

Seizoensgebonden fluctuaties in de N:P ratio's in scheuten van struikhei (*Calluna vulgaris*)



Imre Schuitemaker, 2019

Seizoensgebonden fluctuaties in de N:P ratio's in scheuten van Struikhei (*Calluna vulgaris*)

DISCLAIMER

Dit rapport is gemaakt door een student van Aeres Hogeschool als onderdeel van zijn/haar opleiding. Het is géén officiële publicatie van Aeres Hogeschool. Dit rapport geeft niet de visie of mening van Aeres Hogeschool weer. Aeres Hogeschool aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade voortvloeiend uit het gebruik van de inhoud van dit rapport.

Colofon

Auteur: Imre Schuitemaker

Begeleider vanuit studie: Maaïke Cox

Opdrachtgever: Maaïke Weijters

Bedrijf: Biogeochemical Water-management & Applied Research on Ecosystems (B-WARE)

Studie: Aeres Hogeschool Almere, Toegepaste Biologie

Plaats: Nijmegen

Datum: 11 juni 2019



Voorwoord

In samenwerking met het bedrijf B-WARE is het onderzoek tot stand gekomen. Ik heb dit onderzoek gedaan in het kader van ecosysteemdegradatie door stikstofdepositie. Ik heb hiervoor ruim vier maanden stage gelopen. Daarbij zijn er een aantal personen die ik wil bedanken voor hun bijdragen aan dit onderzoek, namelijk Maaïke Weijters, Evi Verbaarschot en Maaïke Cox. Maaïke Weijters voor haar advies, feedback en goede begeleiding. Evi Verbaarschot ook voor haar begeleiding en fijne overlegmomenten. Maaïke Cox voor haar steun en feedback gedurende mijn afsluitend onderzoek. Daarnaast bedank ik graag mijn slimme en gezellige klasgenoten, aan wie ik altijd om steun en advies kon vragen gedurende mijn afstudeerjaar.

Ten slotte wil ik Eelco Petstra bedanken voor zijn feedback op mijn vooronderzoek. Deze feedback heb ik goed kunnen gebruiken voor het verbeteren van mijn uiteindelijke afstudeerwerkstuk. De inleiding, de aanpak en de bronnenlijst zijn aangepast nadat mijn vooronderzoek was goedgekeurd.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
Summary	6
H1. Inleiding.....	7
H2. Aanpak.....	10
2.1 Opbouw literatuuronderzoek	10
2.2 Verwerking van de literatuur.....	12
H3. Resultaten	13
3.1 Nutriënten verplaatsing in struikhei	13
3.2 Nutriënten fluctuaties in de heidefamilie (<i>Ericaceae</i>).....	13
3.3 Analyses van N:P ratio's uit de literatuur.....	15
H4. Discussie.....	17
H5. Conclusie en aanbeveling	20
5.1 Aanbeveling voor verder onderzoek	20
Literatuur.....	21

Samenvatting

Stikstofdepositie zorgt voor een onbalans van nutriënten in het heidesysteem. Deze onbalans is zichtbaar in een verschuiving van de N:P ratio in de struikhei (*Calluna vulgaris*). Een hoge N:P ratio van de heideplanten, leidt tot insectenafname. Heideherstel zal te pas moeten komen om deze onbalans te herstellen. Een innovatieve herstelmaatregel is het gebruik van steenmeel, waarvan de effecten van toediening nog onderzocht worden. Door hierbij jaarlijks naar de N:P ratio te kijken, kan er gekeken worden wat de invloed van het steenmeel is op de ontwikkeling van de heide. Deze metingen aan N:P ratio's gebeuren echter nog in verschillende seizoenen, terwijl er geen rekening wordt gehouden met seizoensgebonden fluctuaties in N:P ratio's. Metingen aan de N:P ratio in bijvoorbeeld het voorjaar worden tot op heden nog vergeleken met metingen in de zomer.

De seizoensgebonden fluctuatie is nog onbekend en wordt dus geen rekening mee gehouden door onderzoekers. Dit resulteert in data die niet met elkaar vergeleken kunnen worden en zo kunnen verkeerde conclusies getrokken worden. Vanuit dit probleem is de hoofdvraag '*Verschildt de N:P ratio in de scheuten van struikhei (Calluna vulgaris) tussen voorjaar, zomer en najaar metingen?*' opgesteld.

Om deze hoofdvraag te onderzoeken is een literatuurstudie gedaan om een beter inzicht te verkrijgen in de stikstof- en fosforgehaltes en N:P ratio in struikhei gedurende het groeiseizoen. Hiervoor werd eerst gekeken naar de informatie bekend over nutriëntenfluctuaties in de struikhei. Daarna werd gekeken naar seizoensgebonden fluctuaties in planten van de heidefamilie (*Ericaceae*). Als laatst werden de gevonden onderzoeken waarbij N:P ratio's waren gemeten, geanalyseerd op seizoensgebonden fluctuaties.

Uit de resultaten bleek dat het stikstof- en fosforgehalte fluctueert, deze zijn in het voorjaar namelijk hoog en nemen af gedurende het seizoen. Bij de N:P ratio is het tegenovergestelde zichtbaar, deze is in het voorjaar laag en stijgt gedurende het seizoen met 27%. Dit komt doordat het fosforgehalte gedurende het seizoen relatief meer afneemt dan het stikstofgehalte. De nutriëntengehaltes in struikhei zijn het stabielst van eind juli tot augustus, wanneer het blad van de plant volledig ontwikkeld is. De N:P ratio is in die periode ook het meest stabiel. Dus concluderend verschilt het N:P ratio tussen het voorjaar, de zomer en het najaar.

Een kanttekening aan dit onderzoek was dat er weinig literatuur beschikbaar was om de verkregen N:P ratio met betrouwbaarheid te kunnen analyseren. Het opzetten van een veld- of kasexperiment wordt aangeraden om hier meer inzicht in te krijgen.

Summary

Nitrogen deposition results in imbalance of nutrient concentrations in heathland ecosystems. This imbalance is discernible in a rise of the N:P ratio in common heather (*Calluna vulgaris*). Insect decline is a cause of this rise. Heathland recovery is important to recover this imbalance. The use of rock powder is an innovative recovery action, which is still being scrutinized. Measurements after the N:P ratios are used to gain knowledge about the effect of rock powder on the ecosystem. But these measurements are being done throughout the season without taking into consideration that the N:P ratio could fluctuate during the season. To this day researchers compare for example N:P ratios measured in the spring, with N:P ratios measured in the summer.

The seasonal fluctuation in N:P ratio in common heather is still unknown. This results in data that cannot be compared with each other and thus wrong conclusion could be drawn. This problem resulted in the main question ‘Does the N:P ratio in the shoots of common heather (*Calluna vulgaris*) differ between spring, summer and autumn?’.

To answer this question a literature study has been carried out. First the literature on nutrient fluctuations in common heather was reviewed. Then literature about the heather family (*Ericaceae*) was used to review information about seasonal fluctuations. And at last, literature with N:P measurements were analysed to look for seasonal fluctuations.

The results showed a fluctuation in the nitrogen and phosphate concentration during the growing season. The concentration were high in the spring and decreased during the season. During the end of July and August, the concentrations were most stable. The N:P ratio also fluctuated during the season. The N:P ratio started low and increased with 27% during the season. The stable period for measurements was also from the end of July till August. So in conclusion, the N:P ratio differs between spring, summer and autumn.

A field or greenhouse experiment could be carried out in order to be able to analyse the N:P ratios with more reliability. Now there was not enough literature available to reliably perform this analyse.

