

De invloed van klimaatverandering op de migrerende monarchvlinder (*Danaus plexippus*)



Fabiënne Alblas
| 12-6-2023

De invloed van klimaatverandering op de migrerende monarchvlinder (*Danaus plexippus*)

Een literatuurstudie over de mogelijke directe en indirecte impact van veranderingen in klimatologische factoren op de migratie van de monarchvlinder (*Danaus plexippus*).

Colofon

Monnickendam 12 juni 2023

Auteur: Fabiënne Alblas

Studentnummer: 3029051

Contact: 3029051@aeres.nl

Afstudeerwerkstuk HBO opleiding: Toegepaste Biologie

In opdracht van: Aeres Hogeschool Almere

Supervisor: Floris Keizer

Omslagfoto: Don Sutherland, geraadpleegd van:

<https://www.flickr.com/photos/67832671@N00/6274733768/>

Disclaimer: De inhoud van dit rapport is bestemd als afstudeerwerkstuk voor Aeres Hogeschool.

Voorwoord

Dit rapport is geschreven als afstudeeropdracht voor de opleiding toegepaste biologie aan de Aeres HBO Almere.

Ik ben altijd geïnteresseerd geweest in de gevolgen die klimaatverandering heeft op dieren. Daarom begon ik met publicaties en papers te lezen over dat onderwerp. Tijdens mijn stage bij Naturalis in 2023 ben ik ook veel bezig geweest met werkzaamheden die betrekking hadden op vlinders, zoals het opzetten en op naam brengen van vlindersoorten. Daar is mijn interesse en passie voor het behoud van vlinders wereldwijd gegroeid. Het leek mij interessant om deze interesses van mij aan elkaar te koppelen voor deze literatuurstudie.

Graag wil ik mijn coach Floris Keizer bedanken voor de begeleiding en snelle reactie op mijn vragen tijdens het schrijven van deze literatuurstudie.

Ik wens u veel leesplezier!

Fabiënne Alblas

Juni 2023

Inhoud

Samenvatting	5
Abstract.....	6
1. Inleiding.....	7
2. Methode.....	11
2.1 In- en uitsluitingscriteria voor de gebruikte literatuur	11
2.1.1 Bronnen.....	11
2.1.2 Actualiteit en taal	11
2.2 Zoekmethodes/zoekplan	11
2.3 Betrouwbaarheid.....	12
3. Resultaten	13
3.1 De migratie van de monarchvlinder	13
3.1.1 Oostelijke populatie monarchvlinders.....	14
3.1.2 Westelijke populatie monarchvlinders	16
3.1.3 Uitwisseling tussen de westelijke en oostelijke populatie	17
3.2 Het effect van neerslag en temperatuur op de monarchvlinder(migratie)	19
3.2.1 Invloed van temperatuur op de vlucht van de monarchvlinder	19
3.2.2 Veranderingen in thermoregulatie door omgevingstemperatuur	19
3.2.3 Klimaat gerelateerde effecten op de migratie.....	20
3.3 De bedreigingen van klimaatverandering op de waardplant en de nectarbronnen van de monarchvlinder	24
3.3.1 Invloed van temperatuur en waterstress op de zijdeplant en de indirecte invloed op de monarchlarven	24
3.3.2 De invloed van temperatuur op de cardenolideconcentraties in de zijdeplant	24
3.3.3 De invloed van hittegolven op de zijdeplant	25
3.3.4 Mogelijke toekomstige verspreiding van de zijdeplant	25
3.3.5 Invloed van klimaatverandering op nectarbronnen	27
4. Discussie.....	28
4.1 Reflectie literatuurstudie.....	28
4.2 Reflectie resultaten	28
5. Conclusie	30
5.1 Hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?	30
5.2 In hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?	30
5.3 Op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?	31

5.4 Wat is de invloed van klimaatverandering op migratie van monarchvlinders in Midden en Noord-Amerika?	31
5.5 Aanbevelingen.....	32
5.5.1 Lange termijn.....	32
5.5.2 Praktijk.....	32
5.5.3 Toekomstig onderzoek	32
Literatuurlijst:.....	33

Samenvatting

Het is al verscheidene jaren bekend dat de monarchvlinderpopulaties achteruitgaan. De oorzaken van de achteruitgang van de monarchvlinderpopulaties zijn de laatste jaren grotendeels in kaart gebracht. Deze studies hebben vastgesteld dat habitatverlies en de protozoaire parasiet *Ophryocystis electroscirra* (OE) de belangrijkste gevaren zijn voor de monarchvlinder. Uit verschillende studies is echter gebleken dat ook de dreigende klimaatverandering gevolgen kan hebben voor de monarchvlinder. Klimaatverandering kan voor monarchvlinders een bedreiging vormen omdat migrerende diersoorten gevoelig zijn voor plaatselijke milieuomstandigheden. Het is bekend dat klimaatverandering het voorkomen en de verspreiding van soorten beïnvloedt. De monarchvlinder is afhankelijk van de zijdeplant (het geslacht *Asclepias*). Daarom werd in dit onderzoek zowel het effect van de klimaatverandering op de vlinder zelf als op de zijdeplant bestudeerd. Uit de resultaten bleek dat de temperatuurstijging verschillende effecten heeft op de monarchvlinder. Zo beïnvloedt temperatuurstijging het vliegvermogen van de vlinder negatief, de groei van de larven positief (tot 33 °C) en de populatiegrootte zowel positief als negatief. Droogte heeft een negatief effect op de populatiegrootte. Temperatuurstijging kan de groei van zijdeplanten positief beïnvloeden en hittegolven kunnen de vruchtbaarheid verhogen. Bovendien zorgt temperatuurstijging voor een vroegere bloeiperiode. Waterstress vermindert de groei van de zijdeplant en veroorzaakt een verandering in de nectarproductie. Er is aangetoond dat zowel de zijdeplanten als de monarchvlinder in de toekomst meer naar het Noorden zullen verspreiden. Klimaatverandering heeft een effect op de migratie van de monarchvlinder, maar het kan niet worden beantwoord of dit effect negatief of positief is. Dit komt omdat in de resultaten zowel positieve als negatieve gevolgen zijn aangetoond. De conclusie is dat klimaatfactoren bepalend zijn voor de jaarlijkse variatie in abundantie.

Abstract

Monarch butterfly populations have been known to decline for several years. The causes of monarch butterfly population decline have been largely identified in recent years. These studies have determined that habitat loss and the protozoan parasite *Ophryocystis elektroscirrha* (OE) are the main threats to the monarch butterfly. However, several studies have shown that the threat of climate change may also affect the monarch butterfly. Climate change may pose a threat to monarch butterflies because migratory species are sensitive to local environmental conditions. Climate change is known to affect the occurrence and distribution of species. The monarch butterfly depends on the silk plant (the genus *Asclepias*). Therefore, this research studied both the effect of climate change on the butterfly itself and on the silk plant. The results showed that temperature increase has several effects on the monarch butterfly. For example, temperature increase affects the butterfly's ability to fly negatively, larval growth positively (up to 33 °C) and population size both positively and negatively. Drought has a negative effect on population size. Temperature rise can positively affect silk plant growth and heat waves can increase fecundity. In addition, temperature rise causes earlier flowering. Water stress reduces silk plant growth and causes a change in nectar production. Both silk plants and the monarch butterfly have been shown to spread more northward in the future. Climate change has an effect on monarch butterfly migration, but it cannot be answered whether this effect is negative or positive. This is because the results have shown both positive and negative effects. The conclusion is that climate factors determine annual variation in abundance.

1. Inleiding

De trek van de monarchvlinder (*Danaus plexippus*) is een van de meest onverklaarbare natuurfenomenen voor de wetenschap. Het concept dat een vlindersoort een migratiecyclus van meer dan duizenden kilometers voltooid is exceptioneel (Oberhauser & Solensky, 2004), evenals de miljoenen vlinders die op de overwinteringsplaatsen worden gezien (figuur 1). Het voortbestaan van deze migratiecyclus is mogelijk in gevaar (James & Kappen, 2021).

Recente analyses hebben laten zien dat de populatie monarchvlinders afneemt (Inamine et al., 2016; Zylstra et al., 2022; Islas-Báez et al., 2015). Het is bekend dat sinds het midden van de jaren negentig, zowel de Westelijke als Oostelijke monarchvlinder populatie te maken heeft gehad met een daling van ongeveer 80-95% van hun gemiddelde historische abundantie (James & Kappen, 2021). De populaties zweven nu mogelijk op het punt van quasi-uitsterven (Pelton et al., 2019; Semmens et al., 2016; Voorhies et al., 2019).

De achteruitgang van de monarchvlinder populatie is en wordt nog steeds onderzocht. Monarchvlinders worden geconfronteerd met een verscheidenheid aan bekende bedreigingen die van invloed zijn op de populatie omvang. Deze bedreigingen treden op tijdens verschillende tijdstippen in de levenscyclus. De grootst verwachte bedreiging is het verlies van habitat/leefgebied over het gehele verspreidingsgebied in Midden en Noord-Amerika (Flockhart et al., 2015). Er zijn verschillende oorzaken bekend voor het verlies aan habitat:

Als eerste is habitat verlies op de overwinteringsplaatsen (van de Oostelijke populatie) in Mexico voornamelijk veroorzaakt door illegale houtkap. De houtkap is de laatste jaren wel meer afgenomen (Inamine et al., 2016; Thogmartin et al., 2017; Flockhart et al., 2015).

Als tweede zorgt verlies van zijdeplanten en nectarbronnen op de broedplaatsen in het bovenste deel van het Midden-Westen van de VS ook voor habitatverlies (Flockhart et al., 2015). Zijdeplanten (vaak de subfamilie *Asclepiadoideae* en het geslacht *Asclepias*) zijn de waardplanten voor monarchlarven (Faldyn et al., 2018). Van 1999 tot 2010 is in het Midden-Westen (Iowa) het voorkomen van de zijdeplant met 58% gedaald. Dit kwam hoofdzakelijk door het gebruik van herbiciden in verband met de verhoogde aanplanting van genetisch gemodificeerde glyfosaatresistente maïs en sojabonen (Pleasant & Oberhauser, 2013; Malcolm, 2018; Thogmartin et al., 2017). Deze daling kwam daarnaast ook door het omzetten van niet-landbouwgrond (waar zijdeplant groeide) in akkerland of bebouwd gebied. Tijdens deze periode is de reproductie van monarchvlinders met 81% gedaald (Thogmartin et al., 2017).

De hierboven genoemde bedreigingen voor de migratie van de monarchvlinder zijn veroorzaakt door menselijke activiteiten. Er zijn echter ook andere natuurlijke factoren die de populatiedynamiek van monarchvlinders beïnvloeden. Een bewezen bedreiging is namelijk de protozoaire parasiet *Ophryocystis elektroscirrha* (OE) (Davis & de Roode, 2018). Dit eencellige organisme (*protozoa*) veroorzaakt bij monarchvlinders infecties. OE overleeft in een gastheer of in de omgeving als sporen (die bestand zijn tegen extreme weersomstandigheden). De infectie vermindert de massa, vliegsnelheid, overleving, vluchtduur en levensduur van een monarchvlinder (Bartel et al., 2011).

Figuur 1

Rustende monarchvlinders



Overgenomen uit *Monarch Migration News* door E.Howard, 2015, (<https://journeynorth.org/monarch/fall2015/monarch-butterfly-migration101515.html>). Copyright 2015, JourneyNorth.

De populatiedynamiek van monarchvlinders wordt dus beïnvloed door een breed scala aan hierboven genoemde factoren die langdurig en uitgebreid onderzocht zijn. Desondanks beweren meerdere onderzoekers dat naast deze vastgestelde bedreigingen, klimatologische factoren (zoals temperatuur en neerslag), toenemende klimaatvariabiliteit, extreme weersomstandigheden en klimaatverandering mogelijk een additionele bedreiging vormen voor monarchvlinders (Thogmartin et al., 2017; Batalden et al., 2007; Flockhart et al., 2015). De nauwe banden tussen de jaarlijkse cyclus van de monarchvlindermigratie en de klimatologische omstandigheden suggereren dat de monarchvlinders negatief kunnen worden beïnvloed door aanhoudende wereldwijde klimaatveranderingsprocessen (Batalden et al., 2007; Jepsen et al., 2015; Ethier & Mitchell, 2023).

Deze klimaatveranderingsprocessen zijn een algemeen bekende oorzaak (en probleem) voor het beïnvloeden van ecosystemen wereldwijd. Kunstmatige activiteiten zoals gebruik van fossiele brandstoffen hebben ertoe geleid dat het klimaatsysteem van de aarde is aangetast. Hierdoor is de temperatuur de afgelopen 150 jaar gestegen, met als voorspelling een stijging van wel 5 °C totaal aan het einde van deze eeuw (Couture et al., 2015). Er wordt ook verwacht dat door klimaatverandering de frequentie en intensiteit van extreme stortbuien zal toenemen (Martel et al., 2021).

Klimaatverandering vormt specifiek voor migrerende diersoorten een bedreiging. Dit komt doordat migrerende soorten gevoelig zijn voor lokale omgevingsomstandigheden in meerdere stadia van de migratiecyclus. De populatiedichtheid verandert door de gesteldheid van de broedplaatsen, overwinteringsplaatsen in de zomer en de tussentijdse rustplaatsen (Zylstra et al., 2022). Verschuiving in de migratieperiode kan belangrijke implicaties hebben op een van de generaties en stadia in de complexe migratiecyclus, wat uiteindelijk de populatiedynamiek kan beïnvloeden (Ethier & Mitchell, 2023).

Temperatuur en de stijging hiervan (wat wordt veroorzaakt door klimaatverandering), heeft een directe invloed op de levenscyclus van insecten. Er wordt voorspeld dat verhoogde temperaturen, de ontwikkeling en fysiologie kunnen versnellen en het gedrag en de overleving van een organisme kunnen veranderen (Couture et al., 2015). De effecten van extreme klimatologische factoren zoals langdurige regenachtige en bewolkte periodes hebben mogelijk een drastisch effect op de monarchvlinder. Het kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat monarchvlinders minder eieren leggen en dat het langer duurt voor deze eieren om zich te ontwikkelen. Aan de andere kunnen hele hete en droge periodes mogelijk zorgen voor vermindering van de vruchtbaarheid en levensduur van een volwassen monarchvlinder (Batalden et al., 2007). Er wordt verwacht dat grootschalige verandering in weersomstandigheden zorgen voor afname van de monarchvlinder eileg (Zalucki et al., 2004). Deze beweringen suggereren dat klimaatverandering mogelijk het voortbestaan van de monarchvlinder beïnvloed.

