

Naar een Living Planet Index voor de drukfactoren klimaat en stikstof



Naar een Living Planet Index voor de drukfactoren klimaat en stikstof

Naar een Living Planet Index voor de drukfactoren klimaat en stikstof

Tekst

Chris van Swaay – De Vlinderstichting
Chris van Turnhout – Sovon Vogelonderzoek
Laurens Sparrius - Floron

Met medewerking van

Michiel Wallis de Vries
Gregory van den Top
Christian Kampichler (Sovon)
Ruud Foppen (Sovon)

Rapportnummer

VS2017.006

Projectnummer

P2017-008

Productie

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

Opdrachtgever

Wereldnatuurfonds

Deze publicatie kan worden geciteerd als

Van Swaay, C.A.M., Van Turnhout, C.A.M. & Sparrius, L. (2017). *Naar een Living Planet Index voor de drukfactoren klimaat en stikstof*. Rapport VS2017.006, De Vlinderstichting, Wageningen

Trefwoorden

Dagvlinders – libellen – vogels – planten – temperatuur – stikstof – indicator - LPI

November 2017



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

Inhoud

Samenvatting	5
Inleiding.....	7
Methode.....	8
Community indicators	8
Deel LPI's	11
Resultaten	12
Relatie stikstof- en temperatuurgetallen	12
Temperatuur	14
Stikstof	25
Trend van individuele soorten als functie van STI en SNI	34
Discussie.....	35
Methode.....	35
Temperatuur	36
Stikstof	38
Temperatuur en stikstof als drukfactoren	40
Vervolg	40
Literatuur	42
Bijlage 1: Rekenmethode voor de STI voor planten en libellen	44
Data	44
Berekening	44
Bijlage 2: R-script voor het berekenen van de CTI en CNI	46

Samenvatting

Het eerste Living Planet Report - Natuur in Nederland uit 2015 maakte duidelijk dat de biodiversiteit in Nederland (uitgedrukt in de Living Planet Index, LPI) sinds 1990 licht gestegen is. Uitsplitsing naar verschillende leefgebieden liet echter grote verschillen zien, waarbij met name in de natte delen de biodiversiteit is toegenomen, maar in veel terrestrische delen juist is afgenomen. De logische vraag waar de verschillen op terug te voeren zijn kon in grote lijnen wel beantwoord worden, maar liet ook nog flinke kennislacunes zien. Voor de LPI van 2019 willen we de onderliggende drukfactoren beter kunnen benoemen en voor zover mogelijk kwantificeren, en hun effecten op de biodiversiteit kunnen duiden.

In dit rapport worden community indicators (CTI voor temperatuur, CNI voor stikstof) uitgewerkt voor de drukfactoren klimaat(verandering) en stikstofbelasting voor broedvogels, dagvlinders en planten. In enkele gevallen wordt ook een verdere uitsplitsing naar soort-eigenschappen (*traits*) gemaakt.

Als aanvulling worden ook deel-LPI's berekend voor de bovengenoemde soortgroepen voor stikstofminnende en -mijdende soorten alsmede warmte- en koudeminnende soorten.

Voor al de vier onderzochte soortgroepen stijgt de CTI: de soorten met een hogere temperatuurvoorkeur, die in het algemeen het zwaartepunt van hun verspreiding ten zuiden van ons land hebben, worden relatief talrijker ten opzichte van de soorten met een lage STI (en een meer noordelijke verspreiding). De stijging van de CTI is duidelijk minder dan de temperatuurstijging in De Bilt: de planten- en dierengemeenschappen passen zich vertraagd aan en 'raken achterop'. Bij de deel-LPI's van zowel vogels als planten, stijgt de deel-LPI voor warmteminnende soorten. Bij deze soortgroepen profiteren soorten met een meer zuidelijke verspreiding van de opwarming van ons klimaat en nemen toe. Bij dagvlinders is dit niet het geval: ook warmteminnende soorten gaan achteruit. Dat veel vlinders niet kunnen profiteren van de opwarming kan mede worden verklaard door het zogenaamde *microclimatic cooling* effect.

De dagvlinders en planten laten zoals verwacht een stijging van de CNI zien: stikstofminnende planten en vlinders nemen relatief meer toe (of minder af) dan stikstofmijdende planten en vlinders. Bij de vogels is dit effect tegen de verwachting in helemaal niet zichtbaar: de CNI van vogels daalt zelfs. Dit zou betekenen dat vogels met een voorkeur voor stikstofarme omstandigheden relatief talrijker zijn geworden. Maar ook voor planten moet de toename van de CNI gerelativeerd worden: tot midden jaren negentig was er een duidelijke stijging van de CNI, maar daarna daalt de CNI licht.

De deel-LPI's voor de stikstofvoorkeur laten voor zowel dagvlinders en planten als vogels hetzelfde beeld zien: de stikstofminnende soorten hebben een positievere trend dan de stikstofmijdende soorten. Voor de vogels is dat enerzijds verrassend, omdat dit resultaat ogenschijnlijk in tegenspraak is met de dalende CNI, maar anderzijds beter in lijn met de verwachting. Veel stikstofmijdende vogelsoorten zijn relatief schaars (beperkte invloed op CNI) en tevens warmteminnend (interactie met CTI), hetgeen wellicht een gedeeltelijke verklaring biedt voor het verschil tussen CNI en deel-LPI's.

De onderzochte groepen reageren weliswaar allemaal duidelijk op de drukfactoren temperatuur en stikstof, maar vooral voor stikstof niet erg eenduidig, wat deels te verklaren is door methodologische verschillen achter beide typen indicatoren en op

het mogelijk te grove schaalniveau dat gebruikt moest worden om stikstofwaarden van planten te koppelen aan het voorkomen van vogels.

We moeten daarbij niet vergeten dat onze planten en dieren naast deze drukfactoren nog aan veel andere veranderingen blootstaan, waarvan sommige ook juist positief kunnen uitwerken. Zo is er veel meer kennis voorhanden over het juiste natuurbeheer, waardoor soorten beter behouden kunnen worden dan dertig jaar geleden. Dit kan voor sommige soorten daarmee belangrijker geweest zijn dan de effecten van klimaatverwarming of stikstofdepositie.

Inleiding

Het eerste Living Planet Report - Natuur in Nederland uit 2015 maakte duidelijk dat de biodiversiteit in Nederland (uitgedrukt in de Living Planet Index, LPI) sinds 1990 licht gestegen is. Uitsplitsing naar verschillende leefgebieden liet echter grote verschillen zien, waarbij met name in de natte delen de biodiversiteit is toegenomen, maar in veel terrestrische delen juist is afgenomen. De logische vraag waar de verschillen op terug te voeren zijn kon in grote lijnen wel beantwoord worden, maar liet ook nog flinke kennislacunes zien. Voor de LPI van 2019 willen we de onderliggende drukfactoren beter kunnen benoemen en voor zover mogelijk kwantificeren, en hun effecten op de biodiversiteit kunnen duiden.

Daartoe is in 2016 een programma opgesteld, waarin de eerste stap de verdere uitwerking van gemeenschapsindicatoren is. *Community indicators* (gemeenschapsindicatoren) maken gebruik van de veranderingen in de samenstelling van gemeenschappen van plant- en diersoorten onder invloed van drukfactoren. Omdat gekeken wordt naar gewogen veranderingen in aantallen, zijn deze indicatoren bijzonder gevoelig, vooral in soortenrijke groepen.

In dit rapport worden community indicators uitgewerkt voor de drukfactoren klimaat(verandering) en stikstofbelasting voor broedvogels, dagvlinders en planten. In enkele gevallen wordt ook een verdere uitsplitsing naar soort-eigenschappen (*traits*) gemaakt.

Als aanvulling worden ook deel-LPI's berekend voor de bovengenoemde soortgroepen voor stikstofminnende en -mijdende soorten alsmede warmte- en koudeminnende soorten.

Methode

Het onderzoek richt zich op twee hoofdlijnen: 1) de community indicators voor klimaat en stikstof en 2) deel-LPI's voor broedvogels, dagvlinders en planten.

Community indicators

Community indicators maken gebruik van de veranderingen in de samenstelling van gemeenschappen van plant- en diersoorten onder invloed van drukfactoren, waarbij gekeken wordt naar gewogen veranderingen in aantallen per soort.

