

Inzicht in de mysterieuze afname van de argusvlinder

Kenschets van het microklimaat van argusvlinderrupsen



Inzicht in de mysterieuze afname van de argusvlinder

Kenschets van het microklimaat van argusvlinderrupsen

Auteur: Jelle Lips

Studentnummer: 3018055

E-mailadres: jelle_lips@hotmail.com

Afstudeerwerkstuk

Opleiding: Toegepaste Biologie

Organisatie: CAH – Almere

Eerste begeleider: Herman Offereins

Tweede begeleider: Roos van Maanen

Opdrachtgever: De Vlinderstichting

Begeleider: Anthonie Stip

Omslagfoto: Jan Zwaaneveld

Wageningen - 03-06-2016

Voorwoord

Met veel plezier kijk ik terug op een toch wel drukke periode. Aangezien ik tijdens het schrijven van mijn afstudeerwerkstuk overdag nog lessen volgde was ik vaak aangewezen op het schrijven van mijn afstudeerwerkstuk in de avonden en weekenden. Gelukkig hebben het interessante onderwerp en de goede begeleiding me erdoorheen kunnen slepen en ik wil daarom graag een aantal mensen bedanken.

Graag wil ik Anthonie Stip bedanken als opdrachtgever en begeleider vanuit De Vlinderstichting. Hij was altijd bereid tijd te maken voor overleg en ik heb veel geleerd van zijn aanwijzingen. Verder wil ik mijn begeleider Herman Offereins bedanken. Hij was erg betrokken en heeft mij goed begeleid tijdens het schrijven van het plan van aanpak. Daarnaast reageerde hij altijd snel op mijn vragen wat gezien mijn tijdsplanning erg fijn was. Als laatst wil ik mijn tweede begeleider Roos van Maanen bedanken voor het leveren van feedback op mijn plan van aanpak.

Ik wens u veel leesplezier!

Jelle Lips – juni 2016

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Samenvatting.....	6
Abstract	7
1. Inleiding	8
1.1 Afname van de argusvlinder.....	8
1.2 Achtergrondinformatie.....	9
1.3 Doelstelling.....	10
1.4 Onderzoeksvragen.....	10
1.5 Leeswijzer	11
2. Materiaal & methode	12
2.1 Methode metingen.....	12
2.2 Data-analyse	14
3. Resultaten.....	17
3.1 Typering microklimaat.....	17
3.2 Aanwezigheid rupsen	24
3.3 Weerextremen	29
4. Discussie	30
4.1 Typering van het microklimaat.....	30
4.2 Aanwezigheid rupsen	31
4.3 Beperkingen onderzoek	32
5. Conclusie	33
6. Aanbevelingen.....	34
Referenties	35
BIJLAGE	37
BIJLAGE I. Testen normaalverdeling dataset.....	38

Samenvatting

Sinds 1992 is bij de argusvlinderpopulatie (*Lasiommata megera*) in Nederland een afname van 98% waargenomen. Ook in andere Europese landen is een dalende trend waarneembaar. Het vermoeden bestaat dat hierbij cruciale rol is weggelegd voor stikstof (N). De verhoogde stikstofbeschikbaarheid zorgt voor een versnelde groei bij de vegetatie waardoor deze sneller sluit en het microklimaat afkoelt en vochtiger wordt. Het doel van dit onderzoek is om kenschets te geven van het microklimaat waarin rupsen van de argusvlinder leven. Verder wordt onderzocht of een relatie bestaat tussen verschillende klimaatfactoren en de overleving van de rupsen. De hoofdvraag is: welke temperatuur en luchtvochtigheid karakteriseren het microklimaat van de rupsen van de argusvlinder? Ter ondersteuning van de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Wat is het effect van temperatuur in het microklimaat op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder?
2. Wat is het effect van luchtvochtigheid in het microklimaat op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder?
3. Wat voor invloed hebben weerextremen (Hitte en late vorst) binnen het microklimaat op het voorkomen van de rupsen van de argusvlinder?

De verwachting is dat een warm microklimaat een positief effect heeft op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder. Daarnaast wordt verwacht dat late vorst een negatief effect op de aanwezigheid van de rupsen heeft. Voor luchtvochtigheid en hitte is de verwachting dat deze geen effect op de aanwezigheid van argusvlinderrupsen hebben.

In dit onderzoek is het microklimaat van locaties waar argusvlinderrupsen zijn aangetroffen vergeleken met een referentielocatie in een extensief beheerd bloemrijk grasland. Verder is een experiment uitgevoerd waar argusvlinderrupsen zijn uitgezet. Hier is gekeken naar de overleving van de rupsen in relatie tot temperatuur, luchtvochtigheid, neerslag, hitte en late vorst. Metingen aan de temperatuur en luchtvochtigheid zijn verricht met dataloggers. Verder zijn meetgegevens van KNMI-metstations gebruikt.

Uit de resultaten blijkt dat rupsenlocaties van de argusvlinder gemiddeld een warmer microklimaat hebben in vergelijking met de referentielocatie. Op basis van deze resultaten kan worden aangenomen dat argusvlinders een warm microklimaat prefereren. Het temperatuurverschil tussen deze locaties is het grootst in de maand februari. Overigens heeft de temperatuur van het microklimaat geen invloed op de overleving van de argusvlinderrupsen. Verder verschilt de luchtvochtigheid in het microklimaat niet tussen rupsenlocaties van de argusvlinder en locaties in een extensief beheerd bloemrijk grasland. Daarnaast heeft luchtvochtigheid ook geen effect op de overleving van argusvlinderrupsen. Wat betreft de weerextremen (hitte en late vorst) is geen bewijs gevonden dat deze effect sorteren op de overleving van de argusvlinderrupsen.

Verder lijkt hevige regenval een negatief effect te hebben op de overleving van rupsen in een vroeg ontwikkelingsstadium (eerste week). In latere ontwikkelingsstadia van de rups lijkt het effect van neerslag op argusvlinderrupsen niet aanwezig te zijn. Nader onderzoek is wenselijk om uitsluitsel hierover te geven.

Abstract

Since 1992 the population of wall brown (*Lasiommata megera*) butterflies in the Netherlands has decreased with 98%. This species is also declining in other European countries. It is suspected that nitrogen (N) deposition plays a crucial role by this decline. The increased nitrogen levels in the soil fertilize the vegetation. Hereby the microclimate cools down and humidity increases. The aim of this research is to provide characterization of the microclimate in which caterpillars of the wall brown live. Also the effect of different climate factors on the survival of the wall brown caterpillars will be included in this study. The main question is: What temperature and humidity level characterize the microclimate of caterpillars of the wall brown. To support the main question, the following sub-questions are asked:

1. What is the effect of temperature in the microclimate on the presence of caterpillars of the wall brown?
2. What is the effect of humidity in the microclimate on the presence of caterpillars of the wall brown?
3. What impact do weather extremes (heat and late frost) within the microclimate have on the caterpillars of the wall brown?

It is expected that a warm temperature in the microclimate has a positive effect on the presence of the caterpillars of the wall brown. In addition, it is expected that late frost has a negative effect on the presence of wall brown caterpillars. For humidity and heat, it is expected that they have no effect on the presence of caterpillars of the wall brown.

In this study, the microclimate of sites where wall brown caterpillars were found are compared to a reference location in an extensively managed florid grassland. In addition, there has been conducted an experiment where wall brown caterpillars were released. In this experiment the effects of temperature, humidity, precipitation, heat and late frost were examined in relation to the survival of the caterpillars. Measurements of the temperature and humidity were conducted with data loggers. Further measurements were taken from KNMI-stations.

This study shows that caterpillar locations of the wall brown have a warmer microclimate than the reference location. Therefore, there can be assumed that wall brown butterflies prefer a warm microclimate. The temperature difference between these locations is the greatest in the month of February. Incidentally, the temperature of the microclimate has no influence on the survival of wall brown caterpillars. The humidity levels in the microclimate did not differ between caterpillar locations and the reference location. In addition, humidity has no effect on the survival of wall brown caterpillars. As for the weather extremes (heat and late frost) no evidence has been found that they affect the survival of the wall brown caterpillars.

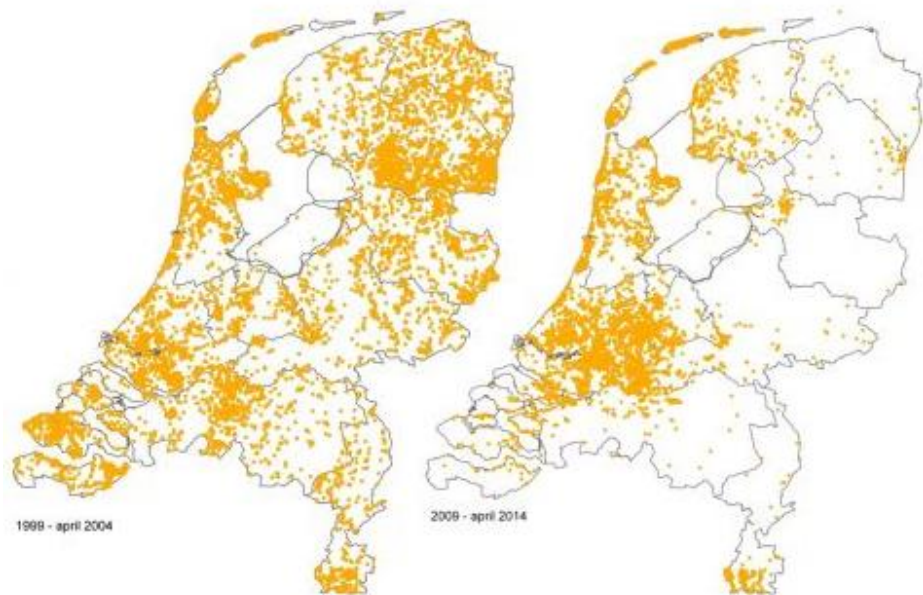
Furthermore, heavy rainfall seems to have a negative effect on the survival of caterpillars in an early stage of development (first week). In later larval stages, the negative effect of rainfall on wall brown caterpillars was not present. Further research is desirable to assess a more definite conclusion on this topic.

1. Inleiding

1.1 Afname van de argusvlinder

‘De koningin van de weide’, zo wordt de soort ook wel genoemd. De argusvlinder (*Lasiommata megera*) was ooit een algemene en wijdverspreide vlindersoort in Nederland. Echter, wanneer vandaag de dag een nieuwe rode lijst gepubliceerd zou worden zou de argusvlinder het stempel ‘bedreigd’ toegekend krijgen. Sinds 1992 is bij de argusvlinderpopulatie in Nederland namelijk een afname van 98% waargenomen. Dit met het gevolg dat de soort zo goed als verdwenen is van de hoge zandgronden in Oost-Nederland. In de vochtige laagveen- en zeekleigebieden in Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht en Friesland is de soort nog wel aanwezig. Daarnaast is de argusvlinder ook nog te vinden in de duinen (inclusief Waddeneilanden) en het Heuvelland van Limburg (Stip et al. 2014; figuur 1.). Deze afname binnen Nederland staat niet op zichzelf. Ook in andere Europese landen is een dalende trend waarneembaar (Van Swaay et al. 2013).

Figuur 1. Verspreiding van de argusvlinder in Nederland op kilometerhokschaal. Verspreiding van 1999-april 2004 (links) en 2009-april 2014 (rechts). Bron: vlinderstichting



Een reeks van verklaringen voor deze afname van de soort is al gevonden. Afname en versnippering van het areaal kruidenrijkgrasland, afname van de kwaliteit van kruidenrijk grasland, afname van het nectaraanbod en het verdwijnen van landschapselementen zijn allen factoren die bijdragen aan de afname van de argusvlinder. Overigens, het vermoeden bestaat dat naast de bovengenoemde bevestigde bedreigingen een cruciale rol is weggelegd voor stikstof (N) bij de afname van de argusvlinder (WallisDeVries & Van Swaay 2006). Als direct gevolg van o.a. industrie, landbouw en verkeer is de atmosferische depositie van stikstof in Nederland (en de rest van Europa) flink toegenomen. In de jaren 1980 was de stikstofdepositie op haar hoogtepunt, maar tegenwoordig neemt deze door beleidsmaatregelen weer geleidelijk af (De Ruiter et al. 2006; Galloway et al. 2003). De toename van de stikstofbeschikbaarheid zorgt voor een versnelde groei bij de vegetatie, een bemestend effect (Galloway et al. 2003). Door de versnelde groei sluit de vegetatie sneller en neemt de temperatuurvariatie op kleine schaal af. Het microklimaat voor de rupsen van de argusvlinder wordt dus koeler en vochtiger en daardoor ongeschikt (Omon 2013).

Naast bemesting door overmatige stikstofdepositie heeft ook het macroklimaat invloed op het lokale microklimaat en verscheidende dagvlinders (Davies et al. 2006). Het opwarmen van het macroklimaat draagt namelijk bij aan de microklimatologische koeling (WallisDeVries & Van Swaay 2006). De door klimaatverandering veroorzaakte zachte winters en warme voorjaren zorgen voor een verlenging van het groeiseizoen van de vegetatie. Door deze verlenging kan de vegetatie hoger en dichter groeien en dit resulteert dus in het afkoelen van het microklimaat.

Voorheen werd gedacht dat vooral langzaam-ontwikkende vlindersoorten die overwinteren in het ei- en rupsenstadium kwetsbaar zijn voor micro klimatologische koeling (WallisDeVries 2014). Echter, een recente studie wijst uit dat zelfs snelgroeiende soorten waaronder de argusvlinder (tijdens de larvale ontwikkeling in het voorjaar) last kunnen hebben van micro klimatologische koeling. (Klop et al. 2015).

De tijd dringt en ingrijpen op korte termijn is wenselijk om de argusvlinder binnen Nederland zo effectief en efficiënt mogelijk te beschermen (Stip et al. 2014). Inzicht in het microklimaat van de rupsen van de argusvlinder is daarom van groot belang omdat naar aanleiding van Klop et al. (2015) het vermoeden bestaat dat het microklimaat de sleutel kan zijn tot de 'mysterieuze' afname van de soort (persoonlijke communicatie: A, Stip 19-01-2016). Verder kan meer inzicht in het microklimaat leiden tot op maat ontwikkelde beheermaatregelen voor de argusvlinder.