Mogelijke indirecte invloeden van klimaatverandering op de migratie van de monarchvlinder, vinden plaats via de nectarbronnen en waardplanten. De bloeitijd van nectarbronnen is temperatuurafhankelijk en neerslaggevoelig (Kharouba & Vellend, 2015). Plantgroei kan verminderen bij langdurig aanhoudende vochtstress (Couture et al., 2015). Temperatuurstijging zorgt mogelijk voor verandering in kwantiteit en kwaliteit van de nectarproductie van een plant. Dit kan zorgen voor een verandering in de relatie tussen de plant en bestuiver, in dit geval de monarchvlinder (Takkis et al., 2015). De waardplant van de monarchvlinder is de zijdeplant van het geslacht *Asclepias*. Deze plantensoorten produceren cardenolide. Dit zijn verdedigingsmiddelen die de monarch opslaat en inzet voor een anti-parasiet of anti-roofdier werking. Er wordt gesuggereerd dat als gevolg van temperatuurstijging door klimaatverandering, de chemische samenstelling van zijdeplanten kan veranderen. Daarnaast is het ook bekend dat verhoogde temperaturen en waterstress de bladkenmerken van de zijdeplant veranderen (Couture et al., 2015). Elke verandering kan dan een

indirect effect hebben op de ontwikkeling van de monarchvlinder en de prestatie van de migratiecyclus (Faldyn et al., 2018).

Om inzicht te krijgen in de mogelijke gevolgen van klimaatverandering op de monarchvlindermigratie, is het van belang om de bedreigingen die de migratie en populatiestand negatief kunnen beïnvloeden te begrijpen. Patronen in het klimaat die de migratie lijken te beïnvloeden zijn:

Een verhoogde temperatuur aan het begin van het broedseizoen (Thogmartin et al., 2017).

Veranderingen in maximum, minimum en gemiddelde maandelijkse temperaturen; maandelijkse zonnestraling en maandelijkse neerslag tussen de maanden mei en september (Batalden et al., 2007). Veranderende voedingswaarde van de waardplant door verhoogde temperatuur en waterstress (Couture et al., 2015). Een verschuiving in de bloeitijd van nectarbronnen door een temperatuurstijging van één graad (Howard, 2018).

Rekening houdend met deze informatie is de volgende hoofdvraag opgesteld:

“Wat is de invloed van klimaatverandering op migratie van monarchvlinders in Midden en Noord-Amerika?”

De volgende deelvragen zijn opgesteld om meer context rondom te hoofdvraag te vormen en een onderbouwd antwoord op de hoofdvraag te kunnen geven:

1. Hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?
2. In hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?
3. Op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?

Ondanks dat de oorzaken van de daling in de monarchvlinder populatie nog steeds worden onderzocht, is het van essentieel belang dat er een overzicht wordt gegeven van wat momenteel bekend is. Dit, om te begrijpen wat het effect van klimaatverandering is op deze daling. Op die manier kan uiteindelijk door middel van deze informatie worden gekeken naar toekomstige beslissingen op overheidsniveau met betrekking tot het behoud van de monarchvlinder in Midden en Noord-Amerika (Veling, 2015). Daarnaast legt deze literatuurstudie ook nadruk op welke onderdelen van de migratie ontoereikend onderzocht zijn, die in de toekomst meer fundamenteel onderzoek vereisen.

Deze literatuurstudie is geschreven voor iedereen die geïnteresseerd is in het behoud van de monarchvlinders en de invloed van klimaatverandering op de monarchvlinder migratie. Deze literatuurstudie brengt een overzicht van de belangrijkste huidig bekende informatie. Het kan bruikbaar zijn voor zowel master studenten, PhD studenten, wetenschappers of onderzoekers. Daarom is dit ook geschreven voor iedereen die zoekt naar een duidelijke samenvatting over het desbetreffende onderwerp.

Zonder al te diep op de literatuur in te gaan die wordt gebruikt om de hoofd- en deelvragen te beantwoorden, wordt verondersteld dat de reactie van de monarchvlinder op klimaatverandering lastig te karakteriseren is. Dit komt omdat het een trekkende soort is, die tijdens de levenscyclus meerdere klimaten ervaart die op verschillende manieren kunnen veranderen. Wel is de hypothese dat klimaatverandering (samenhangend met antropogene factoren) bijdraagt aan globale afname van migrerende diersoorten (Zipkin et al., 2012). In hoeverre dit het geval is voor de migrerende monarchvlinder wordt in deze literatuurstudie onderzocht.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de gebruikte methode voor het schrijven van dit onderzoek beschreven. In hoofdstuk 3 staan de resultaten, ingedeeld op basis van de deelvragen. In hoofdstuk 4 staat de discussie over de methode en resultaten. Deze literatuurstudie eindigt met de conclusie en aanbevelingen in hoofdstuk 5.

2. Methode

In dit hoofdstuk worden de methoden behandeld waarmee deze literatuurstudie is geschreven. Dit hoofdstuk zal evident maken welke gegevens wel en niet zijn opgenomen en waarom bepaalde beslissingen wel en niet zijn genomen. Daarnaast worden de zoektermen/ terminologie ook uitgewerkt.

De resultaten van deze literatuurstudie worden uitgedrukt in woorden en niet getallen. Dat maakt de literatuurstudie kwalitatief. Voor deze studie heeft bureauonderzoek plaatsgevonden, geen veldonderzoek. Relevante literatuur is verzameld en er is met een kritische blik gekeken naar de gebruikte methoden.

2.1 In- en uitsluitingscriteria voor de gebruikte literatuur

Relevante literatuur werd in de beginfase geselecteerd op het lezen van de samenvatting. Nadat er was besloten of de bron bruikbaar was, werd de bron nogmaals beoordeeld op bruikbaarheid aan de hand van een aantal criteria.

Die criteria waren als volgt:

2.1.1 Bronnen

De gebruikte bronnen zijn peer reviewed en bestaan voornamelijk uit boeken, journal articles, onderzoekspapers en literatuurstudies. Journal articles worden gecontroleerd op betrouwbaarheid, wat betekent dat het moet zijn uitgegeven bij een betrouwbare database/publisher zoals bijvoorbeeld Wiley, Springer, Elsevier, Science Direct, PubMed et cetera. Google scholar is het meest gebruikt om toegang te krijgen tot literatuur. Iedere andere bron die niet peer reviewed is, moet voldoen aan de volgende eisen:

- De auteur(s)/organisatie(s) hebben bewezen kennis over het onderwerp (bijvoorbeeld universiteiten, overheidsorganisaties of stichtingen zoals de Vlinderstichting en Monarch Watch)

- Informatie in niet-peer reviewed bronnen komt overeen met peer reviewed bronnen. De informatie mag dus niet tegenstrijdig zijn met officiële publicaties.

2.1.2 Actualiteit en taal

Voor deze literatuurstudie waren bronnen niet verplicht om aan een specifiek tijdsbestek te voldoen, omdat minder recente bronnen inzicht hebben geleverd in het ontstaan van de probleemstelling. Dit artikel is namelijk gericht op de dalende populatie monarchvlinders en deze achteruitgang is al vele jaren aan de gang. Oudere gegevens bieden waardevolle historische perspectieven die de huidige bevindingen aanvullen. Oudere publicaties mogen echter niet in tegenspraak zijn met informatie uit recentere vondsten. Oudere publicaties zijn dus niet uitgesloten.

Gebruikte bronnen waren niet verplicht om alleen in het Engels geschreven te zijn om in aanmerking te komen voor deze literatuurstudie. Taalbeperkingen zijn niet gebruikt. Uitsluiting van bronnen op basis van taal kan namelijk zorgen voor het weglaten van essentiële informatie. Voor eventuele vertaling van de artikelen is gebruik gemaakt van DeepL translator.

2.2 Zoekmethodes/zoekplan

Voor dit literatuuronderzoek is gebruik gemaakt van vooruit citaat zoeken (zoeken in de bronnen die het desbetreffende artikel hebben geciteerd) en achterwaarts citaat zoeken (kijken welke bronnen het desbetreffende artikel heeft geciteerd) (Brown University Library, 2021). Achterwaarts citaat zoeken helpt voornamelijk bij het vinden van de originele bron van een bewering. Daarnaast is zoeken op trefwoorden, zinnen en onderwerpen gebruikt. Zoekwoorden en onderwerpen werden verbonden

door woorden als: 'en', 'op' en 'of'. Soms werden dubbele aanhalingstekens "..." gebruikt om de resultaten specifieker te maken. Zoekwoorden die gebruikt zijn voor het schrijven van deze literatuurstudie zijn gecombineerd en omvatten vaak een (of meerdere) zoektermen in het Engels (om meer resultaten te krijgen). Voorbeelden van gebruikte zoekwoorden voor elke deelvraag zijn:

1. Hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?

Zoektermen:

Butterfly, butterflies, monarch butterfly, *danaus plexippus*, migration, Western, Eastern, population, decrease, seasons, population, Mexico, reproduction, overwintering, spring, summer, fall, breeding ground, habitat, Corn Belt, *asclepias*, milkweed, Texas, tagging, research, phenology, continental, Pacific Northwest.

2. In hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?

Zoektermen:

Butterfly, butterflies, monarch butterfly, *danaus plexippus*, climate change, global warming, temperature, increase, cold, hot, warm, rain, rainfall, precipitation, heavy, average, little, extreme, storms, water, stress, larvae, larval, growth, extinction, health, damage, elevated, periodic, alter, influence, quality, response, range shift, future, positive, negative, sensitivity, insects, performance, ecology, flight, mortality, probable, cause, likely.

3. Op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?

Zoektermen:

Butterfly, butterflies, monarch butterfly, *danaus plexippus*, climate change, global warming, temperature, increase, cold, hot, warm, rain, storms, water, stress, larvae, larval, growth, extinction, health, damage, influence, milk weed, nectar, plant, leaf mass, cardenolide, nectar, sugar, flower, range shift, future, positive, negative, food source, *asclepias*, milkweed, sensitivity, insects, common, performance, characteristics, timing, flight, mortality, native, distribution, reduce, secretion, niche.

Voorbeelden van mogelijke zoektermen zijn:

- Butterflies and climate change
- Monarch butterfly migration
- Water stress on milkweed
- Temperature and monarch larvae
- *Danaus plexippus* population decline
- Climate change influence on insects

2.3 Betrouwbaarheid

Zoals hierboven is uitgewerkt is deze literatuurstudie gebaseerd op solide bronnen. De vragen zijn beantwoord zonder vooroordeel van de auteur. De antwoorden zijn gebaseerd op feitelijk bewijsmateriaal uit relevante bronnen. Deze bronnen onderling hebben verschillende invalshoeken en perspectieven, wat ook belangrijk is voor validatie in een literatuuronderzoek. Als iemand dit onderzoek met behulp van de hierboven geschreven methode uitvoert, komen er waarschijnlijk vergelijkbare antwoorden/conclusies uit (Roberts & Priest, 2006).

3. Resultaten

In dit hoofdstuk staan de resultaten. Alle opgehaalde en verzamelde informatie wordt hier samengevat. De volgorde verloopt op basis van de deelvragen. Dit is dus:

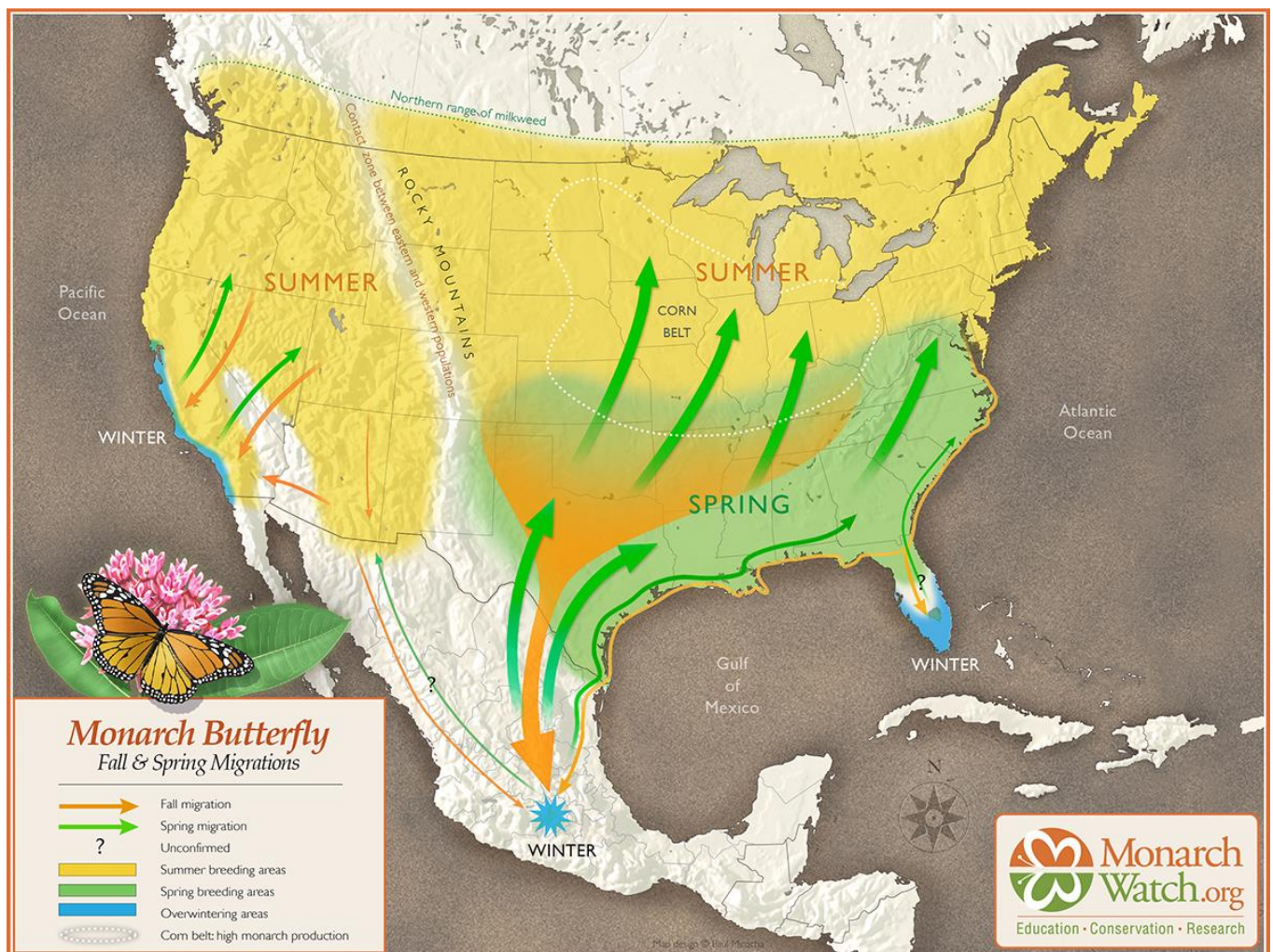
- 3.1 Hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?
- 3.2 In hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?
- 3.3 Op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?