In dit rapport richten we ons op de volgende twee indicatoren:

- De CTI (Community Temperature Index): klimaatopwarming is een van de sterke drijvende krachten achter de veranderingen in onze flora en fauna. Er is op dit moment een Europese CTI voor vogels en dagvlinders (Devictor et al., 2012). In dit rapport wordt deze indicator berekend voor de Nederlandse situatie voor vogels en dagvlinders. Daarnaast wordt het basismateriaal voor de berekening voor planten en libellen toegevoegd en de CTI voor planten en libellen berekend.
- De CNI (Community Nitrogen Index): voor vaatplanten wordt al enkele decennia gebruik gemaakt van indicatorwaarden voor (micro)klimaat, zuurgraad en nutriënten (Ellenberg, 1992; Schaffers & Sýkora, 2000; Wamelink et al., 2002). Ook voor dagvlinders zijn inmiddels dit soort waardes per soort beschikbaar (Oostermeijer & Van Swaay, 1998) en verwerkt in de stikstof community indicator CNI (Wallis de Vries & Van Swaay, 2016). In dit rapport wordt deze indicator opnieuw berekend en geüpdatet voor planten en dagvlinders. Daarnaast worden de benodigde basisgegevens voor de CNI voor broedvogels verzameld en wordt de vogel-CNI berekend.

Basis voor een community indicator is een bekende optimum-waarde van een soort voor temperatuur (voor de CTI) en stikstof (voor de CNI).

Temperatuuroptimum

De gemiddelde temperatuur in de West-Palaearctische (WP) range van een soort is een goede indicatie voor zijn voorkeur voor hoge of juist lage omgevingstemperaturen. Deze wordt de **STI (Species Temperature Index)** genoemd. Voor de broedvogels wordt deze beperkt tot de broedperiode (maart-september; deel van de soorten is trekvogel), voor vlinders en planten wordt de gemiddelde jaartemperatuur gebruikt. De volgende gegevens zijn gebruikt:

- Vogels: conform Devictor et al. (2012) over de periode maart-september, maar herberekend met gebruikmaking van de hele WP range, inclusief Noord-Afrika (Devictor et al., 2012 gebruiken alleen Europa).
- Dagvlinders: conform Devictor et al. (2012) het hele jaar, zoals ook gepubliceerd door Schweiger et al. (2014).
- Planten en libellen: gebaseerd op GBIF data (www.gbif.org) voor de verspreiding en BIO1 (Annual Mean Temperature) op <http://www.worldclim.org/bioclim>. Omdat de hoeveelheid GBIF data sterk verschilt per land (waarbij ruwweg de noordelijke landen veel data beschikbaar maken in GBIF, en zuidelijke en oostelijke landen juist weinig) is een aangepaste rekenmethode ontwikkeld voor het vaststellen van de STI. Deze rekenmethode wordt in bijlage 1 nader toegelicht.

De vogels zijn ook opgesplitst naar traits voor voedselvoorkeur (planteneters, ongewerveldeneters en vleeseters) alsmede trekgedrag (standvogels, deeltrekkers/korte afstandstrekkers en lange afstandstrekkers).

Stikstofoptimum

Voor vaatplanten zijn de zogenaamde Ellenberg-waarden gebruikt voor nutriënten (Ellenberg, 1992; Schaffers & Sýkora, 2000; Wamelink et al., 2002). Voor dagvlinders is gebruik gemaakt van de optima zoals berekend door Oostermeijer & Van Swaay (1998). Deze hebben dezelfde schaal als de Ellenbergwaarden voor planten. Voor libellen zijn deze waarden in ontwikkeling, maar voor dit onderzoek nog niet beschikbaar.

De Ecologische Conditie database (Wamelink et al. 2002) bevat stikstofindicatorwaarden voor planten gemodelleerd zijn op basis van metingen van ammonium en nitraat in de bodem gekoppeld aan vegetatieopnamen. Toch bleken deze waarden niet goed bruikbaar, omdat voor moeras- en waterplanten consequent met bodemonsters (o.a. voedselrijk detritus en slib) is gewerkt. Deze waarden geven dus niet de stikstofbeschikbaarheid voor planten weer, maar de totale hoeveelheid stikstof in de bodem. Hierdoor hebben drijvende en ondergedoken waterplanten zeer hoge N-waarden vergeleken met planten van land en oevers. De dataset is waarschijnlijk wel bruikbaar wanneer alleen gekeken wordt naar verschillen binnen één milieutype. Ertsen et al. (1998, tabel 4) geeft ook al een zeer lage correlatiecoëfficiënt tussen metingen aan totaalstikstof en de Ellenberg-indicatiewaarde.

Voor broedvogels waren nog geen 'stikstofgetallen' per soort voorhanden. De volgende methode is hiervoor gevolgd:

- Voor alle kilometerhokken met goede occupancy-data voor planten (zie Metingen) is het gewogen gemiddelde Ellenberg-getal op basis van de voorkomende planten uitgerekend voor de periode 2012-2016.
- Op basis hiervan heeft Sovon een geostatistisch model gedraaid om voor de ontbrekende kilometerhokken het Ellenberg-getal bij te kunnen schatten. Dit is nodig omdat de plantendata op de arme zandgronden ondervertegenwoordigd waren.
- Vervolgens zijn stikstofwaarden per vogelsoort berekend door de Ellenberg-waarden per kilometerhok gewogen te middelen op basis van het voorkomen van broedvogels zoals vastgesteld tijdens het veldwerk voor de nieuwe Vogelatlas 2013-15.
- Voor schaarse en zeldzame soorten vond deze gewogen middeling plaats op basis van geturfde aantallen tijdens twee uurbezoeken per kilometerhok; voor algemene soorten werden de geturfde aantallen tijdens twee punttellingen op het middelpunt van elk kilometerhok gebruikt (maximum aantal over twee bezoeken).
- Een alternatieve benadering via log-lineaire regressie (aantallen) of logistische regressie (presenties), zoals uitgevoerd voor de dagvlinders (Oostermeijer & Van Swaay, 1998) bleek geen bevredigende resultaten op te leveren, omdat er voor de vogels nauwelijks significante unimodale verbanden werden gevonden (maar sigmoïdale). Dit zou betekenen dat de SNI-waarden voor de meeste soorten op de extremen 1 of 9 zou uitkomen, met weinig tussenliggende waarden, terwijl juist een meer continu verloop gewenst is voor een accurate CNI-berekening.
- De spreiding in SNI-waarden voor broedvogels blijkt klein. Mogelijk is dit een gevolg van het relatief grove schaalniveau waarop de planten- en vogeldata beschikbaar zijn (kilometerhokken; daarbinnen vaak diverse habitats aanwezig). De berekening levert wel een bevredigende rangschikking op van stikstofminnende naar -mijdende soorten.
- Overigens is er wel een sterke correlatie tussen de SNI-waarden per soort op basis van de gekozen aanpak met de gewogen gemiddelden en de beide regressie-aanpakken ($r=0.80$).

Metingen

De CTI en CNI per soortgroep zijn het resultaat van het gewogen gemiddelde van alle tellingen van de soorten in die soortgroep. De volgende basisgegevens zijn hiervoor gebruikt:

