepunt van de populatie van de soort bevond zich van 1990 tot 2010 al op het Kootwijkerzand. Toch was er nog een kleine populatie op De Hoge Veluwe aanwezig. Deze bevond zich in het hart van het nationale park, op een actief stuk stuifzand genaamd het Pampelsche Zand. Deze populatie is inmiddels verdwenen. Tegenwoordig heeft de soort nog één populatie op het Kootwijkerzand (Waarneming.nl, 2020a).

De heivlinder heeft meerdere populaties rondom de Veluwe, waaronder het Kootwijkerzand en het Pampelsche Zand. Het zwaartepunt van de grootste populatie bevindt zich momenteel rondom het Pampelsche Zand. De soort is net zoals de kleine heivlinder ook op het actieve stuifzand te vinden, maar wordt ook op struikheide waargenomen, op enige afstand van het stuifzand (Waarneming.nl, 2020b). De invloed van klimaatverandering op stuifzandgebieden en in het bijzonder het Kootwijkerzand en het Pampelsche Zand, is in dit rapport onderzocht.

Het Kootwijkerzand is circa 1081 hectare groot en ligt op het westelijk deel van de Veluwe, binnen boswachterij Kootwijk dat zo'n 3600 hectare groot is (Figuur 8). Ten zuiden van het Kootwijkerzand ligt het Harskampse Zand. Dit is een militair oefenterrein (Waarneming.nl, 2020a). Het actieve stuifzand is op onderstaande satellietfoto in het wit weergegeven. De donkergroene stukken laten bos zien. De grijze overgangen van het stuifzand naar bos betreft begroeiing van heide, (korst)mossen en overige kruidvegetatie (Figuur 9).

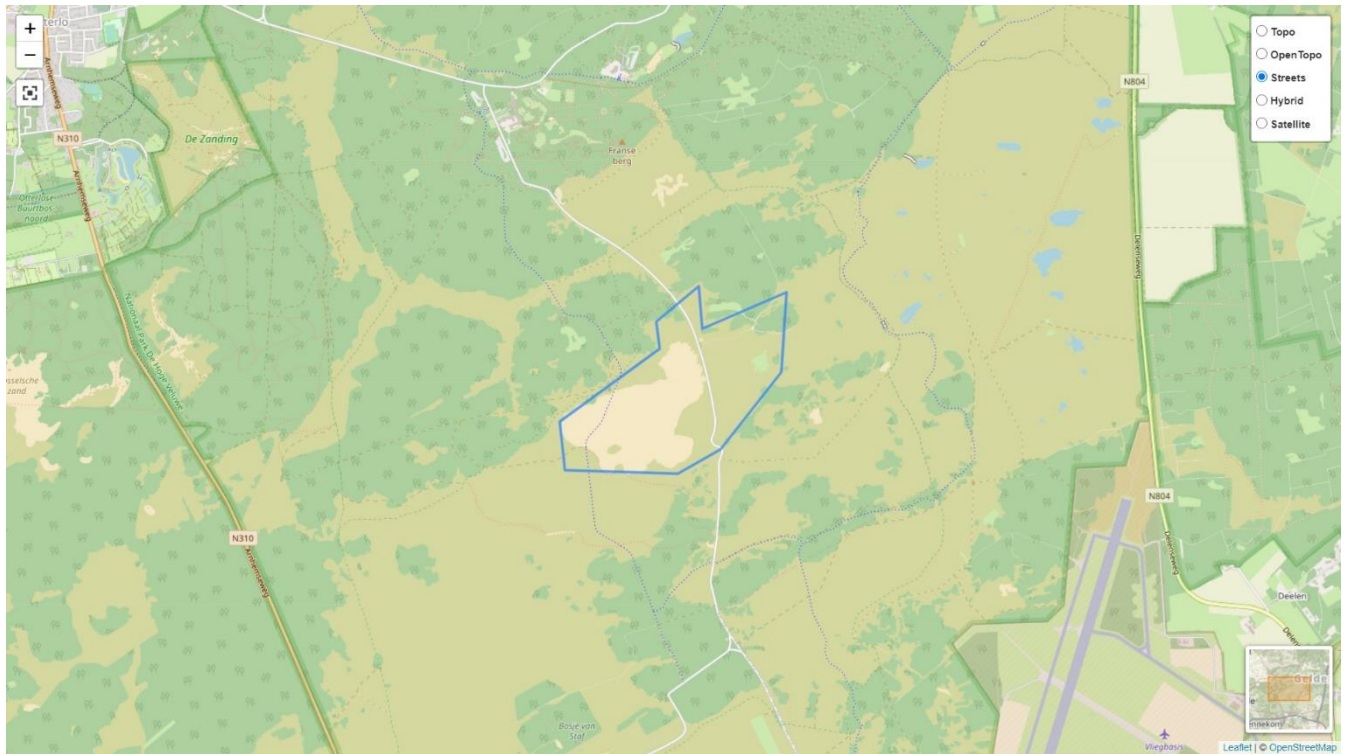


Figuur 8 Kaart begrenzing Kootwijkerzand (Waarneming.nl, 2020a)



Figuur 9 Satellietfoto begrenzing Kootwijkerzand (Waarneming.nl, 2020a)

Het Pampelsche Zand is circa 112 hectare groot en ligt op het zuidelijk deel van de Veluwe. Ten noorden van Het Pampelsche Zand ligt militaire oefenterrein Harskampse Zand (Figuur 10) (Waarneming.nl, 2020b). Het actieve stuifzand is op onderstaande satellietfoto in het wit weergegeven. De donkergroene stukken laten bos zien. De grijze overgangen van het stuifzand naar bos betreft begroeiing van heide, (korst)mossen en overige kruidvegetatie (Figuur 11).



Figuur 10 Kaart begrenzing Pampelsche Zand (Waarneming.nl, 2020b)



Figuur 11 Satellietfoto begrenzing Pampelsche Zand (Waarneming.nl, 2020b)

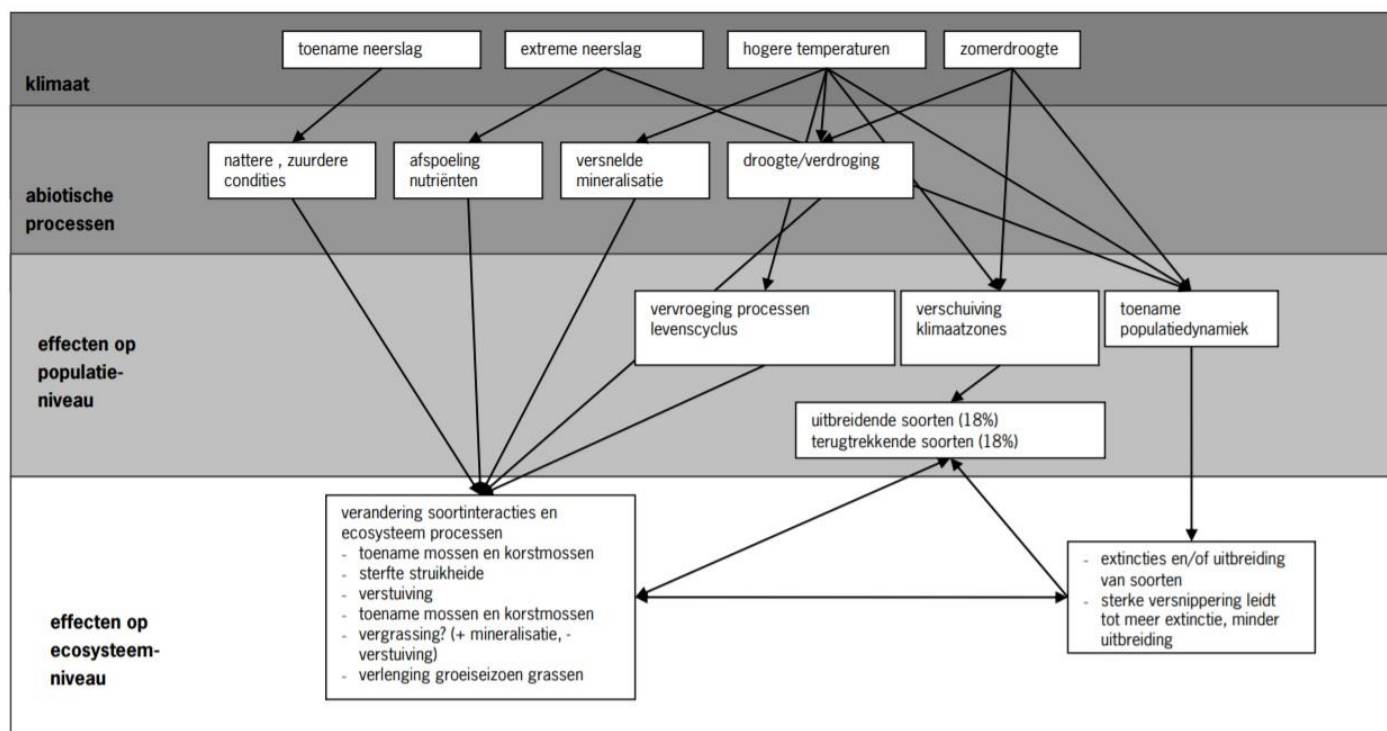
3.3 Effecten klimatologische factoren op zandverstuivingen