1.2 Achtergrondinformatie

Habitat argusvlinder

De argusvlinder komt voor in open, droge tot vochtige graslanden met veel variatie in vegetatiestructuur. Deze kenmerken resulteren in een gevarieerd microklimaat. De argusvlinder is een thermofiele vlindersoort in Noordwest-Europa en prefereert dus zowel in het rupsen- als in het adulte stadium een warm microklimaat. De aanwezigheid van snel opwarmende structuren zoals kale grond, stenen en dode boomstronken zijn daarom ook een vereiste voor de argusvlinder (Dennis & Bramley 1985; Krech et al. 2011). Verder is in de directe nabijheid vaak beschutting aanwezig en wordt de soort geregeld aangetroffen in structuurrijke wegbermen met open plekken en opgaande kruiden (Bos et al. 2006; Ebert & Rennwald 1991; Eller 2007). Een onderzoek van Krech et al. (2011) heeft aangetoond dat de argusvlinder kortere vegetatie prefereert. Daarnaast vonden de onderzoekers dat op de vindplaatsen van de argusvlinder beduidend meer oppervlakte aan kale grond aanwezig was. Dit onderzoek bevestigt de gedachte dat de argusvlinder een warm microklimaat prefereert

Ontwikkeling rupsen

De rupsen van de argusvlinder zijn een grasgroene verschijning met aan beide kanten van het lichaam een geelwitte horizontale streep. Verder kenmerkt de rups zich door een beharing van rechtopstaande witte haartjes (SBN 1987; figuur 2.). Nadat de rupsen zijn uitgekomen verblijven de rupsen op de waardplant. De waardplanten van de argusvlinder zijn diverse overblijvende grassen waaronder glanshaver, kropaar, kweek en rood zwenkgras (Omon 2013). Verder worden de rupsen vaak aangetroffen in de directe nabijheid van verticale structuren, onder andere muurtjes, hekken en



Figuur 2. Argusvlinder in rupsenstadium. Te herkennen aan het grasgroene lichaam en de geelwitte horizontale streep. (foto: Stip, A.)

stenen (Omon 2013; Ebert & Rennwald 1991). Gemiddeld hebben de rupsen van de zomergeneratie 28 dagen nodig om zich te ontwikkelen tot pop, binnen deze tijd vervellen de rupsen viermaal. De wintergeneratie (het nageslacht van deze zomergeneratie) overwintert in de rupsenfase. Meestal gebeurt dit in het derde larvestadium wanneer de rupsen gemiddeld een afmeting van 12-14 mm hebben bereikt (Bink 1992). De rupsen van de wintergeneratie gaan niet in winterrust. Tijdens zachte winterdagen eten de rupsen namelijk gewoon door (Bos et al. 2006; Reinderink 1993). Na 180-240 dagen verpoppen de rupsen van de wintergeneratie zich (Stip et al. 2014).

Microklimaat

Het begrip microklimaat kan worden omschreven als het klimaat op kleine schaal dat wordt bepaald door onder meer de lokale topografie van het landschap, het bodemtype en de vegetatie (Stoutjesdijk & Barkman 1992). Het microklimaat van een bepaalde locatie kan sterk verschillen van het microklimaat enkele meters verderop (Barkman & Stoutjesdijk, 1987). De aanwezigheid van een lage vegetatie, een kale bodem en dood plantenmateriaal zorgen voor een warmer microklimaat binnen vegetaties, terwijl hoge en gesloten vegetaties koeler en vochtiger zijn (Stoutjesdijk & Barkman, 1992).

In een recent onderzoek van Klop et al. (2015) is ondersteunend bewijs gevonden voor de theorie dat micro klimatologische koeling door stikstof van invloed is op de argusvlinder. Op plaatsen waar een hogere stikstof depositie werd gemeten was de afname van de argusvlinder namelijk het grootst. Verder werden de resultaten van dit onderzoek vergeleken met onderzoeksresultaten van het bonte zandoogje (*Pararge aegeria*) (WallisDeVries 2006; Omon 2013). Uit deze vergelijking kwam naar voren dat rupsen van de argusvlinder in vergelijking met de rupsen van bonte zandoogje warmere en gevarieerde vegetatiestructuren prefereren. De grotere afhankelijkheid van een warm microklimaat suggereert dat de micro klimatologische koeling door stikstofdepositie bijdraagt aan de recente afname van de argusvlinder.

Belangrijke factoren bij een gevarieerde structuur zijn afwisseling tussen vegetatie en open grond, aanwezigheid dood organisch materiaal, verticale structuren in de nabijheid en een korte gras- en kruidlaag (Stip et al. 2014).

Weerextremen

Onderzoek van WallisDeVries et al. (2011) heeft uitgewezen dat argusvlinderrupsen van de lentegeneratie een sterke significante populatieafname ($p < 0.01$) vertonen bij het optreden van 'late vorst' (dagen na 15 maart met minimumtemperatuur van 0.0°C). Effecten van andere weerextremen (hitte, droogte en hevige regen) konden tijdens dit onderzoek niet worden aangetoond. Dit betekent overigens niet dat het uitgesloten is dat deze weerextremen van invloed kunnen zijn op de populatiedynamiek van de argusvlinder.

1.3 Doelstelling

Het doel is om een kenschets te geven van het microklimaat waarin rupsen van de argusvlinder leven. Verder wordt onderzocht of een relatie bestaat tussen verschillende klimaatfactoren en de overleving van de argusvlinderrupsen.

1.4 Onderzoeksvragen

Voor dit onderzoek is de volgende hoofdvraag opgesteld: **Welke temperatuur en luchtvochtigheid karakteriseren het microklimaat van de rupsen van de argusvlinder?** Ter ondersteuning van de hoofdvraag zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- 1. Wat is het effect van temperatuur in het microklimaat op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder?**

De hypothese is dat een warm microklimaat een positief effect heeft op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder. Deze hypothese is gebaseerd op het feit dat verschillende onderzoeken hebben aangetoond dat micro klimatologische koeling een negatief effect heeft op de rupsen van de argusvlinder (Omon 2013; Klop et al. 2014).

2. Wat is het effect van luchtvochtigheid in het microklimaat op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder?

De hypothese is dat luchtvochtigheid binnen het rupsen habitat geen aantoonbare invloed zal hebben op de aanwezigheid van de rups. Deze hypothese is gebaseerd op de waarnemingen die Omon (2014) deed bij de bruine vuurvlinder (*Lycaena tityrus*). In dit onderzoek werd de relatieve vochtigheid aan de grond vergeleken tussen rupsenplots en controleplots. Uit deze vergelijking kwam geen significant verschil naar voren.

3. Wat voor invloed hebben weerextremen (Hitte en late vorst) binnen het microklimaat op het voorkomen van de rupsen van de argusvlinder?

De hypothese is dat lange periodes van vorst in het voorjaar een negatief effect hebben op het voorkomen van de rupsen van de argusvlinder. Deze hypothese is gebaseerd op onderzoek van WallisDeVries et al. (2011). In dit onderzoek werd gevonden dat late vorst (dagen na 15 maart met een minimumtemperatuur $<0.0^{\circ}\text{C}$) een negatief effect heeft op een populatie van rupsen van de argusvlinder. Verder wordt verwacht dat hitte geen aantoonbaar effect (positief of negatief) heeft op de ontwikkeling van de rupsen.

(In tegenstelling tot het plan van aanpak van dit onderzoek is één deelvraag weggelaten die na inzien niet van toegevoegde waarde bleek voor het onderzoek.)

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt de methode van het onderzoek toegelicht. Daarnaast worden de data-analyses die tijdens dit onderzoek zijn uitgevoerd beschreven. Daarna worden in hoofdstuk drie de resultaten van het onderzoek gegeven. In hoofdstuk vier worden de gevonden resultaten bediscussieerd en de deelvragen worden in dit hoofdstuk beantwoord. Verder wordt geconcludeerd in hoofdstuk vijf en in hoofdstuk zes worden aanbevelingen gedaan. Verder staat de gebruikte literatuur weergegeven en is een bijlage toegevoegd met testen van de normaalverdeling van de data.

2. Materiaal & methode

In dit hoofdstuk wordt de methode toegelicht die gehanteerd is voor het vergaren van de data. Daarnaast worden de verschillende meetlocaties weergegeven. Verder wordt beschreven welke data-analyses zijn uitgevoerd tijdens het onderzoek.

2.1 Methode metingen

Over de periode van 11-09-2014 tot en met 15-10-2015 zijn op verscheidende locaties (figuur 3.) met behulp van dataloggers metingen verricht aan het microklimaat. Het merendeel van deze metingen vonden overigens plaats in de periode van 10-10-2014 tot en met 08-05-2015. De hele dag door, zijn om de vijf minuten, metingen verricht aan de lokale temperatuur (°C) en luchtvochtigheid (%rh). Zowel bij de temperatuur als de luchtvochtigheid is gemeten met een precisie van 0,5 graden/procent. Deze meetgegevens zijn in Excel-bestanden verwerkt.



Figuur 3. Twee van de locaties waar metingen aan het microklimaat zijn verricht. Links: experimentlocatie Wageningen controle (Wa_Con). Rechts: vrije veldlocatie Krimpenerwaard stenenconstructie (Kr_st). (Foto's: Stip, A.)

In totaal zijn op acht locaties in het vrije veld metingen verricht, dit betreft zeven rupsenlocaties waarvan zes in Krimpenerwaard en één in het Kraaienbos in de Alblasserwaard. Daarnaast is één referentiedatalogger geplaatst midden in een extensief beheerd bloemrijk grasland in het Kraaienbos. De meetgegevens van deze referentiedatalogger kunnen inzicht geven of de rupsenlocaties van de argusvlinder verschillen van een random locatie in een bloemrijk grasland. Naast de metingen in het vrije veld zijn ook metingen verricht tijdens een herplaatsingsexperiment. Op twee locaties in Wageningen zijn rupsen van de argusvlinder uitgezet. Deze locaties bevinden zich in een voormalig verspreidingsgebied van de argusvlinder en zijn geselecteerd op hun ogenschijnlijke geschiktheid voor voortplanting van de argusvlinder. Op deze locaties zijn ook metingen aan het microklimaat verricht. De argusvlinderrupsen voor dit experiment zijn buiten in kooien gekweekt. Later, tijdens de ei-fase en gedeeltelijk tijdens de eerste twee dagen van het rupsenstadium, zijn de rupsen binnen gehouden bij een temperatuur van twintig graden Celsius. Daarna zijn de rupsen op de twee experimentlocaties uitgezet. Verder is een controle voor deze proef uitgevoerd, deze controle stond in een gesloten omgeving nabij het kantoor van De Vlinderstichting. Dit wil zeggen dat de rupsen niet van deze locatie naar een andere locatie konden migreren. De rupsen in de controle zijn een week langer binnengehouden in vergelijking met de rupsen van de twee experimentlocaties. De verschillende meetlocaties staan weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Meetlocaties waar metingen zijn verricht aan het microklimaat in het vrije veld en tijdens het herplaatsingsexperiment. Daarnaast is voor iedere locatie een afkorting gegeven die gebruikt wordt in de rapportage.

Meetlocaties vrije veld	Afkorting
Alblasserwaard – Kraaienbos	KB_2
Alblasserwaard – Kraaienbos referentie	KB_ref
Krimpenerwaard – begraafplaats 1.	Kr_bgp1
Krimpenerwaard – begraafplaats 2.	Kr_bgp2
Krimpenerwaard – begraafplaats 3.	Kr_bgp3
Krimpenerwaard – begraafplaats 4.	Kr_bgp4
Krimpenerwaard – Stenenconstructie	Kr_st
Krimpenerwaard – Walletje	Kr_wal
Meetlocaties experiment	Afkorting
Wageningen – Alterratuin	Wa_Alt
Wageningen – Controlelocatie	Wa_Con
Wageningen - Onderlangs c.	Wa_Oc

Naast metingen aan het microklimaat zijn ook biologische gegevens gemeten met betrekking tot de aanwezigheid en ontwikkeling van de argusvlinderrupsen. Eens in de één of twee weken zijn deze metingen per meetlocatie in het herplaatsingsexperiment verricht. Hiervoor werd een gestandaardiseerde zoekmethode met een zoektijd van vijf minuten gehanteerd. Bij deze metingen zijn het aantal aanwezige eitjes, het aantal aanwezige rupsen, de hoogte van de rups in het maaiveld, sprietlengte en rups lengte gemeten.

In deze analyse worden verder meetgegevens gebruikt van de dagelijkse luchttemperatuur in Nederland. De gemiddelde-, maximale-, en minimale dagtemperatuur worden hierbij meegenomen. Naast temperatuur worden ook meetgegevens van het dagelijkse aantal zonuren en de dagelijkse hoeveelheid neerslag in mm meegenomen. Deze data zijn verkregen van het KNMI-meetstation in De Bilt en het KNMI-meetstation in Cabauw (<http://www.knmi.nl>). Voor deze meetstations is gekozen aangezien deze nabij de meetlocaties van dit onderzoek gelegen zijn.

2.2 Data-analyse

In deze paragraaf staat beschreven welke methodes gehanteerd zijn bij het onderzoeken van de dataset. Verder wordt ingegaan op welke statistische toetsen tijdens dit proces zijn uitgevoerd.

Bewerken dataset

Aangezien de data verkregen door de dataloggers niet direct bruikbaar waren zijn deze eerst bewerkt. Bij verschillende dataloggers zijn luchtvochtigheidspercentages boven de 100% gemeten. Aangezien een luchtvochtigheidspercentage boven de 100% niet mogelijk is zijn deze waardes gecorrigeerd naar 100%. Verder waren op een aantal meetlocaties van sommige dagen geen of incomplete meetgegevens beschikbaar van zowel temperatuur als luchtvochtigheid. Deze ontbrekende meetgegevens zijn bij geschat met behulp van de Expectation-Maximisation methode in IBM SPSS. Voor het bij schatten van de data zijn de meetgegevens van het microklimaat uitgezet tegen metingen aan de luchttemperatuur door een nabijgelegen KNMI-metstation. Voor de data gemeten in Alblasserwaard en Krimpenerwaard zijn meetgegevens van het KNMI-metstation in Cabauw gebruikt. Voor de data gemeten in Wageningen zijn meetgegevens van KNMI-metstation de Bilt gebruikt. Voor zowel de gemiddelde dagtemperatuur als luchtvochtigheid zijn de gemiddelde dagtemperaturen van de KNMI-metstations gebruikt. De maximale- en minimale dagtemperatuur zijn bij geschat met behulp van de maximale- en minimale dagtemperatuur gemeten door de nabijgelegen KNMI-metstations.

Weerextremen definitie

Naast temperatuur en luchtvochtigheid wordt tijdens dit onderzoek ook de invloed van twee typen weerextremen op de argusvlinderrupsen onderzocht, namelijk hitte en late vorst. WallisDeVries et al. (2011) onderzochten het effect van onder andere hitte en late vorst op verscheidende vlindersoorten. In dit onderzoek werd hitte gedefinieerd als dagen met een maximumtemperatuur $>30^{\circ}\text{C}$ en late vorst werd gedefinieerd als dagen na 15 maart met een minimumtemperatuur $<0,0^{\circ}\text{C}$. Aangezien bij WallisDeVries et al. (2011) de luchttemperatuur werd gebruikt in plaats van de temperatuur van het microklimaat worden deze definities niet letterlijk overgenomen maar als indicaties gebruikt.

Om te onderzoeken wat het verschil is tussen de temperatuur van het microklimaat en de luchttemperatuur is een steekproef uitgevoerd. Voor deze steekproef zijn 10% van de dagen tussen 13-11-2014 en 08-05-2015 geselecteerd, hiervoor is de RAND/ASELECT () functie van MSExcel 2016 gebruikt. Dit resulteerde in 21 dagen waar de dagelijkse maximale luchttemperatuur (gemeten in Cabauw) werden vergeleken met de maximale temperatuur van het microklimaat van drie meetlocaties (Kr_bgp 1, Kr_bgp 3, en Kr_st). Hieruit bleek dat de gemiddelde dagelijkse maximumtemperatuur in het microklimaat $5,51^{\circ}\text{C}$ hoger is dan de dagelijkse maximale luchttemperatuur gemeten op KNMI-metstations. Vanwege dit resultaat wordt hitte tijdens dit onderzoek gedefinieerd als dagen met een maximumtemperatuur $>35,5^{\circ}\text{C}$.