- Planten: Het CBS heeft de occupancy per jaar per kilometerhok berekend voor ongeveer 1000 vaatplanten tussen 1976 en 2016. Dit bleek mogelijk voor ongeveer 18.000 kilometerhokken. Dit zijn dus geen echte tellingen, maar getallen die iets zeggen over de kans op voorkomen in een kilometerhok. We gebruiken dit hier als een surrogaat voor een echte telling. Doordat verspreidingsdata (aan-/afwezigheid) veel minder gevoelig zijn voor veranderingen dan populatiedata (aantallen; zoals bij de vogels en de vlinders), is de grootte van de uiteindelijke verandering in de CTI en CNI daardoor ook veel kleiner.
- Dagvlinders: De tellingen binnen het Landelijk Meetnet Vlinders, onderdeel van het NEM, tussen 1990 en 2016. (<http://www.vlinderstichting.nl/landelijk-meetnet-vlinders>). Alleen algemene routes (waar bij elk bezoek alle soorten geteld worden) zijn meegenomen. Er zijn alleen route-jaar combinaties gebruikt waarvoor in de maanden april-augustus tenminste één telling per maand gedaan is. Per route en jaar zijn alle tellingen gesommeerd als gewicht voor de CTI en CNI berekeningen. De distelvlinder is een trekvlinder uit Afrika met een voorkeur voor voedselrijke omstandigheden. Deze soort had in 2009 een enorme invasie, die het patroon verstoord. Daarom is deze soort niet meegenomen in de berekeningen.
- Libellen: De tellingen binnen het Landelijk Meetnet Libellen, onderdeel van het NEM, tussen 1998 en 2016 (<http://www.vlinderstichting.nl/landelijk-meetnet-libellen>). Er zijn alleen route-jaar combinaties gebruikt waarvoor in de maanden mei-augustus tenminste één telling per maand gedaan is. Per route en jaar zijn alle tellingen gesommeerd als gewicht voor de CTI berekeningen. Omdat voor de libellen nog geen optimum waardes beschikbaar zijn voor stikstof, is deze soortgroep niet gebruikt voor het berekenen van de CNI. Overigens zullen deze optima in de loop van 2017 beschikbaar komen, zodat ook een aquatische groep gebruikt kan worden voor de CNI.
- Vogels: Het Broedvogel Monitoring Project (<https://www.sovon.nl/nl/BMP>) is het op één na oudste monitoringproject van Sovon. Het is gestart in 1984. Het BMP kent verschillende varianten, voor alle soorten, alleen bijzondere soorten, roofvogels etc. Voor deze analyses zijn alleen telgebieden gebruikt waarin alle soorten worden onderzocht (BMP-A). De input data bestaan uit het aantal territoria per soort per telgebied per jaar.

De CNI en CTI berekening

Voor het berekenen van de CTI en CNI worden bovenstaande data samengevoegd, en wordt een gewogen gemiddelde berekend gebaseerd op de optimum waarde voor temperatuur en stikstof voor een soort (STI resp. SNI), en als weegfactor het aantal territoria in het telgebied (vogels) of op het transect (vlinders en libellen). In de CTI berekeningen voor vogels en vlinders wordt een random factor toegevoegd voor het telgebied-/routenummer (net als in Devictor et al. 2012). Conform Oliver et al. (2017) is voor vogels en vlinders ook een random factor toegevoegd voor het 10x10km hok. Dit leidde trouwens niet tot een verbetering van de Goodness of Fit, zoals bij Oliver et al. (2017). Dit komt vermoedelijk omdat in Nederland het aantal tellocaties bijzonder hoog is voor zowel vogels als vlinders, en deze bovendien goed verdeeld over het land liggen.

Voor planten is de occupancy gebruikt als weegfactor. Hier is verder geen random factor gebruikt.

De CTI en CNI zijn ook berekend voor leefgebieden. Daartoe zijn voor vogels en vlinders alle plots of routes toegedeeld aan de leefgebieden agrarisch, bos, open

natuur of stedelijk. Voor planten, waar gewerkt wordt met de occupancy per kilometerhok, is voor alle kilometerhokken eerst de oppervlakte van deze vier leefgebieden berekend en toegedeeld aan het type met de grootste oppervlakte. De bronnen hiervoor zijn:

- Natuur: alle typen op de Beheertypenkaart 2012 die geen bostypen zijn
- Kadaster Top10nl versie juni 2017 (Postgis-dump via NLEextract), tabel Terreinvlak.Typelandgebruik. Deze kaartlaag dekt geheel Nederland.
- Bos: tekst bevat “bos” of “populieren”
- Stad en dorp: bebouwd gebied, braakliggend, dodenakker, spoorbaanlichaam
- Agrarisch: akkerland, grasland, boomgaard, boomkwekerij, fruitkwekerij (en niet overlappend met de beheertypenkaart)

Van elk type leefgebied is het oppervlak in een kilometerhok bepaald. Het landschapstype met het grootste oppervlak is toegewezen aan het kilometerhok. In bijlage 2 wordt het R-script gegeven voor de berekening van de CTI en CNI waarden.

Deel LPI's

Op basis van hun temperatuur- en stikstofvoorkeur zijn alle planten, vlinders en vogels waarvan indexen beschikbaar zijn, opgesplitst in drie groepen:

- Het bovenste derde deel bestaat uit warmteliefhebbers dan wel stikstofminnende soorten.
- Het onderste derde deel bestaat uit warmtemijdende dan wel stikstofmijdende soorten.

De soorten daartussen worden beschouwd als “neutrale” soorten. Een robuustheids-analyse op basis van een andere verdeling van de drie groepen (resp. 25%-25%-50% van de soorten) leverde zeer vergelijkbare deel-LPI's op. Deze wordt hier verder niet besproken, maar duidelijk is dat de resultaten niet gevoelig zijn voor de manier waarop de groepen worden ingedeeld.

Berekening deel-LPI's per soortgroep

Voor het berekenen van de deel-STI's is gebruik gemaakt van de MSI tool van het CBS (<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/indexen-en-trends--trim--/msi-tool>). Dit is dezelfde tool die gebruikt wordt voor het berekenen van de LPI. Input zijn de indexen en hun standaardfouten voor vogels en dagvlinders uit de NEM-meetnetten, voor de planten is gebruik gemaakt van de verspreidingstrends uit de occupancy-data. De MSI tool geeft ook voor elke deel-LPI aan of de trend significant stijgt of daalt.

Berekening deel-LPI over de drie soortgroepen samen

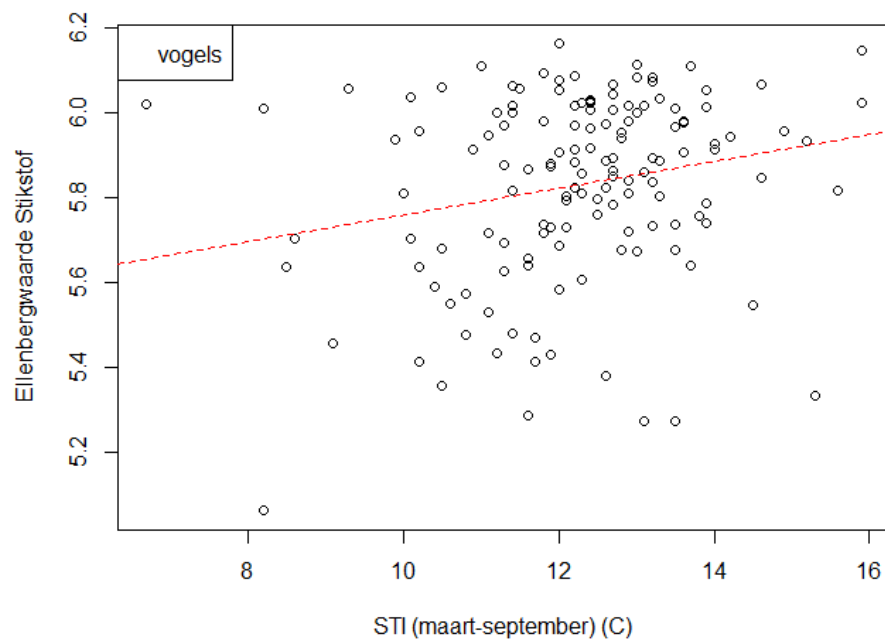
Tot slot zijn de deel-LPI's van de soortgroepen per drukfactor (temperatuur en stikstof) samengenomen. Hiertoe zijn de resultaten van de deel-LPI's per soortgroep ongewogen samengevoegd in een nieuwe bewerking met de MSI-tool. Op deze manier tellen alle drie groepen dus even zwaar mee, onafhankelijk van het aantal onderliggende soorten. Zouden we alle soorten even zwaar laten meetellen, dan zouden de resultaten zwaar gedomineerd worden door planten, die meer dan 80% van het totaal aantal soorten bevatten.