3.1 De migratie van de monarchvlinder

De monarchvlinders in Amerika zijn grofweg opgedeeld in twee grote populaties. De westelijke populatie (ten Westen van de Rocky Mountains, zie figuur 2) en de oostelijke populatie (ten Oosten van de Rocky Mountains). De westelijke populatie is minstens twee tot drie orde van grootte kleiner dan de oostelijke (James, & Kappen, 2021). Er is ook nog een kleine derde populatie in (Zuid) Florida (blauw ovaal figuur 3). Deze populatie broedt daar het gehele jaar (Knight & Brower, 2009). Figuur 2 geeft een duidelijk beeld weer van de monarchvlinder migratie. Het is opgesteld doormiddel van data uit meerjarige monarchvlinder tagging onderzoeken uitgevoerd door Monarch Watch.

Figuur 2

Monarchvlinder verspreidingsgebied tijdens migratie



Overgenomen uit *Monarch Migration* door MonarchWatch, z.d.-a (<https://monarchwatch.org/migration/>). Copyright z.d., P. Mirocha.

De migratiecyclus van de monarchvlinder is bijzonder. Dit komt door de grote afstanden tot wel ~4500 kilometer die worden afgelegd. Hoewel deze afstanden vergelijkbaar zijn met die van trekvogels, voltooid de monarchvlinder de migratiecyclus pas in drie tot vijf generaties. In tegenstelling tot een trekvogel, die in een leven meerdere keren een complete migratie cyclus kan voltooien. De monarchvlinder moet migreren. Dit komt omdat in de late zomer/ herfst de zijdeplant (*Asclepias*) afsterft in Noord-Amerika. Daarnaast wordt het in de winter in het Noorden ook te koud voor de monarchvlinder. Het afsterven van de zijdeplant en de naderende kou zorgen ervoor dat de levenscyclus van de monarchvlinder daar niet meer verder wordt voortgezet. Deze vlinders vliegen naar het Zuiden om op zoek te gaan naar nectar en overwinteringsplaatsen (Reppert & de Roode, 2018).

3.1.1 Oostelijke populatie monarchvlinders

De generatie die gaat migreren ontstaat uit de rupsen van de late zomerweken. Deze groeien in een kortere daglengte, dalende temperatuur en eten van oudere waardplanten (mindere kwaliteit). Zo zijn de vlinders die hieruit komen voorbereid om een reproductieve diapauze in te gaan voor de migratie naar het Zuiden. Deze diapauze wordt gekenmerkt door een stop in de ontwikkeling van de voortplantingsklieren en eieren. De monarchvlinder overwintert voor een paar maanden. Daarom moeten de vlinders genoeg energie hebben opgeslagen om deze overwinteringsperiode te kunnen overleven. Deze generatie vlinders heeft dus ook een verhoogde lipidenvoorraad (vetreserves) (Reppert & de Roode, 2018). De energiereserves bouwen de vlinders onder andere op door suiker uit nectarbronnen te halen. De suiker wordt omgezet in lipiden en opgeslagen als energiebron (Brower et al., 2006). Deze lipidenreserves blijven goed behouden dankzij het langzame metabolisme van de vlinders in de winter. In koudere omstandigheden verbranden de vlinders namelijk minder energie (Journey North, z.d.-a). De diapauze is het gevolg van afnemende titers van het juveniele hormoon (JH). Remming van de JH-synthese voorkomt veroudering bij de migrerende monarchvlinders. Daardoor kan deze generatie (ook wel de Super generatie of Methuselah generatie genoemd) zes tot acht maanden (over)leven (Sharp, 2014). Deze tijd hebben de vlinders nodig om naar het Zuiden te trekken, te overwinteren en vervolgens in het voorjaar nog een klein stuk terug naar het Noorden te trekken.

Eind augustus/september begint deze generatie aan de trek vanaf de zomerbroedplaatsen in Zuid-Canada en Noord-Amerika naar het Zuiden. Rond **midden oktober** is Texas (rode streepjeslijn figuur 3) gepasseerd. En daarna trekt de populatie verder door naar Mexico (Brower, 1996). De vlinders arriveren rond **november** op de overwinteringsplaatsen (Journey North, z.d.-b; Reppert & de Roode, 2018). Dit is met name in een bosgebied in de bergen van Centraal Mexico. In de staten Michoacán en Mexico, gelegen bij de Trans-Mexican Volcanic Belt. Deze bossen zijn voornamelijk gedomineerd door oyamel sparren (*Abies religiosa*), waar de vlinders op overwinteren. Wanneer de winter eindigt, zo rond **eind februari** begint de temperatuur te stijgen. Toenemende daglengte richting de lente-equinox, samen met warmer weer, triggert de trek. Hierdoor worden de vlinders reproductief actief (Reppert & de Roode, 2018; Brower, 1996; MonarchWatch, z.d.-a). **Eind februari en begin maart** verlaten de monarchvlinders de overwinteringsgebieden in centraal Mexico en migreren een stuk terug naar het Noorden. Op zoek naar de broedplaatsen in het voorjaar (vaak in de zuidelijk gelegen Gulf Coast staten, zie blauwe staten figuur 3) gecentreerd in het Oosten van Texas, waar de vlinders eieren leggen en vervolgens sterven (Brower, 1996; Texas Parks and Wildlife, z.d.). Een vrouwtje legt tussen de 400-1200 eitjes die in 4 dagen uitkomen (Paparo, 2017).

Uit deze eitjes ontstaat de volgende generatie (Brower, 1996). Deze generatie en de generaties erna hebben een veel kortere levensduur dan de eerste generatie. De gemiddelde leeftijd van deze generaties is tussen de twee en zes weken (Paparo, 2017). De vlinders die in **maart/april** ontwikkelen uit de eitjes van de eerste generatie zetten de migratie naar het Noorden voort. Deze tweede generatie vlinders vliegen van Texas naar de Corn Belt (groene streepjeslijn figuur 3) /Great Lakes regionen (dikke

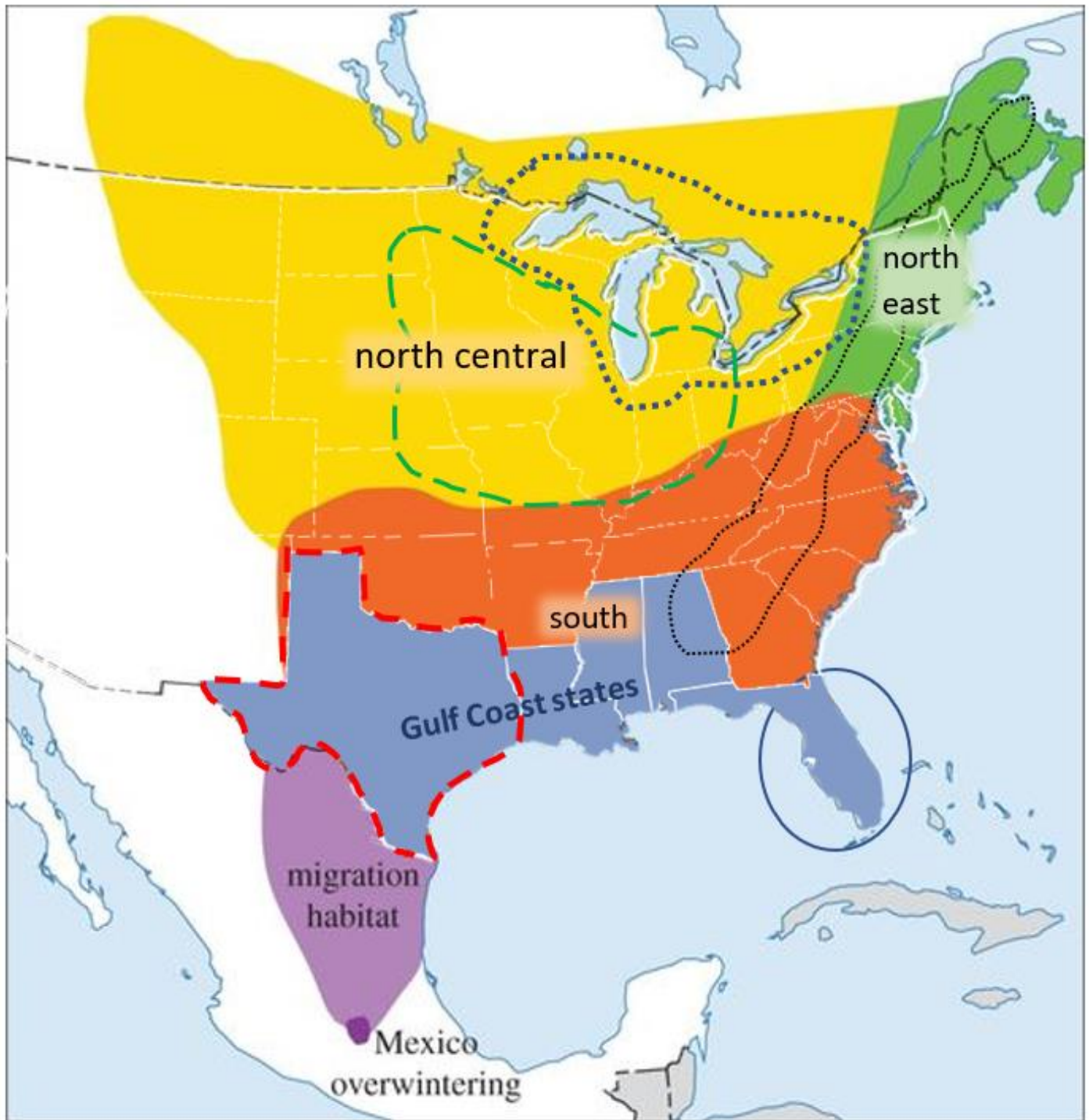
blauwe stippellijn figuur 3), en arriveren hier rond **april/mei** (U.S. Department of Agriculture, z.d; Brower, 1996). Hier planten de vlinders voort. Daarna sterft deze generatie langzaam af (Brower, 1996).

De volgende generaties vlinders gaan langzaam steeds verder naar het Noorden om profijt te hebben van de daar opkomende zijdeplanten in de zomer (Journey North, z.d.-d). Meestal zijn er in de zomer twee of meer generaties monarchvlinders (Brower, 1996). Wanneer de tweede generatie sterft, is alweer de derde generatie ontstaan. Dit is rond **mei/juni**. Deze vlinders spreiden van de Corn Belt/Great Lakes region verder uit naar Noord-Amerika op weg naar het Zuidoosten van Canada en de Appalachen (dunne zwarte stippellijn figuur 3) (Pleasants & Oberhauser, 2013; Brower, 1996). De vlinders planten tijdens deze reis voort. De nakomelingen/volgende generatie vervolgt deze reis. Dit is dan de vierde generatie die rond **juni/augustus** leeft. Soms ontstaat uit deze generatie nog een vijfde generatie.

Uiteindelijk ontstaat uit de eitjes die generatie vier of vijf heeft gelegd, rond eind **augustus/ begin september** weer de Super generatie. Dit is de generatie die dus de reis gaat maken naar het Zuiden (Reppert & de Roode, 2018).

Figuur 3

Oostelijke monarchvlinder migratie onderdelen



Rode streeplijn=Texas, groene streeplijn= Corn Belt, blauwe dikke stippellijn= Great Lakes region, dunne zwarte stippellijn= Appalachen, blauw ovaal=Florida, blauw= Gulf Coast states, paarse stip=overwinteringsgebied, geel= Noord/Centraal-Amerika, groen= Noord/Oost- Amerika, oranje+blauw= Zuid-Amerika. Aangepast overgenomen uit " Monarch butterfly population decline in North America: identifying the threatening processes" door Thogmartin et al., 2017, Royal science 4. Copyright 2017 Thogmartin et al.

3.1.2 Westelijke populatie monarchvlinders

Voor de westelijke populatie geldt dat de populatie niet is opgedeeld in duidelijk onderscheidbare generaties zoals de oostelijke populatie. De vlinders vliegen ongeveer 500 kilometer naar de Pacific Coast van Californië (Brower, 1996). Daar overwinteren de vlinders voornamelijk in bossen gevuld met Monterey-dennen (*Pinus radiata*), Monterey-cipressen (*Cupressus macrocarpa*) en/of eucalyptus (*Eucalyptus*) bomen (Reppert & de Roode, 2018; MonarchWatch, z.d.-a). Deze bossen zijn verspreid over 1000 kilometer en lopen van Mendocino County in Californië (rode stippellijn figuur 4) tot Baja California, Mexico (blauwe streepjeslijn figuur 4). Ook zijn er verschillende overwinterende populaties waargenomen in de provincies Inyo (roze lijn figuur 4) en Kern (zwarte streepjeslijn figuur 4) en op verschillende locaties in Arizona (Western Monarch Milkweed Mapper, z.d.). Uit onderzoek blijkt dat er ook vlinders van de westelijke populatie de overwinteringsplaatsen in Mexico bereiken (Reppert & de Roode, 2018). Vlinders die getagd waren in Arizona waren zowel teruggevonden in Centraal en Westelijk Mexico als langs de kust van Californië. Het is onduidelijk hoe groot dit percentage is ten opzichte van de totale westelijke populatie en of die vlinders in de lente dan weer terugvliegen naar het Westen (Western Monarch Milkweed Mapper, z.d.; Pelton et al., 2019). Op basis van nieuw onderzoek blijkt dat er ook populaties westelijke monarchvlinders zijn die niet migreren maar in het stedelijk gebied blijven aan de kust van Californië (Crone & Schultz, 2021).