Tijdens dit onderzoek wordt late vorst gedefinieerd als dagen na 15 maart met een minimumtemperatuur $<0,0^{\circ}\text{C}$ in navolging van Dennis (1993) en WallisDeVries et al. (2011).

Meetlocaties vrije veld

De meetlocaties van de rupsenlocaties in het vrije veld zijn individueel en gezamenlijk vergeleken met de meetgegevens van de referentie datalogger. De meetgegevens zijn vergeleken op het gebied van gemiddelde-, minimale- en maximale dagtemperatuur. Verder zijn de metingen aan luchtvochtigheid van de verschillende meetlocaties met elkaar vergeleken. Metingen van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015 zijn gebruikt. Voor alle dataloggers zijn de temperatuur en luchtvochtigheid van 28-02-2015 tot en met 18-03-2015 bij geschat, van deze dagen waren geen of incomplete meetgegevens beschikbaar. Datalogger KB_2 is bij deze analyses buiten beschouwing gebleven aangezien onvoldoende metingen op deze locatie waren verricht.

De one-way ANOVA test is gebruikt om de verschillen in temperatuur en luchtvochtigheid te testen op significantie. Om de one-way ANOVA test uit te kunnen voeren moeten in ieder geval de residuen van de data normaal verdeeld zijn. De normaalverdeling van de data is onderzocht met behulp van de shapiro-Wilk test en de zogenaamde 'qq-plot' (BIJLAGE I). Wanneer significante verschillen tussen verschillende dataloggers aanwezig waren, is een Tukey post-hoc test uitgevoerd om te identificeren tussen welke individuele dataloggers een significant verschil aanwezig was.

Verder is voor de gemiddelde dagtemperatuur ook het moment waarin het verschil wordt gemaakt tussen de temperatuur in van de rupsenlocaties en de temperatuur van de referentielocaties onderzocht. Hierbij zijn de dagen gelabeld met de betreffende maand, deze maanden zijn behandeld als ordinale data. Eerst is de normaalverdeling van de data is onderzocht met behulp van de shapiro-Wilk test en de zogenaamde 'qq-plot' (BIJLAGE I). Daarna is een one-way ANOVA test uitgevoerd om te onderzoeken of significante verschillen tussen de verschillende maanden aanwezig waren. Een Tukey post-hoc test is uitgevoerd om te identificeren tussen welke maanden een significant verschil aanwezig was.

De temperatuursom (Tsom) is gebruikt om het verschil in temperatuur tussen de verschillende dataloggers te visualiseren. Normaliter wordt de Tsom allen met positieve waarden (boven nul) berekend, hier is van afgeweken. De statistische toetsen zijn uitgevoerd met dagtemperaturen, deze waren soms onder nul. Doordat de Tsom ook kan dalen is deze nu representatief voor de data gebruikt in de statistische toetsen.

Aanwezigheid rupsen

De invloed van verschillende klimaatfactoren op de aanwezigheid van rupsen is onderzocht met behulp van Generalized Linear Models (GLM's), type III sum of squares. Temperatuur, luchtvochtigheid, neerslag, hitte, late vorst zijn de klimaatfactoren die zijn getoetst. Voor neerslag zijn de meetgegevens van het KNMI-meetstation de Bilt gebruikt. Verder is de factor tijd in maanden meegenomen. Temperatuur, luchtvochtigheid en neerslag zijn op schaalniveau benaderd en voor allen geldt dat het gemiddelde tussen twee opeenvolgende meetmomenten (momenten waarop metingen aan de rupsen zijn verricht) is genomen. Daarnaast is ook de maximale dagelijkse neerslag tussen twee meetmomenten onderzocht. De weerextremen hitte en late vorst zijn op nominaal niveau benaderd (0 = geen weerextreem, 1 = weerextreem). De factor tijd in maanden is behandeld als ordinale data.

Twee verschillende afhankelijke variabele zijn getest in de GLM's, namelijk het aantal aanwezige rupsen en de afname van het aantal rupsen tussen twee opeenvolgende meetmomenten. Voor beide waardes geldt dat wanneer meer rupsen op een meetmoment geteld werden dan het voorgaande meetmoment, ervan uitgegaan is dat tijdens het voorgaande meetmoment de rupsen weldegelijk aanwezig waren maar niet geteld. Migratie is dus uitgesloten. Beide afhankelijk variabele zijn op schaalniveau benaderd.

GLM's zijn uitgevoerd voor de experimentlocaties Wa_Con, Wa_Alt en Wa_Oc. Voor de 'vrije veld' locaties zijn geen GLM's uitgevoerd. Om de resultaten van de GLM's in perspectief te kunnen plaatsen is de temperatuur van de experimentlocaties vergeleken met de temperatuur van Kr_bgp4. Er is gekozen om de experimentlocaties te vergelijken met datalogger Kr_bgp4 aangezien dit bewezen een geschikte rupsenlocatie is. Dat wil zeggen dat een rups hier succesvol de observatieperiode heeft doorgebracht (ongepubliceerde data). Metingen van 13-11-2014 tot en met 16-1-2015 zijn bij de vergelijking gebruikt aangezien van alle vier de locaties meetgegevens van deze periode beschikbaar waren. Een one-way ANOVA test en een Tukey post-hoc test zijn uitgevoerd om te onderzoeken hoe de temperaturen van de experimentlocaties zich verhouden tegen de temperatuur van een succesvolle rupsenlocatie in het 'vrije veld' (Kr_bgp4).

Analyse weerextremen

Onvoldoende weerextremen zijn waargenomen om een Independent Samples T-test uit te voeren. De resultaten zijn anekdotisch beschreven in het resultaten hoofdstuk. Wel zijn de geobserveerde weerextremen meegenomen in de GLM's om de relatie tussen weerextremen en de aanwezigheid van rupsen te onderzoeken.

3. Resultaten

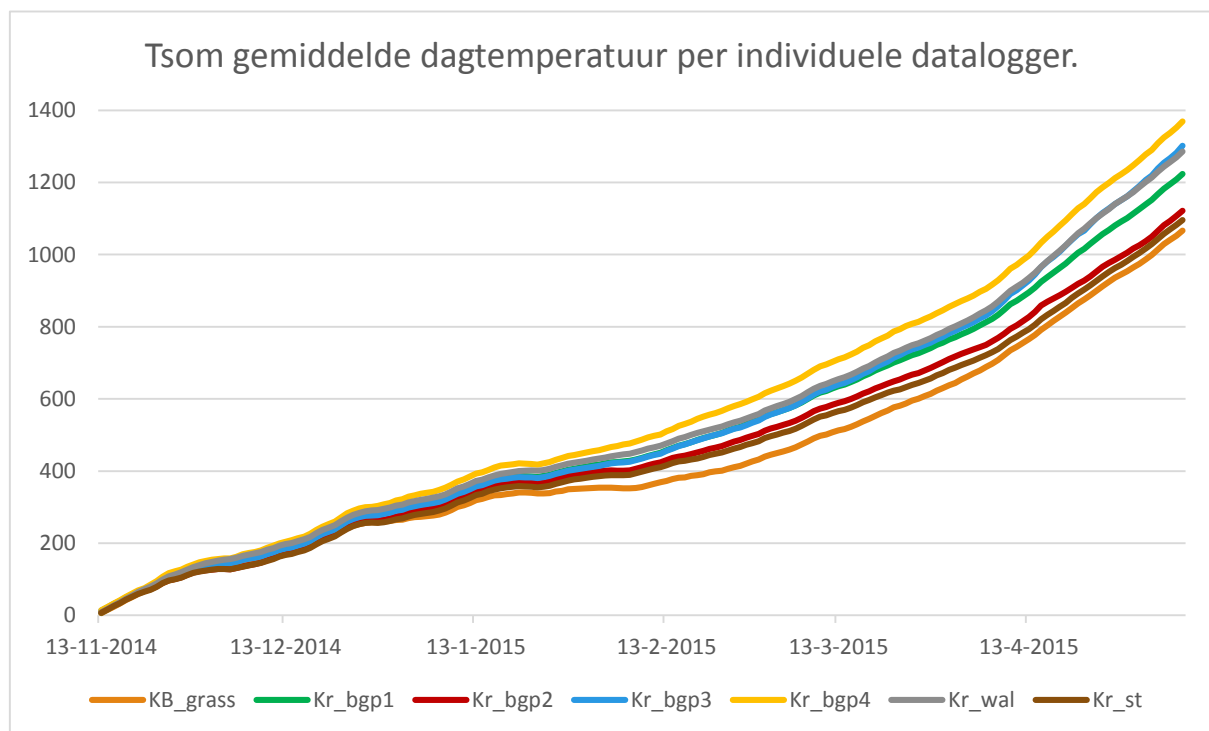
In dit hoofdstuk worden de resultaten van dit onderzoek uitgelicht. Eerst worden de resultaten van de metingen aan de temperatuur en luchtvochtigheid gegeven. Daarna worden de resultaten met betrekking tot de aanwezigheid van de argusvlinderrupsen beschreven. Als laatst worden de resultaten omtrent de weerextremen toegelicht.

3.1 Typering microklimaat

In deze paragraaf worden de temperatuur en luchtvochtigheid, gemeten door dataloggers in het vrije veld, met elkaar vergeleken. Expliciet wordt gekeken naar de verschillen tussen de rupsenlocaties en de referentie datalogger (KB_grass). Metingen van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015 zijn gebruikt. Voor alle dataloggers zijn de temperatuur en luchtvochtigheid van 28-02-2015 tot en met 18-03-2015 bij geschat, van deze dagen waren geen of incomplete meetgegevens beschikbaar. Datalogger KB_2 is bij deze analyse buiten beschouwing gebleven aangezien onvoldoende metingen op deze locatie waren verricht. Verschillen in gemiddelde dagtemperatuur, maximale dagtemperatuur, minimale dagtemperatuur en luchtvochtigheid zijn onderzocht.

Gemiddelde dagtemperatuur

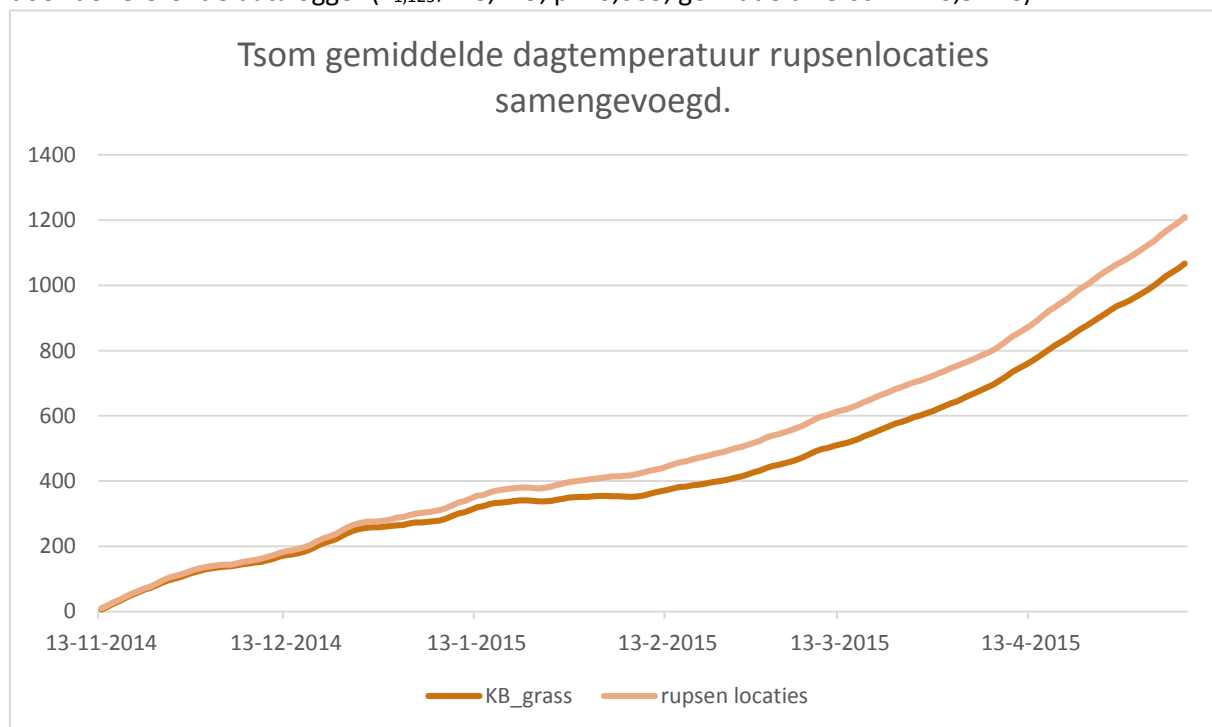
De temperatuursom (T_{som}) is gebruikt om de verschillen in de gemiddelde temperatuur te illustreren (figuur 4.). Over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015 is de hoogste gemiddelde temperatuur waargenomen bij datalogger Kr_bgp4, namelijk een temperatuursom van 1369,5°C. De laagste gemiddelde temperatuur is gemeten door de referentie datalogger (KB_grass), namelijk 1066,7 °C.



Figuur 4. Temperatuursom van de gemiddelde dagtemperaturen van de verschillende dataloggers over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

Vindplaatsen van argusvlinderupsen zijn warmer dan de referentielocatie ($F_{6,1232} = 5,058$, $p < 0,001$). Dit gold voor de locaties Kr_bgp3 ($p = 0,023$, gemiddeld verschil = $-1,33$ °C), kr_bgp4 ($p = 0,001$, gemiddeld verschil = $-1,71$ °C), en kr_wal ($p = 0,045$, gemiddeld verschil = $-1,24$ °C). Tussen de referentielocatie en de overige dataloggers is geen statistisch significant verschil in gemiddelde temperatuur gevonden. Overigens werden ook statistisch significante verschillen gevonden tussen Kr_bgp2 en Kr_bgp4 ($p = 0,013$), Kr_st en Kr_bgp3 ($p = 0,073$) en Kr_st en Kr_bgp4 ($p = 0,004$).

Daarnaast zijn de waarden van de verschillende rupsenlocaties bij elkaar genomen en gezamenlijk vergeleken met de referentie datalogger (KB_grass). Wanneer de meetgegevens van de rupsen locaties samengevoegd en gemiddeld worden, resulteert dit in een temperatuursom van $1209,1$ °C (figuur 5.). De temperaturen gemeten op de rupsenlocaties zijn significant hoger dan de temperaturen gemeten door de referentie datalogger ($F_{1,1237} = 8,719$, $p = 0,003$, gemiddeld verschil = $-0,94$ °C).