Resultaten

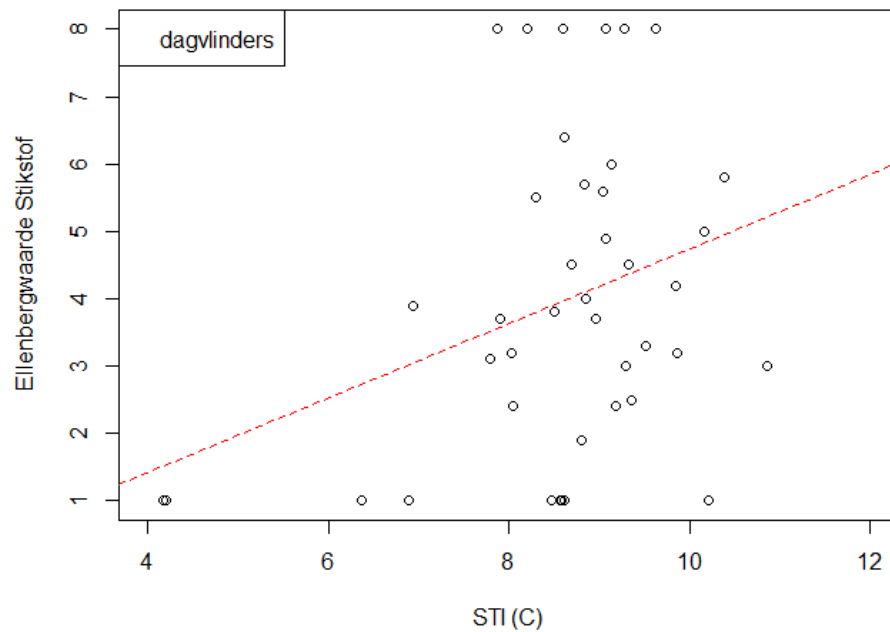
In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond per drukfactor.

Relatie stikstof- en temperatuurgetallen

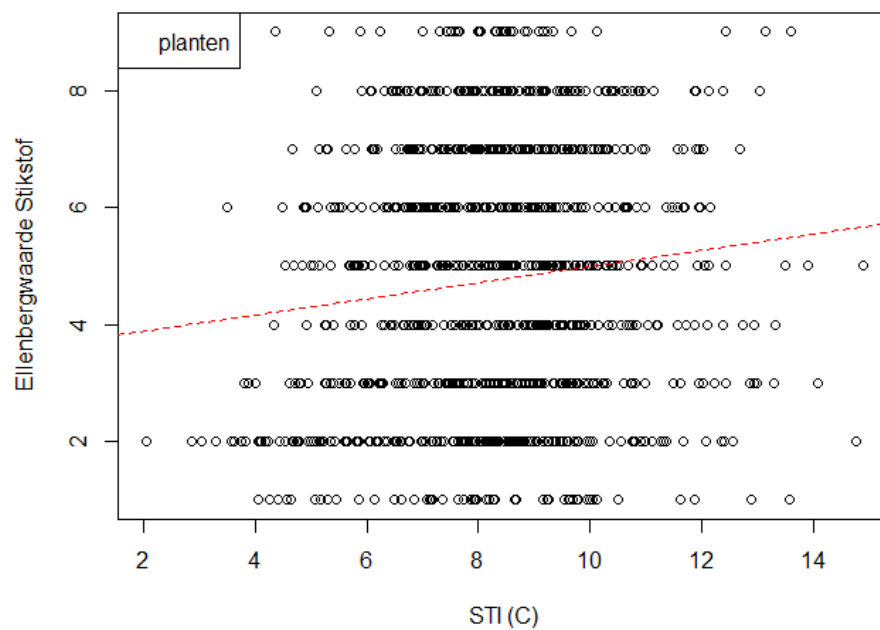
Voor elke soortgroep is per soort de temperatuurvoorkeur (STI) uitgezet tegen de stikstofwaarde (SNI) (figuur 1 t/m 3). Er is voor alle drie groepen een significant positief verband tussen beide waarden, al is de spreiding altijd erg groot. Bij alle drie groepen zijn warmteminnende soorten dus relatief vaak ook stikstofminnend. Dit betekent dat STI en SNI niet helemaal onafhankelijk zijn van elkaar, iets waarmee bij de interpretatie rekening moet worden gehouden.



Figuur 1: relatie tussen STI en SNI voor vogels. De rode stippellijn geeft de regressielijn (F-statistic: 6.962, 140 DF, p-value: 0.009269).



Figuur 2: relatie tussen STI en SNI voor dagvlinders. De rode stippellijn geeft de regressielijn (F-statistic: 4.584, 39 DF, p-value: 0.03858).



Figuur 3: relatie tussen STI en SNI voor planten. De rode stippellijn geeft de regressielijn (F-statistic: 14.9, 1047 DF, p-value: 0.0001201).

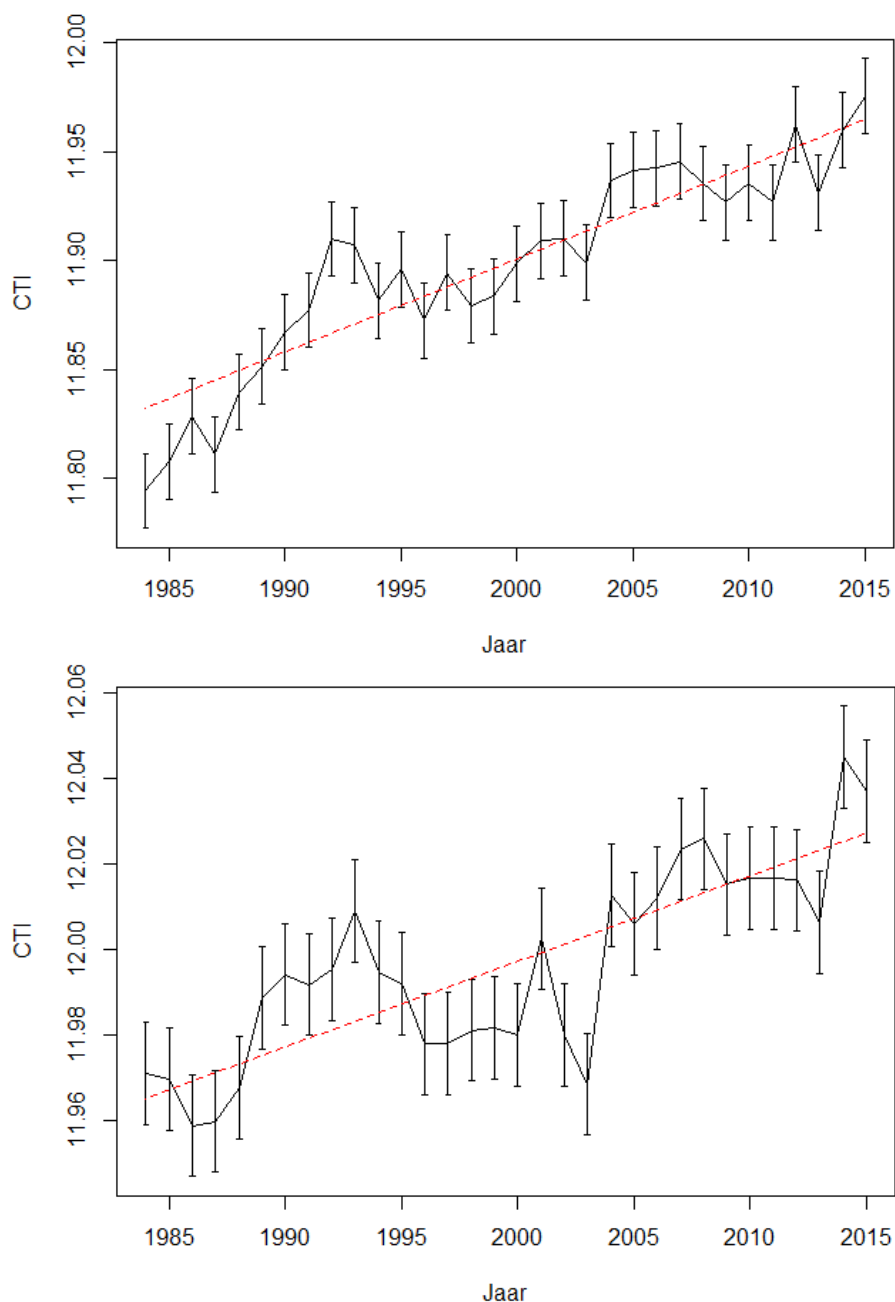
Temperatuur

Community indicators

De CTI waarde per jaar is berekend voor planten, dagvlinders, libellen en vogels.