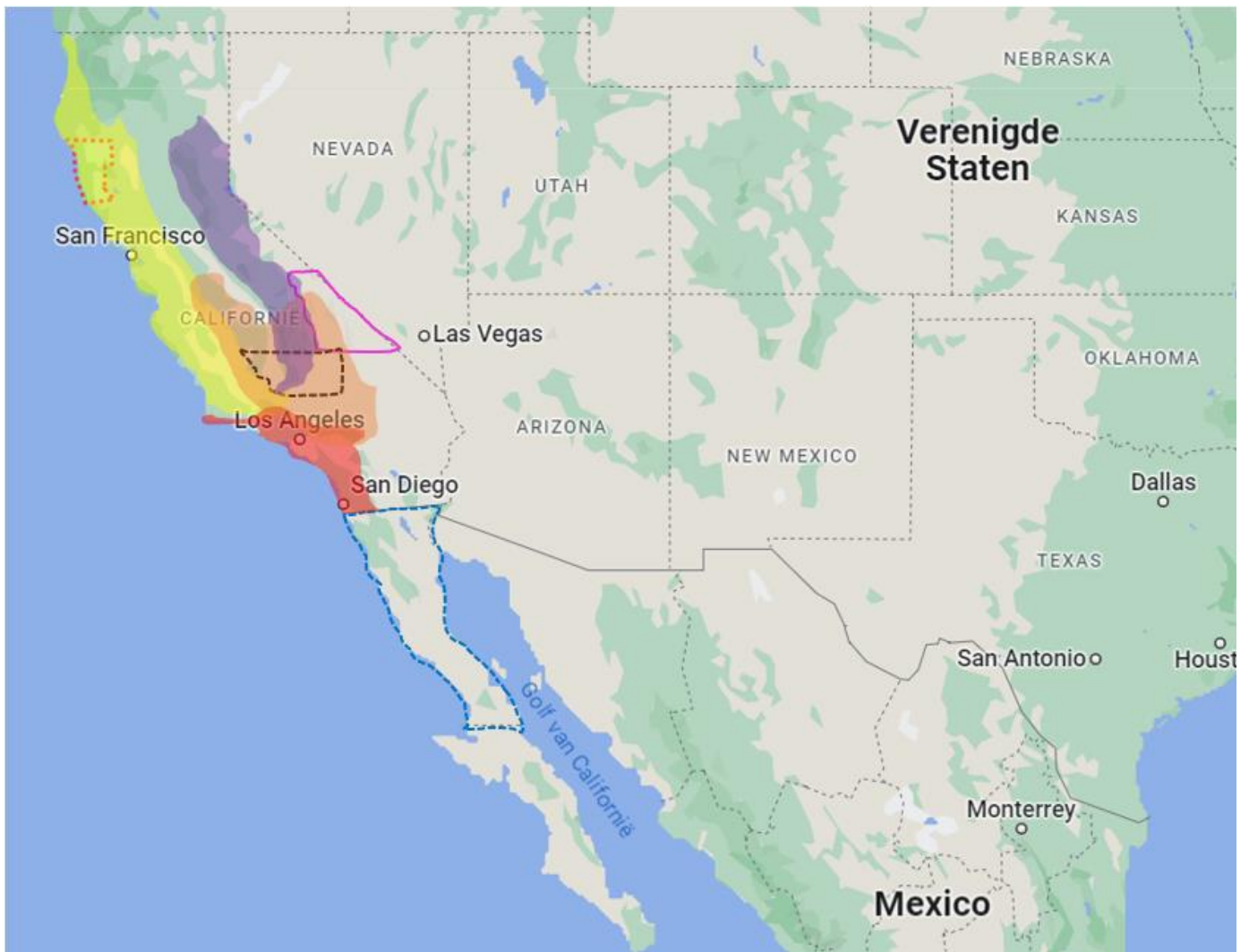
In de lente rond **maart** verlaten de monarchvlinders de overwinteringsgebieden en verspreiden zich landinwaarts. De vlinders die eerder vertrekken uit het overwinteringsgebied gaan op zoek naar de eerst opkomende zijdeplanten van de lente in de Coast ranges (geel in figuur 4) en Transverse ranges (rood in figuur 4). De vlinders die de overwinteringsplaatsen later verlaten, migreren verder landinwaarts. Door deze langere route profiteren de vlinders van de zijdeplanten in San Joaquin Valley (oranje in figuur 4) en Sierra Nevada valley (paars in figuur 4) die later opkomen (Nagano et al., 1993). De vlinders planten de gehele lente en zomer continu voort. Eind zomer/ begin herfst rond **augustus**, migreren de vlinders weer naar de overwinteringsgebieden.

3.1.3 Uitwisseling tussen de westelijke en oostelijke populatie

De kans is aanwezig dat een deel van de westelijke populatie ook naar Mexico reist voor de winter en dat een deel van de oostelijke populatie naar het Westen van Amerika reist in de lente na de overwintering in Mexico. Over de relatieve snelheid van uitwisseling tussen de oostelijke en westelijke populatie is nog niks bekend (Western Monarch Milkweed Mapper, z.d.). De exacte verdeling en verspreiding van deze populaties blijft dus niet helemaal zeker (Journey North, z.d.-c).

Figuur 4

Westelijke monarchvlinder migratie onderdelen



Rode stippellijn= Mendocino County, blauwe stippellijn= Baja California, zwarte streepjeslijn= Kern, roze lijn= Inyo, geel=Coast ranges, rood= Transverse ranges, oranje= San Joaquin Valley, paars= Sierra Nevada valley. Aangepast overgenomen van Google Maps

3.2 Het effect van neerslag en temperatuur op de monarchvlinder(migratie)

3.2.1 Invloed van temperatuur op de vlucht van de monarchvlinder

Voor foerageren, migreren en het vinden van een partner om mee te paren is vliegen een belangrijk transportmiddel. In een onderzoek uitgevoerd door Soule et al. (2020) werd gekeken naar de effecten van toenemende temperatuur op de vlucht van de monarchvlinder. Er werden larven gekweekt op 25 °C en 30 °C.

Uit de resultaten bleek dat vlinders (ontstaan uit larven die zijn grootgebracht bij hogere temperaturen), kortere afstanden vliegen en een korter uithoudingsvermogen hebben. Deze vlinders verliezen ook meer energie/massa bij het vliegen (Soule et al., 2020).

De vlinders die zijn ontstaan uit larven gekweekt bij lagere temperaturen hebben een verbeterd vluchtvermogen. De vlucht is sneller en dynamischer. Ook was de vleugel groter. Grotere vleugels kunnen gunstig zijn voor de vlucht. Individuen met een meer langgerekte vleugel zijn beter bestand voor de glijdende energiebesparende vluchten die tijdens de migratie nodig zijn (Soule et al., 2020).

Temperatuur had geen directe invloed op de energiereserves in de monarchvlinder. Echter wordt er gesuggereerd dat hogere temperaturen wel een indirect effect hebben op de energiereserves. Dit door het verhoogde energie/massa verlies van de vlinders die ontstaan zijn uit larven die gekweekt waren bij hogere temperaturen. Er wordt geconcludeerd dat stijgende temperaturen schadelijk kunnen zijn voor het voltooiën van een succesvolle migratiecyclus. De wereldwijde stijgende oppervlaktetemperatuur zal het vliegvermogen van de monarchvlinder beïnvloeden (Soule et al., 2020).

3.2.2 Veranderingen in thermoregulatie door omgevingstemperatuur

De lichaamstemperatuur van insecten wordt sterk beïnvloed door omgevingstemperaturen. Het kan dus ook worden bepaald door temperatuurveranderingen in de omgeving. Om te kunnen omgaan met de veranderingen in de omgeving, maken insecten gebruik van gedragsthermoregulatie en fysiologische thermoregulatie. Deze twee worden vaak samen gebruikt voor zowel dagelijkse en seizoensgebonden temperatuurverschillen. Larven gebruiken hittevermijdingsmechanismen om de lichaamstemperatuur tijdens het heetste moment van de dag te verlagen. Voor monarchvlinders biedt dit de kans om aan te passen aan alle verschillende klimaten (met andere temperaturen) tijdens de migratie. In een onderzoek van Serratore et al. (2012) werd de lichaamstemperatuur van larven die aan het vervellen waren en larven die aan het eten waren vergeleken met de temperatuur van het microhabitat van de larven.

Uit het onderzoek blijkt dat in drie van de vier gevallen etende larven bij lagere temperaturen de lichaamstemperatuur hoger hielden dan de omgevingstemperatuur en bij hogere temperaturen lager dan de omgevingstemperatuur. Etende larven zijn dus beter bestand tegen temperatuurschommelingen. De vervellende larven thermo reguleren niet. Dit betekent dat deze larven de lichaamstemperatuur niet aanpassen aan een lagere of hogere omgevingstemperatuur. Omdat de larven niet kunnen verplaatsen tijdens het vervellen zijn deze afhankelijk aan de temperatuur van de omgeving. Deze beperking (niet kunnen verplaatsen) kan mogelijk een effect hebben op de uiteindelijke groei en ontwikkeling (Serratore et al., 2012).

De minimale temperatuur voor de groei van een larve is 21,5°C en de maximumtemperatuur is 33 °C (Zipkin et al., 2012) De optimale temperatuur ligt tussen de 27-29 °C (Couture et al., 2015; Zalucki, 1982). Couture et al., 2017 heeft een positief direct effect van een verhoogde temperatuur van 30 °C waargenomen op de groei van larven. Lemoine et al. (2015) meldt ook dat verhoogde temperaturen de groeisnelheid van larven verhogen maar dat het ook zorgt voor afname in popmassa en toename

in sterfte. Wanneer larven voor een lange periode worden blootgesteld aan temperaturen boven de 33 °C, kan dit zorgen voor een negatieve beïnvloeding van de ontwikkelingstijd, groei (het uiteindelijke totale gewicht) en een verhoogd sterfteratio (Couture et al., 2015; York & Oberhauser, 2002). Daarnaast is uit een onderzoek van Batalden (2011) gebleken dat dagtemperaturen van 38 en 40 °C zorgen voor: een toename van sterfte, moeilijkheden bij het verpoppen, een kleinere volwassen grootte en een langere ontwikkelingstijd. Dagtemperaturen van 42 °C veroorzaakten opmerkelijk meer sterfte. Er was geen een larve die een blootstelling aan 44°C overleefde (Batalden, 2011).

Het is echter nog niet onderzocht hoe vervellende larven omgaan met de beperkingen van het niet kunnen verplaatsen. Het zou belangrijk zijn om te weten hoe de larven een plek uitkiezen om te vervellen met een zo optimaal mogelijke temperatuur. Dit om te weten of de larven in staat zouden zijn om aan te passen aan de stijgende temperatuur door klimaatverandering, door koelere plaatsen op te zoeken om te vervellen.

3.2.3 Klimaat gerelateerde effecten op de migratie

In het onderzoek van Thogmartin et al. (2017) zijn meerdere klimaatfactoren over het gehele verspreidingsgebied van de oostelijke populatie geanalyseerd. Een onderdeel hiervan was het onderzoeken van weer gerelateerde effecten tijdens de overwinteringsperiode. Hiervoor was onder andere de gemiddelde temperatuur, gemiddelde minimumtemperatuur, gemiddelde maximumtemperatuur, vochtigheid en totale neerslag gebruikt. De totale onderzochte data liep van 1993 tot 2014.

Wat hieruit bleek is dat fenologische klimaatfactoren de populatiegrootte beïnvloeden. Vroegere warmere temperaturen (gemiddeld meer dan 21,1°C van 1 tot 20 mei) hebben een negatief effect op de populatiegrootte. Latere warmere temperaturen (31-9 juni) waren in de noordelijke regio's positief voor de populatiegrootte. Opvallend genoeg zorgde een stijging in de minimale zomertemperatuur in het centrale noorden voor een afname in populatiegrootte. Er zijn geen beduidend sterke effecten van neerslag gevonden op het jaarlijkse abundantiepatroon. Dit kan komen doordat neerslag vergeleken met temperatuur meer ruimtelijke tijdelijke variatie vertoont. Droogte was een belangrijke factor die in alle regio's zorgde voor een negatief effect op de populatiegrootte (Thogmartin et al., 2017; Stevens & Frey, 2010).

Een ander onderzoek wijst uit dat stijgende temperaturen in de winter en meer regen/neerslag in het daarvoor gaande seizoen de lentemigratie van de westelijke populatie kan vervroegen (Forister & Shapiro, 2003).