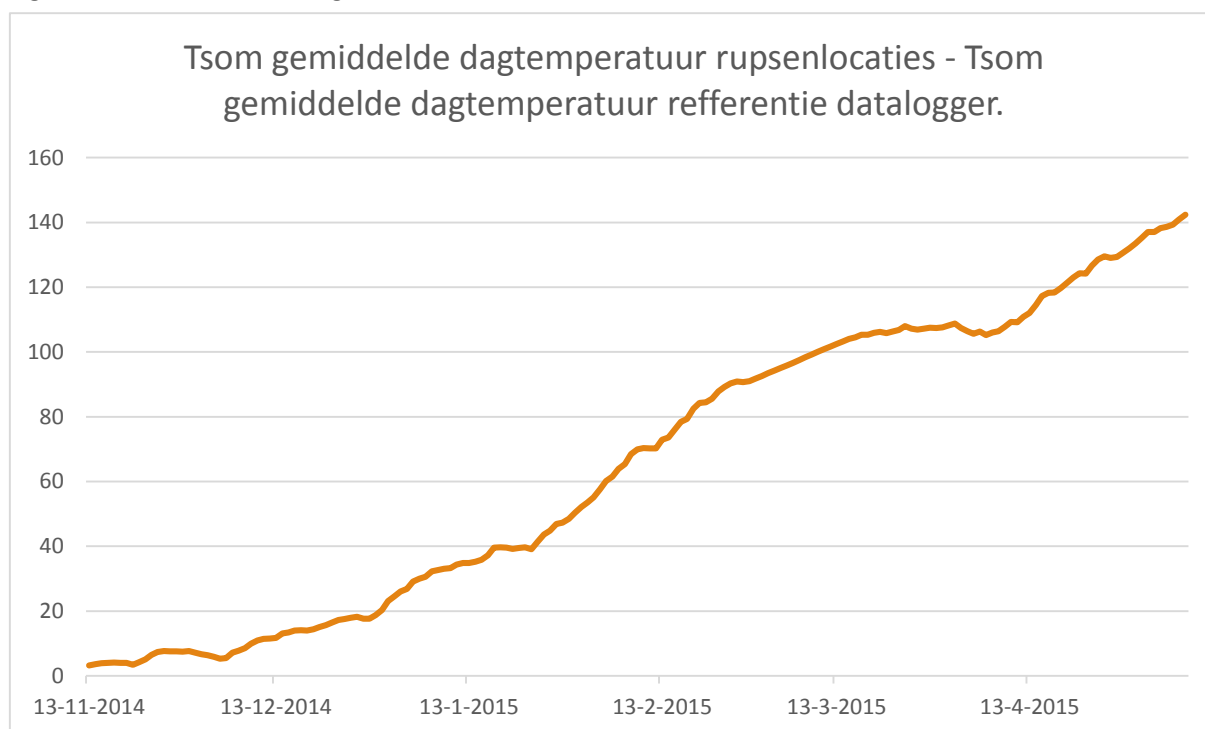
Figuur 5. Temperatuursom van de gemiddelde dagtemperaturen van de rupsenlocaties en de referentie datalogger (KB_grass) over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

Verder is het moment van deviatie tussen de gemiddelde dagtemperatuur van de referentiedatalogger en de rupsenlocaties onderzocht. Het dagelijkse temperatuurverschil tussen beide is onderverdeeld in maanden (tabel 2.). Het grootste temperatuurverschil is waargenomen in februari, namelijk een gemiddeld verschil van 1,4 °C. Het verloop van dit temperatuurverschil over tijd is gevisualiseerd in figuur 6.

Tabel 2. Gemiddelde temperatuurverschil (°C) tussen de rupsenlocaties en de referentielocatie (KB_grass) onderverdeeld in maanden. Het gemiddeld dagelijks verschil is berekend als gemiddelde dagtemperatuur rupsenlocaties min de gemiddelde dagtemperatuur van de referentie locatie.

Maand	Aantal Metingen	Gemiddeld dagelijks temperatuurverschil (°C)
November - 2014	18	0,4
December - 2014	31	0,5
Januari - 2015	31	0,9
Februari – 2015	28	1,4
Maart – 2015	31	0,5
April – 2015	30	0,8
Mei – 2015	8	1,1

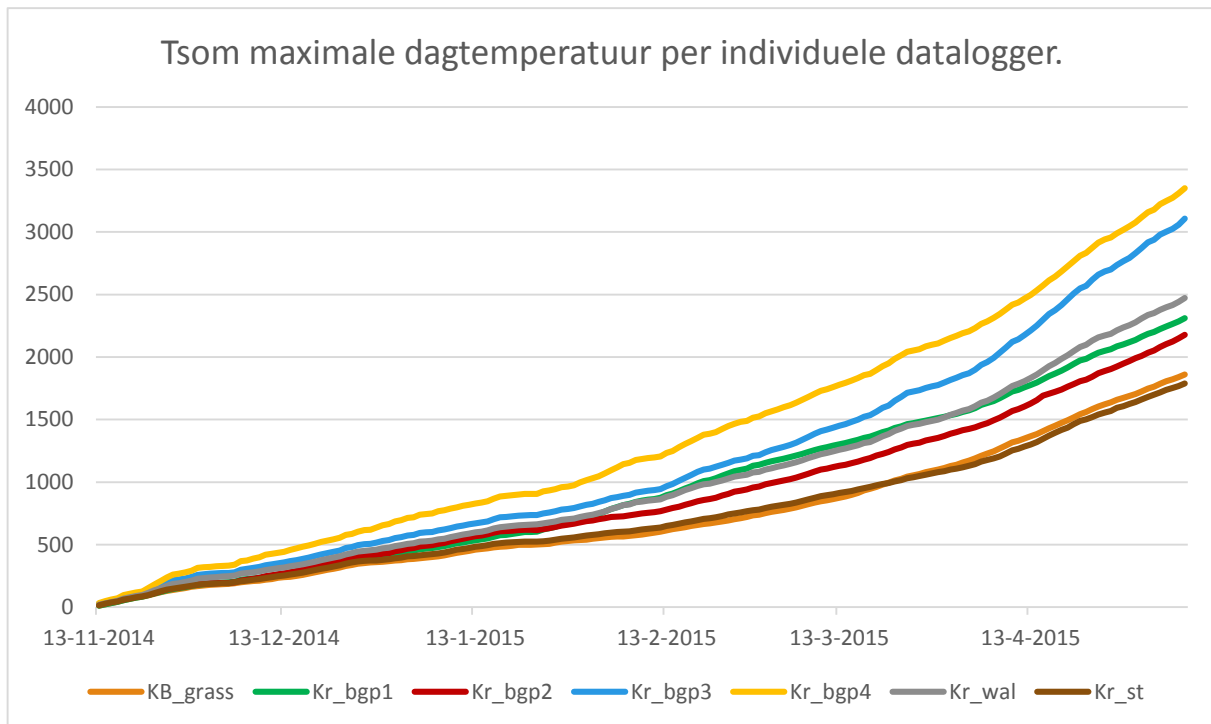
Het gemiddelde dagelijkse temperatuurverschil tussen de referentielocatie en de rupsenlocaties verschilt significant tussen verschillende maanden ($F_{6,170} = 4,643$, $p < 0,001$). In februari was het temperatuurverschil tussen de referentielocatie en de rupsenlocaties significant groter dan november ($p = 0,002$), december ($p = 0,001$) en maart ($p = 0,002$). Tussen de overige maanden zijn geen significante verschillen aangetroffen.



Figuur 6. Verloop van het verschil van de temperatuursom tussen de gemiddelde dagtemperaturen van de rupsenlocaties en de gemiddelde dagtemperaturen van de referentie datalogger (KB_grass) over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

Maximale dagtemperatuur

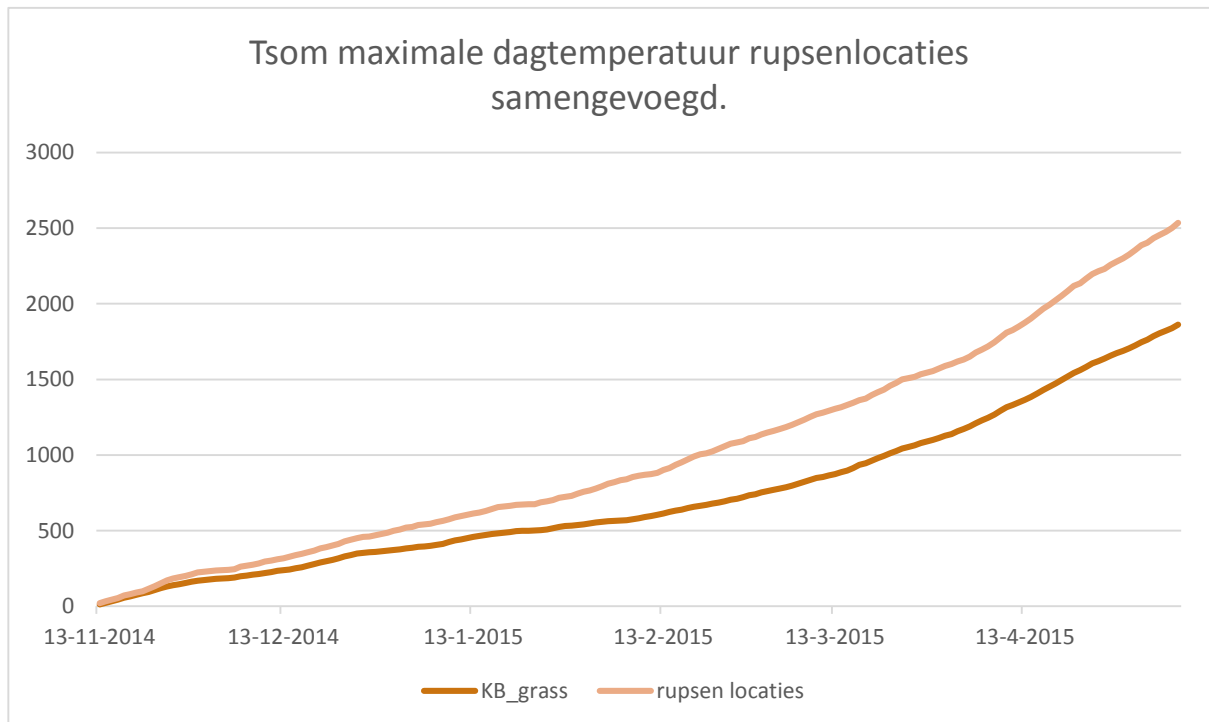
Wanneer naar de maximale dagtemperatuur wordt gekeken is bij datalogger kr_bgp4 over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015 de hoogste temperatuursom gemeten, namelijk 3349 °C (figuur 7.). De laagste maximale dagtemperaturen zijn gemeten bij datalogger Kr_st, namelijk 1790 °C. De temperatuur som van de referentiedatalogger (KB_grass) is 1861,8 °C.



Figuur 7. Temperatuursom van de maximale dagtemperaturen van de verschillende dataloggers over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

Verschillende rupsenlocaties hebben significant hogere maximale dagtemperaturen dan de referentielocatie ($F_{6,1230} = 26,317$, $p < 0,001$). Dit gold voor Kr_bgp1 ($p = 0,008$, gemiddeld verschil = -2,54 °C), Kr_bgp3 ($p < 0,001$, gemiddeld verschil = -7,04 °C), Kr_bgp4 ($p < 0,001$, gemiddeld verschil = -8,40 °C) en Kr_wal ($p < 0,001$, gemiddeld verschil = -3,45 °C). Tussen de referentiedatalogger en de overige dataloggers is geen statistisch significant verschil in maximale dagtemperatuur gevonden.

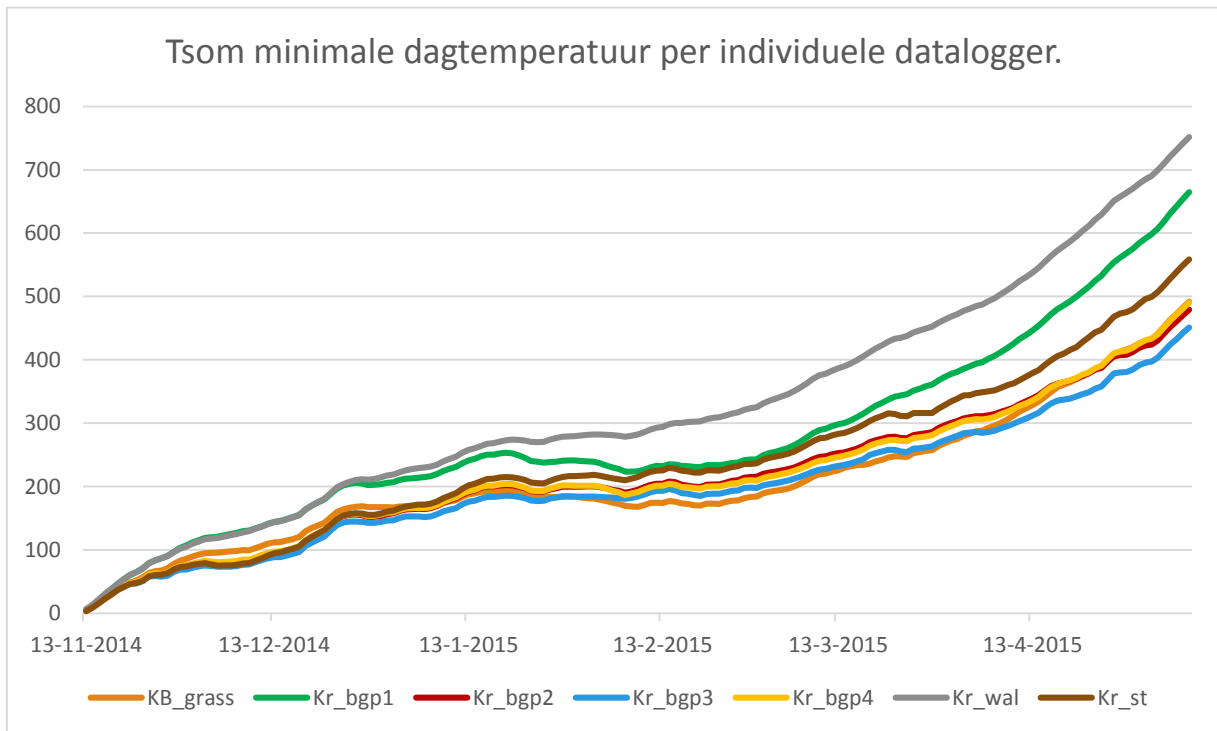
Wanneer de maximale dagtemperaturen van de rupsenlocaties samengevoegd en gemiddeld worden resulteert dit in een gemiddelde temperatuursom van 2534,8 °C (figuur 8.). De maximale dagtemperaturen van de rupsenlocaties gezamenlijk zijn significant hoger dan de maximale dagtemperaturen op de referentielocatie ($F_{1,1237} = 30,511$, $p < 0,001$, gemiddeld verschil = -3,80 °C).