H1. Inleiding

Uitstoot van stikstof (N) van de industrie, verkeer en landbouw veroorzaakt wereldwijd ecologische problemen (Vitousek *et al.*, 1997; Galloway *et al.*, 2008; Sutton *et al.*, 2014). Stikstofdepositie, veroorzaakt door de mens, is één van de grootste bedreigingen voor de biodiversiteit in Nederland (Bobbink *et al.*, 2010). Door stikstofdepositie komt een verhoogde hoeveelheid stikstof in de vorm van NH_x en NO_x in natuurgebieden terecht, waardoor veel plantbeschikbare stikstof aanwezig komt in de bodem. Hierbij werkt NO_x vermestend en NH_x zowel vermestend als verzurend. Bij de nitrificatie van ammonium (NH_4^+) worden H^+ - ionen geproduceerd, waardoor verzuring optreedt. Nitrificatie is het proces waarbij bacteriën ammonium omzetten in nitraat (NO_3^-). In de bodem bevinden zich kleimineralen en/of organische bestanddelen, waar de basische kationen calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}) en kalium (K^+) aan binden. De vrijgekomen H^+ - ionen door de nitrificatie binden aan het kleimineraal en/of organisch bestanddeel, in plaats van de basische kationen. Door het neerslagoverschot in Nederland en dus de neerwaartse waterbeweging, spoelen de basische kationen uit naar de lagere bodemdelen of het grondwater. Dit kan leiden tot een gebrek aan nutriënten voor de planten (Lucassen *et al.*, 2014; Bobbink, Bergsma, den Ouden, & Weijters, 2017). Daarnaast zorgen de basische kationen voor de buffering van de bodem en wanneer deze uitspoelen, daalt de pH van de bodem. Deze daling van de pH leidt weer tot het vrijkomen van het metaal Aluminium (Al^{3+}) uit kleimineralen (als kaolien en kiezelzuur). Dit metaal is zeer toxisch voor planten (Bergsma, Vogels, Weijters & Bobbink, 2016).

Deze chemische veranderingen in de bodem door de stikstofdepositie leiden tot verhoogde productie van biomassa, asymmetrische plantcompetitie (met bijbehorende afname van plant diversiteit) (de Graaf, Bobbink, Verbeek & Roelofs 1997; Bobbink *et al.*, 2010; Cleland & Harpole, 2010; Sutton *et al.*, 2014) en een nutriënten onbalans in de planten (Vogels, 2013). Een voorbeeld van asymmetrische plantcompetitie is de toenemende dominantie van grassen (*Deschampsia flexuosa* en *Molinia caerulea*) ten koste van heidesoorten (*Calluna vulgaris* en *Erica tetralix*). De nutriënten onbalans is het uit evenwicht treden van de nutriëntensamenstellingen in plant, dier en/of bodem.

De afname van plant diversiteit door de stikstofdepositie is een toenemend probleem bij de heidegebieden. Om deze biodiversiteit weer te verhogen, worden verschrallende beheertechnieken als plaggen, begrazing en maaien en afvoeren toegepast om het overmatige stikstof en de dominantie van de grassen af te voeren (Diemont, 1996). Hierbij worden echter ook andere nutriënten afgevoerd zoals fosfor (P) en kalium, wat leidt tot ongewenste verschuivingen in nutriënten balansen (Härdtle *et al.*, 2009; Vogels *et al.*, 2011; van den Burg & Vogels, 2017). Hoewel deze beheertechnieken goed blijken te zijn voor de terugkomst van de flora, blijkt er voor de insecten geen positief effect te zijn en is er zelfs sprake van een afname (Vogels, Verberk, Lamers & Siepel, 2017; Vogels *et al.*, 2018). Dit wordt veroorzaakt door de verschuiving in de nutriënten balansen in planten, wat doorwerkt in de insecten (Vogels, 2013).

De verschuiving in nutriënten balansen wordt terug gezien in de steeds lagere fosforgehalten in heideplanten. Dit komt deels door de verschrallende beheertechnieken, maar ook door het binden van fosfor aan het vrijgekomen aluminium (als gevolg van verzuring), waardoor het beschikbare fosfaat voor planten afneemt (Blume *et al.*, 2016). Het vrijgekomen toxische aluminium heeft daarnaast een potentieel negatief effect op de wortels met mycorrhiza-schimmels, wat de fosfaatopname door de plant verminderd (Pearson & Stewart, 1993; Lucassen *et al.*, 2014). Door de aanhoudende stikstofdepositie blijft de concentratie stikstof wel toenemen op de heide, terwijl het fosfor dus uit het systeem wordt verwijderd. Deze bodemonbalans werkt door in een verandering van de N:P ratio in de planten van de heide. Dit houdt in dat de N:P ratio in de planten steeds hoger wordt, namelijk tussen de 15 mg/mg en 35 mg/mg bij struikheide in Nederland (wat voor de verhoogde depositie van stikstof rond een N:P ratio van 10 mg/mg zat). Deze verschuiving in N:P ratio heeft een negatief effect op de heidefauna. De heidefauna krijgt door de hoge N:P ratio's per hoeveelheid geconsumeerd plantmateriaal relatief meer stikstof binnen en minder fosfor (Vogels, 2013). Herbivore insecten passen de hoeveelheid bladmateriaal die wordt gegeten af op de beschikbaarheid van stikstof in het blad. De insecten stoppen

door het relatief hoge stikstofgehalte in de planten dus eerder met eten en krijgen zo niet genoeg fosfor binnen (Bijlsma, Vogels, Siebel, van den Burg & de Waal, 2012). Door J. Vogels is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen N:P ratio's en herbivore insecten. Uit onderzoeken van Vogels (2013) en Vogels *et al.*, (2017) bleek dat de chemische parameters magnesium, fosfor en N:P ratio in struikhei verband houden met de dichtheid van de insecten. Een hoge N:P ratio leidt bijvoorbeeld tot een verminderde eiproductie en een lager gewicht bij de veldkrekel (*Gryllus campestris*), wat leidt tot een lagere dichtheid van deze soort (Vogels *et al.*, 2011). Het monitoren en verlagen van het stikstof- en fosforgehalte in de vegetatie en de N:P ratio is dus van groot belang voor de insecten diversiteit op de heide.

Een innovatieve maatregel voor heideherstel is het toedienen van steenmeel op de heide. Het toedienen van steenmeel zou ervoor moeten zorgen dat het buffercomplex opgeladen wordt, dat een voorraad wordt aangelegd van mineralen die voor een lange periode basische kationen kunnen leveren aan de bodem en dat de voedselkwaliteit van de heidevegetatie verbeterd wordt door het toedienen van zowel calcium, kalium en magnesium in natuurlijke verhoudingen. Het onderzoek naar de effecten van steenmeel op de heide is nog bezig (Weijters *et al.*, 2018). Bij het onderzoek wordt onder andere naar de N:P ratio van struikhei gekeken om de effecten van de toediening van steenmeel hierop te meten. Het is alleen nog onduidelijk in welk seizoen het plantmateriaal verzameld moet worden om de gegevens over de N:P ratio in struikhei van de verschillende jaren te kunnen vergelijken. Daarnaast eet fauna voornamelijk van het jonge blad van struikhei, wanneer het net tot ontwikkeling komt (van den Burg & Vogels, 2017). Bij het meten van de N:P ratio voor onderzoek naar de voedselwaarde wordt echter ook geen rekening gehouden met de fluctuatie van de N:P ratio gedurende het seizoen. Deze metingen voor onderzoek naar de voedingswaarde van de struikhei worden nog random verricht, terwijl het onduidelijk is of de N:P ratio gemeten in het voorjaar overeen komt met de N:P ratio gemeten in de zomer. Doordat geen rekening gehouden wordt met fluctuaties in de N:P ratio gedurende het seizoen, kunnen onderzoeken dus slecht met elkaar vergeleken worden.

Wanneer er meer duidelijkheid komt over de seizoensgebonden fluctuaties van de N:P ratio in struikhei, kan er gericht onderzoek gedaan worden naar heideherstel en afname van insecten. Er is wel een literatuuronderzoek uitgevoerd waarbij gekeken is naar het verschil in N:P ratio's over de verschillende klimaatzones. Hieruit kwam naar voren dat de N:P ratio's in koude klimaten hoger zijn dan in warme klimaten (Reich & Oleksyn, 2004). Dit onderzoek geeft aan dat het belangrijk is dat de wetenschap ook op de hoogte is van eventuele seizoensgebonden fluctuaties in de N:P ratio's, zodat hiermee rekening gehouden kan worden voor het uitvoeren van onderzoek.

In deze literatuurstudie wordt dan ook antwoord gegeven op de vraag 'Verschilt de N:P ratio in de scheuten van struikhei (*Calluna vulgaris*) tussen voorjaar, zomer en najaar metingen?'. Deze vraag wordt beantwoord met de volgende deelvragen:

- Fluctueert het stikstofgehalte in de scheuten van struikhei gedurende het jaar?
- Fluctueert het fosforgehalte in de scheuten van struikhei gedurende het jaar?
- In welke periode van het jaar fluctueert de N:P ratio van de scheuten van struikhei het minst?
- Maakt het uit in welke periode van het jaar metingen aan de N:P ratio van struikhei worden verricht voor onderzoek naar de voedingswaarde van struikhei voor insecten?