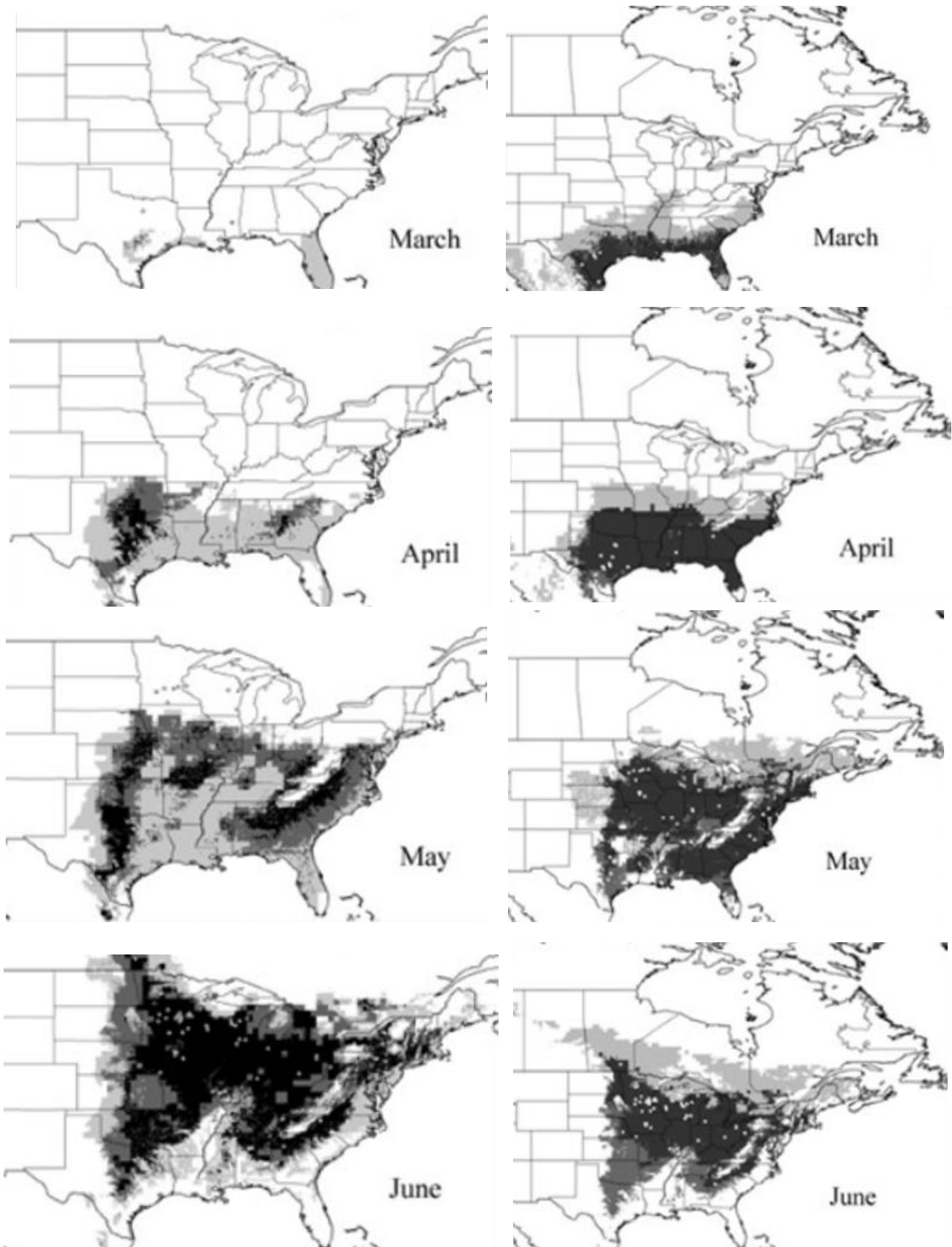
Uit het onderzoek van Zipkin et al (2012) waarbij data is geanalyseerd van 13 jaar, bleek dat nattere lentes leiden tot een optimale populatie groei in Texas (aankomstplaats voor monarchvlinders die uit overwintering komen). Gemiddelde zomertemperaturen waren voor de populaties in Texas optimaal. In Ohio (zomerbroedgebied, gelegen bij de Great Lakes regionen) waren juist warmere zomers beter, want die resulteerde in een hoger aantal monarchvlinders. Hogere voorjaarsneerslag in Texas is samengebracht met een eerdere aankomst in het zomerbroedgebied en een grotere populatiegroei in Ohio. Klimaatomstandigheden in Ohio beïnvloeden de aankomst van de monarchvlinders niet. In Ohio heeft neerslag een minimale bijdrage aan de totale abundantie. Dit onderzoek merkt op dat het klimaat in de zomer en lente tegenstrijdig werkt en dat het moeilijk is om te begrijpen hoe veranderingen in het klimaat nou precies van invloed zijn op de monarchvlinder (Zipkin et al., 2012)

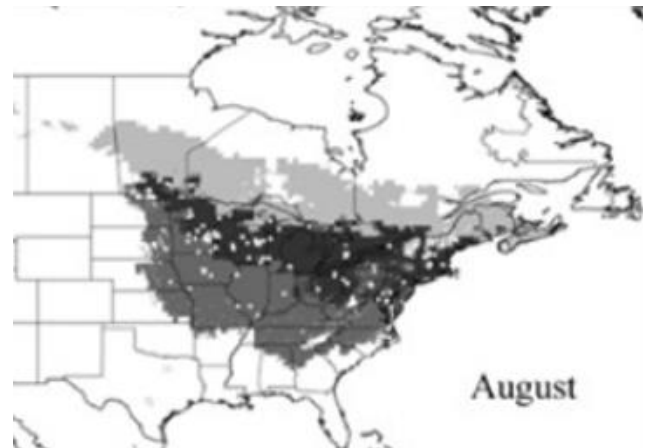
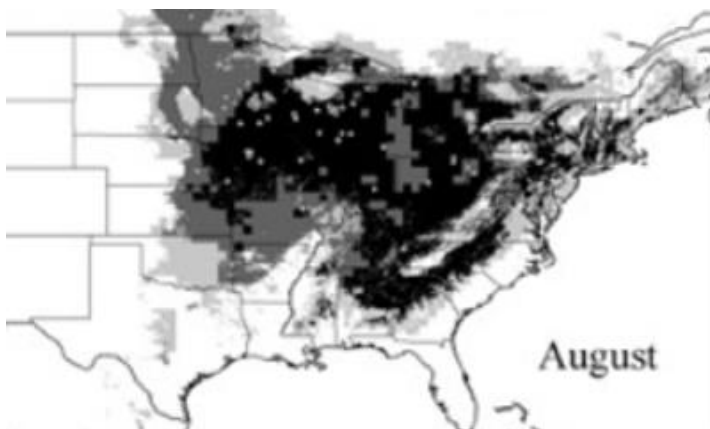
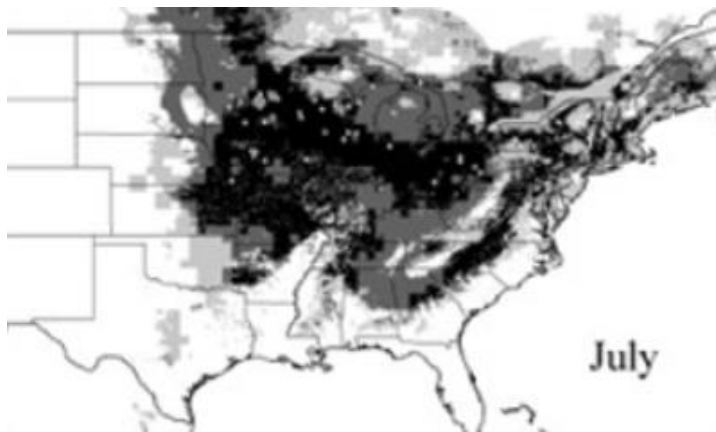
In een onderzoek van Batalden et al. (2007) zijn de waarschijnlijke effecten van klimaatverandering op de seizoensgebonden migratie van de monarchvlinder beoordeeld. Hierbij is gebruik gemaakt van het vergelijken van huidige klimaat voorspellingsmodellen met toekomstige (2055) klimaat voorspellingsmodellen. Dit om toekomstige verandering in verspreidingsgebied en migratieverschuiving van de monarchvlinder in kaart te brengen. Dit is gedaan voor de migratie van de oostelijke populatie monarchvlinders. Hierbij is gebruik gemaakt van data uit het Monarch Larva Monitoring Project wat terug dateert tot 1997. De verwachte veranderingen in temperatuur en neerslag voor elk scenario zijn vergeleken met klimaatgegevenslagen van het Intergovernmental Panel on Climate Change. De vijf klimatologische parameters die gebruikt waren zijn: de maandelijkse neerslag, zonnestraling en gemiddelde, minimum en maximumtemperatuur.

Uit dit onderzoek blijkt dat de modellen complexe effecten van klimaatverandering op de seizoensgebonden migratie laten zien. Wat op te maken is uit figuur 5 is dat aan het begin van het broedseizoen een toename is van geschikt broedgebied. Echter moeten de vlinders dan dus ook sneller en langer migreren naar het Noorden om dit helemaal te bereiken voordat de generatie sterft. Het toekomstige model wijkt ver af van het huidige verspreidingsgebied. Een verschuiving van de migratie kan er ook toe leiden dat de natuurlijke ecosysteem diensten die de migratie oplevert worden bemoeilijkt. Voorspeld is dus dat de ecologische niche door klimaatverandering naar het Noorden verplaatst. Als de monarchvlinders (en de waardplanten) zich niet aanpassen aan deze klimaatveranderingen, kunnen monarchvlinders verspreidingsgebied verliezen in de broedmaanden (Batalden et al., 2007).

Figuur 5

Huidig verloop van monarchvlinder migratie links, voorspeld toekomstig verloop van monarchvlinder migratie 2055 rechts





Aangepast overgenomen uit " Ecological Niches in Sequential Generations of Eastern North American Monarch Butterflies (Lepidoptera: Danaidae): The Ecology of Migration and Likely Climate Change Implications" door Batalden et al., 2007, *Environmental entomology*, 36, p. 1365-1373. Copyright 2023, Entomological Society of America

3.3 De bedreigingen van klimaatverandering op de waardplant en de nectarbronnen van de monarchvlinder

Het is bekend dat klimaatverandering een effect heeft op de aanwezigheid en verspreiding van soorten. De impact van klimaatverandering op de monarchvlinder/zijdeplant is belangrijk om te bestuderen, omdat deze nauw met elkaar verbonden zijn. De monarchvlinder is afhankelijk van de zijdeplant (het geslacht *Asclepias*) om de eitjes op te leggen, voeding te bieden voor de larven, en ervoor zorgen dat de vlinders doormiddel van de cardenolide in de plant giftig worden. Dit verlaagt de predatie op de vlinders (Faldyn et al., 2018).

3.3.1 Invloed van temperatuur en waterstress op de zijdeplant en de indirecte invloed op de monarchlarven

Aan de universiteit van Wisconsin Biotron is in 2012 een onderzoek uitgevoerd waarbij monarchlarven en zijdeplanten (*Asclepias syriaca*) in klimaat gecontroleerde kamers zijn gekweekt (Couture et al., 2015). Twee kamers waren (25:18 °C, dag/ nacht) op basis van gemiddelde zomertemperatuur van Wisconsin (van 2000 tot 2010) namelijk 24 °C en twee kamers waren (op basis van de door klimaatverandering verwachte temperatuurstijging van 5 °C) 30:23 °C, dag/nacht. De verwachte verandering in neerslag die door klimaatverandering plaats zal gaan vinden werd gesimuleerd door de helft van de planten in elke kamer bloot te stellen aan periodieke waterstress (Couture et al., 2015).

Uit dit onderzoek van Couture et al. (2015) bleek dat de monarchlarven beter presteerden op zijdeplanten die waren blootgesteld aan waterstress en verhoogde temperaturen (30 °C). Bij verhoogde temperaturen nam de voedingswaarde van de zijdeplant toe. Ook zorgde een verhoogde temperatuur voor een toename in groei. Waterstress zorgde voor een afname in groei. Daarnaast zorgde waterstress voor een vermindering in defensieve eigenschappen van de plant. Zijdeplanten uit noordelijke breedtegraden waren beter bestand tegen waterstress en vertoonden ook een grotere groeireactie op hogere temperaturen. Daarnaast wordt in dit onderzoek gesuggereerd dat zijdeplant populaties in het noordwesten op de noordelijke breedtegraden meer zullen profiteren van hogere temperaturen dan de zijdeplanten op de zuidelijkere locaties. Deze effecten hangen wel af van de waterbeschikbaarheid (Couture et al., 2015). Het is ook bekend dat zijdeplanten met een lage waterbeschikbaarheid vaak latex in het blad hebben die meer stroperig is. Dit kan het eten van de bladeren lastiger maken voor de larven. Dat kan zorgen voor een afname in overleving (Stevens & Frey, 2010).

3.3.2 De invloed van temperatuur op de cardenolideconcentraties in de zijdeplant

In het onderzoek van Faldyn et al., (2018) zijn de inheemse *Asclepias incarnata* en de niet inheemse *Asclepias curassavica* in een "open top chamber" of een omgevingsperceel geplaatst samen met monarchlarven. De open top chambers moesten het toekomstige klimaat voorstellen, omdat deze zorgen voor een stijging in temperatuur. De omgevingspercelen reflecteerden het huidige klimaat (Faldyn et al., 2018).

Uit dit onderzoek bleek dat volwassen monarchvlinders een hogere overleving en massa hadden wanneer de larven eten van *Asclepias curassavica* onder de huidige klimatologische omstandigheden. Onder de toekomstige omstandigheden deden de vlinders het slechter op *Asclepias curassavica*. Er vond namelijk een afname in overleving en massa bij de vlinders plaats. Opmerkelijk genoeg zijn er tussen de temperaturen geen verschillen waargenomen in het overlevingspercentage van de monarchvlinder op *Asclepias incarnata* (Faldyn et al., 2018).

De *Asclepias curassavica* zorgt voor een potentiële ecologische val voor monarchvlinders. Dit door de duidelijke verminderde overlevingsprestaties onder warmere omstandigheden. Door de nauwe

specialistische band van de zijdeplant en de monarchvlinder kunnen zulke ecologische vallen (die ontstaan als de temperatuur stijgt) ingrijpende gevolgen hebben (Faldyn et al., 2018).

3.3.3 De invloed van hittegolven op de zijdeplant

Extreme hittegolven zullen toenemen naarmate de variabiliteit in het klimaat ook toeneemt. Hitegolven kunnen op verschillende tijdstippen in het jaar voorkomen. Dit betekent dat die kunnen samenvallen met seizoensgebonden samenkomsten (zoals de migratie/ overwintering van de monarchvlinder) en verschillende ontwikkelingsstadia (Cope et al., 2023).

De zijdeplant *Asclepias syriaca* is in een onderzoek door Cope et al. (2023) blootgesteld aan experimentele hittegolven. Deze plant is meerjarig en het effect van hittegolven is daarom ook over meerdere jaren gemeten.

De hittegolven hadden effect op de vruchtbaarheid van de planten en de cardenolideconcentratie. Hitegolven in het vroege seizoen verhoogden namelijk de vruchtbaarheid en verlaagden de cardenolideconcentratie. De plantgroei werd niet beïnvloed door zowel vroege als late hittegolven. Hitegolven kunnen aan het begin van het seizoen van belang zijn voor de uiteindelijke samenstelling van de gemeenschap. De variabiliteit van deze kortdurende klimaatgebeurtenissen samen met de verhoogde frequentie ervan, zorgen er mogelijk voor dat de voorspelbaarheid van de samenstelling van gemeenschappen sneller afneemt (Cope et al., 2023). Variaties in timing van deze gebeurtenissen (wat veroorzaakt kan worden door klimaatverandering) kunnen zorgen voor drastische gevolgen bij zowel plant als insectgemeenschappen. Zo ook op de samenstelling van de migrerende monarchvlinder populaties.