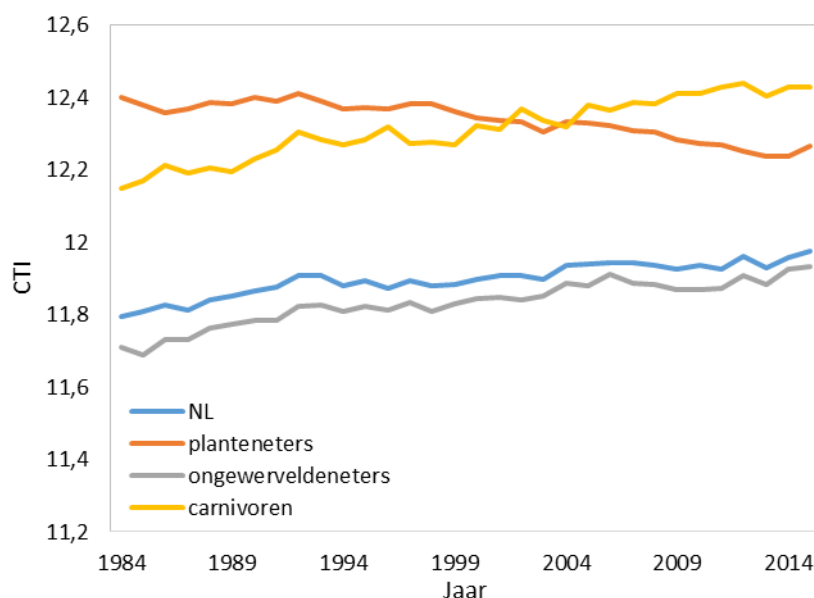
Vogels

De broedvogels vertonen een duidelijke en significante stijging van de CTI (figuur 4) met een toename van gemiddeld $0,0043\text{ }^{\circ}\text{C}$ per jaar. De aantallen van warmteminnende soorten worden dus relatief steeds groter, die van koudeminnende soorten steeds kleiner. De toename is het sterkst in de periode van midden jaren 1980 tot midden jaren 1990. Als er niet wordt gewogen naar aantal, is de stijging nog $0,0020\text{ }^{\circ}\text{C}$ per jaar.

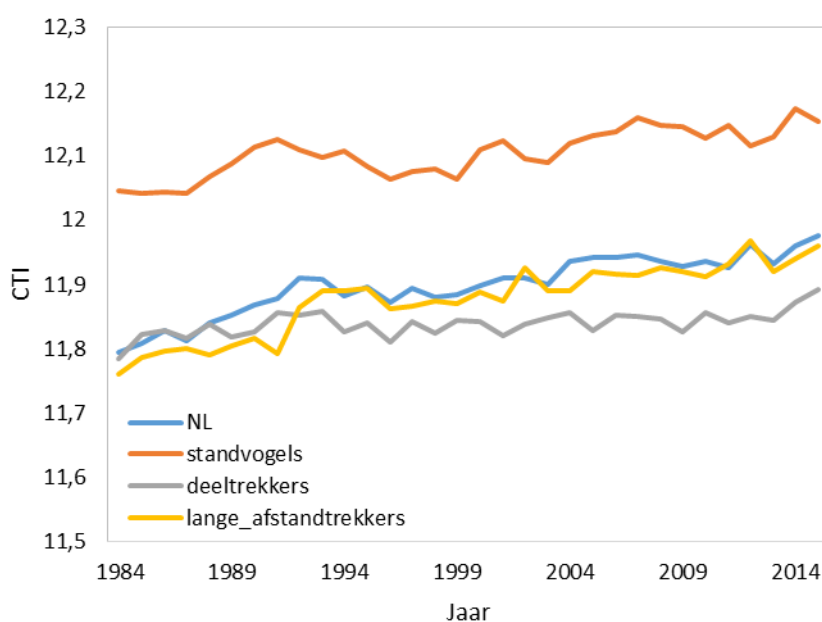


Figuur 4: Community Temperature Index (CTI) voor broedvogels over de periode 1984-2015. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn. De bovenste grafiek is gemaakt met aantallen als gewicht ($DF=18934$, $t=17.01305$, $p<0.001$), bij de onderste wegen alle soorten even zwaar ($DF=18934$, $t=11.45377$, $p<0.001$).

De vogels zijn ook opgesplitst naar de eigenschappen dieet in het broedseizoen (plantenetters, ongewerveldeneters en vleeseters) en trekgedrag (standvogels, deeltrekkers/korte afstandstrekkingen en lange afstandstrekkingen). Bij de voedseltraits (figuur 5) valt op dat de plantenetters als enige groep een dalende CTI laten zien. Dit is vermoedelijk deels te wijten aan de toename van de broedpopulaties van sommige soorten ganzen (graseters), die voor een belangrijk deel in Arctische gebieden broeden en zodoende een heel lage STI hebben. Omdat de ganzen hier ook blijven broeden vanwege de voedselrijkdom, is dit ook een stikstofeffect. Kijken we naar de trait trekgedrag (figuur 6), dan stijgen weliswaar alle lijnen, maar die van de deeltrekkers verreweg het minste. Deze groep is in theorie ook het meest flexibel om het trekgedrag aan te passen in reactie op klimaatverandering, omdat de populatie al bestaat uit deels standvogels en deels trekvogels.



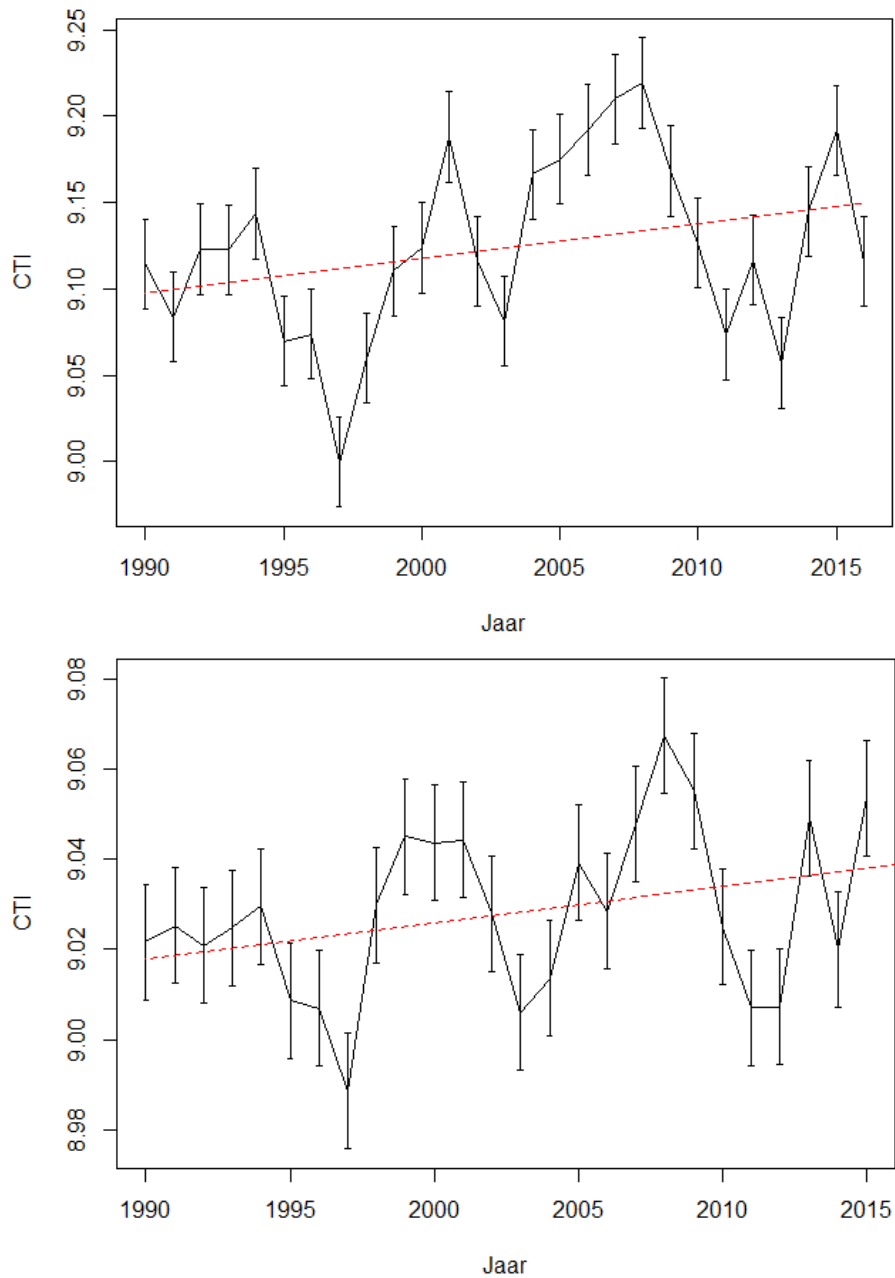
Figuur 5: Community Temperature Index (CTI) voor drie groepen voedseltraits voor vogels over de periode 1984-2015. Ook de Nederlandse CTI voor vogels is aangegeven.