Verwacht wordt dat de N:P ratio in struikhei fluctueert door het jaar heen. Dit omdat gedacht wordt dat de planten in de winter voedingsstoffen uit het blad terugtrekken naar de wortels. Daarnaast zullen in het voorjaar de gehalten in het blad hoog zijn, omdat deze dan nog geconcentreerd zijn. Wanneer de bladeren groter worden gedurende het seizoen, komt er meer water in het blad en verdunnen de concentraties (M. Weijters persoonlijke communicatie, 3 juni, 2019). Het effect van deze fluctuaties in voedingsstoffen (dus ook stikstof en fosfor) op de N:P ratio is niet bekend, maar verwacht wordt dat deze eveneens zal fluctueren. Verwacht wordt dat de N:P ratio in de zomer het stabielst is, omdat verwacht wordt dat het stikstof- en fosforgehalte dan het stabielst is. Daarnaast wordt verwacht dat de

metingen voor insecten het beste in het voorjaar verricht kunnen worden, omdat de insecten voorkeur hebben voor de jonge delen van de plant (van den Burg & Vogels, 2017). Door de verwachte fluctuatie door het jaar heen, zal het moment van meten in het voorjaar waarschijnlijk het beste afgestemd zijn met het voedsel dat de insecten dus daadwerkelijk binnen krijgen. In de huidige literatuur wordt er tot op heden vanuit gegaan dat de N:P ratio niet fluctueert door het jaar heen en worden metingen voor het onderzoek naar insecten nog random verricht (Vogels, 2013; Vogels *et al.*, 2017). Met dit onderzoek wordt verwacht een beter inzicht te verkrijgen in de stikstof- en fosforgehaltes en N:P ratio in struikhei gedurende het groeiseizoen.

H2. Aanpak

Om antwoord te geven op de hoofd- en deelvragen werd een literatuurstudie gedaan. Voor het uitvoeren van deze literatuurstudie werden de databanken Science Direct, Springer en Google Scholar gebruikt. Een aantal eisen waren opgesteld waar de gevonden literatuur aan moest voldoen, namelijk:

- De gevonden literatuur is of afkomstig uit een wetenschappelijk tijdschrift en is dus peer-reviewed of afkomstig uit een vakblad, zoals ‘De levende natuur’ en ‘Natuur, Bos en Landschap’.
- In het onderzoek staat vermeld wanneer de scheuten van de struikheide bemonsterd zijn.
- De verkregen N:P ratio's van de struikheide zijn niet afkomstig van bewerkte of behandelde proefvlakken. De controlegroep kon wel gebruikt worden.
- Alleen metingen van scheuten van de struikheide konden gebruikt worden. Dus niet de N:P ratio's van bijvoorbeeld wortelscheuten.
- De stikstof- en fosforgehaltes werden weergegeven in mg/g droog gewicht of deze konden omgerekend worden.

Bij het zoeken van deze literatuur werden de volgende sleutelwoorden gebruikt, waarbij zowel in het Nederlands als Engels is gezocht:

Stikstofdepositie, P-tekort, verzuring, fauna, N:P ratio, heidegebied, Calluna vulgaris, nutriënten, limitatie, seizoen fluctuatie, herlocatie

Nitrogen deposition, P-limitation, acidification, fauna, N:P ratio, heathland, Calluna vulgaris, nutrients, limitation, seasonal fluctuations, relocation

Zowel Nederlandse en Engelse literatuur werd gebruikt voor de literatuurstudie. Hierbij werd gezocht in alle beschikbare literatuur van alle jaren met de hierboven gestelde sleutelwoorden. Ook werd de literatuur gezocht op internationale schaal, dus hier zijn verder geen eisen voor opgesteld.

2.1 Opbouw literatuuronderzoek

Als eerst werd er literatuur gezocht over het proces van herlocatie van nutriënten binnen planten. Hoe werkt dit in het algemeen en hoe werkt dit bij struikheide. Deze gegevens zijn gebruikt om de processen achter de fluctuaties van fosfor, stikstof en uiteindelijk N:P ratio te begrijpen. De resultaten hiervan staan beschreven in paragraaf 3.1 ‘Nutriënten verplaatsing in struikheide’. Hiermee konden de deelvragen ‘Fluctueert het stikstofgehalte in de scheuten van struikheide gedurende het jaar?’ en ‘Fluctueert het fosforgehalte in de scheuten van struikheide gedurende het jaar?’ beantwoord worden. De gebruikte sleutelpublicatie hierbij was:

Brant, A. N. & Chen, H. Y. H. (2015). Patterns and mechanisms of nutrient resorption in plants. *Critical reviews in plant sciences* 2015, 34(5), 471 – 486.

Vervolgens werd uitgezocht van welke planten in de heidefamilie (*Ericaceae*) er kennis was over de nutriëntfluctuaties in de betreffende plant. Goed onderzochte planten betroffen planten die worden gebruikt voor de teelt. De planten waar deze kennis over beschikbaar was, waren de blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*) en de grote veenbes (*Vaccinium macrocarpon*). De beschikbare gegevens over het stikstof- en fosforgehalte werden verzameld, geanalyseerd en gebruikt voor de bepaling van de N:P ratio. De resultaten van deze literatuur staat weergegeven in paragraaf 3.2 ‘Nutriënten fluctuaties in de heidefamilie (*Ericaceae*)’. Met deze gegevens werd antwoord gegeven op alle vier de geformuleerde deelvragen. De gebruikte sleutelpublicaties hierbij waren:

Strik, B. C. & Vance, A. J. (2015). Seasonal variation in leaf nutrient concentration of Northern highbush blueberry cultivars grown in conventional and organic production systems. *HortScience*, 50(10), 1453 – 1466.

Chaplin, M. H. & Martin, L. W. (1979). Seasonal changes in leaf element content of cranberry, *vaccinium macrocarpon* ait. *Communications in Soil Sciences and Plant Analyses*, 10(6), 895 – 902.

Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns? *Journal of ecology*, 84(4), 597 – 608.

Als laatste werden verschillende literatuurstudies gevonden waarin gegevens over de N:P ratio's van struikhei stonden. Hierbij werd er alleen naar de Noordwestelijke landen van Europa gekeken, omdat deze een vergelijkbaar klimaat hebben en dus onderling vergeleken kunnen worden (Reich & Oleksyn, 2004). In tabel 1 staan deze studies weergegeven. Hierin staat aangegeven in welk seizoen de N:P ratio's per studie gemeten zijn. Met deze gegevens werden analyses gedaan omtrent de fluctuatie van de N:P ratio en omtrent de variatie binnen het seizoen. Hoe de gegevens zijn verzameld en geanalyseerd wordt in de volgende paragraaf besproken. De resultaten van deze analyses staat beschreven in paragraaf 3.3 'Analyses van N:P ratio's uit de literatuur'. Aan de hand van deze analyses werd er antwoord gegeven op de deelvragen 'In welke periode van het jaar fluctueert de N:P ratio van de scheuten van struikhei het minst?' en 'Maakt het uit in welke periode van het jaar metingen aan de N:P ratio van struikhei worden verricht voor onderzoek naar de voedingswaarde van struikhei voor insecten?'.