3.3.4 Mogelijke toekomstige verspreiding van de zijdeplant

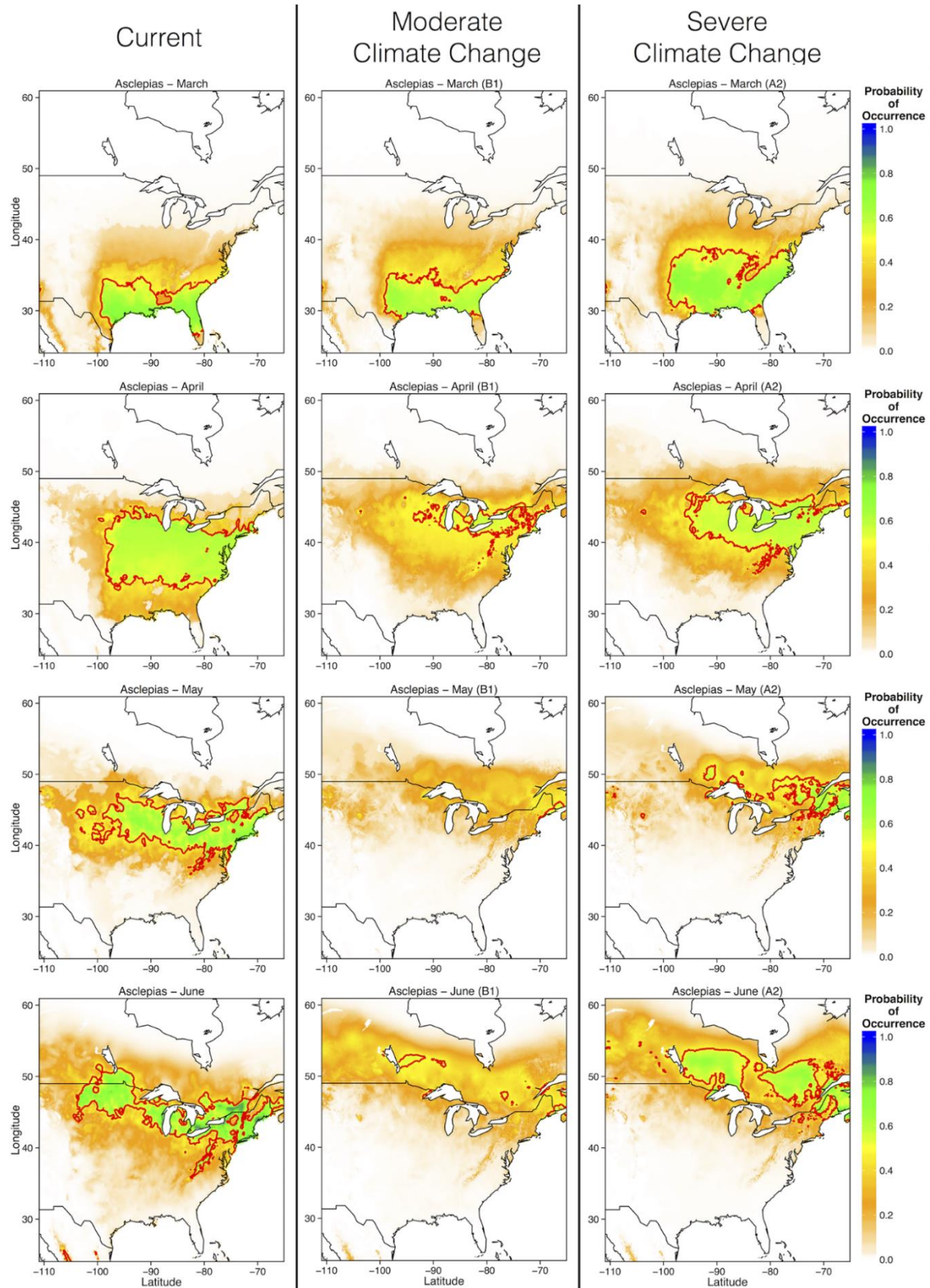
Lemoine (2015) heeft doormiddel van het maken van verspreidingsmodellen kunnen voorspellen hoe de verspreiding van de zijdeplant in de toekomst zal veranderen op basis van de voorspelde effecten van klimaatverandering (Lemoine, 2015).

Deze modellen zijn te zien in figuur 6. In het “Moderate Climate Change” scenario werd het geschikte gebied voor de opkomende zijdeplant in alle maanden kleiner. Daarnaast bleef de zijdeplant meer noordwaarts uitbreiden bij de Great Lakes regionen tot in juni, normaal gesproken stopt deze verspreiding in mei. Het “Severe Climate Change” scenario laat een vermindering in geschikt gebied zien voor de eerst opkomende zijdeplanten (wel minder sterk als bij “Moderate Climate Change”). Wat wel hetzelfde was als bij “Moderate Climate Change”, was dat de noordgrens van de eerste zijdeplant opkomst (in juni) verder naar het Noorden lag vergeleken met het huidige “Current” scenario. De milieuomstandigheden waren geschikter voor de zijdeplant in het “Severe Climate Change” scenario dan in het “Moderate Climate Change scenario”.

De monarchvlinders vertoonden zoals in 3.2 is besproken een vergelijkbaar verspreidingsmodel. Er wordt verwacht dat de monarchvlinders de noordwaartse trek uitbreiden van het Great Lakes gebied naar een groter deel van Zuid-Canada om zo aan te passen aan de daar opkomende zijdeplanten (Lemoine, 2015).

Figuur 6

Huidige en toekomstige verspreiding van de zijdeplant



Overgenomen uit "Climate Change May Alter Breeding Ground Distributions of Eastern Migratory Monarchs (*Danaus plexippus*) via Range Expansion of *Asclepias* Host Plants" door Lemoine, 2015, *PLOS ONE*, 10. Copyright 2015 Nathan P. Lemoine.

3.3.5 Invloed van klimaatverandering op nectarbronnen

Nectarbronnen zijn voor monarchvlinders essentieel voor het leveren van energie voor voortplanten en migreren. Effecten van klimaatverandering op nectarbronnen hebben dus ook een indirect effect op de monarchvlinder. Uit een onderzoek van Kharouba & Vellend (2015) is namelijk gebleken dat plantenfenologie gevoeliger is voor temperatuur dan vlinderfenologie.

Als gevolg van klimaatverandering kan de bloeitijd van planten veranderen. Dit kan nadelige gevolgen hebben voor planten die afhankelijk zijn van bloeitijd en bestuivers voor de reproductie. Dit geldt bijvoorbeeld voor de zijdeplant (*Asclepias syriaca*). Doormiddel van een onderzoek van Howard (2018) is gebleken dat gedurende een periode van zes jaar (2011-2016 vergeleken met temperaturen in het verleden 1895-2010) bij elke graad temperatuurstijging de bloeidatum met 3.93 dagen afnam. De bloeidatum vindt dus vroeger plaats bij hogere temperaturen. De resultaten wijzen erop dat de plant reageert op verwachte opwarming van de aarde. Het is niet aangetoond dat vroegere bloei het gevolg is van vroegere initiële groei of dat het resulteert in latere vruchtrijping. Dit geeft dus aan dat de temperatuur direct de bloeitijd beïnvloed. Over de gevolgen van deze verschuiving in de bloei kan alleen nog worden gespeculeerd.

Door de voorspelde opwarming van de aarde kan ook de nectarsuikerproductie worden beïnvloed. Dit bleek uit een onderzoek van Takkis et al. (2015). Hoewel dit onderzoek is uitgevoerd met betrekking tot stijging van temperatuur in Mediterrane ecosystemen, bieden de resultaten een belangrijk inzicht over de mogelijke gevolgen van temperatuurstijging. Onder temperatuur stress kunnen planten bloemen produceren zonder nectar. Dit zou de hoeveelheid nectar bronnen dus drastisch kunnen verminderen (voor de monarchvlinder). Bijkomende waterstress (wat is voorspeld in klimaatveranderingsscenario's,) zorgt mogelijk voor sterkere en snellere veranderingen in de nectarproductie en de interacties tussen planten en bestuivers.

4. Discussie

In dit hoofdstuk wordt gereflecteerd op deze literatuurstudie. Met als eerste een reflectie over het uitvoeren van het onderzoek en daarna een reflectie op de bijdrage van de resultaten aan het beantwoorden van de hoofdvraag.

4.1 Reflectie literatuurstudie

De migratie van de monarchvlinder is een populair onderzoeksonderwerp onder wetenschappers en studenten. Hierdoor ontstaan er steeds weer nieuwe vragen en discussiepunten. Daarom is het belangrijk om tijdens het schrijven ervoor te zorgen dat er geen nieuwe publicaties worden gemist. Tijdens dit onderzoek is inspanning geleverd voor het gebruiken van een zo divers mogelijk scala aan literatuur. Veel van de gevonden bronnen bestonden uit wetenschappelijke en waren van gewenste kwaliteit. Het vinden van peer-reviewed bronnen verliep gemakkelijk door middel van de gebruikte methode (hoofdstuk 2). Op die manier is het gelukt om kwalitatief goede bronnen te vinden die nodig waren voor het beantwoorden van de hoofdvraag.

De dringende klimaatcrisis en de daaruit volgende extreme gevolgen zorgen voor veel vragen bij zowel de bevolking als de politiek en wetenschappers. Hier wordt momenteel al veel onderzoek naar uitgevoerd. Niet alleen over klimaatverandering maar ook over de monarchvlinders waren tientallen wetenschappelijke onderzoeken beschikbaar. Naarmate het bekend werd dat de populatiegrootte monarchvlinders drastisch aan het afnemen was, is er ook meer onderzoek uitgevoerd. Dit vooral met betrekking tot toekomstige instandhoudingsdoelstellingen. Het was door de omvangrijkheid van de literatuur daarom ook niet mogelijk om alle mogelijke effecten in detail op te nemen in deze studie. Er is in deze studie een focus gelegd op het weergeven van de meest beduidende effecten die klimaatverandering kan hebben op de monarchvlinder.

Hoewel in deze studie de indirecte en directe effecten op de migratie los van elkaar zijn besproken, is het wel zo dat de relaties tussen het klimaat en de prestaties van een migrerende soort gecompliceerd zijn. Dit komt omdat een migrerende soort vaak migreert door meerdere verschillende klimaten. Het kan daarom lastiger zijn om oorzaak-gevolg relaties te onderscheiden wanneer er veel meer invloeden zijn op de totale abundantie en migratie van een populatie. Om erachter te komen hoe een monarchvlinder wordt beïnvloed door klimaatverandering blijft daarom een uitdaging. De monarchvlindermigratie is een web van acties die met elkaar in verband staan en dus kunnen de beschreven effecten in de deelvragen ook met elkaar zijn verbonden. Daarnaast is het precieze verloop van klimaatverandering in de toekomst niet te voorspellen, daarom kunnen definitieve antwoorden daarover ook niet worden gegeven.

Overstromingen, winter stormen en orkanen zijn niet meegenomen in deze studie. Daarnaast zijn factoren zoals het verlies aan habitat door houtkap, verlies aan zijdeplant door het gebruik van herbiciden, de protozoaire parasiet *Ophryocystis elektroscirrha* (OE) en (andere) menselijke handelingen die mogelijk invloed hebben op de abundantie niet meegenomen in dit onderzoek. De onderlinge relaties tussen deze factoren en klimaatverandering zijn dus niet geanalyseerd.

4.2 Reflectie resultaten

Uit de resultaten van de eerste deelvraag (hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?) blijkt dat het grootste deel van de vlinders aan het einde van de zomer vertrekt naar de overwinteringsplaatsen. Die zijn zowel in Mexico (oostelijke populatie) als aan de kust van Californië (westelijke populatie). In de lente trekken de vlinders weer landinwaarts om daar voort te planten. Er is nog weinig bekend over de uitwisseling en exacte verdeling/verspreiding van de oostelijke en westelijke monarchvlinder populaties (Western Monarch Milkweed Mapper, z.d.; Journey North, z.d.-c). De meeste studies die

zijn uitgevoerd zijn namelijk gefocust op één specifieke populatie. De resultaten van deze deelvraag bieden een zo inzichtelijk mogelijk samengevat beeld over het totale verloop van de migratie.

Uit de resultaten van de tweede deelvraag (in hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?) is duidelijk geworden dat de effecten van temperatuur en neerslag erg uiteenlopend zijn. Er zijn namelijk zowel positieve als negatieve gevolgen waargenomen voor de populatiegrootte. Het blijkt dat hogere temperaturen (30 °C) bij larven een negatief effect hebben op het vluchtvermogen wanneer deze volwassen zijn (Soule et al., 2020). Dit resultaat spreekt het positieve effect van hogere temperaturen op de groei van een larve in het onderzoek van Couture et al. (2017) en Lemoine et al. (2015) tegen. Het is lastig om te beoordelen wat de relatie precies is tussen het positieve effect op de groei van de larve zelf bij een hogere temperatuur en het negatieve effect op de vluchtvermogen van de uiteindelijke volwassen monarchvlinders. Het kan zo zijn dat er geen onderlinge relatie is tussen deze resultaten, maar dit is slechts speculatief. Hoe temperatuurverandering precies de monarchvlinder migratie beïnvloedt, blijft moeilijk om te beoordelen. Dit komt dus doordat de monarchvlinder tijdens de migratie door verschillende klimaten reist. De migratie van de monarchvlinder wordt voltooid in meerdere generaties wat leidt tot een groot geografisch bereik. Zo vermeld Zipkin et al. (2012) ook dat het ontrafelen van de directe en indirecte invloeden van het klimaat in de verschillende stadia van de migratie niet veel is onderzocht. Het verklaren van de huidige migratie fenologie (of de verschillen die elk jaar optreden in abundantie) is niet haalbaar. Daarom is het nog lastiger om voorspellingen te doen voor de migratie in de toekomst. Ook de effecten van neerslag op de migratie zijn niet duidelijk. Thogmartin et al. (2017) vermeldt dat neerslag geen beduidend effect heeft op de abundantie terwijl Zipkin et al. (2012) vermeldt dat nattere lentes in Texas (het broedgebied in de lente) hebben geresulteerd in grotere populatiegroei. Echter had neerslag op de zomerbroedplaatsen geen beduidend effect op de abundantie. Het is daardoor lastig om een eindoordeel hier over te geven. Thogmartin et al. (2017) suggereert dat het verschil tussen de onderzoeken komt doordat neerslag (in tegenstelling tot temperatuur) meer ruimtelijke en temporele heterogeniteit vertoont.