Figuur 8. Temperatuursom van de maximale dagtemperaturen van de rupsenlocaties en de referentie datalogger (KB_grass) over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

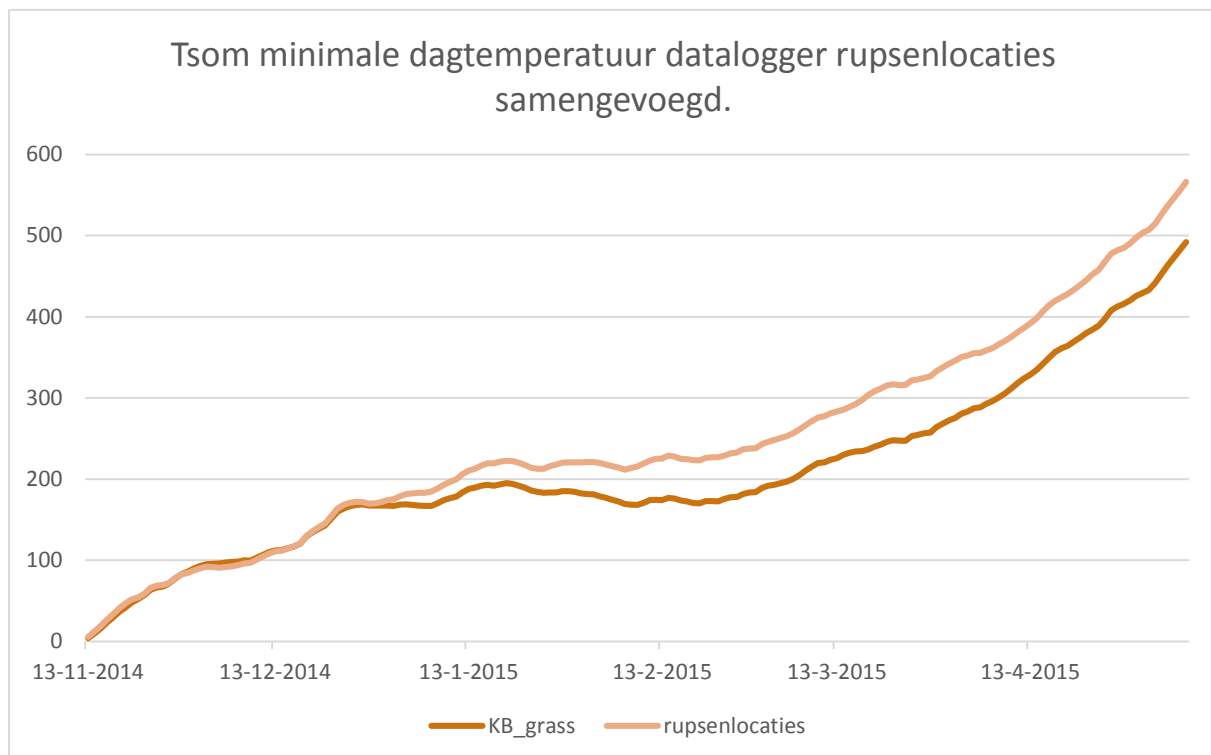
Minimale dagtemperatuur

Wat minimale dagtemperatuur betreft is de hoogste temperaturen gemeten bij Kr_wal, namelijk 751,8 °C. De laagste temperatuursom van de minimale dagtemperaturen is gemeten bij Kr_bgp3, namelijk 451,2 °C (figuur 9.). Voor de referentie datalogger is wat betreft de minimale dagtemperatuur een temperatuursom van 491,9 °C waargenomen. Statistisch significante verschillen in minimale dagtemperatuur tussen de verschillende dataloggers zijn gevonden ($F_{6,1232} = 7,668$, $p < 0,001$) Bij de referentiedatalogger (KB_grass) waren significant lagere temperaturen gemeten als bij Kr_bgp1 ($p = 0,041$, gemiddeld verschil = -0,98 °C) en Kr_wal ($p < 0,001$, gemiddeld verschil = -1,47 °C).



Figuur 9. Temperatuursom van de minimale dagtemperaturen van de verschillende dataloggers over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

De gemeten minimale dagtemperaturen van de rupsenlocaties zijn samengevoegd en gemiddeld. De gemiddelde temperatuursom van de minimale dagtemperatuur van de dataloggers op de rupsen locaties is 566,1 °C (figuur 10.). De minimale dagtemperaturen gemeten op de rupsenlocaties zijn niet significant verschillend van dan de minimale dagtemperaturen gemeten door de datalogger op de referentie locatie ($F_{1,1237} = 2,788$, $p = 0,095$).



Figuur 10. Temperatuursom van de minimale dagtemperaturen van de rupsenlocaties en de referentie datalogger (KB_grass) over de periode van 13-11-2014 tot en met 08-05-2015.

Luchtvochtigheid

De hoogste gemiddelde luchtvochtigheid (rh%) werd gemeten door datalogger Kr_bgp1 95,5% en de laagste gemiddelde luchtvochtigheid door Kr_bgp4 83,3%. Bij de referentie datalogger (KB_grass) werd een gemiddelde luchtvochtigheid gemeten van 91,2%. Het gemiddelde luchtvochtigheidspercentage van de rupsenlocaties gezamenlijk was 91,3%.

Aangezien de data van de luchtvochtigheid niet normaal verdeeld is (ook niet na transformatie van de data) kan geen one-way ANOVA uitgevoerd worden (BIJLAGE I). Daarnaast kon ook geen Kruskal-Wallis test uitgevoerd worden aangezien de data van de referentielocatie anders verdeeld was dan de data van de rupsenlocaties (BIJLAGE I).

3.2 Aanwezigheid rupsen

Vergelijking locatie vrije veld

De rupsenlocatie Kr_bgp4 is warmer dan de experimentlocaties en significante verschillen zijn aangetroffen ($F_{3,256} = 2,698$, $p = 0,046$). De temperatuur gemeten door datalogger Kr_bgp4 was significant hoger dan de temperatuur van de controle locatie ($p = 0,049$). De gemeten dagtemperatuur op de controle locatie was gemiddeld 1,3 °C kouder. Tussen de overige twee experimentlocaties en Kr_bgp4 is geen significant verschil aangetroffen en de p-waardes waren respectievelijk $p = 0,111$ voor Wa_Alt (gemiddeld verschil 1,1°C) en $p = 0,562$ voor Wa_Wc (gemiddeld verschil 0,7°C).

Controlelocatie

De resultaten van de controle locatie staan in tabel 3. weergegeven. Voor de GLM's die zijn uitgevoerd zijn de meetgegevens van 28-8-2014 tot en met 10-04-2015 gebruikt.

Tabel 3. Metingen experiment aanwezigheid argusrupsen op de controle locatie (Wa_Con). Van links naar rechts: Datum, dag waarop is gemeten. Maand, maand waarin is gemeten (gebruikt in GLM). TG, gemiddelde dagtemperatuur vanaf het voorgaande meetmoment. RhG, gemiddelde luchtvochtigheid vanaf het voorgaande meetmoment. NG, gemiddelde dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. NX, maximale dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. Hitte, optreden weerextreem hitte vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen hitte, 1 = hitte). Late vorst, optreden weerextreem late vorst vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen late vorst, 1 = late vorst). # rupsen aanwezig, aantal rupsen aanwezig tijdens meetmoment. # afname rupsen, afname van rupsen vanaf voorgaande meetmoment.

Datum	Maand	TG (°C)	RhG (%)	NG (mm)	NX (mm)	Hitte	Late vorst	# rupsen aanwezig	# afname rupsen
28-8-2014	Augustus	17,8	93,4	1,7	1,7	0	0	12	0
5-9-2014	September	17,1	93,4	0,7	3,9	0	0	11	1
11-9-2014	September	16,3	93,8	<0,05	0,05	0	0	9	2
19-9-2014	September	19,3	80,1	0	0	1	0	9	0
25-9-2014	September	14,6	94,1	2,5	14,3	0	0	9	0
3-10-2014	Oktober	16,7	97,2	0,7	4,5	0	0	9	0
17-10-2014	Oktober	13,5	98,8	2,5	7,4	0	0	9	0
31-10-2014	Oktober	12,3	98,9	2,9	23,9	0	0	7	2
14-11-2014	November	9,4	98,1	1,4	6,9	0	0	6	1
28-11-2014	November	7,3	98,4	1,9	12,1	0	0	5	1
19-12-2014	December	3,7	97,9	3,4	18,8	0	0	5	0
16-1-2015	Januari	4,5	95,4	3,4	17,6	0	0	5	0
30-1-2015	Januari	1,4	95,0	3,5	15,0	0	0	5	0
13-2-2015	Februari	2,1	94,5	0,7	5,5	0	0	5	0
11-3-2015	Maart	5,0	89,0	2,4	20,0	0	0	5	0
2-4-2015	April	6,4	85,9	2,7	16,2	0	1	5	0
10-4-2015	April	9,9	77,8	0,2	1,9	0	1	5	0

De resultaten van de uitgevoerd GLM's met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijk variabele staan weergegeven in tabel 4. Significante effecten zijn aangetroffen voor de maanden en de gemiddelde dagtemperatuur.

Tabel 4. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor de controlelocatie met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waardes per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen en - betekent dat deze parameter wel is meegenomen in de test maar dat geen p-waarde is gevonden. De significante effecten zijn vetgedrukt weergegeven.

Gevonden p-waardes						
Maand	0,481	0,296	X	0,252	X	0,013
TG (°C)	0,330	0,459	<0,001	0,264	<0,001	X
RhG (%)	0,578	0,313	0,343	0,176	0,188	0,601
NG (mm)	0,988	X	0,392	0,994	0,635	0,337
NX (mm)	X	0,301	X	X	X	X
Hitte	0,985	0,665	0,118	X	X	0,852
Late vorst	0,945	-	0,092	X	X	-

De resultaten van de uitgevoerd GLM's met de afname van het aantal rupsen als afhankelijk variabele staan weergegeven in tabel 5. Geen significante effecten zijn aangetroffen.

Tabel 5. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor de controlelocatie met de afname van het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waardes per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen en - betekent dat deze parameter wel is meegenomen in de test maar dat geen p-waarde is gevonden.

Gevonden p-waardes						
Maand	0,844	0,944	X	0,826	X	0,953
TG (°C)	0,307	0,878	0,598	0,259	0,630	X
RhG (%)	0,703	0,784	0,302	0,612	0,087	0,685
NG (mm)	0,301	X	0,320	0,218	0,308	0,634
NX (mm)	X	0,736	X	X	X	X
Hitte	0,831	0,628	0,999	X	X	0,972
Late vorst	0,566	-	0,691	X	X	-

Alterratuin

De resultaten van de metingen in de Alterratuin (Wa_Alt) staan weergegeven in tabel 6. Voor de GLM's zijn de meetgegevens van 21-8-2014 tot en met 28-11-2014 gebruikt aangezien daarna geen rupsen meer aanwezig waren op de locatie.

Tabel 6. Metingen experiment aanwezigheid argusrupsen in de Alterratuin (Wa_Alt). Van links naar rechts: Datum, dag waarop is gemeten. Maand, maand waarin is gemeten (gebruikt in GLM). TG, gemiddelde dagtemperatuur vanaf het voorgaande meetmoment. RhG, gemiddelde luchtvochtigheid vanaf het voorgaande meetmoment. NG, gemiddelde dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. NX, maximale dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. Hitte, optreden weerextreem hitte vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen hitte, 1 = hitte). Late vorst, optreden weerextreem late vorst vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen late vorst, 1 = late vorst). # rupsen aanwezig, aantal rupsen aanwezig tijdens meetmoment. # afname rupsen, afname van rupsen vanaf voorgaande meetmoment.

Datum	Maand	TG (°C)	RhG (%)	NG (mm)	NX (mm)	Hitte	Late vorst	# rupsen aanwezig	# afname rupsen
21-8-2014	Augustus	14,5	95,0	0,05	0,05	0	0	10	0
28-8-2014	Augustus	14,5	95,0	4,4	12,5	0	0	2	8
5-9-2014	September	17,7	93,6	0,7	3,9	0	0	2	0
11-9-2014	September	16,8	89,7	<0,05	0,05	0	0	2	0
19-9-2014	September	20,6	78,4	0	0	1	0	2	0
25-9-2014	September	16,2	94,4	2,2	14,3	0	0	2	0
3-10-2014	Oktober	16,9	97,6	0,7	4,5	0	0	2	0
17-10-2014	Oktober	13,9	98,6	2,5	7,4	0	0	1	1
31-10-2014	Oktober	12,8	99,1	2,9	23,9	0	0	1	0
14-11-2014	November	9,9	99,2	1,3	6,9	0	0	1	0
28-11-2014	November	8,0	99,2	1,8	12,1	0	0	0	1
19-12-2014	December	4,0	99,9	3,4	18,8	0	0	0	0
16-1-2015	Januari	4,3	100	3,4	17,6	0	0	0	0
30-1-2015	Januari	1,4	100	3,5	15,0	0	0	0	0
13-2-2015	Februari	2,3	100	2,6	5,5	0	0	0	0
11-3-2015	Maart	5,6	98,7	2,4	20,0	0	0	0	0

De resultaten van de uitgevoerd GLM's met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijk variabele staan weergegeven in tabel 7. Significante effecten zijn aangetroffen voor de maanden en de gemiddelde neerslag.

Tabel 7. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor Alterratuin met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waardes per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen. De significante effecten zijn vetgedrukt weergegeven.

Gevonden p-waardes						
Maand	0,009	0,303	X	0,021	X	0,009
TG (°C)	0,151	0,533	0,829	0,436	0,657	X
RhG (%)	0,067	0,456	0,885	0,705	0,633	0,085
NG (mm)	0,005	X	0,380	0,015	0,314	0,005
NX (mm)	X	0,228	X	X	X	X
Hitte	0,070	0,452	0,645	X	X	0,131

De resultaten van de uitgevoerde GLM's met de afname van het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele staan weergegeven in tabel 8. Significante effecten zijn aangetroffen voor de gemiddelde neerslag.

Tabel 8. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor Alterratin met de afname van het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waarden per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen. De significante effecten zijn vetgedrukt weergegeven.

Gevonden p-waarden						
Maand	0,059	0,402	X	0,185	X	0,147
TG (°C)	0,102	0,541	0,657	0,333	0,946	X
RhG (%)	0,072	0,519	0,204	0,877	0,373	0,119
NG (mm)	0,006	X	0,013	0,020	0,013	0,011
NX (mm)	X	0,299	X	X	X	X
Hitte	0,066	0,500	0,323	X	X	0,170

Wageningen onderlangs c.

De resultaten van de metingen van de datalogger van Wageningen onderlangs c. (Wa_Oc) staan weergegeven in tabel 9. Voor de GLM's die zijn uitgevoerd zijn de meetgegevens van 21-8-2014 tot en met 19-12-2014 gebruikt aangezien daarna geen rupsen meer aanwezig waren op de locatie.

Tabel 9. Metingen experiment aanwezigheid argusrupsen Wageningen onderlangs c. (Wa_Oc). Van links naar rechts: Datum, dag waarop is gemeten. Maand, maand waarin is gemeten (gebruikt in GLM). TG, gemiddelde dagtemperatuur vanaf het voorgaande meetmoment. RhG, gemiddelde luchtvochtigheid vanaf het voorgaande meetmoment. NG, gemiddelde dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. NX, maximale dagelijkse neerslag vanaf het voorgaande meetmoment. Hitte, optreden weerextreem hitte vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen hitte, 1 = hitte). Late vorst, optreden weerextreem late vorst vanaf voorgaande meetmoment (0 = geen late vorst, 1 = late vorst). # rupsen aanwezig, aantal rupsen aanwezig tijdens meetmoment. # afname rupsen, afname van rupsen vanaf voorgaande meetmoment.