Tabel 1: Overzicht van de gebruikte literatuur voor de analyses

Voorjaar (maart, april en mei)	Zomer (juni, juli en augustus)	Najaar (september, oktober en november)
Aerts, R. (1989). Aboveground biomass and nutrient dynamics of <i>Calluna vulgaris</i> and <i>Molinia caerulea</i> in a dry heathland. <i>Oikos</i> , 56, 31 – 38.	Aerts, R. (1989). Aboveground biomass and nutrient dynamics of <i>Calluna vulgaris</i> and <i>Molinia caerulea</i> in a dry heathland. <i>Oikos</i> , 56, 31 – 38.	Aerts, R. (1989). Aboveground biomass and nutrient dynamics of <i>Calluna vulgaris</i> and <i>Molinia caerulea</i> in a dry heathland. <i>Oikos</i> , 56, 31 – 38.
van Rheenen, J. W., Werger, M. J. A., Bobbink, R., Daniels, J. A., & Mulders, W. H. M. (1995). Short-term accumulation of organic matter and nutrient contents in two dry sand ecosystems. <i>Vegetatio</i> , 120, 161-171.	van Rheenen, J. W., Werger, M. J. A., Bobbink, R., Daniels, J. A., & Mulders, W. H. M. (1995). Short-term accumulation of organic matter and nutrient contents in two dry sand ecosystems. <i>Vegetatio</i> , 120, 161-171.	van Rheenen, J. W., Werger, M. J. A., Bobbink, R., Daniels, J. A., & Mulders, W. H. M. (1995). Short-term accumulation of organic matter and nutrient contents in two dry sand ecosystems. <i>Vegetatio</i> , 120, 161-171.
Vogels, J.J., Verberk, W.C.E.P., Lamers, L.P.M., & Siepel, H. (2017). Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? <i>Biological conservation</i> , 212(2017), 432 - 447.	Carroll, J. A., Caporn, S. J. M., Cawley, L., Read, D. J., & Lee, J. A. (1999). The effect of increased deposition of atmospheric nitrogen on <i>Calluna vulgaris</i> in upland Britain. <i>The New Phytologist</i> , 141(3), 423 – 431.	Vogels, J. J., Weijters, M. J., Bijlsma, R-J., de Waal, R., Bobbink, R., & Siepel, H. (2016). <i>Fosfaattoevoeging heide</i> . OBN 207-DZ
Härdtle, W. <i>et al.</i> , (2009). Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: Effects of management and atmospheric inputs. <i>Ecosystem</i> , 12(2), 298 – 310.	Härdtle, W. <i>et al.</i> , (2009). Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: Effects of management and atmospheric inputs. <i>Ecosystem</i> , 12(2), 298 – 310.	Härdtle, W. <i>et al.</i> , (2009). Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: Effects of management and atmospheric inputs. <i>Ecosystem</i> , 12(2), 298 – 310.
Vogels, J., Van den Burg, A., Remke, E., & Siepel, H. (2011). <i>Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010)</i> . Den Haag, DKI-EL&I: 238.	von Oheimb, G. <i>et al.</i> , (2010). N: P ratio and the nature of nutrient limitation in <i>Calluna</i> -dominated heathlands. <i>Ecosystems</i> , 13(2), 317-327.	von Oheimb, G. <i>et al.</i> , (2010). N: P ratio and the nature of nutrient limitation in <i>Calluna</i> -dominated heathlands. <i>Ecosystems</i> , 13(2), 317-327.

	Lucassen, E., van Roosmalen, M.I.J.T., & Roelofs, J.G.M. (2019). Heideherstel vulkamin; een beter alternatief voor dolocal. <i>Landschap</i> , 2019(1) 25 – 33.	
	Weijters, M., Bobbink, R., Verbaarschot, E., van de Riet, B., Vogels, J., Bergsma, H., & Siepel, H. (2018). <i>Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek</i> . OBN222- DZ. VBNE, Driebergen.	

2.2 Verwerking van de literatuur

De gevonden gegevens die in tabellen stonden, werden overgenomen in een Excel bestand en werden gebruikt voor het analyseren. De gegevens die in grafieken staan werden door middel van de site <https://automeris.io/WebPlotDigitizer/> uit de grafieken gehaald, zodat deze gegevens zo precies mogelijk waren. Deze gegevens werden eveneens in een Excel bestand geplaatst voor verdere analyses en het maken van grafieken.

De data was niet normaal verdeeld en voldeed hierdoor niet aan de aannames van de one-way ANOVA. Een niet parametrische Mann-Whitney U-test is daarom gebruikt om de analyses uit te voeren. Dit is gedaan met het programma IBM SPSS Statistics versie 25. De drie seizoenen (voorjaar, zomer en najaar) zijn geanalyseerd op significante verschillen. De varianties binnen de seizoenen zijn geanalyseerd door middel van Excel.

H3. Resultaten

In dit hoofdstuk is de gevonden literatuur uitgeschreven en geanalyseerd. Eerst is er gekeken naar de beschikbare literatuur omtrent de nutriënten verplaatsing in struikhei. Hierna is er gekeken naar informatie over stikstof- en fosforgehaltes in planten uit de heidefamilie. Als laatste zijn de N:P ratio's die gevonden zijn in de literatuur geanalyseerd.

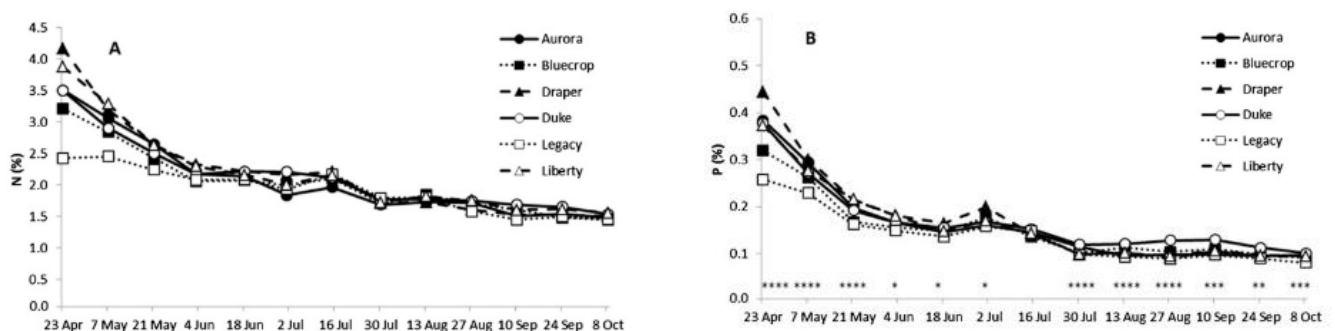
3.1 Nutriënten verplaatsing in struikhei

Stikstof en fosfor zijn mobiele nutriënten en kunnen hierdoor verplaatsen door de plant heen (Chapin, 1980). Ongeveer de helft van het stikstof- en fosforgehalte dat in het blad van vaste planten zit, wordt geresorbeerd wanneer het blad ouder wordt en afvalt (Aerts, 1996). Deze nutriënten worden dan opgeslagen in de wortels van de planten. Bij struikhei wordt een kleiner percentage stikstof en fosfor teruggewonnen uit het afvallende blad, namelijk van stikstof 14 – 17% en van fosfor 33 – 44% (Aerts, 1989). Deze verplaatsing van nutriënten van het blad naar wortels (opslagorgaan) is een effectief beschermingsmechanisme voor planten om zich aan te passen aan de milieu omstandigheden (Aerts, 1996; Brant & Chen, 2015). Het opslaan van nutriënten in de wortels is een essentieel kenmerk voor vaste planten waarvan het blad afvalt. De snelle lentegroei wordt ondersteund door de nutriënten op te slaan in de wortels en in mindere mate door het absorptie vermogen van de plant om via de wortels nutriënten uit de bodem te halen. In de lente leidt dit tot een hogere nutriëntenconcentraties in de scheuten (mei en juni) (Chapin, 1980).

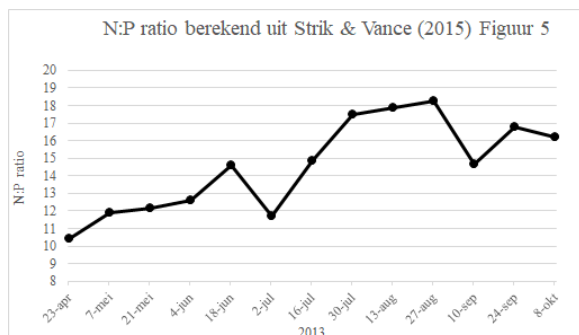
3.2 Nutriënten fluctuaties in de heidefamilie (*Ericaceae*)

Blauwe bosbes

Uit onderzoek van Hart, Strik, White & Yang (2006) en Strik & Vance (2015) blijkt dat de nutriënten concentraties in het blad van de blauwe bosbes het stabielst zijn van eind juli tot midden augustus. Uit deze onderzoeken blijkt ook dat het verzamelen van plantmateriaal met een paar dagen verschil hiertussen al kan resulteren in verschil in nutriëntengehalten, welke het kleinst is in de stabiele periode. In figuur 1 staan de grafieken weergegeven uit het onderzoek van Strik & Vance (2015) van de fluctuaties in nutriëntenconcentraties van stikstof en fosfor. Hierbij is zichtbaar dat zowel het stikstof als fosforgehalte in het blad in het voorjaar (voornamelijk april en mei) hoger ligt dan in de zomer en herfst. In mei is de N:P ratio gemiddeld 12 g/g en in augustus is deze gemiddeld 18 g/g, zie figuur 2.