Uit de resultaten van de derde deelvraag (op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?) is op te maken dat doormiddel van temperatuurstijging en waterstress de groei en voedingswaarde van de zijdeplant zal veranderen. Zo kan een hogere temperatuur zorgen voor een toename in plantgroei en zorgt waterstress voor een afname in groei en een verandering in de nectarproductie. Ook kunnen hittegolven in het vroege seizoen de vruchtbaarheid van de plant beïnvloeden. Howard (2018) heeft aangetoond dat bij elke graad temperatuurstijging de bloeidatum van de zijdeplant (*Asclepias syriaca*) met 3.93 dagen afnam. Daardoor lijkt het erop dat de plant al aan het reageren is op veranderingen in het klimaat. Als er aan het einde van de eeuw een temperatuurstijging van 5 °C plaatsvindt, zal dit de uiteindelijke bloeidatum vervroegen met 19.65 dagen (Couture et al., 2015). De vraag is in hoeverre dit daadwerkelijk een effect zou hebben op de migratie. Het zou kunnen dat hierdoor de vlinders ook eerder moeten vertrekken uit de overwinteringsgebieden omdat de vlinders anders de bloeitijd missen.

Doormiddel van deze resultaten heeft de lezer (doelgroep) een beter inzicht in de complexiteit van alle factoren van klimaatverandering (zoals hierboven beschreven) die invloed uitoefenen op de migratiecyclus. Deze studie kan voor de lezer (doelgroep) een duidelijke aanleiding zijn voor het uitvoeren van meer onderzoek naar de gevolgen van klimaatverandering, zodat er eventuele (preventieve) maatregelen kunnen worden genomen.

5. Conclusie

Het doel van dit onderzoek is om de huidige kennis en informatie die bekend is over de monarchvlindermigratie (betrekking tot klimaatverandering) te doorlichten en de hoofdvraag: "Wat is de invloed van klimaatverandering op migratie van monarchvlinders in Midden en Noord-Amerika?" te beantwoorden. In dit hoofdstuk worden zowel alle deelvragen als de hoofdvraag beantwoord. Ook worden aanbevelingen voor toekomstig onderzoek gedaan.

5.1 Hoe verloopt de migratie van de monarchvlinder?

De twee grootste populaties zijn de westelijke en oostelijke populatie. De oostelijke populatie rond de migratiecyclus af binnen vier tot vijf generaties. De generatie die gaat migreren ontstaat uit de rupsen en poppen van de late zomerweken en leven een aantal maanden. Eind augustus/september begint deze generatie aan de trek vanaf Zuid-Canada en Noord-Amerika naar het Zuiden. De vlinders arriveren rond november op de overwinteringsplaatsen in Mexico. Eind februari begint de temperatuur te stijgen en verlaten de monarchvlinders het overwinteringsgebied. Deze generatie migreert nog een klein stuk naar het Noorden, legt eieren in Texas en gaat dood. Uit die eieren ontstaat de volgende generatie. Deze generatie en de generaties erna leven ongeveer een maand. Deze vlinders verspreiden steeds meer richting het Noorden. Het zomerbroedgebied van deze generaties (gemiddeld drie of vier) loopt over het overgrote deel van Noord-Amerika tot de grens van Canada. In augustus begint deze cyclus weer opnieuw.

De westelijke populatie leeft aan de westkant van Amerika. De vlinders vliegen ongeveer 500 kilometer naar de kust om te overwinteren. Deze populatie verlaat rond maart de overwinteringsplaatsen. Dan gaan de vlinders op zoek naar de eerst opkomende zijdeplanten. Deze populatie blijft de gehele zomer rondzwerven in het Westen van Amerika. Daar planten de vlinders voort. Dan ontstaat een nieuwe generatie, die plant voort en zo gaat het verder. Rond augustus migreren de vlinders weer naar de overwinteringsgebieden aan de kust. Er zijn ook nog populaties die niet migreren, zo is er een populatie westelijke monarchvlinders die in het stedelijk gebied van de kust blijft en een populatie in Florida die daar jaarrond blijft.

Het is bekend dat een deel van de westelijke populatie de overwinteringsplaatsen in Mexico bereiken. Het is onduidelijk hoe groot dit percentage is ten opzichte van de totale westelijke populatie en of die vlinders in de lente dan weer terugvliegen naar het Westen. Het zou bruikbaar zijn om te weten welke effecten overkoepelend zijn om zo te kunnen bepalen welke effecten van klimaatverandering de grootste invloed uitoefenen op de totale migratie.

5.2 In hoeverre hebben veranderingen in temperatuur en neerslag een impact op de migratie van de monarchvlinder?

De effecten die temperatuur op de monarchvlinder heeft zijn ongelooflijk uiteenlopend. Zo vermindert temperatuurstijging onder andere het vluchtvermogen van volwassen vlinders. Daarnaast is een positief effect aangetoond op de groei van de larve bij hogere temperaturen. Vervellende larven zijn minder goed bestand tegen temperatuurstijging omdat die niet thermo reguleren. Bij een overschrijding 33 °C (maximale temperatuur voor groei van een larve) kan dit dus de vervellende larve negatief beïnvloeden en eventueel zorgen voor een toename in sterfte. Hogere temperaturen in het vroege seizoen hebben een negatief effect op de populatiegrootte. Hogere temperaturen later in het seizoen hebben een positief effect op de populatiegrootte. Echter zorgt een stijging in minimale zomertemperatuur in het centrale noorden, voor een afname in populatiegrootte. Dit spreekt het positieve effect van hogere temperaturen in het algemeen tegen. Droogte was een belangrijke beperkende factor wat zorgde voor een negatief effect op de populatiegrootte. Wat met zekerheid kan worden geconcludeerd is dat de optimale temperatuur voor de groei van een larve tussen de 27

°C en 29 °C graden ligt. Met een temperatuurstijging van 5 °C aan het einde van de eeuw door klimaatverandering, is het de vraag of deze maximale temperatuur wordt overschreden. Ook is het hoogstwaarschijnlijk dat de migratie van de vlinder door klimaatverandering meer naar het Noorden verschuift. Neerslag heeft zowel een positief als negatief effect op de populatiegrootte. Veranderingen in temperatuur en neerslag hebben dus een wisselend effect op de monarchvlinder en het verloop van de migratie. Omdat deze bevindingen elkaar tegen spreken kan hier geen conclusie uit worden getrokken.

5.3 Op welke manieren bedreigt klimaatverandering de waardplant(en) en nectarbronnen van de monarchvlinder?

Door een stijging van temperatuur neemt de voedingswaarde in de zijdeplant toe. Waterstress zorgt voor een afname in groei en temperatuurstijging voor een toename in groei. Zijdeplanten in de noordelijke breedtegraden zijn beter bestand tegen waterstress en hebben een grotere groeireactie op hogere temperaturen. Hittegolven in het vroege seizoen verhogen de vruchtbaarheid en verlagen de cardenolideconcentratie in de zijdeplant. Daarnaast is uit het voorspelde toekomstige verspreidingsmodel gebleken dat de zijdeplant meer noordwaarts zal verplaatsen. Hier kan uit worden geconcludeerd dat de noordelijke zijdeplanten beter bestand zijn voor de toekomstige klimaatverandering. Klimaatverandering bedreigt dus het voorkomen van de zuidelijk gelegen zijdeplanten. Ook is aangetoond dat *Asclepias curassavica* in de toekomst kan zorgen voor een potentiële ecologische val voor monarchvlinders. Dit komt door de verminderde overlevingsprestaties die zijn waargenomen van volwassen vlinders (waarvan de larven hebben gegeten van *Asclepias curassavica* onder warmere omstandigheden).

Voor nectarbronnen geldt dat klimaatverandering zowel de bloeitijd beïnvloedt als de totale nectarproductie. Aan het einde van deze eeuw is de bloeitijd met waarschijnlijk met 19.65 dagen vervroegd. Daarnaast kunnen planten onder temperatuurstress bloemen produceren zonder nectar. Bijkomend kan waterstress zorgen voor verandering in de nectarproductie.

5.4 Wat is de invloed van klimaatverandering op migratie van monarchvlinders in Midden en Noord-Amerika?

Temperatuurstijging beïnvloedt het vluchtvermogen van de vlinder negatief, de groei van de larve positief (tot aan 33 °C), en de populatiegrootte zowel positief als negatief. Droogte heeft een negatief effect op de populatiegrootte. Temperatuurstijging kan de groei van de zijdeplant positief beïnvloeden en bij hittegolven kan de vruchtbaarheid worden verhoogd. Daarnaast zorgt temperatuurstijging voor een vervroegde bloeiperiode. Waterstress vermindert de groei van de zijdeplant en zorgt voor een verandering in nectarproductie. Het is aangetoond dat de zijdeplanten in de toekomst meer verspreiden richting het Noorden. Momenteel migreren de vlinders volgens het patroon dat de zijdeplant opkomt. Ook voor de monarchvlinders zelf is aangetoond dat die in de toekomst meer noordwaarts zullen verplaatsen. Dit komt waarschijnlijk omdat de zijdeplant daar dan ook meer voorkomt. Klimaatverandering heeft een effect op de migratie van de monarchvlinder. Het is echter niet uit te sluiten of dit effect negatief of positief is. Dit komt omdat in de resultaten zowel positieve als negatieve gevolgen zijn aangetoond. Naarmate de gevolgen van klimaatverandering steeds evidenter worden, kan toekomstig onderzoek meer uitsluitende antwoorden geven op de complexe relatie tussen klimaatverandering en de monarchvlinder. De conclusie is dat klimatologische factoren een bepalende factor zijn voor de jaarlijkse variatie in abundantie. Verder zijn andere mogelijke kritieke invloeden op de toekomst van de monarchvlinder zoals menselijke handelingen en parasieten niet meegenomen in dit onderzoek. De onderlinge relatie tussen deze factoren en klimaatverandering zijn dus niet beoordeeld en dit levert ook onzekerheid op.

5.5 Aanbevelingen

5.5.1 Lange termijn

Het is belangrijk om in de toekomst de tagging onderzoeken te blijven uitvoeren. Zo wordt ervoor gezorgd dat er geen kennisgaten ontstaan in toekomstig onderzoek. Daarnaast zullen deze onderzoeken zorgen voor duidelijkheid over de onderlinge uitwisseling van de westelijke en oostelijke populatie. Op die manier kan er een beter oordeel worden gegeven over welke factoren een overkoepelende rol spelen op de abundantie van de gehele monarchvlinderpopulatie. Eventueel kan op basis van die nieuwe informatie het beleid voor het behoud van de monarchvlinders worden aangepast.

5.5.2 Praktijk

In de conclusie en in 3.3.2 staat vermeld dat klimaatverandering ervoor kan zorgen dat larven die eten van de niet inheemse *Asclepias curassavica* later in het volwassen stadium een lagere massa en verhoogde mortaliteit hebben. Als er in de toekomst een plan wordt gemaakt voor aanplanting van nieuwe zijdeplanten (i.v.m. de aangetoonde afname van zijdeplant door herbicidegebruik) moeten deze dus niet van de bovenstaande (niet inheemse) soort zijn. De inheemse *Asclepias incarnata* liet geen verschil zien in overleving tussen de temperaturen. Dit resultaat is belangrijk voor natuurbeschermers om in acht te nemen, voor eventueel toekomstig beheer en bij beleidsplannen voor de bescherming van de monarchvlinder.

5.5.3 Toekomstig onderzoek

Uit deze literatuurstudie is gebleken dat het nog onduidelijk is hoe het kan dat temperatuur het vluchtvermogen van de vlinder direct beïnvloed. Met betrekking tot de stijgende temperaturen die volgen uit klimaatverandering is het belangrijk om te weten in hoeverre dit effect vordert naarmate de temperatuur stijgt. De resultaten uit dit onderzoek kunnen mee worden genomen

Ook weten onderzoekers nog niet in hoeverre een larve een koele plek uit kiest om te vervellen. Deze informatie zou nuttig zijn om te bepalen in hoeverre de rupsen zich bewust/ actief kunnen aanpassen aan de stijgende temperaturen. Zo kan worden beoordeeld of de stijging in temperatuur van 5 °C aan het einde van de eeuw een significant effect kan hebben op de vervellende larven, en dus uiteindelijk ook de totale abundantie van de populatie. Uit deze resultaten kunnen eventuele beschermingsmaatregelen worden getrokken. Zo kan het beheer bijvoorbeeld worden aangepast door meer of minder te maaien (waardoor je meer of minder schaduw hebt).

Daarnaast sluiten de onderzoeken met betrekking tot de invloed van neerslag nog geen antwoorden uit. De twee besproken onderzoeken van Thogmartin et al. (2017) en Zipkin et al. (2012) geven tegenovergestelde resultaten weer. Om de precieze effecten van neerslag op de monarchvlinder te kunnen beantwoorden is meer onderzoek vereist.

Om een sluitend antwoord te kunnen geven op de invloed van klimaatverandering zouden de onderlinge oorzaak en gevolg reacties van temperatuur en neerslag op de monarchvlinder beter onderzocht moeten worden.