Klimatologische effecten leiden tot veranderingen in diverse abiotische processen binnen zandverstuivingen (Figuur 12). Grote veranderingen zijn te verwachten door de toenemende kans op zomerdroogte. Bij een W_L scenario neemt het gemiddelde hoogste neerslagtekort gedurende het groeiseizoen in de zomer met 0,7% toe. Bij een W_H scenario neemt het aantal met 30% toe (Tabel 5). De effecten zijn afhankelijk van het moment waarop droogte optreedt. Met name voorjaarsdroogte leidt tot sterfte van struikheide (Witte *et al.*, 2009). De sterfte van vegetatie door droogte kan op stuifzandbodems ook leiden tot meer kaal zand (Besse-Lototskaya *et al.*, 2010).

Bij een temperatuurstijging van 1,7°C bij een W_L scenario in de zomer (Tabel 5) zal de verdamping, indien er voldoende vocht in de bodem aanwezig is en de netto straling niet verandert, toenemen. De verdamping zal bij een stijging van 2,3°C bij een W_H scenario in de zomer (Tabel 5) nog meer toenemen. Indien dit niet gecompenseerd wordt door toenemende regelval of beheermaatregelen, zal dit tot uitdroging van de bodem leiden. Door uitdroging van de bodem kan de temperatuur extra stijgen en neemt in de zomer de kans op hittegolven verder toe. De begroeiing neemt onder deze extreme omstandigheden minder snel toe (Besse-Lototskaya *et al.*, 2010).

In de zomer neemt de uurneerslag per jaar bij een W_L scenario toe met 12 tot 23%. Bij een W_H scenario neemt het aantal met 13 tot 25% toe (Tabel 5). De neerslagintensiteit per uur tijdens extreme buien in de zomer zal waarschijnlijk sterker toenemen dan de extremen van de neerslaghoeveelheid per dag. Naarmate er vaker perioden voorkomen met extreme hitte en droogte gevolgd door intense buien, kan dit leiden tot een afspoeling van nutriënten (Besse-Lototskaya *et al.*, 2010). Dit bevordert de vestiging van vegetatie (Nijssen *et al.*, 2010).

In de winter zal de gemiddelde hoeveelheid neerslag bij een W_L scenario met 8% toenemen. Bij een W_H scenario neemt het aantal met 17% toe (Tabel 5). Een eventuele toename van neerslag in combinatie met hogere temperaturen (+2,1°C bij een W_L scenario in de winter en +2,7°C bij een W_H scenario) kan voor stuifzandnatuur negatieve gevolgen hebben. In combinatie met een voldoende beschikbaarheid van stikstof leidt dit tot omstandigheden waarin algen en buntgras zich eerder kunnen vestigen en ontwikkelen, wat zal leiden tot een versnelde vastlegging van het open zand (Nijssen *et al.*, 2010).



Figuur 12 De effecten van vier klimatologische factoren op zandverstuivingen in Nederland (Besse-Lototskaya *et al.*, 2010).

3.4 Effecten klimatologische factoren op Kootwijkerzand en Pampelsche Zand

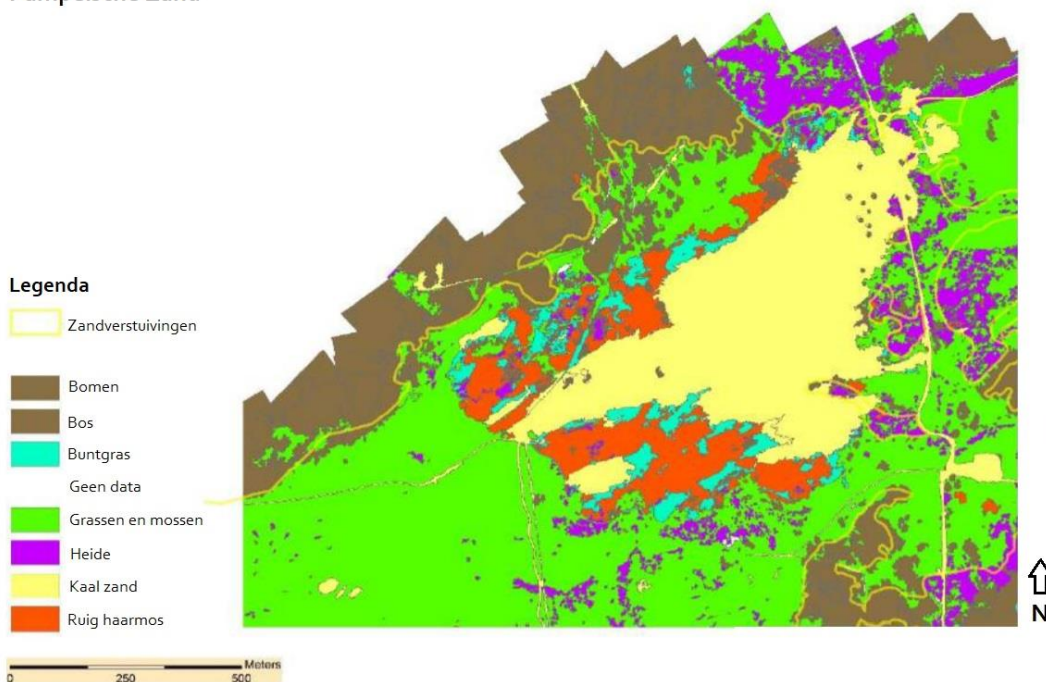
De huidige kwaliteit van veel stuifzandgebieden op de Veluwe is matig tot laag. Er is onvoldoende afwisseling tussen verschillende successiestadia binnen de gebieden. Vaak is er of vrijwel alleen kaal zand aanwezig, of is juist nagenoeg het gehele stuifzandgebied dichtgegroeid. Voor een hoge kwaliteit aan stuifzandbiodiversiteit is de afwisseling van verschillende successiestadia binnen het terrein belangrijk. Ook geleidelijke overgangen tussen successiestadia zijn belangrijk voor de kwaliteit van stuifzanden, maar vaak is sprake van scherpe overgangen (Sparrius & Riksen, 2019).

In een evaluatie van elf jaar stuifzandbeheer op de Veluwe in de periode 2007-2018 werd de kwaliteit van het Pampelsche Zand als matig tot goed beoordeeld. In 2001 heeft zich een groot stuifzandherstelproject plaatsgevonden waarbij op grote schaal bos is gekapt om de windwerking weer te optimaliseren. Daarnaast is er geplagd om zand beschikbaar te maken zodat er weer verstuiving kan plaatsvinden. In 2018 bestond bijna de helft van het gebied nog steeds uit kaal zand (Tabel 6) (Figuur 13) (Sparrius & Riksen, 2019).