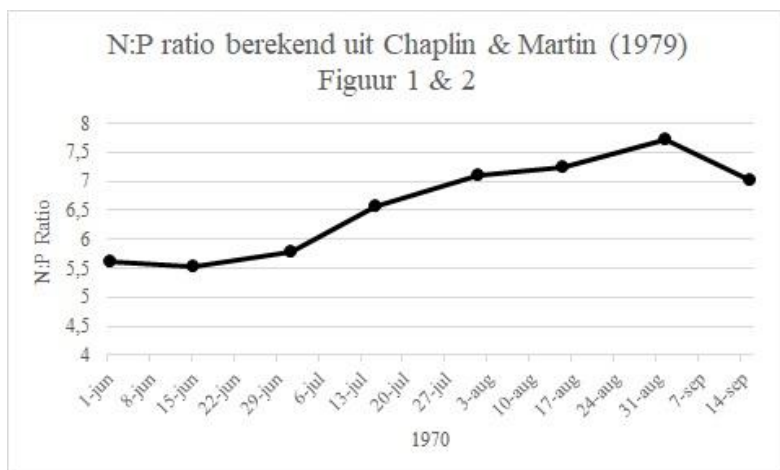
Figuur 1: De stikstof- en fosforgehaltes (%) in blauwe bosbes. Figuur overgenomen uit het onderzoek van Strik & Vance (2015; Figuur 5).



Figuur 2: De N:P ratio's van de blauwe bosbes in g/g. De N:P ratio's zijn berekend uit het onderzoek van Strik & Vance (2015; figuur 5).

Grote veenbes

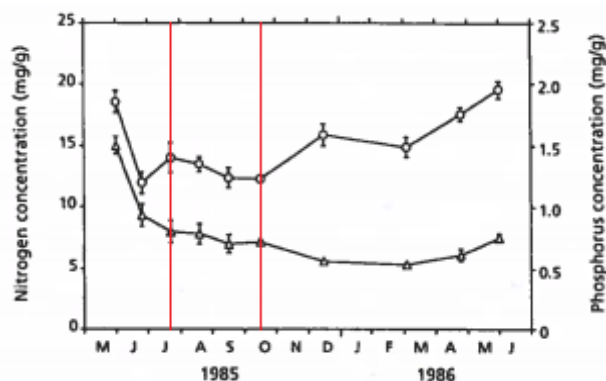
Uit onderzoek van Chaplin & Martin (1979) blijkt dat het stikstof- en fosforgehalte van eind juli tot augustus het stabielst is voor bemonstering. Bij dit onderzoek kwam duidelijk naar voren dat de stikstof- en fosforgehaltes in het begin van het seizoen beduidend hoger liggen dan aan het einde van het seizoen. Berekend uit het stikstof- en fosforgehalte komt dat de N:P ratio in juni gemiddeld 5,5 g/g is en in augustus gemiddeld 7 g/g, zie figuur 3.



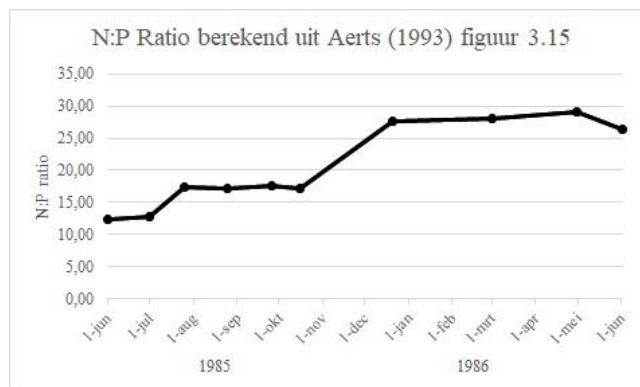
Figuur 3: De N:P ratio's van de grote veenbes in g/g. De N:P ratio's zijn berekend uit het onderzoek van Chaplin & Martin (1979; figuur 1 en 2).

Struikhei

Aerts (1993) heeft onderzoek gedaan naar de nutriëntconcentraties in het blad van de struikhei. Hieruit concludeerde Aerts dat zowel de stikstof als de fosfor concentratie fluctueert door het seizoen heen, maar spreekt Aerts niet over een stabiele periode voor metingen. In figuur 4 staat de grafiek weergegeven uit het onderzoek. In deze afbeelding is te zien dat het stikstof en fosforgehalte van eind juli tot midden oktober minder fluctueert. De N:P ratio is aan het begin van het seizoen lager dan aan het einde van het seizoen, namelijk in juni een gemiddeld N:P ratio van 12,4 mg/mg en in augustus een gemiddeld N:P ratio van 17,1 mg/mg in 1985, zie figuur 5. De N:P ratio neemt met 27% toe gedurende het seizoen. Opmerkelijk is dat in juni van 1986 de N:P ratio 26,3 mg/mg is en een fosforgehalte van 0,75 mg/g tegen een N:P ratio's van 12,4 mg/mg en een fosforgehalte van 1,5 in juni 1985. De N:P ratio ligt een jaar later dan ook 54% hoger en het fosforgehalte ligt een jaar later 50% lager.



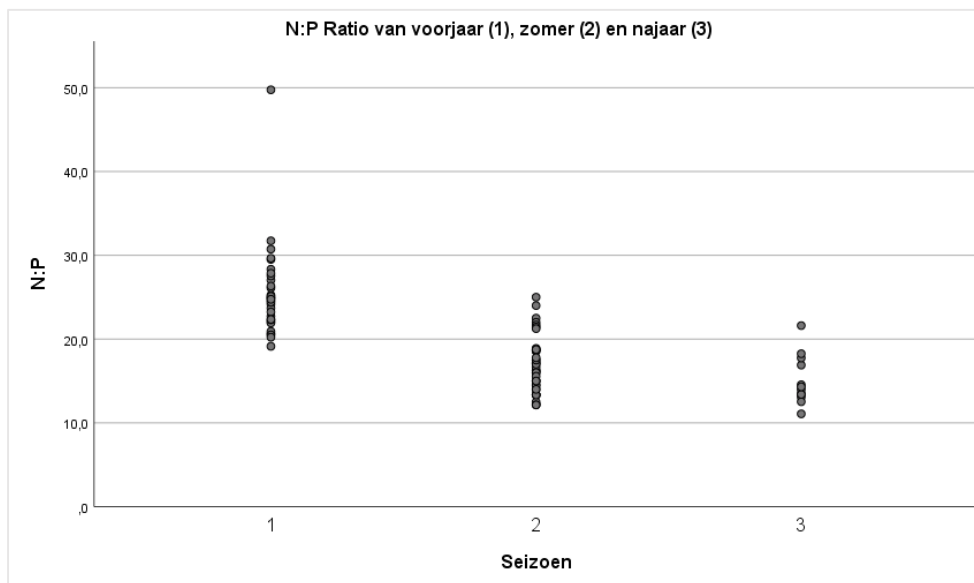
Figuur 4: Het stikstof – (rondjes) en fosforgehalte (driehoekjes) (mg/g) in struikhei in 1985 en 1986. Figuur overgenomen uit het onderzoek van Aerts (1993; figuur 3.15). De rode lijn geeft de periode van weinig fluctuatie aan.



Figuur 5: De N:P ratio's van de struikhei in mg/mg. De N:P ratio's zijn berekend uit het onderzoek van Aerts (1993; figuur 3.15).