Datum	Maand	TG (°C)	RhG (%)	NG (mm)	NX (mm)	Hitte	Late vorst	# rupsen aanwezig	# afname rupsen
21-8-2014	Augustus	14,0	96,7	0,05	0,05	0	0	5	0
28-8-2014	Augustus	14,0	96,1	4,4	12,5	0	0	1	4
5-9-2014	September	16,7	96,0	0,7	3,9	0	0	1	0
11-9-2014	September	15,5	96,8	<0,05	0,05	0	0	1	0
19-9-2014	September	17,3	96,1	0	0	0	0	1	0
25-9-2014	September	14,6	96,0	2,2	14,3	0	0	1	0
3-10-2014	Oktober	16,1	96,4	0,7	4,5	0	0	1	0
17-10-2014	Oktober	14,3	96,5	2,5	7,4	0	0	1	0
31-10-2014	Oktober	13,1	94,2	2,9	23,9	0	0	1	0
14-11-2014	November	10,6	97,2	1,3	6,9	0	0	1	0
28-11-2014	November	8,2	96,8	1,8	12,1	0	0	1	0
19-12-2014	December	4,4	93,7	3,4	18,8	0	0	0	1
16-1-2015	Januari	4,9	100	3,4	17,6	0	0	0	0

De resultaten van de uitgevoerde GLM's met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijk variabele staan weergegeven in tabel 10. Significante effecten zijn aangetroffen voor de maanden en de gemiddelde dagtemperatuur.

Tabel 10. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor Wageningen onderlangs c. met het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waardes per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen. De significante effecten zijn vetgedrukt weergegeven.

Gevonden p-waardes						
Maand	0,029	0,460	X	0,110	X	X
TG (°C)	0,052	0,354	0,577	X	0,253	X
RhG (%)	0,248	0,864	0,491	0,876	X	0,240
NG (mm)	0,007	X	0,199	0,038	X	X
NX (mm)	X	0,212	X	X	X	X

De resultaten van de uitgevoerde GLM's met de afname van het aantal aanwezige rupsen als afhankelijk variabele staan weergegeven in tabel 11. Significante effecten zijn aangetroffen voor gemiddelde neerslag.

Tabel 11. Resultaten van uitgevoerde GLM's voor Wageningen onderlangs c. met de afname van het aantal aanwezige rupsen als afhankelijke variabele. Iedere verticale kolom is een individuele test en de p-waardes per test zijn gegeven. X betekent dat deze parameter niet in de test is meegenomen. De significante effecten zijn vetgedrukt weergegeven.

Gevonden p-waardes						
Maand	0,142	0,420	X	0,259	X	X
TG (°C)	0,052	0,354	0,073	X	0,878	X
RhG (%)	0,248	0,864	0,119	0,876	X	0,776
NG (mm)	0,007	X	0,005	0,038	X	X
NX (mm)	X	0,212	X	X	X	X

3.3 Weerextremen

Onvoldoende weerextremen hebben plaatsgevonden om een statistische analyse uit te voeren. Op de locatie van datalogger Wa_Alt zijn op vijf dagen temperaturen hoger dan 35,5 °C gemeten. Overigens lagen al deze dagen tussen de meetmomenten 11-09-2014 en 19-09-2014. Zowel 11-09-2014 als 19-09-2014 werd één argusvlinderrups waargenomen.

Datalogger Wa_Con heeft op twee dagen temperaturen hoger dan 35,5 °C gemeten en op vier dagen na 15 maart een minimale temperatuur lager dan 0 °C. De twee dagen dat temperaturen boven 35,5 °C gemeten zijn liggen tussen de meetmomenten 11-09-2014 en 19-09-2014. Beide meetmomenten werden acht rupsen op deze locatie waargenomen. Van de vier dagen dat late vorst gemeten is, lagen drie dagen tussen meetmoment 11-03-2015 en 02-04-2015 en één moment tussen 02-04-2015 en 10-04-2015. 11-03-2015 werden vijf rupsen waargenomen, 02-04-2015 werden drie rupsen waargenomen en 10-04-2015 werden weer vijf rupsen waargenomen.

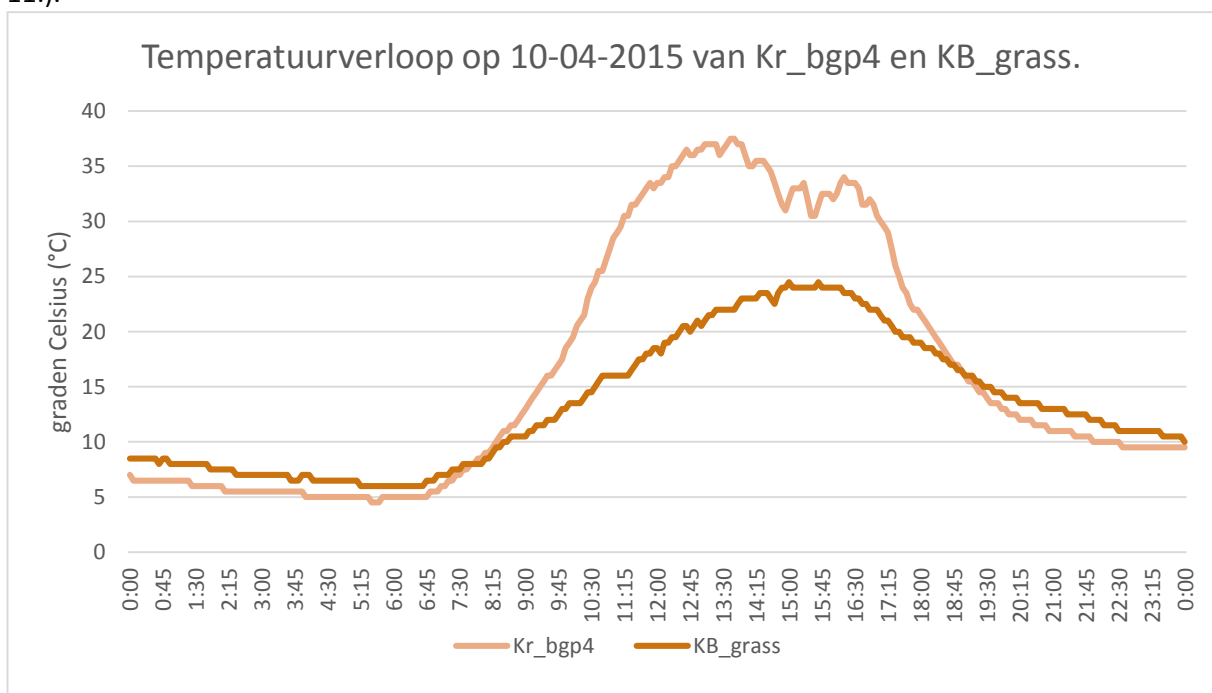
4. Discussie

In dit hoofdstuk worden de resultaten van dit onderzoek uit één gezet en in context geplaatst. Daarnaast worden de beperking van dit onderzoek beschreven.

4.1 Typering van het microklimaat

Temperatuur microklimaat

De resultaten van dit onderzoek indiceren dat argusvlinders een voorkeur vertonen voor locaties met een warmer microklimaat. De gemiddelde dagtemperaturen gemeten in het microklimaat van de rupsenlocaties waren namelijk significant hoger dan de temperaturen gemeten op de referentielocatie (gemiddeld verschil 0,94 °C). Daarnaast waren alle zes de rupsenlocaties individueel ook warmer dan de referentielocatie. Argusvlindervrouwtjes prefereren dus locaties met een warm microklimaat voor de afzet van eitjes. Deze resultaten ondersteunen de verwachting dat microklimatologische koeling de reden is voor de recente afname van de argusvlinder (WallisDeVries & Van Swaay 2006; Krech et al. 2011; Klop et al. 2015). Verder moet worden bedacht dat de referentiedatalogger in een extensief beheerd bloemrijk grasland was geplaatst. Dit is niet bepaald typisch voor hoe de meeste graslanden in Nederland er tegenwoordig bij liggen. Het werkelijke temperatuurverschil tussen een gemiddeld Nederlands grasland en rupsenlocaties van de argusvlinder is dus mogelijk zelfs groter dan geobserveerd in dit onderzoek. Ter illustratie is het temperatuurverloop op 10-04-2015 van rupsenlocatie Kr_bgp4 uitgezet tegen het temperatuurverloop van referentielocatie KB_grass (figuur 11.).



Figuur 11. Het temperatuurverloop op een warme lentedag (10-04-2015) vergeleken tussen de rupsenlocatie Kr_bgp4 en referentielocatie KB_grass.

De maximale dagtemperaturen waren hoger op de rupsenlocaties in vergelijking met de referentielocatie (gemiddeld verschil, 3,80 °C). Voor de minimale dagtemperaturen werd geen significant temperatuurverschil tussen de rupsenlocaties en de referentielocatie aangetroffen. In figuur 11. kan de verklaring voor dit resultaat worden waargenomen. Overdag warmt de temperatuur op rupsenlocatie (Kr_bgp4) sneller op en bereikt een hoger maximum, maar in de ochtend en avond zijn vergelijkbare temperaturen te observeren.

Opvallend is dat het temperatuurverschil wat betreft de gemiddelde dagtemperatuur tussen de referentielocatie en de rupsenlocaties in de maanden november en december (0,4 °C en 0,5 °C) relatief klein is en toe neemt in de maanden januari en februari (0,9 °C en 1,4 °C). In april en mei werden ook relatief grote temperatuurverschillen waargenomen (0,8 °C en 1,1 °C). In de maand februari was het verschil in temperatuur tussen de referentielocatie en de rupsenlocaties significant groter dan de maanden november, december en maart. Op basis van deze resultaten lijken argusvlinders een voorkeur te tonen voor locaties die juist gedurende de koudste periode van het jaar relatief warm blijven. De aanwezigheid van verticale structuren op rupsenlocaties verklaart mogelijk de relatief hoge temperaturen op de rupsenlocaties in februari. Verticale structuren bieden namelijk thermo regulerende voordelen in koude periodes aan argusvlinderrupsen door afkoeling door wind te verminderen en door radiatie warmte af te geven (klop et al. 2015). Een gevarieerde vegetatiestructuur met een mozaïek van open grond, dood organisch materiaal, korte vegetatie en verticale structuren lijkt dus van groot belang voor overwinterende argusvlinderrupsen.

Luchtvochtigheid

Voor luchtvochtigheid zijn geen statistische testen uitgevoerd om het verschil in luchtvochtigheid tussen de verschillende locaties te onderzoeken. Overigens betrof het gemiddelde verschil tussen de referentie locatie (91,2%) en de rupsenlocaties (91,3%) slechts 0,1%. Dit percentage is verwaarloosbaar. Deze resultaten indiceren dus dat de argusvlinder in dit geval geen specifieke voorkeur had voor locaties met een bepaald luchtvochtigheidspercentage. Overigens is het wel opvallend dat de laagste gemiddelde luchtvochtigheid is waargenomen op de enige bewezen succesvolle rupsenlocatie Kr_bgp4 (83,3%).

4.2 Aanwezigheid rupsen

Vergelijking rupsenlocatie vrije veld

De controlelocatie (Wa_Con) was wat betreft gemiddelde dagtemperatuur significant koeler dan rupsenlocatie Kr_bgp4, namelijk een verschil van 1,3 °C. Het is dus belangrijk te bedenken dat de controle locatie qua temperatuur verschilt van een succesvolle rupsenlocatie. De locaties Wa_Alt en Wa_Oc waren respectievelijk gemiddeld 1,1 °C en 0,7 °C koeler dan rupsenlocatie Kr_bgp4. Overigens waren dit geen significante verschillen.

Invloed klimaatfactoren

Wanneer de factor tijd (in maanden) buiten beschouwing bleef werd op de controle locatie (Wa_Con) een significant effect aangetroffen tussen de gemiddelde dagtemperatuur en het aantal aanwezige rupsen. Overigens lijkt geen sprake te zijn van een oorzakelijk verband. Wanneer naar de resultaten in tabel 3. wordt gekeken is te zien dat het aantal rupsen al afneemt voor dat de gemiddelde dagtemperatuur begint te dalen. Het aantal rupsen is dus al laag wanneer de temperatuur begint te dalen. Wanneer specifiek wordt gekeken naar de afname van het aantal rupsen, wordt het effect van temperatuur op het aantal rupsen dan ook niet aangetroffen ($p = 0,598$). Verder is het effect van temperatuur op (de afname van) het aantal aanwezige rupsen niet gevonden op de locaties Wa_Alt en Wa_Oc. Dit komt overeen met de resultaten van puls et al. (2013) die op basis van veldexperimenten geen effect van temperatuur op de overleving van de argusrupsen vonden. Wel werd in dit onderzoek aangetoond dat temperatuur van invloed is op de ontwikkelingssnelheid van de argusvlinderrupsen.

Voor de locaties Wa_Alt en Wa_Oc geldt dat kort na het uitzetten van de rupsen een sterke daling in het aantal aanwezige rupsen is waargenomen. Bij Wa_Alt daalde het aantal aanwezige rupsen in de eerste week (21-08-2014 tot en met 28-08-2014) van tien naar twee, een afname van 80%. Bij Wa_Oc werd ook een afname van 80% geobserveerd in deze periode, namelijk van vijf rupsen naar één rups.

Voor beide locaties is een significant effect gevonden tussen gemiddelde dagelijkse neerslag en de afname van het aantal rupsen. Dit verband wordt veroorzaakt door de hoge neerslag (mm) in de periode van 21-08-2014 tot en met 28-08-2014. Overigens lijkt hoge neerslag in latere rupsenstadia minder effect te hebben. Daarnaast is het opvallend dat het verband tussen neerslag en de afname van het aantal rupsen niet aangetroffen is wanneer maximale neerslag gebruikt wordt. Dit kan worden verklaard door momenten van hevige regenval waar geen afname van het aantal rupsen is waargenomen. Verder is het effect van neerslag op de afname van het aantal rupsen niet gevonden op de controlelocatie (Wa_Con). Overigens duurde het langer voordat de rupsen op de controlelocatie aan hevige regenval werden blootgesteld aangezien deze een week later zijn uitgezet. Verder werd in een onderzoek van WallisDeVries et al. (2011) op basis van monitoringsdata geen effect van hevige regenval (dagen met >20 mm neerslag) op argusvlinders in het larve stadium aangetroffen. Overigens werd in dit onderzoek geen onderscheid gemaakt tussen verschillende ontwikkelingsstadia van de rups. De resultaten van dit onderzoek doen vermoeden dat neerslag in het vroege ontwikkelingsstadium van de argusvlinderrups (de eerste week) een sterk negatief effect sorteert op de overlevingskans. Maar dat in latere ontwikkelingsstadia het effect van neerslag op de argusrupsen afneemt.

Verder zijn voor luchtvochtigheid en de weerextremen hitte en late vorst geen significante effecten aangetroffen met de aanwezigheid/afname van het aantal rupsen.

Weerextremen

Er zijn geen significante effecten van weerextremen op het aantal aanwezige rupsen gevonden. Het aantal rupsen daalde niet tussen 11-09-2014 en 19-09-2014 op de locaties Wa_Alt en Wa_Con, terwijl op beide locaties dagen met hitte werden gemeten (Wa_Alt vijf dagen en Wa_Con twee dagen). Verder is voor late vorst in het vroege voorjaar ook geen significant effect gevonden. Op de locatie Wa_Con daalde het aantal rupsen in de periode 11-03-2015 en 02-04-2015 niet, ondanks dat vier dagen binnen deze periode vorst werd gemeten. Dit is opvallend aangezien WallisDeVries et al. (2011) op basis van monitoringsdata concludeerde dat late vorst weldegelijk een negatief effect sorteert op de overleving van overwinterende argusvlinderrupsen.