Tabel 6: Verhouding vegetatietypen op het Pampelsche Zand, 2018 (Sparrius & Riksen, 2019)

Vegetatiestructuurtype		Bedekking (%)
1	Kaal zand	45
2	Buntgras	8
3	Ruig haarmos	16
4	Mossen grassen	8
5	Heide	18
6	Bomen	6

Pampelsche Zand



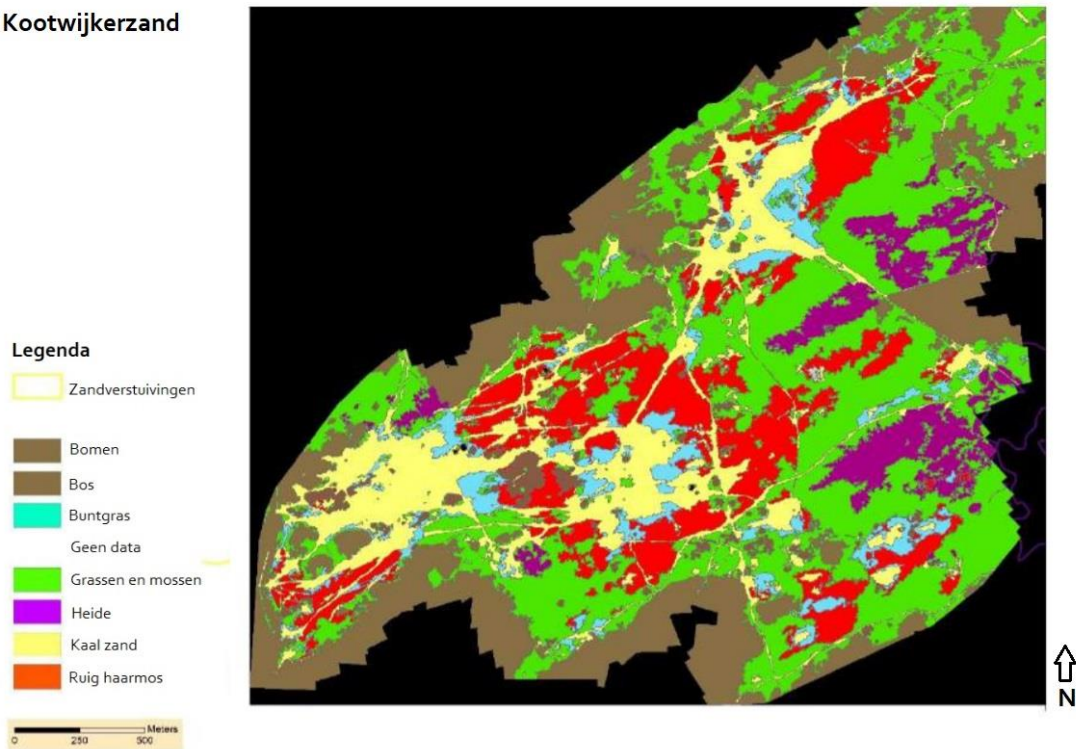
Figuur 13 Verschillende vegetatiestructuurtypen binnen het Pampelsche Zand (Sparrius & Riksen, 2019)

Het Kootwijkerzand werd ook als matig tot goed beoordeeld. Het gebied is in de afgelopen jaren sterk dichtgegroeid, maar er is nog een redelijke balans tussen de verschillende vegetatietypen (Figuur 14). Het centrale deel van het Kootwijkerzand groeit echter in een rap tempo dicht door soorten als ruig haarmos en grijs kronkelsteeltje (Figuur 15). In 2018 bestond bijna de helft van het gebied uit mossen en grassen (Tabel 7). De uitbreiding van grijs kronkelsteeltje vormt de belangrijkste reden van de achteruitgang van de kwaliteit van het Kootwijkerzand (Sparrius & Riksen, 2019).

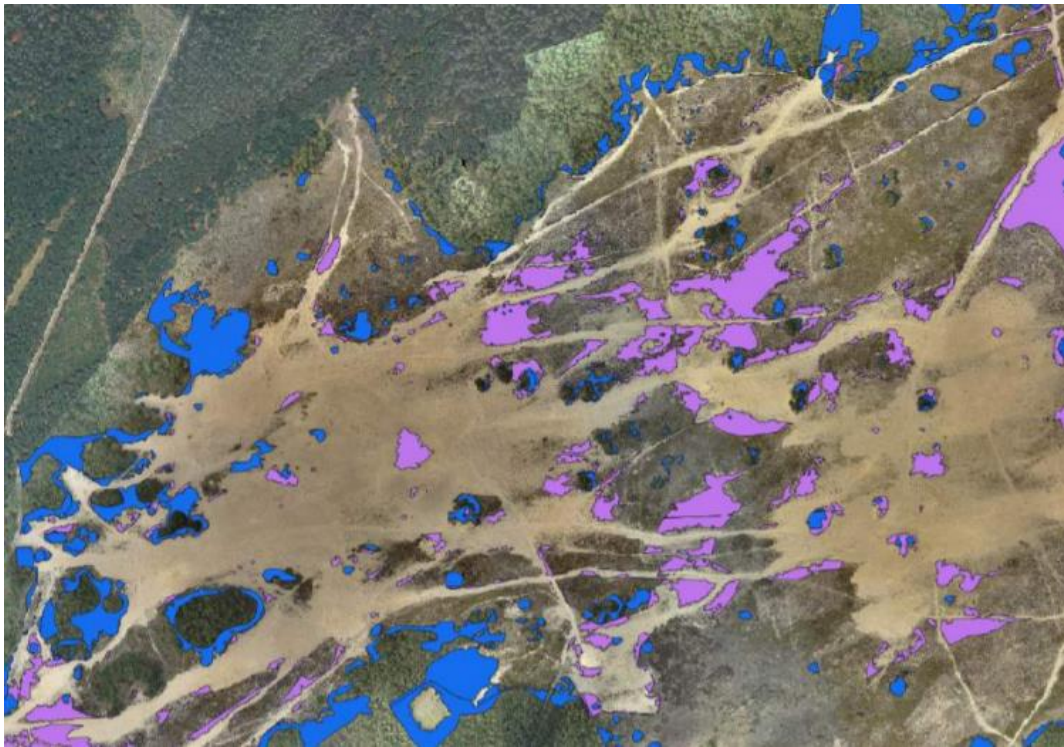
Tabel 7: Verhouding vegetatietypen op het Kootwijkerzand, 2018 (Sparrius & Riksen, 2019)

	Vegetatiestructuurtype	Bedekking (%)
1	Kaal zand	22
2	Buntgras	7
3	Ruig haarmos	21
4	Mossen grassen	48
5	Heide	<1
6	Bomen	3

Kootwijkerzand



Figuur 14 Verschillende vegetatiestructuurtypen binnen het Kootwijkerzand (Sparrius & Riksen, 2019)