Figuur 6: Community Temperature Index (CTI) voor drie groepen trekgedrag bij vogels over de periode 1984-2015. Ook de Nederlandse CTI voor vogels is aangegeven.

Dagvlinders

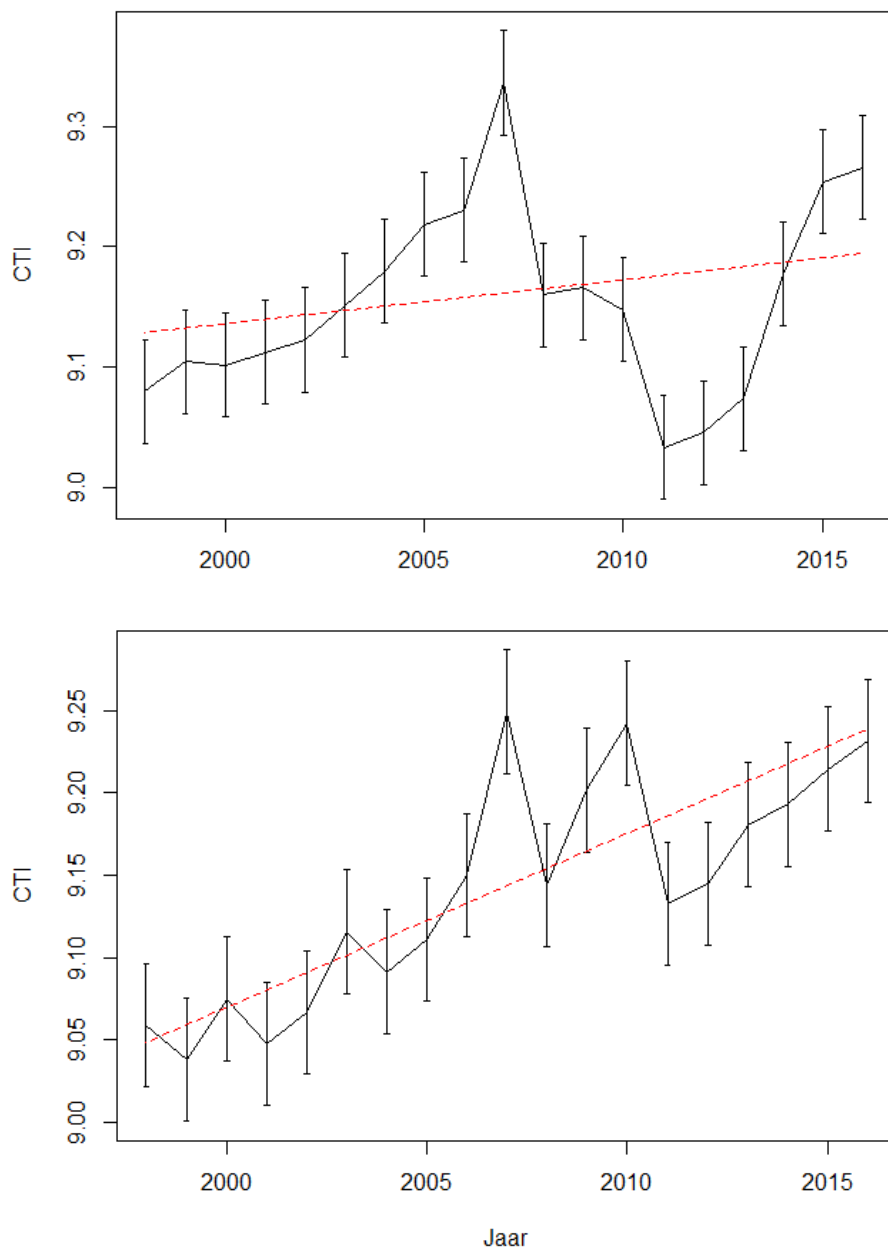
Al vertoont de CTI voor de vlinders veel sterkere jaarfluctuaties dan bij vogels en planten (figuur 7), de stijging over de periode 1990-2016 is wel significant $0,0020\text{ }^{\circ}\text{C}$ per jaar. Als alleen naar de soortensamenstelling gekeken wordt (alle aantallen zijn op 1 gezet) dan is er een stijging van $0,0008\text{ }^{\circ}\text{C}$ per jaar.



Figuur 7: Community Temperature Index (CTI) voor dagvlinders over de periode 1990-2016. Bij de bovenste grafiek is gewogen naar het aantal getelde vlinders. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn (DF: 5387, $t=4.341111$, $p<0.001$). Bij de onderste grafiek is alleen gekeken naar de soortensamenstelling (DF: 5127, $t= 3.091993$, $p<0.01$).

Libellen

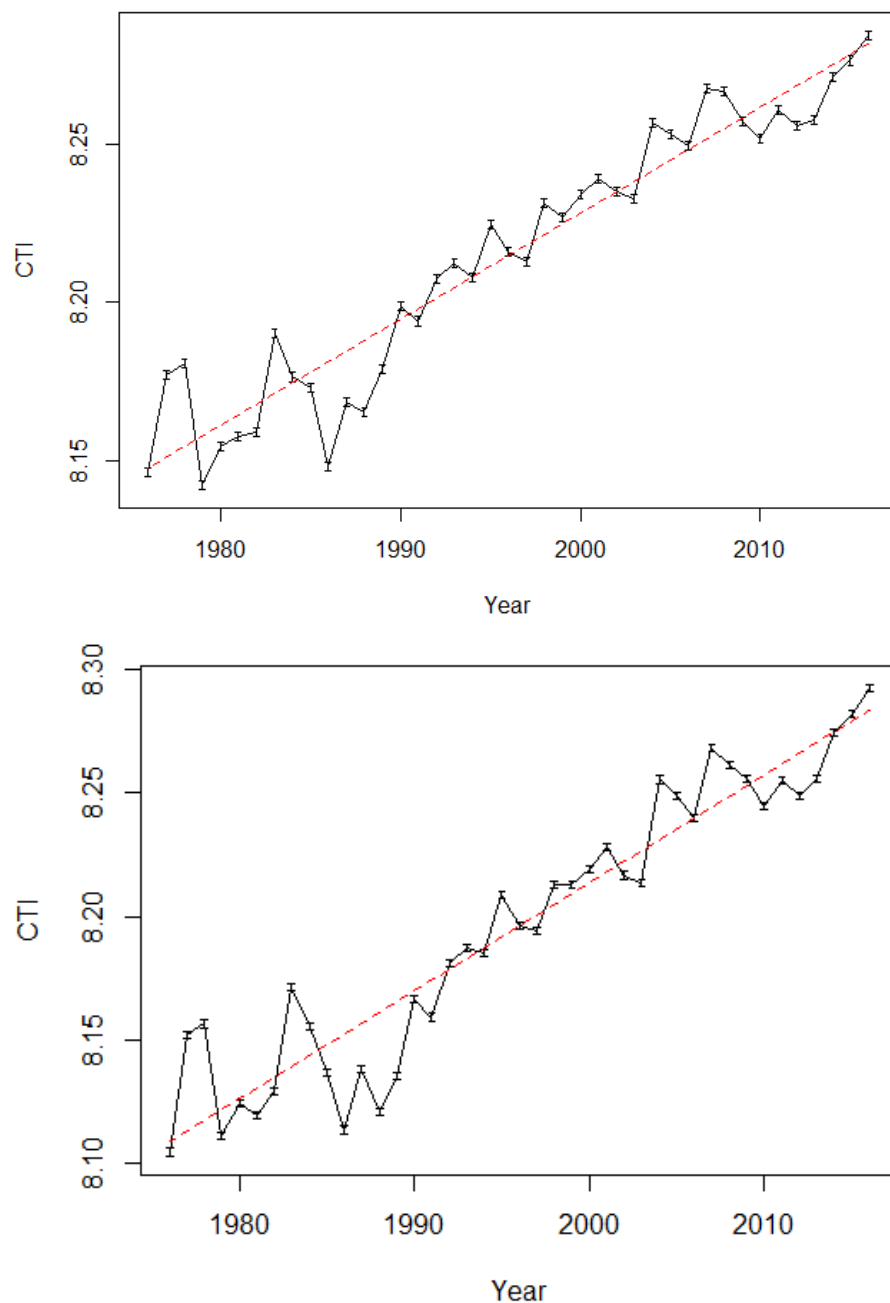
Net als de vlinders laten de libellen grote schommelingen zien (figuur 8), maar hebben toch een significante toename van de CTI van gemiddeld $0,0046^{\circ}\text{C}$ per jaar sinds 1998, de sterkste van alle groepen. Als alleen naar de soortensamenstelling gekeken wordt (alle aantallen zijn op 1 gezet) dan is er een stijging van $0,011^{\circ}\text{C}$ per jaar.