3.3 Analyses van N:P ratio's uit de literatuur

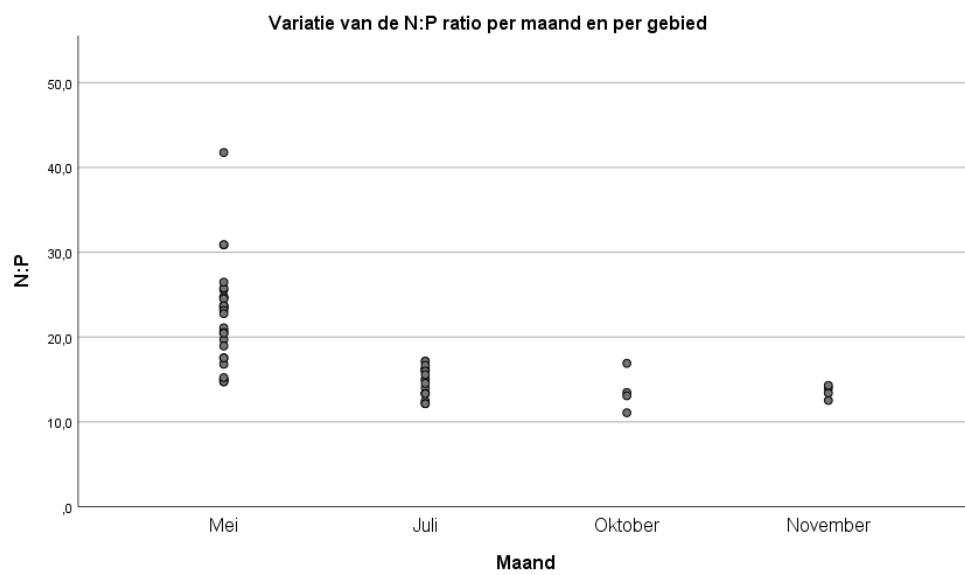
De literatuur uit tabel 1 in H2. 'Aanpak' is gebruikt om tot deze resultaten te komen. Uit deze literatuur zijn de N:P ratio's verzameld en overgenomen in een Excel bestand. Voor het verzamelen van de gegevens is de site <https://automeris.io/WebPlotDigitizer/> gebruikt. Alleen de gegevens van de N:P ratio van struikheide van droge heide zijn verzameld. Deze N:P ratio's zijn allen in mg/mg omgerekend. De seizoenen zijn ingedeeld als volgt: maart, april en mei betreffen het voorjaar; juni, juli en augustus betreffen de zomer; september, oktober en november betreffen het najaar; december, januari en februari betreffen de winter. Hierbij is N=31 in het voorjaar, N=40 in de zomer, N=12 in het najaar en N=0 in de winter. Met deze gegevens is de Mann-Whitney U-test uitgevoerd. Hier kwam uit dat de N:P ratio in het voorjaar significant hoger is dan in de zomer en het najaar (voorjaar:zomer $p=0,00$ en voorjaar:najaar $p=0,00$). Tussen de zomer en het najaar bevinden zich geen significante verschillen (zomer:najaar $p=0,094$). In figuur 6 is de spreiding van de data weergegeven.



Figuur 6: De spreiding van de N:P ratio's per seizoen (Literatuur uit tabel 1 gebruikt).

Door de data uit te zetten per maand binnen hetzelfde gebied (Figuur 7) werd de spreiding binnen de maanden zichtbaar. Hierbij zijn er vier gebieden gebruikt, waarbij het allen gaat om droge heide gebieden. Maand mei is gebaseerd op data uit het gebied de Str abrechtse heide (Vogels *et al.*, 2011) met N=29. Maand juli is gebaseerd op data uit het gebied Nationaal park de Hoge Veluwe (Weijters *et al.*, 2018) met N=20. Maand oktober en november zijn gebaseerd op data uit het gebied Lüneberger heide (NW Duitsland) (Härdtle *et al.*, 2009; von Oheimb *et al.*, 2010) met beide N=4.

Binnen deze data is er gekeken naar de variatie binnen de gebieden met daarbij de behorende maand. De variatie is in mei het hoogst en is lager in de daaropvolgende maanden (mei $s^2=34,5$; juli $s^2=3,0$; oktober $s^2=5,8$; november $s^2=0,6$). Van de overige maanden zijn er geen gegevens beschikbaar.



Figuur 7: De variatie van de N:P ratio per maand in verschillende gebieden. Data van mei afkomstig uit Vogels et al., (2011) Strabrechtse Heide. Juli uit Weijters et al., (2018) Nationaal Park de Hoge Veluwe. Oktober uit Härdtle et al., (2009) Lüneberger Heide (NW Duitsland). November uit von Oheimb et al., (2010) Lüneberger Heide (NW Duitsland).

H4. Discussie

De N:P ratio van struikhei wordt gemeten om achter de voedingswaarde van de plant te komen en om achter de effecten van verschillend heidebeheer op het ecosysteem te komen. Deze N:P ratio wordt tot op heden gemeten door de verschillende seizoenen heen, zonder rekening te houden met eventuele fluctuaties.

Met dit literatuuronderzoek is gekeken of antwoord gegeven kan worden op de vraag ‘*Verschildt de N:P ratio in de scheuten van struikhei (Calluna vulgaris) tussen voorjaar, zomer en najaar metingen?*’. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is eerst gekeken naar de nutriëntfluctuaties binnen struikhei. Hiermee kon antwoord gegeven worden op de vraag of het stikstof- en/of fosforgehalte fluctueert over de seizoenen heen. Hieruit blijkt dat het nutriëntgehalte in de scheuten in het voorjaar hoog is door de herlocatie van de nutriënten uit de wortels naar de bladeren voor de snelle lentegroei (Chapin, 1980; Aerts, 1996). Daarnaast wordt bij struikhei een gedeelte van de nutriëntengehaltes weer teruggetrokken naar de wortels, wanneer het seizoen vordert en het blad afvalt (Chapin, 1980; Aerts, 1989). Hierbij wordt 14 – 17% stikstof en 33 – 44% fosfor teruggetrokken (Aerts, 1989). Het fosforgehalte in de scheuten neemt dus later in het voorjaar relatief meer af dan het stikstofgehalte. Hierdoor kan gesteld worden dat de N:P ratio stijgt gedurende het seizoen.

Deze uitkomst wordt bevestigd met de resultaten naar onderzoek naar de fluctuaties in N:P ratio's in de heidefamilie. Uit deze resultaten blijkt dat het stikstof- en fosforgehalte in de blauwe bosbes, grote veenbes en struikhei fluctueren door het seizoen heen. Uit de gegevens blijkt dat het stikstof- en fosforgehalte in april en mei in blauwe bosbes hoger ligt, dan in juli en augustus. Het tegenovergestelde is juist zichtbaar in de N:P ratio van blauwe bosbes. Hierbij begint de N:P ratio namelijk laag en stijgt deze naarmate het seizoen vordert. Dit komt overeen met de gevonden resultaten die hierboven bediscussieerd worden, namelijk dat de N:P ratio stijgt gedurende het seizoen. Om antwoord te kunnen geven op de deelvraag ‘In welke periode van het jaar fluctueert de N:P ratio van de scheuten van struikhei het minst?’ zijn de N:P ratio's uit de onderzoeken naar nutriëntengehaltes berekend. Uit het onderzoek van Hart *et al.*, (2006) en Strik & Vance (2015) blijkt dat de stabielste periode voor het meten van het stikstof en fosforgehalte van eind juli tot midden augustus is. De N:P ratio is in die periode ook stabiel en deze is op dat moment het hoogst (N:P ratio van gemiddeld 18 g/g), zie figuur 2. De N:P ratio is van mei tot juni ook stabiel, maar deze ligt dan wel laag (N:P ratio van gemiddeld 12 g/g). In de grote veenbes wordt hetzelfde patroon gevonden (Chaplin & Martin, 1979). De stabiele periode voor metingen aan het stikstof- en fosforgehalte is van juli tot midden augustus. De stabiele periode voor het meten van de N:P ratio is in dezelfde periode. Bij de grote veenbes stijgt ook de N:P ratio naarmate er later in het seizoen gemeten wordt. Dit komt ook door de grotere daling van het fosforgehalte in de plant ten opzichte van het stikstofgehalte. Uit het onderzoek van Aerts (1993) naar struikhei komt hetzelfde patroon naar voren. De stabiele periode voor metingen aan het stikstof- en fosforgehalte is van eind juli tot midden oktober. Wat opvalt is dat deze periode langer aanhoudt dan bij de blauwe bosbes. Het lijkt er dus op dat struikhei minder vroeg in het jaar de nutriënten terug trekt uit de scheuten. Daarnaast is het opmerkelijk dat tijdens dit onderzoek het fosforgehalte in de planten na het eerste jaar daalde en in het voorjaar niet stijgt tot het fosforgehalte in het jaar ervoor (in 1986 50% lager dan in 1985). De oorzaak hiervan is onbekend en zou te maken kunnen hebben met eventueel uitgevoerde beheer, waarbij gedacht wordt aan plaggen. Bij plaggen wordt namelijk de toplaag verwijderd waarin de meeste nutriënten zich bevinden, waaronder stikstof en fosfor. De stikstofaanvoer vanuit de depositie blijft echter hetzelfde, terwijl er nauwelijks fosfor wordt aangevoerd. Zo blijft het stikstofgehalte wel hoog en daalt het fosforgehalte (Härdtle *et al.*, 2009; van den Burg & Vogels, 2017). De oorzaak van dit verschil kan ook liggen bij de weersverschillen tussen de twee jaren, echter is er geen verschil gevonden in de weersomstandigheden, verkregen van het KNMI. De stabiele periode voor het meten van de N:P ratio is van eind juli tot midden oktober, waarbij dit onderzoek een N:P ratio is gemeten van gemiddeld 17 mg/mg.