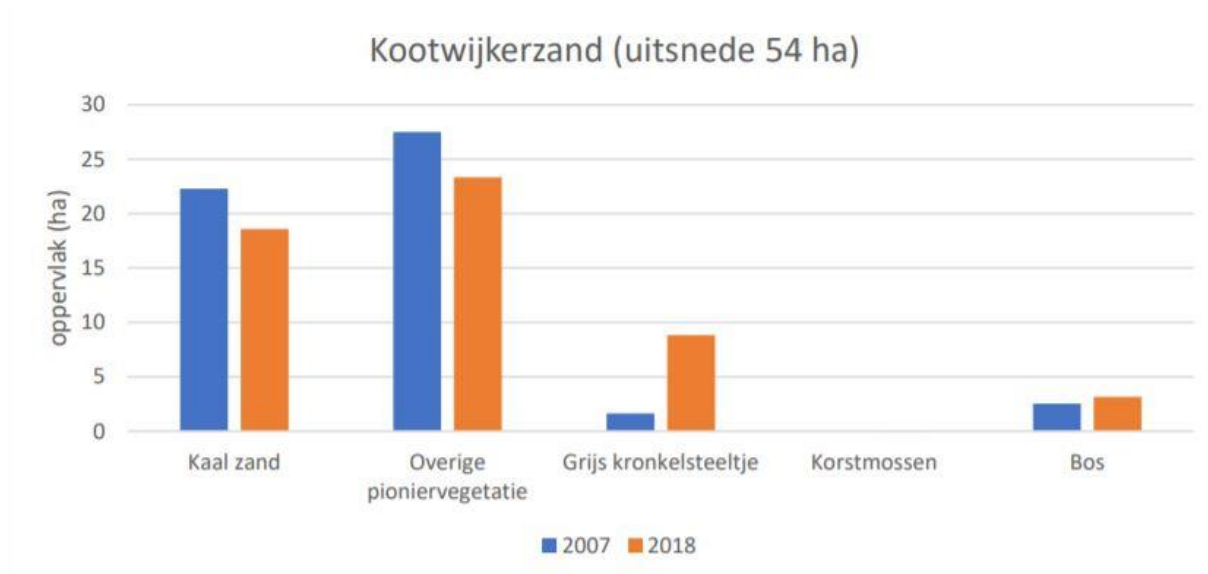


Figuur 15 Veranderingen in de periode 2007-2018 op het Kootwijkerzand. Blauw: verbossing. Paars: met vegetatie begroeid geraakt kaal zand (Sparrius & Riksen, 2019)

Er is aanvullend onderzoek gedaan naar de veranderingen in habitatkwaliteit in 2007 en 2018 op een deel van het Kootwijkerzand (Figuur 16). De korstmosrijkdom neemt af met toenemende stikstofdepositie. Bij een hogere stikstofdepositie neemt grijs kronkelsteeltje juist toe. Korstmossen werden in dit onderzoek dan ook als positieve indicator beschouwd en grijs kronkelsteeltje als negatieve indicator voor de kwaliteit van het open stuifzandlandschap (Sparrius & Riksen, 2019).



Figuur 16 Uitsnede onderzoeksgebied op luchtfoto 2007 (Sparrius & Riksen, 2019)



Figuur 17 Veranderingen in het oppervlak van biotopen, inclusief korstmossen en grijs kronkelsteeltje op een deel van het Kootwijkerzand (Sparrius & Riksen, 2019)

In 2007 waren er geen korstmossen op het Kootwijkerzand aanwezig. In 2018 hadden zich op twee kleine plekje (0,04 ha) korstmossen gevestigd. Het oppervlak aan grijs kronkelsteeltje is toegenomen. Het oppervlak in ha aan kaal zand en overige pioniervegetatie zoals buntgras is ten opzichte van 2007 afgenomen. Het oppervlak in ha aan bos is ten opzichte van 2007 toegenomen (Figuur 17).

3.5 Effecten klimatologische factoren op kleine heivlinder en heivlinder

De in paragraaf 3.3 benoemde klimatologische factoren leiden tot veranderingen in diverse abiotische processen binnen zandverstuivingen. Deze veranderingen hebben op hun beurt weer effecten op zowel populatie- als ecosysteemniveau (Figuur 18). Zo zullen door het toenemen van droogte en warmte zuidelijke soorten die aangepast zijn aan drogere en warmere omstandigheden mogelijk toenemen. Voor 18% van de doelsoorten van droge heide geldt dat ze zich zouden kunnen uitbreiden of terugtrekken. Bij zandverstuivingen liggen de aantallen op 15% uitbreidend en 20% terugtrekkend (Besse-Lototskaya *et al.*, 2010).

Negatieve effecten op beide soorten ontstaan tijdens verschillende levensstadia. Een toename van mossen en korstmossen zorgt ervoor dat de waardplanten buntgras en schapengras weggeconcentreerd worden. Beide soorten hebben zo minder mogelijkheden om hun eitjes af te zetten. Sterfte van struikheide door langdurig aanhoudende droogte zorgt ervoor dat beide soorten als imago geen nectarbron ter beschikking hebben en mogelijk hun leefgebied verlaten om op zoek te gaan naar andere nectarbronnen. Nattere en zuurdere condities zorgt voor problemen tijdens het rupsenstadia.

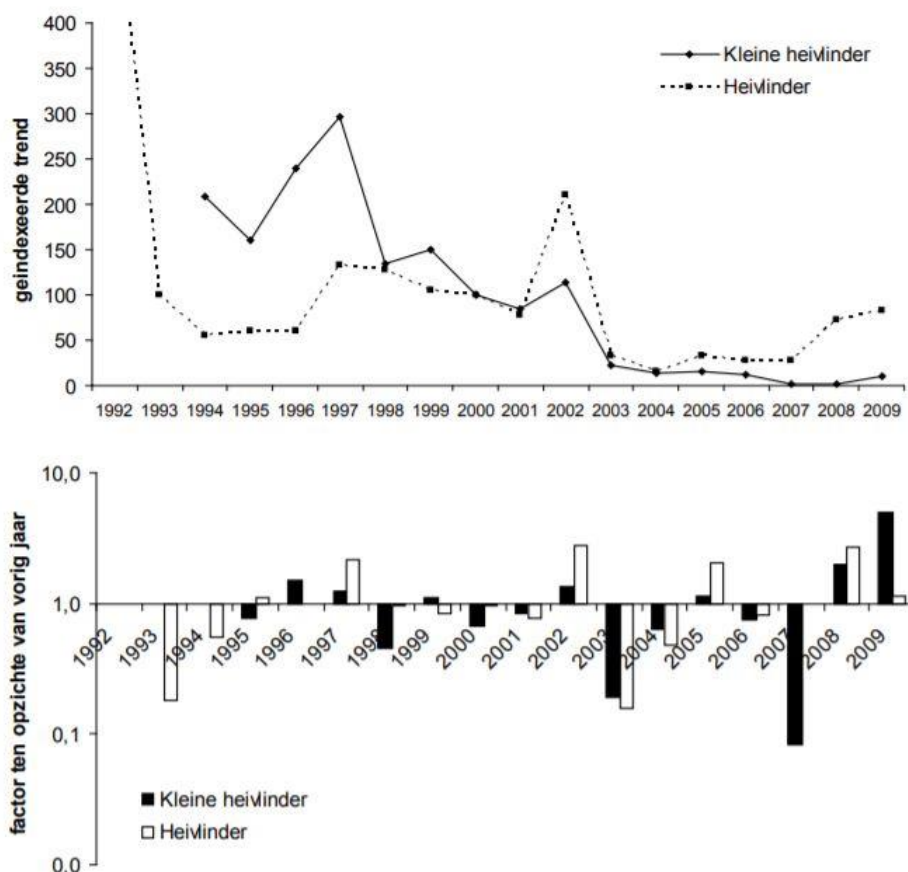
Er is in de winter van 2007 op 2008 onderzoek gedaan naar de effecten van het macroklimaat en de vegetatie op het microklimaat van de kleine heivlinder. Hierbij is de luchtvochtigheid gemeten op drie verschillende locaties: een vegetatie van ruig haarmos in Jueterbog in Duitsland, een vegetatie van ruig haarmos in het Kootwijkerzand en een vegetatie van grijs kronkelsteeltje in het Kootwijkerzand. De referentie in Duitsland is gekozen omdat hier de grootste en meest stabiele populatie van de kleine heivlinder voorkomt in Noordwest-Europa (Nijssen *et al.*, 2010).