Figuur 8: Community Temperature Index (CTI) voor libellen over de periode 1998-2016. Bij de bovenste grafiek is gewogen naar het aantal getelde vlinders. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn (DF:2270, $t=2.822237$, $p=0.0048$). Bij de onderste grafiek is alleen gekeken naar de soortensamenstelling (DF: 2270, $t= 7.523907$, $p<0.001$).

Planten

De planten vertonen een vrijwel gestage en significante stijging van de CTI van gemiddeld 0,0033 °C per jaar over de periode 1976-2016, en 0,0044 °C per jaar als er niet naar occupancy gewogen wordt, maar alle occupancies groter of gelijk aan 0,5 als aanwezig worden beschouwd (figuur 9).



Figuur 9: Community Temperature Index (CTI) voor planten over de periode 1976-2016. Bij de bovenste grafiek is gewogen met de occupancy. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn (DF: 723959, $t=1182.157$, $p<0.001$). Bij de onderste grafiek is alleen gekeken naar de soortensamenstelling. Hiertoe is een occupancy ≥ 0.5 omgezet naar een voorkomen van de soort (DF: 723959 $t=839.2205$, $p<0.001$).

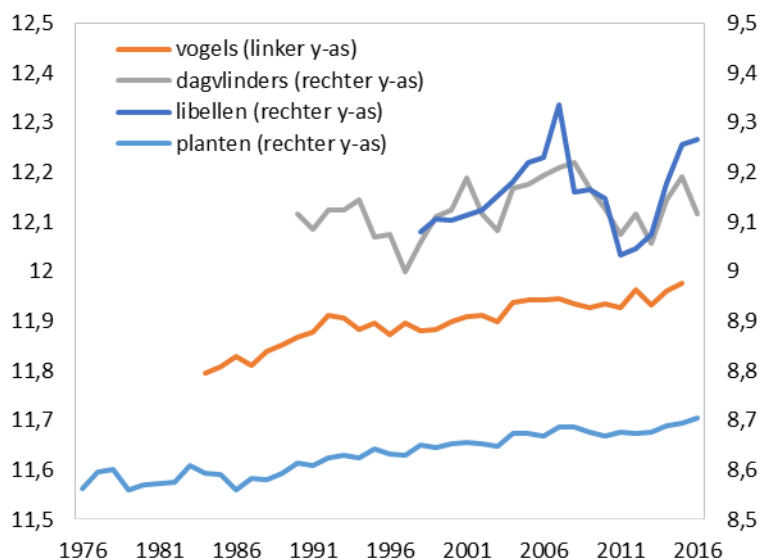
Overzicht CTI

De verbanden van de CTI van de vier groepen wordt samengevat in tabel 1. De grootste stijging binnen de hele beschikbare onderzoeksperiode (die verschilt tussen soortgroepen) wordt gevonden bij de vogels en de libellen, de kleinste bij de planten.

Tabel 1: Samenvatting van de trends van de CTI (temperatuur) per soortgroep. Alle trends zijn significant.

Soortgroep	Type trends	Periode	CTI verandering in °C per jaar
Vogels	populatietrend	1984-2015	0,0043
Dagvlinders	populatietrend	1990-2016	0,0020
Libellen	verspreidingstrend	1998-2016	0,0046
Planten	verspreidingstrend	1976-2016	0,0033

In figuur 10 worden de grafieken van de soortgroepen samen in één grafiek getoond met dezelfde schaal. Weliswaar schommelen de vlinder- en libellen-CTI flink, ze zijn gezien hun levenswijze ook veel gevoeliger voor jaarlijkse variatie in weersomstandigheden, ze hebben beide een duidelijke piek rond 2006 en een dal rond 2011. Voor planten en vogels verloopt de stijging veel geleidelijker.



Figuur 10: Community Temperature Index (CTI) voor vogels (linker y-as), dagvlinders, libellen en planten (allemaal rechter y-as) over de periode 1976-2016.

In tabel 2 worden de trends in de CTI gegeven over een overlappende onderzoeksperiode 1990-2015 voor de drie soortgroepen waarvoor de langste tijdreeksen beschikbaar zijn. De verschillen zijn kleiner en liggen tussen de 0,0025 en 0,0035 °C per jaar.

Tabel 2: Samenvatting van de trends van de CTI (temperatuur) per soortgroep voor de overlappende periode 1990-2015. Alle trends zijn significant.

Soortgroep	Type trends	Periode	CTI verandering in °C per jaar
Vogels	populatietrend	1990-2015	0,0035
Dagvlinders	populatietrend	1990-2015	0,0025
Planten	verspreidingstrend	1990-2015	0,0030

Leefgebieden

De ontwikkelingen in CTI zouden kunnen verschillen tussen de leefgebieden (Kampichler *et al.* 2012). Voor broedvogels en dagvlinders zijn de telgebieden en routes daarom toegedeeld aan vier leefgebieden (zoals die ook voor de landelijke LPI worden gehanteerd), voor planten zijn de kilometerhokken met occupancy-data toegedeeld. Zowel voor de hele periode als de laatste tien jaar is vervolgens de trend van de CTI per soortgroep per leefgebied berekend (tabel 3). Voor zover significant zijn alle trends over de hele periode positief. Voor de laatste tien jaar zijn enkele significante trends voor dagvlinders negatief.

De omvang van de toename in CTI kan tussen leefgebieden behoorlijk verschillen, al zien die verschillen bij de vogels duidelijk groter dan bij de planten. Voor broedvogels is deze bijvoorbeeld in open natuurgebieden en in mindere mate stedelijk gebied veel groter dan in boerenland. Ook bij planten is de toename in stedelijk gebied het grootst. In vrijwel alle gevallen is de verandering van de CTI in de laatste tien jaren kleiner dan over de hele periode (de enige uitzondering zijn de vogels in stedelijke gebieden).

Tabel 3: Samenvatting van de trends van de CTI (temperatuur) per soortgroep voor vier leefgebieden. Significantie: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, ns=niet significant.

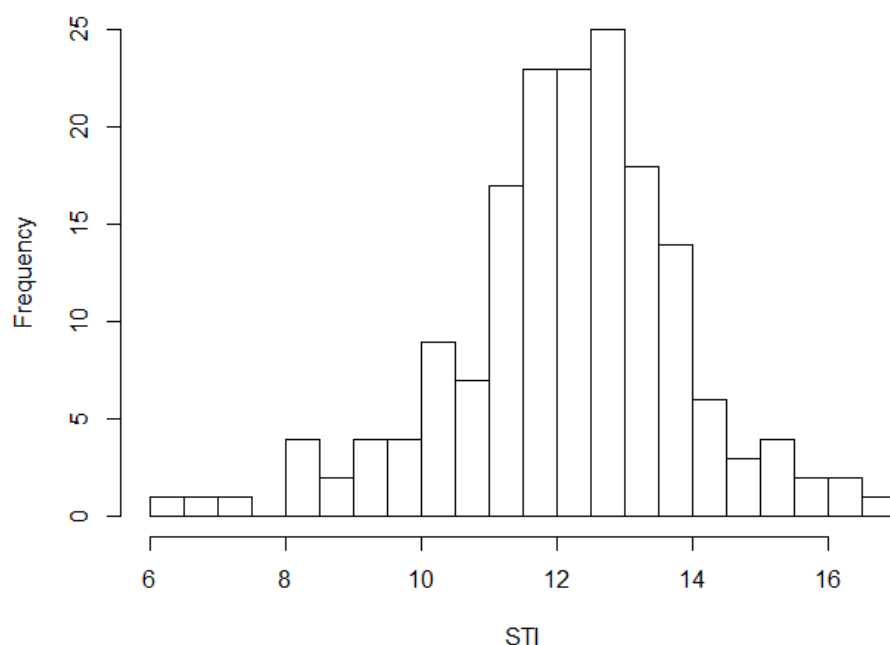
soortgroep	Leefgebied	periode	CTI verandering in °C per			CTI verandering in °C per		
			jaar	sign.	periode	jaar	sign.	sign.
vogels	agraris	1984-2015	0,0013	***	2006-2015	-0,0011	ns	
	bos	1984-2015	0,0036	***	2006-2015	0,0032	***	
	open natuurgebieden	1984-2015	0,0096	***	2006-2015	0,0066	***	
	stedelijk	1984-2015	0,0076	***	2006-2015	0,0102	***	
vlinders	agraris	1992-2016	-0,0018	ns	2007-2016	-0,0089	*	
	bos	1992-2016	0,0019	ns	2007-2016	-0,0041	ns	
	open natuurgebieden	1992-2016	0,0007	ns	2007-2016	-0,0068	***	
	stedelijk	1992-2016	0,0079	***	2007-2016	-0,0074	**	
planten	agraris	1976-2016	0,0034	***	2007-2016	0,0018	***	
	bos	1976-2016	0,0036	***	2007-2016	0,0017	***	
	open natuurgebieden	1976-2016	0,0030	***	2007-2016	0,0018	***	
	stedelijk	1976-2016	0,0051	***	2007-2016	0,0046	***	