Uit deze onderzoeken blijkt een gelijkmatig patroon met betrekking tot de fluctuaties in de stikstof- en fosforgehaltes en de N:P ratio in de verschillende planten van de *Ericaceae* familie. Het onderzoek van Aerts (1993) was niet gericht op het vinden van een goede meetperiode voor de struikhei, dus de stabiele periode (eind juli tot midden oktober) is niet gebaseerd op de bevindingen van Aerts (1993). De stabiele periode is vast gesteld aan de hand van de grafieken en de kennis over de blauwe bosbes en de grote veenbes. Het antwoord op de vraag ‘Maakt het uit in welke periode van het jaar metingen aan de N:P ratio van struikhei worden verricht voor onderzoek naar de voedingswaarde van struikhei voor insecten?’ is het volgende: in het voorjaar zal de N:P ratio gemeten moeten worden voor onderzoek naar de voedingswaarde. Aangezien de N:P ratio in de zomer aanzienlijk hoger ligt dan in het voorjaar, komen alleen metingen aan de N:P ratio in het voorjaar overeen met wat de insecten daadwerkelijk innemen.

Het doel van dit onderzoek was het beantwoorden van de vraag ‘*Verschildt de N:P ratio in de scheuten van struikhei (Calluna vulgaris) tussen voorjaar, zomer en najaar metingen?*’. Gebaseerd op de antwoorden op de deelvragen zoals hierboven beschreven is het antwoord op de hoofdvraag: de N:P ratio in de scheuten van struikhei fluctueert gedurende het seizoen. De N:P ratio ligt in het voorjaar namelijk aanzienlijk hoger dan in de zomer en het najaar. Uit de studie van Aerts (1993) is berekend dat de N:P ratio namelijk met 27% procent stijgt gedurende het seizoen. Deze processen zijn eveneens zichtbaar bij de blauwe bosbes en grote veenbes.

Discussie is of de struikhei wel voldoende met de blauwe bosbes en grote veenbes overeen komt om de vergelijkingen te kunnen maken. De blauwe bosbes laat in de winter namelijk de bladeren vallen, terwijl de struikhei en de grote veenbes wintergroen zijn. Hierdoor valt het te verwachten dat de bosbes meer nutriënten terugtrekt uit het blad en verplaatst naar het wortelsysteem, omdat de bladeren afvallen. Dit leidt waarschijnlijk tot andere variaties in de stikstof- en fosforgehaltes en de N:P ratio dan bij struikhei en de grote veenbes. Daarnaast zijn de gemeten fluctuaties in stikstof- en fosforgehalte bij blauwe bosbes en grote veenbes gevonden bij landbouwgewassen. Dit betekent dat deze gewassen de optimale hoeveelheid voedingsstoffen toegediend kregen tijdens het onderzoek. In een natuurlijk ecosysteem is dit niet het geval, wat de vergelijkbaarheid van de planten verlaagd. Desalniettemin zullen de processen in de plant rondom herlocatie van nutriënten wel vergelijkbaar zijn en dus kunnen de resultaten wel gebruikt worden om antwoord te geven op de hoofdvraag.

Uit de analyses naar de N:P ratio's vanuit de literatuur blijkt dat de N:P ratio in de lente juist significant hoger ligt dan in de zomer. Dit blijkt niet uit de bovengenoemde ondervindingen. Deze resultaten zijn behaald met beperkte gegevens en zou anders kunnen zijn bij een grotere N-waarde (aantal waarnemingen). Hierdoor is het aannemelijk dat de verschillen tussen de heidegebieden leidde tot een significante uitkomst en niet de fluctuaties van de N:P ratio. Ook verschilt de hoeveelheid nutriënten in planten door het klimaat van dat jaar (Ordoñez *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2013). Wanneer er dus sprake is geweest van een droog jaar, neemt de plant minder nutriënten op dan wanneer het een nat jaar is geweest. Door de weinig beschikbare gegevens en de op voorhand verschillen in de gebieden en jaren, is deze analyse onbetrouwbaar. De hoge N:P ratio's in mei komen waarschijnlijker door de nutriëntenbeschikbaarheid in die gebieden (Dwingelderveld en Strabrechtse Heide), wat invloed heeft op de N:P ratio en niet door het seizoen. Door naar de variatie binnen één seizoen en één gebied te kijken, kon er wel gekeken worden in welk seizoen de meeste variatie is. Hieruit blijkt dat de N:P ratio in het voorjaar meer variatie toont dan de N:P ratio's in eind zomer en najaar. Dit kan dus betekenen dat de N:P ratio in het voorjaar instabieler is dan in de andere seizoenen. Dit komt overeen met de resultaten die hierboven bediscussieerd zijn. Overigens was de N-waarde hierbij ook klein en kan deze uitspraak met meer zekerheid gesteld worden wanneer er meer gegevens zijn over de N:P ratio's.

Het doen van een veldonderzoek en/of kasexperiment zal een grote bijdrage kunnen leveren aan het onderbouwen van de gevonden resultaten omtrent de seizoensgebonden fluctuatie van de N:P ratio in struikhei. Deze literatuur studie toont met zekerheid aan dat de N:P ratio fluctueert door het seizoen heen, maar een veldstudie en/of kasexperiment zal dit kunnen bevestigen met actuele data.

De uitkomsten van deze studie zijn van groot belang voor onderzoekers. Voor het kijken naar de effecten van herstelstrategieën op struikhei moeten de gegevens per jaar vergeleken kunnen worden, zonder dat de fluctuaties van invloed zijn op de verschillen. Ook kan nu bij het onderzoek naar afname van insecten rekening gehouden worden met de seizoensgebonden fluctuaties in de N:P ratio. De effecten van stikstofdepositie op de N:P ratio in struikhei kan ook beter in beeld gebracht worden.

H5. Conclusie en aanbeveling

In dit hoofdstuk wordt getracht antwoord te geven op de deelvragen en de hoofdvraag die geformuleerd zijn in de inleiding. De uitkomsten hiervan zijn belangrijk voor verder onderzoek naar heideherstel en daling van insectenpopulaties. Het doel van deze studie is het bewijzen van de seizoensgebonden fluctuaties in de N:P ratio van struikhei. Het antwoord op de deelvragen is als volgt.

‘Fluctueert het stikstofgehalte in de scheuten van struikhei gedurende het jaar?’. Het stikstofgehalte fluctueert gedurende het jaar. In het voorjaar is deze het hoogst, waarna deze afneemt gedurende het seizoen. Van eindjuli tot augustus is het stikstofgehalte het stabielst. Het antwoord op de vraag ‘Fluctueert het fosforgehalte in de scheuten van struikhei gedurende het jaar?’ ligt in dezelfde lijn. Het fosforgehalte is in het voorjaar namelijk ook het hoogst en neemt af gedurende het seizoen. Van eindjuli tot augustus is het fosforgehalte het stabielst. Hierbij neemt het fosforgehalte relatief meer af dan het stikstofgehalte. Het antwoord op de vraag ‘In welke periode van het jaar fluctueert de N:P ratio van de scheuten van struikhei het minst?’ is als volgt. In de maanden eindjuli tot augustus fluctueert de N:P ratio het minst, zoals overeenkomt met het stikstof- en fosforgehalte. De vraag ‘Maakt het uit in welke periode van het jaar metingen aan de N:P ratio van struikhei worden verricht voor onderzoek naar de voedingswaarde van struikhei voor insecten?’ kan aan de hand van deze literatuurstudie ook beantwoord worden. Het monstern van struikhei voor onderzoek naar insectenafname kan het beste in het voorjaar gebeuren. Dit omdat de N:P ratio van de scheuten fluctueert over het jaar heen en de N:P ratio in de zomer en het najaar niet de daadwerkelijke voedselinname vertegenwoordigd. De N:P ratio is in het voorjaar wel instabiel. Hier moet rekening mee gehouden worden tijdens het onderzoek, door bijvoorbeeld het hebben van een grote N-waarde.