Uit het onderzoek volgt dat de luchtvochtigheid op alle locaties de meeste tijd boven de 90% ligt. In Jueterbog daalt de luchtvochtigheid in gemiddeld 10 keer per maand onder de 70% luchtvochtigheid. In de vegetatie van ruig haarmos en grijs kronkelsteeltje op het Kootwijkerzand gebeurt dit eenmaal in de twee maanden. Periodes met hoge luchtvochtigheid op het Kootwijkerzand, met name boven de vegetatie met grijs kronkelsteeltje, duurt veel langer dan in Jueterbog. De kans op een infectie door parasieten en schimmels

wordt hierdoor groter. Geconcludeerd kan worden dat het Atlantische klimaat in de Nederlandse stuifzanden minder gunstig is voor diersoorten die overwinteren in een kwetsbaar levensstadium dan het meer continentale klimaat van Noordoost Duitsland. De dominantie van grijs kronkelsteeltje zorgt tevens voor een verdere buffering van het microklimaat, waardoor het nog lastiger wordt voor diersoorten om te overleven (Nijssen *et al.*, 2010).

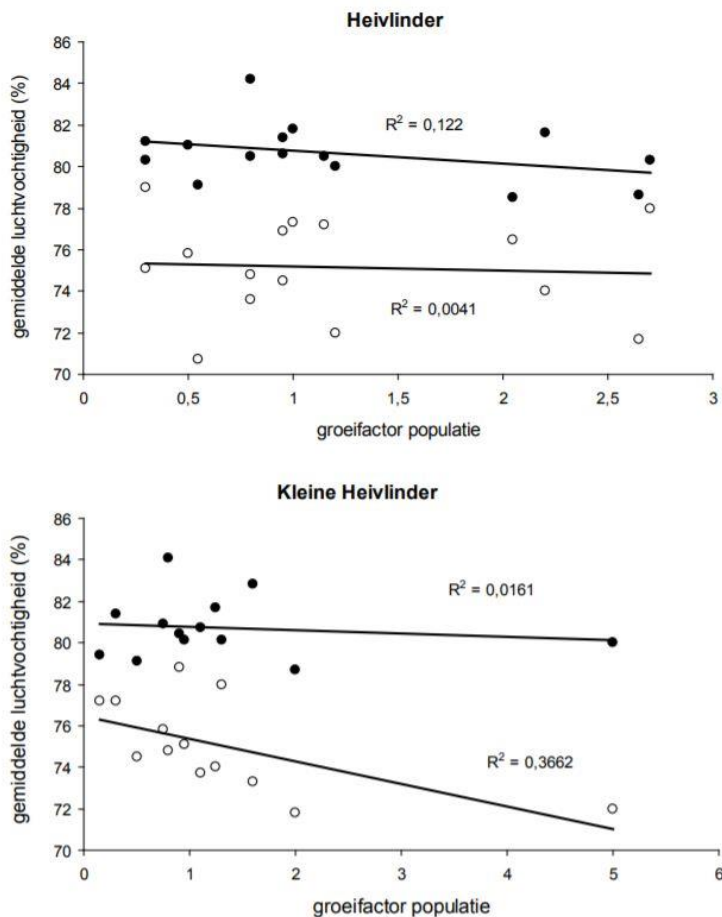
De kleine heivlinder overwintert in het eerste rupsenstadium. Ze eten niet en vervellen niet naar het tweede stadium. In dit gedrag verschillen ze van de nauw verwante heivlinder, waarvan de rupsen na het uitkomen van de eitjes meteen op zoek gaan naar voedsel en minimaal eenmaal vervellen (Bink, 1998). De rupsen van de heivlinder zijn door hun grotere biomassa beter bestand tegen zowel infecties met schimmels en bacteriën als tegen uitputting dan rupsen van de kleine heivlinder. De voedselkwaliteit van waardplanten voor de kleine heivlinder moeten hoger zijn om als geschikt voedsel te dienen voor de kleine rupsen na overwintering. Rupsen van de heivlinder hebben na overwintering al een grotere buffer opgebouwd en kunnen ook waardplanten van een lagere kwaliteit tot zich nemen (Nijssen *et al.*, 2010).

De kleine heivlinder is in zachte winters gevoeliger voor wintersterfte dan de heivlinder. Bovendien is de heivlinder in juli en begin augustus afhankelijk van droog en warm weer om te foerageren en eitjes te laten rijpen, terwijl de kleine heivlinder op dat moment aan het verpoppen is onder de grond. Er is onderzoek gedaan naar het populatieverloop van de kleine heivlinder en heivlinder (Figuur 17), om te toetsen of het populatieverloop tussen jaren sterk afwijkt als gevolg van weersomstandigheden (Nijssen *et al.*, 2010).



Figuur 18 Verloop van de populaties van de kleine heivlinder (landelijk) en heivlinder (de Veluwe) in de periode 1992-2009 in geïndexeerde trends (boven) en als factorieel verschil met het voorgaande jaar (onder). Gegevens afkomstig van de Vlinderstichting (Nijssen *et al.*, 2010)

De trend van beide soorten komt in slechts een aantal jaren overeen. De trend is in 5 jaar vergelijkbaar, in 4 jaar licht verschillend en in 6 jaar sterk verschillend. De jaren waarin de verschillen het grootste zijn, zijn 1996, 1998, 2002, 2007 en 2009. Wanneer de jaarlijkse overleving wordt uitgezet tegen de gemiddelde luchtvochtigheid van de maanden november, december en januari, blijkt er een negatieve correlatie te bestaan voor de kleine heivlinder. Wanneer de gemiddelde luchtvochtigheid in de wintermaanden stijgt van ongeveer 72% naar 84% vermindert de overleving van de populatie kleine heivlinder in het jaar daarop met meer dan de helft (Figuur 19). Voor de heivlinder kon geen verband worden aangetoond tussen de overleving van de populatie en de gemiddelde luchtvochtigheid in de wintermaanden (Nijssen *et al.*, 2010).



Figuur 19 Jaarlijkse groefactor van de populatie heivlinder en heivlinder (gebaseerd op trendgegevens in figuur 17) uitgezet tegen de hoogste en laagste luchtvochtigheid (Rh) van de afzonderlijke wintermaanden november t/m februari. Gegevens afkomstig van het KNMI (Nijssen *et al.*, 2010)

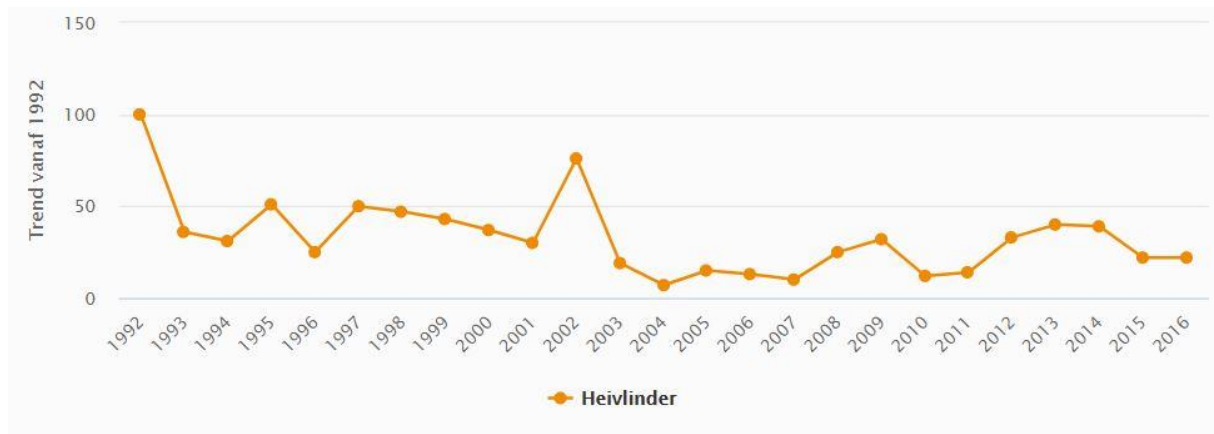
3.6 Toekomstige ontwikkeling populaties kleine heivlinder en heivlinder

Aan de hand van telgegevens van de Vlinderstichting uit het Landelijk Meetnet Vlinders is de trend voor beide soorten in grafieken weergegeven (Figuur 20 en 21) (De Vlinderstichting, 2020a en b). De grafieken geven de verandering in aantal vlinders sinds 1992 weer. Het jaar 1992 geldt als nulmeting, waarbij de talrijkheid van beide vlindersoorten op 100% is gezet. Sinds dat jaar worden beide soorten volgens een vaste telroute en telperiode geteld. De aantallen worden vervolgens met het jaar 1992 vergeleken en omgezet in talrijkheid.