Literatuurlijst:

- Bartel, R. A., Oberhauser, K. S., De Roode, J. C., & Altizer, S. M. (2011). Monarch butterfly migration and parasite transmission in eastern North America. *Ecology*, 92(2), 342-351. <https://doi.org/10.1890/10-0489.1>
- Batalden, R. V. (2011). *Potential impacts of climate change on monarch butterflies, Danaus plexippus*. Geraadpleegd op 7 mei, van <https://hdl.handle.net/11299/116140>
- Brower, L. P. (1996). Monarch butterfly orientation: missing pieces of a magnificent puzzle. *Journal of experimental biology*, 199(1), 93-103. <https://doi.org/10.1242/jeb.199.1.93>
- Brown University Library. (2021). *LibGuides: Guide to Searching: Citation Searching*. Geraadpleegd op 20 maart 2023, van <https://libguides.brown.edu/searching/citation#:~:text=Forward%20Citation%20Search%3A%20A%20search,references%20in%20a%20single%20article>
- Cope, O. L., Zehr, L. N., Agrawal, A. A., & Wetzel, W. C. (2023). The timing of heat waves has multiyear effects on milkweed and its insect community. *Ecology*, 104(4). <https://doi.org/10.1002/ecy.3988>
- Crone, E. E., & Schultz, C. B. (2021). Resilience or Catastrophe? A possible state change for monarch butterflies in western North America. *Ecology Letters*, 24(8), 1533-1538. <https://doi.org/10.1111/ele.13816>
- Couture, J. J., Serbin, S. P., & Townsend, P. A. (2015). Elevated temperature and periodic water stress alter growth and quality of common milkweed (*Asclepias syriaca*) and monarch (*Danaus plexippus*) larval performance. *Arthropod-Plant Interactions*, 9, 149-161. <https://doi.org/10.1007/s11829-015-9367-y>
- Davis, A. K., & de Roode, J. C. (2018). Effects of the parasite, *Ophryocystis elektroscirrha*, on wing characteristics important for migration in the monarch butterfly. *Animal Migration*, 5(1), 84-93. <https://doi.org/10.1515/ami-2018-0008>
- Ethier, D. M., & Mitchell, G. W. (2023). Effects of climate on fall migration phenology of monarch butterflies departing the northeastern breeding grounds in Canada. *Global Change Biology*, 29(8), 2122-2131. <https://doi.org/10.1111/gcb.16579>
- Faldyn, M. J., Hunter, M. D., & Elder, B. D. (2018). Climate change and an invasive, tropical milkweed: an ecological trap for monarch butterflies. *Ecology*, 99(5), 1031-1038. <https://doi.org/10.1002/ecy.2198>
- Flockhart, D. T., Pichancourt, J. B., Norris, D. R., & Martin, T. G. (2015). Unravelling the annual cycle in a migratory animal: breeding-season habitat loss drives population declines of monarch butterflies. *Journal of Animal Ecology*, 84(1), 155-165. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12253>
- Forister, M. L., & Shapiro, A. M. (2003). Climatic trends and advancing spring flight of butterflies in lowland California. *Global change biology*, 9(7), 1130-1135. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00643.x>
- Howard, A. F. (2018). *Asclepias syriaca* (common milkweed) flowering date shift in response to climate change. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36152-2>
- Howard, E. (2015). *Monarch Butterfly Migration | Journey North Citizen Science Project: Tracking Spring and Fall Monarch Butterfly Migration*. Geraadpleegd op 3 maart 2023, van <https://journeynorth.org/monarch/fall2015/monarch-butterfly-migration101515.html>

Inamine, H., Ellner, S. P., Springer, J. P., & Agrawal, A. A. (2016). Linking the continental migratory cycle of the monarch butterfly to understand its population decline. *Oikos*, 125(8), 1081-1091. <https://doi.org/10.1111/oik.03196>

Islas-Báez, A., Pérez-Miranda, R., González-Hernández, A., Romero-Sánchez, M. E., & Velasco-Bautista, E. (2015). Riesgo del hábitat de la Mariposa Monarca (*Danaus plexippus*) ante escenarios de cambio climático. *Ra Ximhai*, 11(5), 49-59. Geraadpleegd op 1 maart 2023, van <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46142593003>

James, D. G., & Kappen, L. (2021). Further insights on the migration biology of monarch butterflies, *Danaus plexippus* (Lepidoptera: Nymphalidae) from the Pacific Northwest. *Insects*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/insects12020161>

Jepsen, S., Schweitzer, D. F., Young, B., Sears, N., Ormes, M., & Black, S. H. (2015). *Conservation status and ecology of the monarch butterfly in the United States*. 36pp. NatureServe Arlington, Virginia and the Xerces Society for Invertebrate Conservation, Portland, Oregon. Geraadpleegd op 12 maart 2023, van https://xerces.org/sites/default/files/2018-05/15-016_01_XercesSoc_Conservation-Status-Ecology-Monarch-US-web.pdf

Journey North. (z.d.-a). *Monarch Butterfly and Mexico's Oyamel Fir Forest*. Geraadpleegd op 10 mei 2023, van <https://journeynorth.org/tm/monarch/SanctuaryFactsOyamel.html>

Journey North. (z.d.-b). *Monarch Butterflies in Mexico: Surviving the Winter on Stored Energy*. Geraadpleegd op 10 mei 2023, van <https://journeynorth.org/tm/monarch/sl/3/index.html#:~:text=Monarch%20butterflies%20arrive%20in%20Mexico,or%20no%20food%20at%20all>.

Journey North. (z.d.-c). *Two Monarch Butterfly Populations in North America*. Geraadpleegd op 10 mei 2023, van https://journeynorth.org/tm/monarch/Populations_EastWest.html

Journey North. (z.d.-d). *Why migrate north in the spring?* Geraadpleegd op 10 mei 2023, van <https://journeynorth.org/monarchs/resources/article/why-migrate-north-spring#:~:text=Scientists%20think%20monarchs%20evolved%20in,that%20grows%20in%20the%20sumertime>

Kharouba, H. M., & Vellend, M. (2015). Flowering time of butterfly nectar food plants is more sensitive to temperature than the timing of butterfly adult flight. *Journal of Animal Ecology*, 84(5), 1311-1321. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12373>

Knight, A., Brower, L.P. (2009). The Influence of Eastern North American Autumnal Migrant Monarch Butterflies (*Danaus plexippus* L.) on Continuously Breeding Resident Monarch Populations in Southern Florida. *Journal of Chemical Ecology* 35, 816–823. <https://doi.org/10.1007/s10886-009-9655-z>

Lemoine, N. P. (2015). Climate change may alter breeding ground distributions of eastern migratory monarchs (*Danaus plexippus*) via range expansion of *Asclepias* host plants. *PLoS one*, 10(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118614>

Lemoine, N. P., Capdevielle, J. N., & Parker, J. D. (2015). Effects of in situ climate warming on monarch caterpillar (*Danaus plexippus*) development. *PeerJ*, 3. <https://doi.org/10.7717/peerj.1293>

Malcolm, S. B. (2018). Anthropogenic impacts on mortality and population viability of the monarch butterfly. *Annual Review of Entomology*, 63, 277-302. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043241>

Martel, J. L., Brissette, F. P., Lucas-Picher, P., Troin, M., & Arsenault, R. (2021). Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002122](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002122)

MonarchWatch (z.d.-a). *Monarch Migration*. Geraadpleegd op 18 april 2023, van <https://monarchwatch.org/migration/>

MonarchWatch. (z.d.-b). *Monarch Watch Monarch Tagging Event*. Geraadpleegd op 6 mei, van <https://monarchwatch.org/tag-event/>

Nagano, C. D., Sakai, W. H., Malcolm, S. B., Cockrell, B. J., Donahue, J. P., & Brower, L. P. (1993). Spring migration of monarch butterflies in California. *Biology and conservation of the monarch butterfly*, 219-232. Geraadpleegd op 9 mei, van https://www.researchgate.net/profile/Julian-Donahue/publication/335231098_Spring_migration_of_Monarch_butterflies_in_California_Science_Series_No_28_Natural_History_Museum_of_Los_Angeles_County/links/5d59e4fc45851545af4dd345/Spring-migration-of-Monarch-butterflies-in-California-Science-Series-No-28-Natural-History-Museum-of-Los-Angeles-County.pdf

Oberhauser, K.S. & Solensky, M.J. (2004). *The monarch butterfly: biology & conservation*. 248pp. Cornell university press. Geraadpleegd op 23 maart 2023, van https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=H5nRqhCGA4UC&oi=fnd&pg=PP13&dq=The+monarch+butterfly:+biology+%26+conservation&ots=VmpP5S33Tqe&sig=-iDWwRa_5J5-p-Aw7SiRe6Vifjs#v=onepage&q=The%20monarch%20butterfly%3A%20biology%20%26%20conservation&f=false

Paparo, C. (2017, 6 september). *A monarch's journey: North Fork Outdoors*. Northforker. Geraadpleegd op 14 mei, van <https://northforker.com/2017/09/north-fork-outdoors-3/>

Pelton, E. M., Schultz, C. B., Jepsen, S. J., Black, S. H., & Crone, E. E. (2019). Western monarch population plummets: status, probable causes, and recommended conservation actions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00258>

Pleasants, J. M., & Oberhauser, K. S. (2013). Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity*, 6(2), 135-144. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2012.00196.x>

Rebecca V. Batalden, Karen Oberhauser, A. Townsend Peterson (2007). Ecological Niches in Sequential Generations of Eastern North American Monarch Butterflies (Lepidoptera: Danaidae): The Ecology of Migration and Likely Climate Change Implications, *Environmental Entomology*, Volume 36, Issue 6, 1 December 2007, Pages 1365–1373. [https://doi.org/10.1603/0046-225X\(2007\)36\[1365:ENISGO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0046-225X(2007)36[1365:ENISGO]2.0.CO;2)

Reppert, S. M., & de Roode, J. C. (2018). Demystifying monarch butterfly migration. *Current Biology*, 28(17), R1009-R1022. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.067>

Roberts, P., & Priest, H. (2006). Reliability and validity in research. *Nursing standard*, 20(44), 41-46. Geraadpleegd op 24 maart, van <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA149022548&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00296570&p=HRCA&sw=w&userGroupName=anon%7E2cfad235&aty=open+web+entry>

Semmens, B. X., Semmens, D. J., Thogmartin, W. E., Wiederholt, R., López-Hoffman, L., Diffendorfer, J. E., ... & Taylor, O. R. (2016). Quasi-extinction risk and population targets for the Eastern, migratory population of monarch butterflies (*Danaus plexippus*). *Scientific reports*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep23265>

Serratore, V. R., Zalucki, M. P., & Carter, P. A. (2012). Thermoregulation in moulting and feeding *Danaus plexippus* L. (Lepidoptera: Nymphalidae) caterpillars. *Australian Journal of Entomology*, 52(1), 8-13. <https://doi-org.aeres.idm.oclc.org/10.1111/j.1440-6055.2012.00874.x>

Sharp, B. (2014). *The Mathematics of the Monarchs: Enriching the Butterfly Project*. Geraadpleegd op 11 mei, van <http://hdl.handle.net/1811/78064>

Soule, A. J., Decker, L. E., & Hunter, M. D. (2020). Effects of diet and temperature on monarch butterfly wing morphology and flight ability. *Journal of Insect Conservation*, 24, 961-975. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00267-7>

Stevens, S.R., Frey, D.F. (2010). Host plant pattern and variation in climate predict the location of natal grounds for migratory monarch butterflies in western North America. *Journal of Insect Conservation*, 14, 731-744. <https://doi.org/10.1007/s10841-010-9303-5>

Sutherland, D. (2011). *Migrating Monarch Butterfly*. Flickr. Geraadpleegd op 26 februari, van <https://www.flickr.com/photos/67832671@N00/6274733768/>

Takkis, K., Tscheulin, T., Tsalkatis, P., & Petanidou, T. (2015). Climate change reduces nectar secretion in two common Mediterranean plants. *AoB Plants*, 7. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv111>

Texas Parks and Wildlife. (z.d.). *The monarch butterfly*. Geraadpleegd op 9 mei, van https://tpwd.texas.gov/huntwild/wild/wildlife_diversity/texas_nature_trackers/monarch/#:~:text=Early%20each%20March%20overwintering%20monarchs,Texas%20laying%20eggs%20before%20dying

Thogmartin, W. E., Wiederholt, R., Oberhauser, K., Drum, R. G., Diffendorfer, J. E., Altizer, S., ... & Lopez-Hoffman, L. (2017). Monarch butterfly population decline in North America: identifying the threatening processes. *Royal Society open science*, 4(9). <https://doi.org/10.1098/rsos.170760>

U.S. Department of Agriculture. (z.d.). *Do Monarch Caterpillars and Corn Pollen Overlap?* Geraadpleegd op 13 mei, van <https://www.ars.usda.gov/oc/br/monarch/monarch-caterpillars-and-corn-pollen/>

Veling, K. (2015). Exoot bedreigt monarchvlinder. *Kijk op Exoten*, 3(3), 8-8. Geraadpleegd op 5 maart 2023, van <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=21793>

Voorhies, K. J., Szymanski, J., Nail, K. R., & Fidino, M. (2019). A method to project future impacts from threats and conservation on the probability of extinction for North American migratory monarch (*Danaus plexippus*) populations. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7. <https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00384>

Western Monarch Milkweed Mapper. (z.d.). *Western Monarch Biology*. Geraadpleegd op 1 mei, van <https://www.monarchmilkweedmapper.org/western-monarch-biology/#:~:text=The%20Monarch%20Life%20Cycle,in%20early%20to%20mid%2DJune>.

Zalucki, M. P., Rochester, W. A., Oberhauser, K., & Solensky, M. (2004). Spatial and temporal population dynamics of monarchs down-under: lessons for North America. *The monarch butterfly: Biology and conservation*, 219-228. Geraadpleegd op 20 maart, van <https://books.google.nl/books?hl=nl&lr=&id=H5nRqhCGA4UC&oi=fnd&pg=PA219&dq=Spatial+and+temporal+population+dynamics+of+monarchs+down-under:+lessons+for+North+America.&ots=VmP5S34Uee&sig=XYI7XG87oPekgBErSlx3IVUBKm4#v=onepage&q=Spatial%20and%20temporal%20population%20dynamics%20of%20monarchs%20down-under%3A%20lessons%20for%20North%20America.&f=false>

York, H. A., & Oberhauser, K. S. (2002). Effects of duration and timing of heat stress on monarch butterfly (*Danaus plexippus*) (Lepidoptera: Nymphalidae) development. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 290-298. Geraadpleegd op 14 mei, van <https://www.jstor.org/stable/25481789>

Zalucki, M. P. (1982). Temperature and rate of development in *Danaus plexippus* L. and *D. chrysippus* L. (Lepidoptera: Nymphalidae). *Australian Journal of Entomology*, 21(4), 241-246. <https://doi.org/10.1111/j.1440-6055.1982.tb01803.x>

Zipkin, E. F., Ries, L., Reeves, R., Regetz, J., & Oberhauser, K. S. (2012). Tracking climate impacts on the migratory monarch butterfly. *Global Change Biology*, 18(10), 3039-3049. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02751.x>

Zylstra, ER, Neupane, N., & Zipkin, EF (2022). Multi-season climate projections forecast declines in migratory monarch butterflies. *Global Change Biology*, 28 (21), 6135-6151.
<https://doi.org/10.1111/gcb.16349>