Met de antwoorden op de deelvragen kan er ook antwoord gegeven worden op de hoofdvraag ‘*Verschildt de N:P ratio in de scheuten van struikhei (Calluna vulgaris) tussen voorjaar, zomer en najaar?*’. De N:P ratio ligt in het voorjaar laag, waarna deze gedurende het seizoen hoger wordt. Deze fluctuatie is ook zichtbaar in de blauwe bosbes en grote veenbes.

5.1 Aanbeveling voor verder onderzoek

Deze literatuurstudie draagt bij aan het kunnen uitvoeren van betrouwbaar onderzoek naar de oorzaken van de achteruitgang van onze heide en insecten, maar ook naar het herstel van dit ecosysteem. Voor verder onderzoek zou er een experiment gestart kunnen worden om de fluctuaties in de N:P ratio van struikhei over meerdere jaren in beeld te krijgen. Daarnaast zal er bij verder onderzoek gekeken kunnen worden naar meerdere macro- en micronutriënten in de struikhei en er kan gekeken worden naar meerdere kenmerkende heidesoorten als gewone dophei (*Erica tetralix*), bochtige smeie (*Deschampsia flexuosa*) en pijpenstrootje (*Molinia caerulea*). Het doen van een veld- en/of kasexperiment wordt aangeraden om meer duidelijkheid te krijgen in de processen in struikhei.

Literatuur

- Aerts, R. (1989). Aboveground biomass and nutrient dynamics of *Calluna vulgaris* and *Molinia caerulea* in a dry heathland. *Oikos*, 56, 31 – 38.
- Aerts, R. (1993). Biomass and nutrient dynamics of dominant plant species from heathlands. *Geobotany*, 20, 51 – 84.
- Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: Are there general patterns? *Journal of ecology*, 84(4), 597 – 608.
- Bergsma, H., Vogels, J. J., Weijters, M. J., & Bobbink, R. (2016). Tandrot in de bodem – Hoeveel biodiversiteit kan de huidige minerale bodem nog ondersteunen? *Bodem*, 1, 27 – 29.
- Bijlsma, R.-J., Vogels, J., Siebel, H., van den Burg, A., & de Waal, R. (2012). Van heidegebruik naar – beheer. *Vakblad natuur bos landschap, juni 2012*, 14 – 17.
- Blume, H. P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., & Welp, G. (2010). *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Lehrbuch der Bodenkunde, 16.
- Bobbink, R., Bergsma, H. L. T., Den Ouden, J., & Weijters, M. J. (2017). *Bodemverzuring in het droog zandlandschap. Na het zuur geen zoet?* Landschap, special issue Droog zandlandschap.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., Cinnerby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmett, B., Erismann, J. W., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Padro, L., & de Vries, W. (2010). Global assessment of nitrogen deposition effects on plant terrestrial biodiversity: a synthesis. *Ecological Applications*, 20, 30 – 59.
- Brant, A. N. & Chen, H. Y. H. (2015). Patterns and mechanisms of nutrient resorption in plants. *Critical reviews in plant sciences* 2015, 34(5), 471 – 486.
- Carroll, J. A., Caporn, S. J. M., Cawley, L., Read, D. J., & Lee, J. A. (1999). The effect of increased deposition of atmospheric nitrogen on *Calluna vulgaris* in upland Britain. *The New Phytologist*, 141(3), 423 – 431.
- Chapin, F. S. (1980). The mineral nutrition of wild plants. *Annual review of Ecology and Systematics*, 1980(11), 233 – 260.
- Chaplin, M. H. & Martin, L. W. (1979). Seasonal changes in leaf element content of cranberry, *Vaccinium macrocarpon* ait. *Communications in Soil Sciences and Plant Analyses*, 10(6), 895 – 902.
- Chen, Y. H., Han, W. X., Tang, L. Y., Tang, Z. L., Fang, J. Y. (2013). Leaf nitrogen and phosphorus concentrations of woody plants differ in responses to climate, soil and plant growth form. *Ecography*, 36, 178 – 184.
- Cleland, E. E. & Harpole, W. S. (2010). Nitrogen enrichment and plant communities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1195(1), 46-61.
- de Graaf, M.C. C., Bobbink, R., Verbeek, P. J. M., & Roelofs, J. C. M. (1997). Aluminium toxicity and tolerance in three heathland species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 98, 229 – 241.
- Diemont, W. H. (1996). *Survival of Dutch heathlands*. IBN Scientific contributions 1. DLO Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO), Wageningen.
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), 889 – 892.

- Härdtle, W., von Oheimb, G., Gerke, A. K., Niemeyer, M., Niemeyer, T., Assmann, T., Drees, C., Matern, A., & Meyer, H. (2009). Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: Effects of management and atmospheric inputs. *Ecosystem*, 12(2), 298 – 310.
- Hart, J., Strik, B., White, L., & Yang, W. (2006). *Nutrient management for blueberries in Oregon*. Nutrient management guide, Oregon State University.
- Lucassen, E., Aben, R., Smolders, A., Bobbink, R., Van Diggelen, J., Van Roosmalen, M., Boxman, D., Van den berg, L., & Roelofs, L. (2014). Bodemverzuring als aanjager van eikensterfte: gevolgen voor herstelmaatregelen. *Natuur bos en landschap*, maart 2014, 23 – 27.
- Lucassen, E., van Roosmalen, M.I.J.T., & Roelofs, J.G.M. (2019). Heideherstel Vulkamin; een beter alternatief voor Dolocal. *Landschap*, 2019 (1), 25 – 33.
- Ordoñez, J. C., van Bodegom, P. M., Witte, J. P. M., Wright, I. J., Reich, P. B., Aerts, R. (2009). A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Global Ecology Biogeography*, 18, 137 – 149.
- Pearson, J. & Stewart, G. R. (1993). The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New phytologist*, 125(2), 283 – 305.
- Reich, P. & Oleksyn, J. (2004). Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(30), 11001 – 11006.
- Strik, B. C. & Vance, A. J. (2015). Seasonal variation in leaf nutrient concentration of Northern highbush blueberry cultivars grown in conventional and organic production systems. *HortScience*, 50(10), 1453 – 1466.
- Sutton, M. A., Mason, K. E., Sheppard, L. J., Sverdrup, H., Haeuber, R., & Hicks, W. K. (2014). *Nitrogen Deposition Critical Loads and Biodiversity*. Dordrecht. Springer (pagina 535).
- van den Burg, A. B. & Vogels, J. J. (2017). Zuur voor de fauna. *Landschap*, 2017(2), 71 – 79.
- van Rheenen, J. W., Werger, M. J. A., Bobbink, R., Daniels, J. A., & Mulders, W. H. M. (1995). Short-term accumulation of organic matter and nutrient contents in two dry sand ecosystems. *Vegetatio*, 120, 161-171.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H., & Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications*, 7, 737 – 750.
- Vogels, J. J. (2013). *Voedsel van korhoenkuikens onder het vergrootglas – De relatie tussen plantkwaliteit en dichtheid van ongewervelde fauna op de Sallandse Heuvelrug*. Eindrapport Stichting Bargerveen.
- Vogels, J., Van den Burg, A., Remke, E., & Siepel, H. (2011). *Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010)*. OBN Rapport nr. 2011/OBN152-DZ.
- Vogels, J. J., Verberk, W. C. E. P., Lamers, L. P. M., & Siepel, H. (2017). Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? *Biological conservation*, 212, 432 – 447.
- Vogels, J. J., Weijters, M. J., Bijlsma, R.-J., de Waal, R., Bobbink, R., & Siepel, H. (2016). *Fosfaattoevoeging heide*. OBN 207-DZ.

- Vogels, J. J., Weijters, M., Bergsma, H., Bobbink, R., Siepel, H., Smits, J., & Krul, L. (2018). Van bodemherstel naar herstel van fauna in een verzuurd landschap. *De levende natuur*, 119(5), 200 – 204.
- von Oheimb, G., Power, S. A., Falk, K., Friedrich, U., Mohamed, A., Krug, A., Boschatzke, N., & Härdtle, W. (2010). N:P ratio and the nature of nutrient limitation in *Calluna*-dominated heathlands. *Ecosystems*, 13(2), 317-327.
- Weijters, M., Bobbink, R., Verbaarschot, E., van de Riet, B., Vogels, J., Bergsma, H., & Siepel, H. (2018). *Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek*. OBN222- DZ. VBNE, Driebergen.