Figuur 20 Trend van de kleine heilvinder in Nederland sinds 1992 (De Vlinderstichting, 2020b).

De trend van de kleine heilvinder nam vanaf het jaar 1997 af, met een sterke daling in de jaren 1998 en 2003. Sinds 2003 schommelt de trend tussen 0 en 6%.



Figuur 21 Trend van de heilvinder in Nederland sinds 1992 (De Vlinderstichting, 2020a)

De trend van de heilvinder vertoont meer schommelingen over de jaren heen, met een sterke daling in de jaren 1993 en 2003. Sinds 2003 schommelt de trend tussen 7 en 40%.

Beide soorten zijn opgenomen in de Rode Lijst. De kleine heilvinder is in 2019 ingedeeld in de categorie EB (Ernstig bedreigd) en de heilvinder in de categorie KW (Kwetsbaar). De indeling is gebaseerd op de trend en de huidige zeldzaamheid. Een soort is een Rode-Lijstsoort wanneer hij aan zowel het criterium trend als het criterium zeldzaamheid voldoet, of wanneer hij in hoge mate aan één van de twee criteria voldoet. Trend en zeldzaamheid worden bepaald voor zowel de verspreiding als het aantal voortplantende individuen (Figuur 22) (Van Swaay, 2019).

code	trendklasse	afname in verspreiding of aantal voortplantende individuen sinds 1950		
0/+	stabiel of toegenomen	< 25%		
t	matig afgenomen	25 – < 50%		
tt	sterk afgenomen	50 – < 75%		
ttt	zeer sterk afgenomen	75 – < 100%		
tttt	maximaal afgenomen	100%		
code	zeldzaamheidsklasse	aantal voortplantende individuen	actuele verspreiding in atlasblokken	
a	algemeen	≥ 25.000	≥ 12,5%	≥ 209 atlasblokken
z	vrij zeldzaam	2.500 – 24.999	5 – < 12,5%	84 - 208 atlasblokken
zz	zeldzaam	250 – 2.499	1 – < 5%	17 - 83 atlasblokken
zzz	zeer zeldzaam	1 – 249	> 0 – < 1%	1 - 16 atlasblokken
x	afwezig	0	0%	0 atlasblokken

Figuur 21 Trend- en zeldzaamheidsklassen voor dagvlinders (Van Swaay, 2019)

De populatiegrootte van de kleine heivlinder wordt op hooguit 250 volwassen vlinders geschat en de soort plant zich voort in 2 atlasblokken, wat in beide gevallen leidt tot zeldzaamheidsklasse zeer zeldzaam (zzz). De verspreiding is afgenomen met 94%. De populatiegrootte is afgenomen met bijna 100%, wat in beide gevallen leidt tot trendklasse zeer sterk afgenomen (ttt) (Van Swaay, 2019).

De populatiegrootte van de heivlinder wordt op meer dan 25.000 volwassen vlinders geschat, wat leidt tot zeldzaamheidsklasse algemeen (a). De soort plant zich voort in 132 atlasblokken, wat leidt tot de zwaardere zeldzaamheidsklasse vrij zeldzaam (z). De verspreiding is afgenomen met 55%, wat leidt tot trendklasse sterk afgenomen (tt). De populatiegrootte is afgenomen met 80% (zeer sterk afgenomen), wat leidt tot de zwaardere trendklasse zeer sterk afgenomen (ttt) (Van Swaay, 2019).

4 Discussie

In dit hoofdstuk worden zowel de onderzoeksmethode als de resultaten bediscussieerd. Tevens wordt de reikwijdte van de resultaten beschreven.

De hoofdvraag en deelvragen zijn beantwoord aan de hand van literatuuronderzoek. Hier zijn een aantal beperkingen aan gebonden. Het nadeel van een uitgebreide database aan bronnen op internet is dat er bij dit literatuuronderzoek wellicht bronnen over het hoofd zijn gezien die wel relevant hadden kunnen zijn. Ook zijn er een aantal bronnen gebruikt die ouder dan 10 jaar zijn. Hierdoor kan het zijn dat sommige informatie uit deze bronnen inmiddels verouderd is, zeker als het gaat om een dynamisch onderwerp als klimaatverandering. Er is daarom onderbouwd met de meest recente cijfers uit klimaatscenario's, zodat de informatie toepasbaar is voor de toekomst. Het blijven echter scenario's en de toekomst is altijd onzeker, waardoor getrokken conclusies nooit 100% zeker zijn. Tevens is voornamelijk met databases als Google, Google Scholar en ResearchGate gewerkt. Wellicht konden er nog meer relevante bronnen gevonden worden als er via meerdere online of zelfs fysieke bibliotheken werd gezocht. De gebruikte bronnen komen voornamelijk van erkende onderzoekers, organisaties en onderzoeksinstanties zoals IPCC en Wageningen University & Research. Aangenomen kan worden dat de gebruikte literatuur hierdoor betrouwbaar is.

Voorafgaand aan het literatuuronderzoek was de verwachting dat beide dagvlindersoorten ondanks een sterk vergelijkbare levensloop, ze door het verschil in specifieke habitateisen een andere trend zullen volgen en daardoor een andere toekomstverwachting zullen hebben. De gevonden literatuur die in het resultaten hoofdstuk staat beschreven bevestigt deze verwachting. Er moet wel opgemerkt worden dat er weinig onderzoeken waren gevonden die specifiek onderzoek deden naar de effecten van het klimaat op beide dagvlindersoorten en zandverstuivingen. Er zijn bronnen gevonden van kleine, specifieke onderzoeken, maar deze zijn ook van enige tijd geleden. Het kan voorkomen dat er wellicht nieuwe onderzoeken zijn gedaan over dit onderwerp die de gebruikte literatuur (gedeeltelijk) tegenspreekt. Er is één onderzoek met een referentiegebied in Duitsland gebruikt en deze bevatte belangrijke informatie voor het onderbouwen van de conclusie van dit onderzoek. Voor vervolgonderzoek is dus aan te raden om te zoeken naar meer onderzoeken in referentiegebieden, zoals Duitsland en België.

Toch kan dit literatuuronderzoek een belangrijk handvat bieden voor natuurbeheerders van zandverstuivingen. Ze kunnen in één oogopslag zien welke effecten op zandverstuivingen optreden, hoe de huidige status van beide soorten eruit ziet en vooral hoe hoog de urgentie is om tot maatregelen te komen. Met behulp van dit onderzoek is een wetenschappelijke basis gevormd om de benodigde maatregelen op zandverstuivingen te onderbouwen.

5 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op de deelvragen en de hoofdvraag, gebaseerd op de resultaten van het literatuuronderzoek en de discussie. Daarna volgen aanbevelingen die praktisch toepasbaar zijn voor natuurbeheerders van zandverstuivingen in Nederland.

5.1 Conclusie

Literatuur over de verwachte klimaatverandering, zandverstuivingen en de typerende dagvlindersoorten die in dit ecosysteem voorkomen, te weten de kleine heivlinder en heivlinder, zijn in dit onderzoek overzichtelijk bij elkaar gebracht. Vervolgens is verder ingezoomd en gekeken naar de effecten van klimatologische factoren op het macro- en microklimaat van deze dagvlindersoorten. Ook is de huidige populatieontwikkeling van beide soorten bekeken. Met deze informatie kon een beeld geschetst worden over de verwachte toekomstontwikkeling van de kleine heivlinder en heivlinder in Nederland.