4.3 Beperkingen onderzoek

Er zijn een aantal factoren die de resultaten enigszins beperken. Slechts één referentiedatalogger is gebruikt om de rupsenlocaties mee te vergelijken. Hierdoor is het onbekend in hoeverre de referentiedatalogger representatief is voor een random locatie in een extensief beheerd bloemrijk grasland. Meerdere referentiedataloggers hadden tot sterkere conclusies kunnen leiden.

Niet alle gewenste statistische toetsen zijn uitgevoerd. Enkele uitspraken over weerextremen en luchtvochtigheid kunnen nu niet statistisch worden onderbouwt.

Verder zijn enkele klimaatfactoren (zonuren en windsnelheid) tijdens dit onderzoek buiten beschouwing gebleven. Het is mogelijk dat deze factoren van invloed zijn op de ontwikkeling /aanwezigheid van de argusvlinderrupsen.

5. Conclusie

Rupsenlocaties van de argusvlinder hebben een warmer microklimaat dan random locaties in een extensief beheerd bloemrijk grasland. Het temperatuurverschil tussen deze locaties is het grootst in de maand februari. Overigens heeft de temperatuur van het microklimaat geen invloed op de overleving van de argusrupsen. De hypothese dat een warm microklimaat een positief effect heeft op de aanwezigheid van de rupsen van de argusvlinder, wordt dus bevestigd in de zin dat argusvlindervrouwtjes locaties met een warmmicroklimaat prefereren voor de afzet van eitjes.

De luchtvochtigheid in het microklimaat verschilt niet tussen rupsenlocaties van de argusvlinder en random locaties in een extensief beheerd bloemrijk grasland. Daarnaast heeft luchtvochtigheid ook geen effect op de overleving van argusvlinderrupsen. De hypothese dat luchtvochtigheid binnen het rupsen habitat geen aantoonbare invloed heeft op de aanwezigheid van argusvlinderrupsen wordt dus bevestigd.

Wat betreft de weerextremen is geen bewijs gevonden dat deze effect sorteren op de overleving van de argusvlinderrupsen. Voor hitte was dit verwacht en de resultaten komen overeen met de hypothese. De hypothese dat lange periodes van vorst in het voorjaar een negatief effect hebben op het voorkomen van de rupsen van de argusvlinder wordt op basis van de resultaten niet bevestigd.

Verder lijkt hevige regenval een negatief effect te hebben op de overleving van rupsen in een vroeg ontwikkelingsstadium (eerste week). In latere ontwikkelingsstadia van de rups lijkt het effect van neerslag op argusvlinderrupsen niet aanwezig te zijn. Nader onderzoek is wenselijk om uitsluitsel hierover te geven.

6. Aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek worden een aantal aanbevelingen gedaan. Allereerst wordt aanbevolen om in een mogelijk vervolgonderzoek meerdere referentiedataloggers te gebruiken. Hierdoor kan een beter beeld worden geschetst van het microklimaat van random locaties in het grasland. De vergelijking tussen de referentielocaties en de rupsenlocaties wordt dan meer betrouwbaar.

Daarnaast wordt aanbevolen om tijdens een vervolg van het herplaatsingsexperiment op verschillende momenten rupsen uit te zetten. Op deze manier kan meer inzicht worden verkregen van het effect van verschillende klimaatfactoren (met name neerslag) op de argusvlinderrupsen in verschillende ontwikkelingsstadia.

Verder is sinusbeheer een recente ontwikkeling in het maaibeheer. Deze adaptatie op gefaseerd maaibeheer is bij uitstek geschikt voor insecten en dagvlinders (Couckuyt 2015). Deze maaimethode levert een gevarieerd grasland op met veel variatie in het microklimaat. De argusvlinder is gebaat bij deze variatie en deze beheermethode lijkt daarom bij uitstek geschikt voor de argusvlinder.

Referenties

- Barkman, J.J. & Stoutjesdijk, P. (1987). *Microklimaat, vegetatie en fauna*. Wageningen: Pudoc: 115-161.
- Bink, F.A. (1992). *Ecologische atlas van de dagvlinders van Noordwest-Europa*. Schuyt & Co Uitgevers en Importeurs bv, Haarlem.
- 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. Leiden. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey – Nederland.
- Couckuyt, J. (2015). *Sinusbeheer: maai-beheer op maat van dagvlinders en insecten*. VVE WG Dagvlinders.
- Davies, Z.G. Wilson, R.J. Coles, S. & Thomas, C.D. (2006). *Changing habitat associations of a thermally constrained species, the silver-spotted skipper butterfly, in response to climate warming*. Journal of Animal Ecology 75: 246-256.
- De Ruiter, J.F. Van Pul, W.A.J. Van Jaarsveld, J.A. & Buijsman, J. (2006). *Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981-2002*. Rapport 500037005, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- Dennis, R.H.L. (1993). *Butterflies and climate change*. Manchester University Press, Manchester.
- Dennis, R.H.L. & Bramley, M.J. (1985). *The influence of man and climate on dispersion patterns within a population of adult Lasiommata megera*. (L.) (Satyridae) at Brereton Heath, Cheshire (U.K.). *Nota lepidoptera* 8: 309-324.
- Ebert, G. & Rennwald, E. (1991). *Die Schmetterlinge Baden-Württembergs – Band 2: Tagfalter II*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. Pp 116-123.
- Eller, O. (2007). Mauerfuchs. *Lasiommata megera* (Linnaeus, 1767). In: Schulte, T., Eller, O., Niehuis, M. & E. Rennwald (Hrsg). *Die Tagfalter der Pfalz Band 2. Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft 37*. Landau. Pp 603-607.
- Galloway, J.N. Aber, J.D. Erisman, J.W. Seitzinger, S.P. Howarth, R.W. Cowling, E.B. & Cosby, B.J. (2003). *The Nitrogen Cascade*. BioScience 53: 341-356.
- Klop, E. Omon, B. & WallisDeVries, M.F. (2015). *Impact of nitrogen deposition on larval habitats: the case of the Wall Brown butterfly Lasiommata megera*. Journal of insect conservation, volume 18.
- Krech, P. Stuhldreher, G. & Fartmann, T. (2011). *Is the Wall brown (Lasiommata megera) an indicator for heterogeneous landscapes?* Diploma thesis, University of Münster.
- Omon, B. (2013). *The effects of spring climatic conditions on two butterfly species with contrasting population trends in the Netherlands*. MSc thesis. Wageningen University, Wageningen.
- Puls, R. Maes, D. & Bonte, D. (2013). *Wordt de grond te warm onder de poten van de Argusvlinder?* Natuurfocus. Pp. 140-144
- Reinderink, S. (1993). *Graswortels en Argusvlinders*. Vlinders 8 (4): 7.
- SBN (1987). Pro Natura – Schweizerischer Bund für Naturschutz (1987). *Tagfalter und ihre Lebensräume. Arten – Gefährdung – Schutz*. Fotorotar AG, Egg.
- Stip, A. WallisDeVries, M.F. & Omon, B. (2014). *Beschermingsplan argusvlinder*. Rapport VS2014.026. De Vlinderstichting, Wageningen.
- Stoutjesdijk, P. & Barkman, J.J. (1992) *Microclimate, vegetation and fauna*. Knivsta: Opulus Press AB, 216 p.

Van Swaay, C.A.M. Van Strien, A.J. Harpke, A. Fontaine, B. Stefanescu, C. Roy, D. Maes, D. Kühn, E. Öunap, E. Regan, E. Švitra, G. Prokofev, I. Heliölä, J. Settele, J. Pettersson, L.B. Botham, M. Musche, M. Titeux, N. Cornish, N. Leopold, P. Julliard, R. Verovnik, R. Öberg, S. Popov, S. Collins, S. Goloshchapova, S. Roth, T. Brereton, T. & Warren, M.S. (2013). *The European Grassland Butterfly Indicator 1990-2011*. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.

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

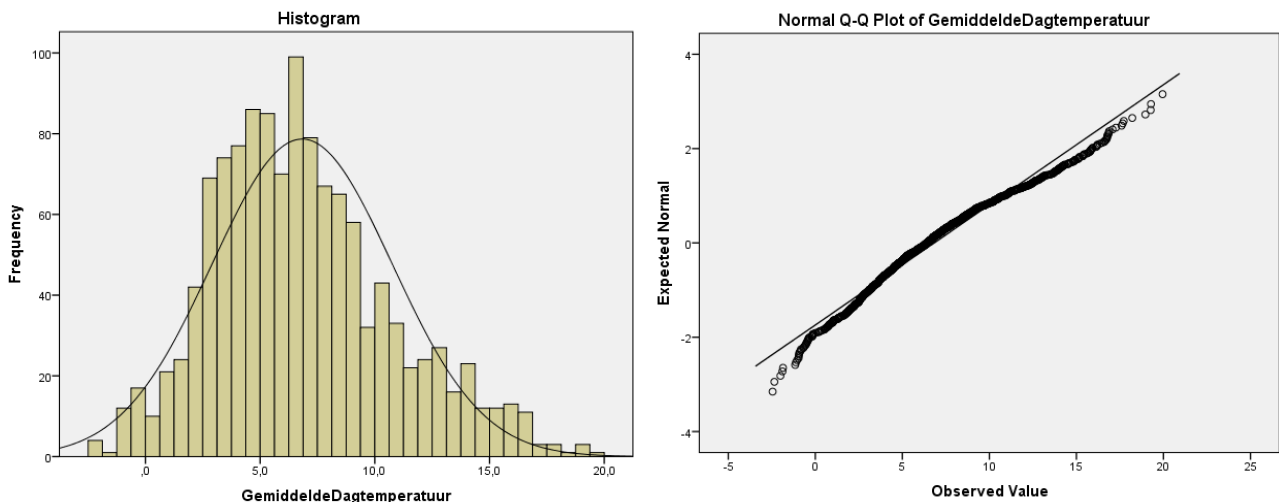
WallisDeVries, M.F. & Van Swaay, C.A.M. (2006). *Global warming and excess nitrogen may induce butterfly decline by microclimatic cooling*. *Global Change Biology* 12: 1620-1626.

BIJLAGE

BIJLAGE I. Testen normaalverdeling dataset

Gemiddelde dagtemperatuur

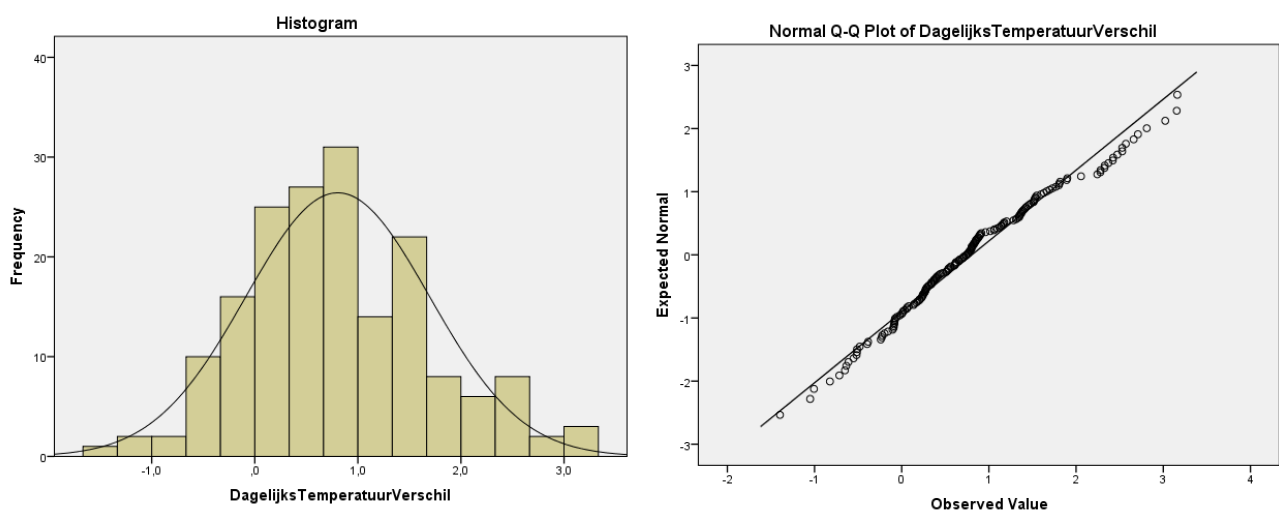
Om de normaalverdeling van de meetgegevens van de gemiddelde dagtemperatuur te toetsen is de Shapiro-Wilk toets uitgevoerd. Deze test gaf een p-waarde kleiner dan 0,05, namelijk $p = 1,2E-12$. Volgens de Shapiro-Wilk test is de data dus niet normaal verdeeld. De normaalverdeling van de dataset is gevisualiseerd in een histogram en een qq-plot (figuur 12.). In de figuur is te zien dat sprake is van een verdeling links van het midden. Overigens kan wel gesproken worden van ongeveer normaal verdeelde residuen.



Figuur 12. Histogram en qq-plot normaalverdeling data gemiddelde dagtemperatuur.

Verskil gemiddelde dagtemperatuur

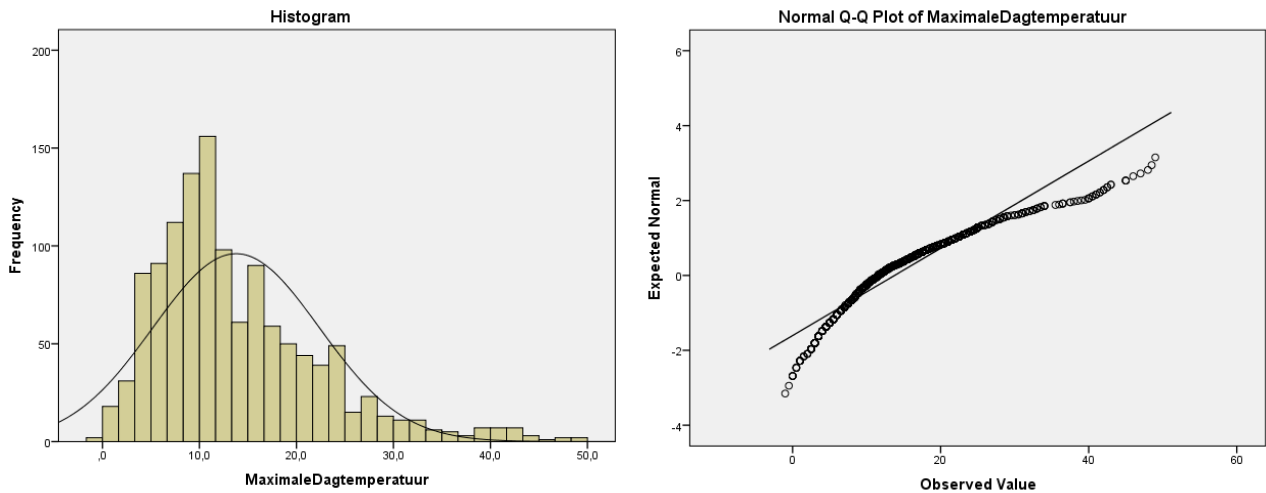
De data van het verschil in gemiddelde dagtemperatuur tussen de rupsenlocaties en de referentielocatie zijn getoetst op de normaal verdeeldheid. De Shapiro-Wilk test gaf een p-waarde kleiner dan 0,05, namelijk $p = 0,022$. Volgens de Shapiro-Wilk test is de data dus niet normaal verdeeld. Overigens is in het histogram en de qq-plot te zien dat de residuen ongeveer normaal verdeeld zijn (figuur 13.).