Effecten klimatologische factoren op zandverstuivingen

De klimatologische effecten zomerdroogte, hogere temperaturen, toenemende neerslag en extreme neerslag leiden tot veranderingen in diverse abiotische processen binnen zandverstuivingen. Grotere veranderingen zijn te verwachten door de toenemende kans op zomerdroogte in combinatie met hogere temperaturen. Met name voorjaarsdroogte leidt tot sterfte van struikheide op zandverstuivingen. De sterfte van vegetatie door droogte kan op stuifzandbodems ook leiden tot meer kaal zand. Naarmate er vaker perioden voorkomen met extreme hitte en droogte gevolgd door interne buien, kan dit leiden tot een afspoeling van nutriënten. Dit bevordert de vestiging van vegetatie. Een toename in neerslag in combinatie met hogere temperaturen en een hogere stikstofdepositie leidt tot omstandigheden waarin algen en buntgras zich eerder kunnen vestigen en ontwikkelen. Dit leidt tot een versnelde vastlegging van het open zand.

Effecten klimatologische factoren op Kootwijkerzand en Pampelsche Zand

De enige populatie van de kleine heivlinder bevindt zich op het Kootwijkerzand. De heivlinder heeft nog meerdere populaties rondom de Veluwe. Het zwaartepunt van de grootste populatie bevindt zich op het Pampelsche Zand. De kwaliteit van beide stuifzandgebieden is matig tot goed. Op het Pampelsche Zand bestond in 2018 nog bijna de helft van het gebied uit kaal zand. Op het Kootwijkerzand vormt de uitbreiding van grijs kronkelsteeltje de belangrijkste reden van achteruitgang van de kwaliteit van het stuifzandgebied. In 2018 bestond bijna de helft van het gebied uit mossen en grassen.

Effecten klimatologische factoren op kleine heivlinder en heivlinder

Veranderingen in diverse abiotische processen binnen zandverstuivingen leiden tot verandering op zowel populatie- als ecosysteemniveau. Negatieve effecten op de kleine heivlinder en heivlinder ontstaan tijdens verschillende levensstadia. Een toename van mossen en korstmossen zorgt ervoor dat de waardplanten buntgras en schapengras weggeconcurrereerd worden. Beide soorten hebben zo minder mogelijkheden om hun eitjes af te zetten. Sterfte van struikheide door langdurig aanhoudende droogte zorgt ervoor dat beide soorten als imago geen nectarbron ter beschikking hebben en mogelijk hun leefgebied verlaten om op zoek te gaan naar andere nectarbronnen. Nattere en zuurdere condities zorgt voor problemen tijdens het rupsenstadia. Tijdens het rupsenstadia zijn belangrijke verschillen tussen beide soorten op te merken. De rupsen van de heivlinder hebben een hogere biomassa waardoor ze beter bestand zijn tegen zowel infecties met schimmels en bacteriën als tegen uitputting dan rupsen van de kleine heivlinder. De voedselkwaliteit van waardplanten voor de kleine heivlinder moet hoger zijn om als geschikt voedsel te dienen voor de kleine rupsen na overwintering. Rupsen van de heivlinder hebben na overwintering een grotere buffer opgebouwd en kunnen ook waardplanten van een lagere kwaliteit tot zich nemen. Tevens is de kleine heivlinder in zachte winters gevoeliger voor wintersterfte dan de heivlinder. Ook stelt de kleine heivlinder strengere eisen aan zijn leefgebied; de soort komt alleen op overgangen van stuifzand naar heide toe. Scherpe overgangen worden

gemeden. De heivlinder stelt minder eisen aan zijn leefgebied; de soort kan ook een afwisselend en open landschap voorkomen. Scherpe overgangen maakt voor deze soort minder uit.

Toekomstige ontwikkeling populaties kleine heivlinder en heivlinder

De trend van de kleine heivlinder nam vanaf het jaar 1997 af. Sinds 2003 schommelt de trend op een zeer laag niveau. De kwaliteit van het leefgebied van de kleine heivlinder neemt de laatste jaren sterk af. Met name de opkomst van grijs kronkelsteeltje en de problemen tijdens het rupsenstadia van de soort zorgt ervoor dat de kleine heivlinder in rap tempo in aantallen afneemt. De sterfte van de belangrijkste nectarbron zorgt ervoor dat de soort geen nectar tot zich kan nemen en zijn leefgebied verlaat. De soort stelt ook specifieke eisen aan zijn habitat, ze komen uitsluitend op overgangen van stuifzand naar heide voor. Andere nabijgelegen stuifzandgebieden zijn tevens zo sterk versnipperd, waardoor het lastig wordt voor de soort om nieuw leefgebied te bereiken. De soort heeft nog maar één populatie in ons land, waardoor er geen buffer is om negatieve veranderingen in de leefomgeving op te vangen. Indien er een belangrijk element binnen het Kootwijkerzand verdwijnt, is de verwachting dat de soort dit niet kan opvangen en uitsterft. De verwachting is dan ook dat de soort binnen een aantal jaar in Nederland is verdwenen. Wanneer dit precies gebeurt, is niet met zekerheid te zeggen.

De toekomstige ontwikkeling van de heivlinder ziet er iets positiever uit. Ondanks dat de soort nog meerdere populaties heeft en meer individuen dan de kleine heivlinder, neemt de populatiegrootte en verspreiding in ook significant af. Belangrijke factoren waardoor de soort toch een grotere buffer heeft dan de kleine heivlinder komt onder andere doordat het leefgebied waar het zwaartepunt van de populatie zich bevindt van betere kwaliteit is. Ook stelt de heivlinder minder eisen aan zijn habitat; hij kan op een meer open en afwisselend landschap voorkomen. Tevens hebben de rupsen van de heivlinder door een hogere biomassa na overwintering meer kans om te overleven. De kans om het imago stadium te bereiken en zich weer voort te planten wordt hierdoor ook groter. Indien andere populaties van de soort wegvallen, kan de soort de klap opvangen met de populatie op het Pampelsche Zand, omdat de kwaliteit van dat leefgebied goed is. Zo kan het voortbestaan van de soort in ons land gegarandeerd worden. De verwachting is dan ook dat de soort ondanks de verwachte klimaatverandering de komende jaren niet uitsterft in Nederland.

5.2 Aanbevelingen

Aangezien de kleine heivlinder acuut met uitsterven is bedreigd, wordt het advies aan natuurbeheerders gegeven om direct met maatregelen te beginnen. Maatregelen die op korte termijn kunnen worden uitgevoerd zijn bijvoorbeeld het plaggen van stukken dichtgegroeid stuifzand. Op het kale zand kan dan weer pioniervegetatie zoals buntgras groeien. Ook kan er opslag van bomen op het stuifzand verwijderd worden, wat de stimulering van stikstofdepositie tegengaat. Belangrijk is wel dat er een aantal zogenoemde "boomeilanden" op het zand blijven staan, omdat de kleine heivlinder deze als slaap- en ontmoetingsplaats gebruikt. Tevens kunnen er nieuwe struikheiden in de zomer aangeplant worden, zodat de soort in ieder geval nectar heeft in de zomer en zijn leefgebied niet verlaat. Indien de maatregelen correct worden uitgevoerd zou de bestaande populatie in ieder geval voor een tijdje veilig kunnen worden gesteld, mits er geen cruciale elementen binnen het leefgebied verdwijnen.

Vervolgens kan gedacht worden aan een beheerplan. Er dient dan met een bepaalde strategie gewerkt te worden. Als de bestaande populatie van de kleine heivlinder veilig is gesteld en de knelpunten binnen het huidige leefgebied (voorlopig) zijn opgelost, moet de omvang van de populatie worden vergroot. Er moet worden aangegeven waar kansen liggen voor verbinding van het huidige leefgebied met potentieel geschikte locaties in de directe omgeving. Deze geschikte locaties moeten vervolgens worden versterkt. Als laatst moet het aantal populaties op de Veluwe worden vergroot. Gebieden die aan de randvoorwaarden voor de kleine heivlinder voldoen moeten verder geschikt worden gemaakt, zodat de soort zich in de toekomst opnieuw kan vestigen. Indien het voor de kleine heivlinder te laat is, kan dit beheerplan ook worden toegepast op de heivlinder, om zo hopelijk uit de kwetsbare status te kunnen komen.