Figuur 13. Histogram en qq-plot normaalverdeling data verschil in gemiddelde dagtemperatuur tussen rupsenlocaties en de referentielocatie.

Maximale dagtemperatuur

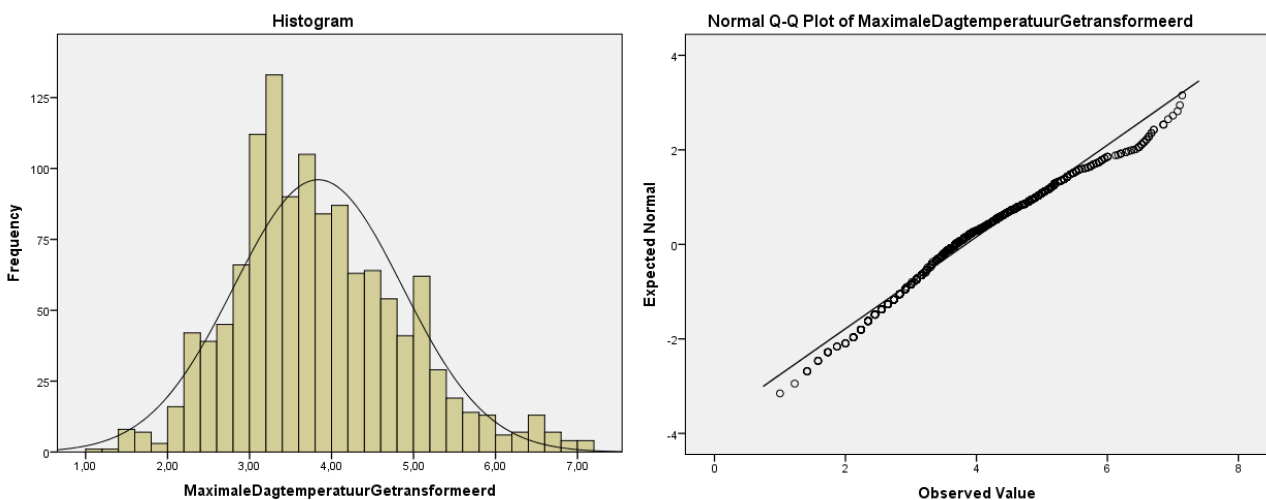
Om de normaalverdeling van de meetgegevens van de maximale dagtemperatuur te toetsen is de Shapiro-Wilk toets uitgevoerd. Deze test gaf een p-waarde kleiner dan 0,05, namelijk $p = 2,1E-26$. Volgens de Shapiro-Wilk test is de data dus niet normaal verdeeld. De normaalverdeling van de dataset is gevisualiseerd in een histogram en een qq-plot (figuur 14.). In de figuur is te zien dat sprake is van een verdeling links van het midden.



Figuur 14. Histogram en qq-plot normaalverdeling data maximale dagtemperatuur.

De data van de maximale dagtempertuur is getransformeerd om de data beter bruikbaar te maken voor een one-way ANOVA test. De volgende formule is hiervoor gehanteerd: $(x+2)^{0.5}$, hierbij geldt x als de variabele maximale dagtemperatuur. Een voorwaarde voor de macht van 0.5 (wortel) is dat er geen waarden onder de nul of tussen nul en één zijn aangezien deze anders behandeld worden. Aangezien de laagste waarde van de dataset -1,0 C was is bij de gehele dataset twee opgeteld voordat de wortel is uitgevoerd.

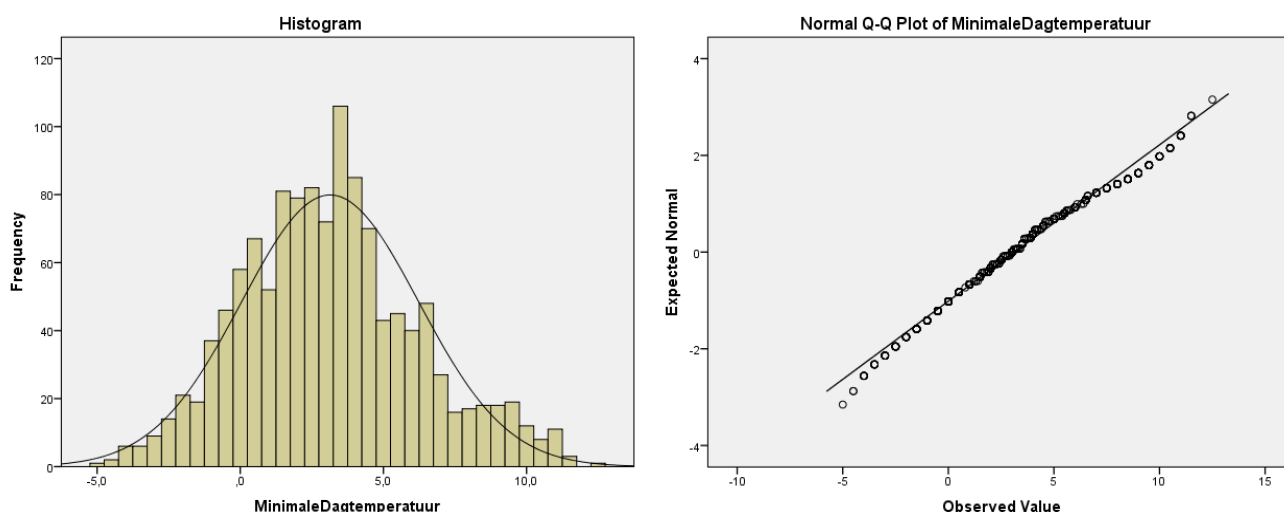
De normaalverdeling van de getransformeerde dataset van de maximale dagtemperatuur is in figuur 15. weergegeven. In het histogram en de qq-plot is te zien dat de residuen van de getransformeerde data ongeveer normaal verdeeld zijn. De Shapiro-Wilk test gaf dan ook een hogere p-waarde namelijk, $p = 7,4E-12$.



Figuur 15. Histogram en qq-plot normaalverdeling getransformeerde data maximale dagtemperatuur.

Minimale dagtemperatuur

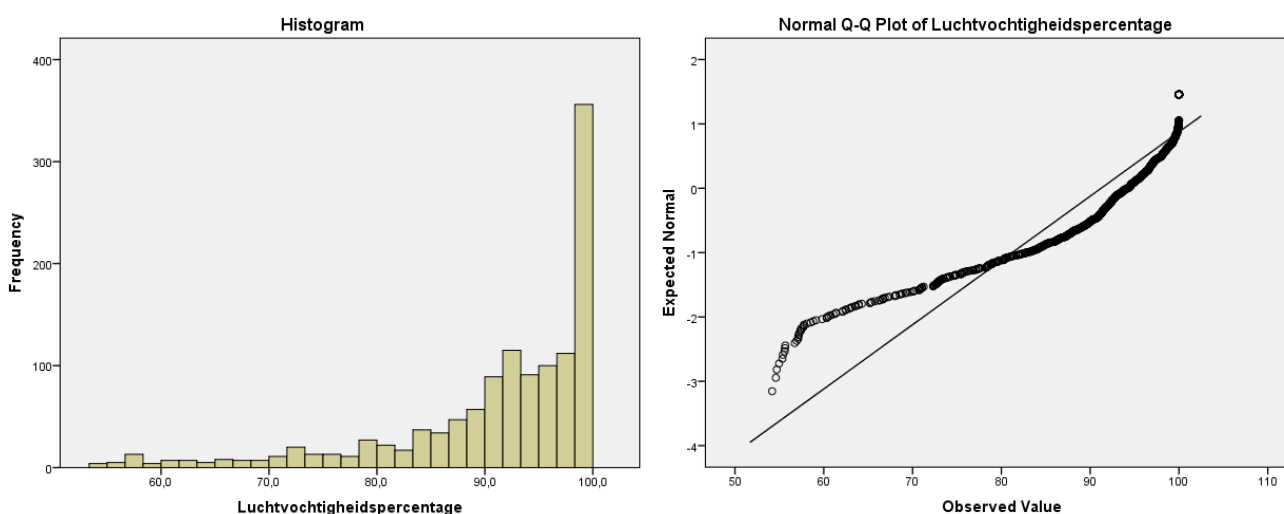
Voor de minimale dagtemperatuur gaf de Shapiro-Wilk test een waarde lager dan 0,05, namelijk $p = 2,9E-8$. Volgens de test zijn de data van de minimale dagtemperatuur dus niet normaal verdeeld. De histogram en de qq-plot van de normaalverdeling van de dataset is in figuur 16. weergegeven. In het figuur is te zien dat de residuen weldegelijk normaal verdeeld zijn.



Figuur 16. Histogram en qq-plot normaalverdeling data minimale dagtemperatuur.

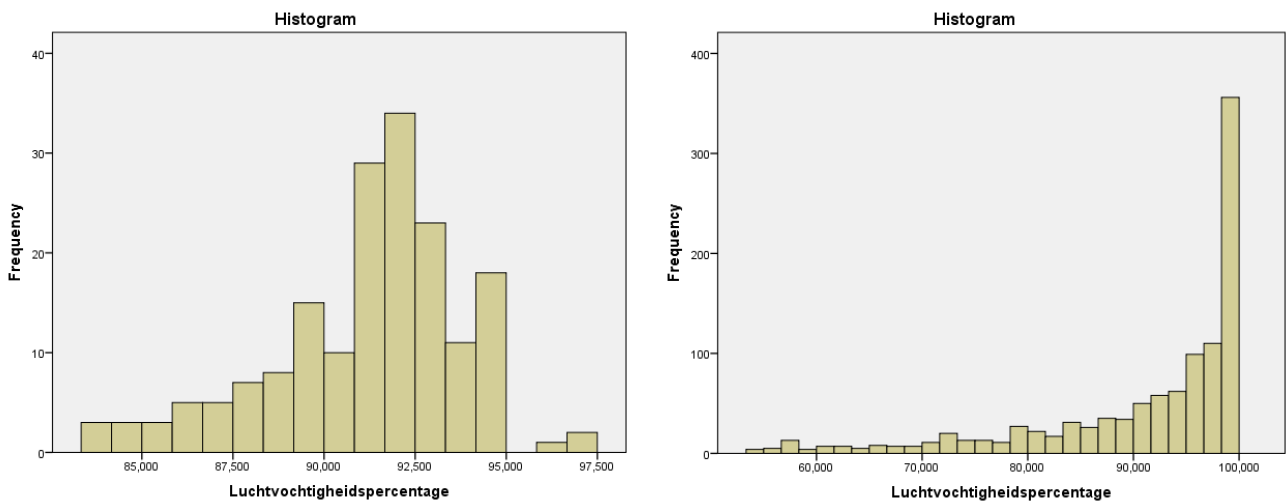
Luchtvochtigheid

De Shapiro-Wilk toets is uitgevoerd om de normaalverdeling van de meetgegevens van het luchtvochtigheidspercentage te toetsen. De test gaf een p-waarde kleiner dan 0,05, namelijk $p = 4,7E-36$. Volgens de Shapiro-Wilk test is de data dus niet normaal verdeeld. De normaalverdeling van de dataset is gevisualiseerd in een histogram en een qq-plot (figuur 17.). In de figuur is te zien dat de data inderdaad niet normaal verdeeld is en sprake is van een afwijking naar rechts.



Figuur 17. Histogram en qq-plot normaalverdeling data luchtvochtigheidspercentage.

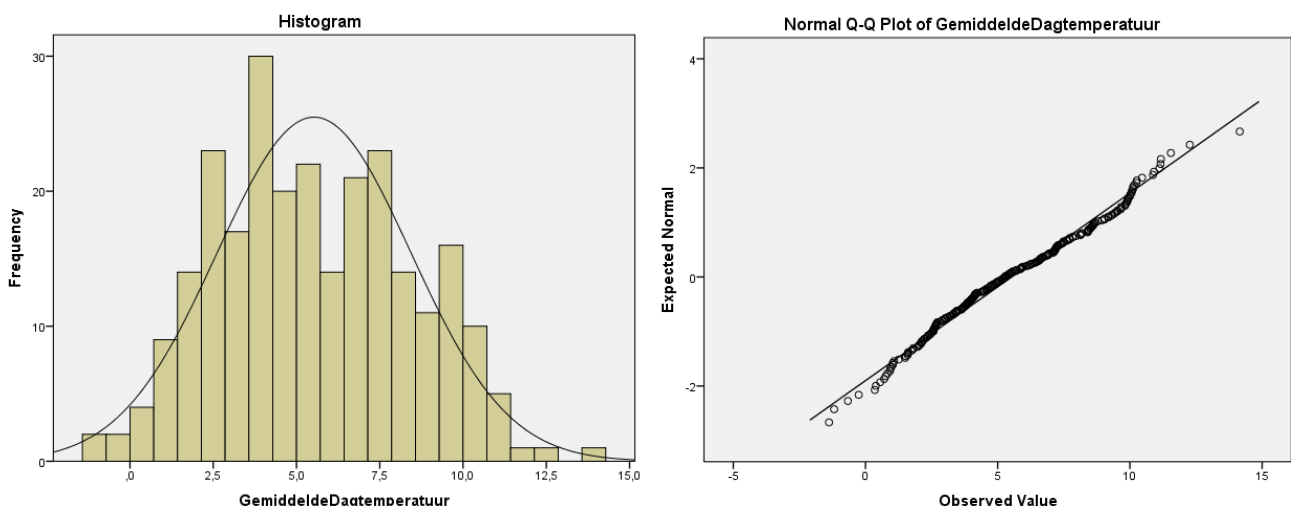
Om te onderzoeken of een Kruskal-Wallis test mogelijk is, is gekeken of de verdeling van de data van de referentielocatie ongeveer vergelijkbaar is aan de verdeling van de data van de rupsenlocaties. In figuur 18. is te zien dat geen sprake is van een vergelijkbare verdeling. Daarom is het niet mogelijk om met deze data een Kruskal-Wallis test uit te voeren.



Figuur 18. Histogrammen van de verdeling van de data van het luchtvochtigheidspercentage. Links, de data van de referentielocatie en rechts, de data van de rupsen locaties.

Experimentlocaties

Om de data van de gemiddelde dagtemperatuur van de experimentlocaties (Wa_Con, Wa_Alt en Wa_Oc) met de gemiddelde dagtemperatuur van datalogger bgp_4 te vergelijken, is de normaalverdeling van de data onderzocht. De Shapiro-Wilk test gaf een p-waarde kleiner dan 0,05, namelijk $p = 0,027$. Volgens de Shapiro-Wilk test is de data dus niet normaal verdeeld. Overigens is in het histogram en de qq-plot te zien dat de residuen wel normaal verdeeld zijn (figuur 19.).



Figuur 19. Histogram en qq-plot normaalverdeling data experimentlocaties en gegevens datalogger bgp_4.