Literatuurlijst

- Besse-Lototskaya, A.A., Geertsema, W., Griffioen, A., van der Veen, M., Verdonschot, P.F.M. (2010). *Natuurdoelen en klimaatverandering. Alterra-rapport 2135*, pp. 110-112. Wageningen: Alterra.
- Bos, F., Bosveld, M., Groenendijk, D., van Swaay, C., Wynhoff, I. (2006). *De dagvlinders van Nederland, verspreiding en bescherming. Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea. Nederlandse Fauna 7*, pp. 238-240. Zeist: KNNV.
- Compendium voor de Leefomgeving (2016, 7 september). *Gebiedsgrootte terrestrische ecosystemen, 1990-2014*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1588-gebiedsgrootte-ecosystemen>
- Compendium voor de Leefomgeving (2018a, 3 september). *Kwaliteit grondwaterafhankelijke ecosystemen, 2017*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1594-kwaliteit-grondwaterafhankelijke-ecosystemen>
- Compendium voor de Leefomgeving (2018b, 23 juni). *Ruimtelijke samenhang natuurgebieden, 2015*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1523-ruimtelijke-samenhang-natuurgebieden>
- Compendium voor de Leefomgeving (2019a, 15 november). *Herkomst stikstofdepositie, 2018*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0507-herkomst-stikstofdepositie>
- Compendium voor de Leefomgeving (2019b, 29 november). *Fauna van natuurgebieden op land, 1990-2018*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1581-trend-alle-natuurgebieden>
- Compendium voor de Leefomgeving (2019c, 29 november). *Fauna van open natuurgebieden, 1990-2018*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl1586-trend-fauna-open-natuurgebieden>
- Compendium voor de Leefomgeving (2020a, 8 januari). *Kaart bodemgebruik van Nederland, 2015*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0061-bodemgebruikkaart-voor-nederland>
- Compendium voor de Leefomgeving (2020b, 21 april). *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1907 - 2019*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0226-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>
- Compendium voor de Leefomgeving (2020c, 24 april). *Jaarlijkse hoeveelheid neerslag in Nederland, 1910 – 2017*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0508-jaarlijkse-hoeveelheid-neerslag-in-nederland>
- De Vlinderstichting (2020a). *Heivlinder. Hipparchia semele*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.vlinderstichting.nl/vlinders/overzicht-vlinders/details-vlinder/heivlinder>
- De Vlinderstichting (2020b). *Kleine heivlinder. Hipparchia statilinus*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.vlinderstichting.nl/vlinders/overzicht-vlinders/details-vlinder/kleine-heivlinder>
- Deijk, J., van, & Vermeer, R. (2013). *Gedragstudie naar de rupsen van heivlinders*. Hogeschool Van Hall Larenstein, Velp.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, S., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, S., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J. C. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.

- Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.
- Glasziou, P., Irwig, L., Bain, C., Colditz, G. (2001). *Systematic reviews in health care: a practical guide*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.
- International Energy Agency (2019). *CO₂ Emissions from fuel combustion 2019 edition. Database documentation*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van https://iea.blob.core.windows.net/assets/abf78b7f-29dc-4cb9-bb9c-1a875486d09a/Worldco2_Documentation.pdf
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut & Planbureau voor de Leefomgeving (2015). *Klimaatverandering. Samenvatting van het vijfde IPCC-assessment en een vertaling naar Nederland*. Den Haag: PBL.
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (2011). *De Bosatlas van het Klimaat*. Groningen: Noordhoff
- Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (2020, 7 januari). *Jaar 2019. Zeer warm, zeer zonnig en landelijk gemiddeld vrij droog*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2019/jaar>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., Waterfield, T. (2018). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (z.d.). *Rode lijsten*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://minlnv.nederlandsesoorten.nl/content/rode-lijsten>
- Nationaal Georegister (z.d.). *Kaart met de landduinen en actieve stuifzanden in Nederland* [Illustratie]. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/map>
- Nijssen, M., Riksen, M.J.P.M., Sparrius, L.B., Bijlsma, R.J., de Waal, R., Jungerius, P.D., Ketner-Oostra, R., Kooijman, A.M., Kuiters, A.L., van den Burg A., van Dobben, H.F., van Turnhout, C., van Swaay, C. (2010). *Onderzoek naar effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden*. Driebergen: Bosschap.
- Omon, B. (2013). *Verschillende stadia van de rups van de kleine heivlinder* [Foto]. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.vlinderstichting.nl/vlinders/overzicht-vlinders/galerij-vlinder/?&vlinder=1123&fase=rups>
- Rijsewijk, B., van (2018, 3 mei). *Verschillende stadia van de rups van de heivlinder* [Foto]. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.vlinderstichting.nl/vlinders/overzicht-vlinders/galerij-vlinder/?&vlinder=1122&fase=rups>
- Riksen, M., Sparrius, L., & Nijssen, M. (2020). *Beheer en herstel van stuifzanden*. Zeist: KNNV.
- Schelhaas, M. J., Arets, E., & Kramer, H. (2017, september). *Het Nederlandse bos als bron van CO₂*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/423687>
- Schut, M. (2013, 20 augustus). *Imago van de kleine heivlinder* [Foto]. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://www.vlinderstichting.nl/vlinders/overzicht-vlinders/galerij-vlinder/?&vlinder=1123&fase=imago>

- Slootweg, A. (2012). *Gedrag en habitat van de Kleine heivlinder en de Heivlinder op het Kootwijkerzand*. Hogeschool Van Hall Larenstein, Velp.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.
- Swaay, C.A.M., van (2019). *Basisrapport Rode Lijst Dagvlinders 2019 volgens Nederlandse en IUCN criteria*. Wageningen: De Vlinderstichting.
- Tolman, T., & Lewington, R. (2017). *Dagvlinders. Veldgids voor Europa en Noordwest-Afrika* (Gereviseerde druk). Utrecht: Kosmos.
- Vliegthart, A. (2013). *Afname van het aantal populaties van de kleine heivlinder in Nederland* [Illustratie]. Geraadpleegd op 21 april 2020, van <https://assets.vlinderstichting.nl/docs/7583dcdb-6459-4759-boe6-e12a9af29c4f.pdf>
- Vos, C.C., & Kuiters, A.T. (2007). *Effecten van klimaatverandering op de natuur*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van https://www.landschap.nl/wp-content/uploads/2007-1_027-038.pdf
- Vries, M.W. de (2017, 29 november). *Vlinders als graadmeter voor verandering in onze omgeving*. Geraadpleegd op 21 april 2020, van https://www.wur.nl/upload_mm/8/a/7/f4d60d44-620a-4815-a2bb-31afc8b2d45_Vlinders_als_graadmeter_voor_verandering_in_onze_omgeving.pdf
- Waarneming.nl (2020a). *Kleine heivlinder. Hipparchia statilinus*. Geraadpleegd op 27 juli augustus 2020, van <https://waarneming.nl/species/688/maps/>
- Waarneming.nl (2020b). *Heivlinder. Hipparchia semele*. Geraadpleegd op 27 juli augustus 2020, van <https://waarneming.nl/species/693/maps/>
- Wereld Natuur Fonds (2020). *Living Planet Report Nederland. Natuur en landbouw verbonden*. Zeist: WNF.
- White, H.D. (1994). *Scientific Communication and Literature Retrieval. The Handbook of Research Synthesis*, pp. 41-55. New York: Russell Sage Foundation.
- Witte, J.P.M., Runhaar, J., van Ek, R. (2009). *Ecohydrologische effecten van klimaatverandering op de vegetatie van Nederland*. Nieuwegein: KWR.
- Wynhoff, I., van Swaay, C., Veling, K., & Vliegthart, A. (2016). *Veldgids Dagvlinders* (4de editie), pp. 310-311. Zeist: KNNV.