Deel LPI's

Voor alle soorten binnen de vogels, dagvlinders en planten waarvoor indexen beschikbaar zijn én een STI beschikbaar is, is een toedeling gemaakt naar warmteminnende ("warm"), neutrale ("neutral") en koudeminnende soorten ("cool").

Vogels

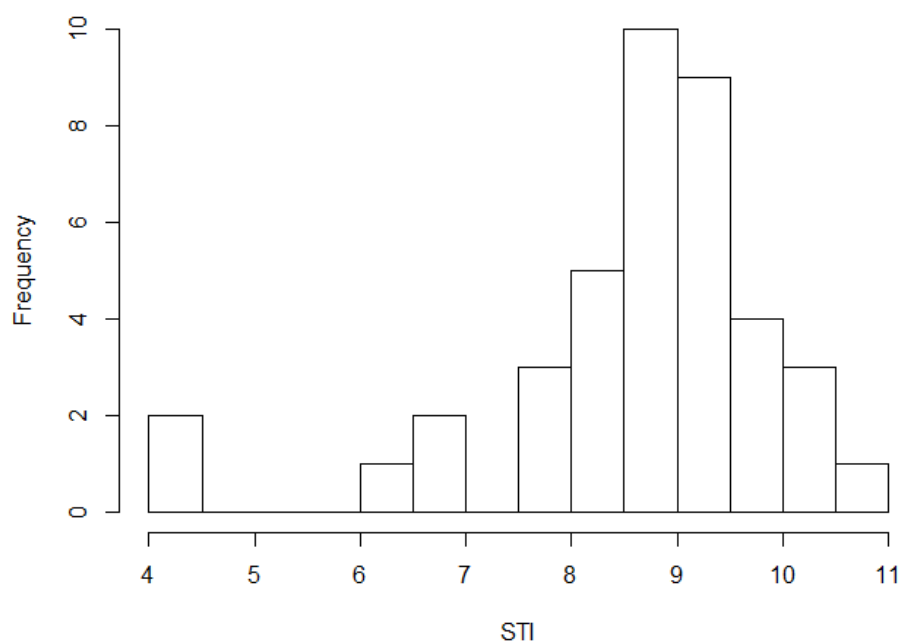
De verdeling van de STI van de vogels (figuur 11) is dicht bij een normale verdeling. De soorten zijn in drie even grote groepen ingedeeld. Alle soorten met een STI lager dan 11,8 zijn beschouwd als koele soorten, alle soorten met een STI hoger dan 12,9 als warme soorten, de overige soorten als neutraal.



Figuur 11: Frequentieverdeling van broedvogels over de STI.

Dagvlinders

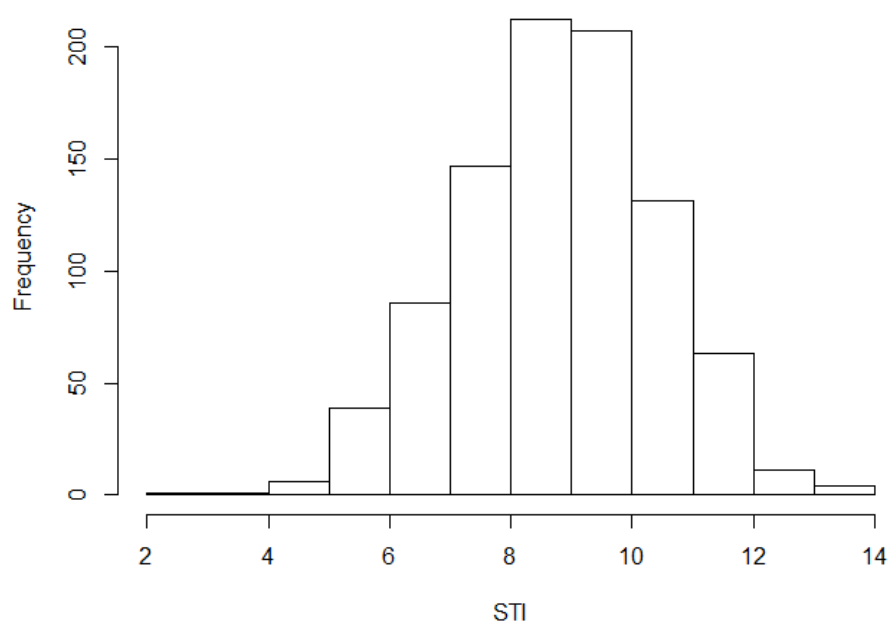
De verdeling van de STI van de dagvlinders (figuur 12) is dicht bij een normale verdeling. De soorten zijn in drie even grote groepen gedeeld. Alle soorten met een STI lager dan 8,58 zijn beschouwd als koele soorten, alle soorten met een STI hoger dan 9,28 als warme soorten, de overige soorten als neutraal.



Figuur 12: Frequentieverdeling van dagvlinders over de STI.

Planten

De verdeling van de STI van de planten (figuur 13) is dicht bij een normale verdeling. De soorten zijn in drie even grote groepen gedeeld. Alle soorten met een STI lager dan 8,15 zijn beschouwd als koele soorten, alle soorten met een STI hoger dan 9,48 als warme soorten, de overige soorten als neutraal.

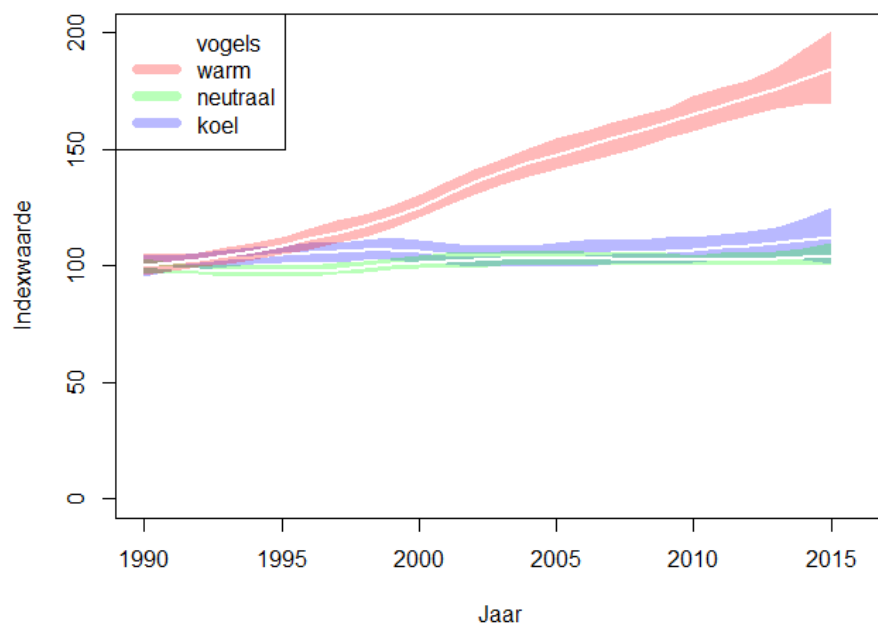


Figuur 13: Frequentieverdeling van planten over de STI.

Temperatuur deel-LPI's

Vogels

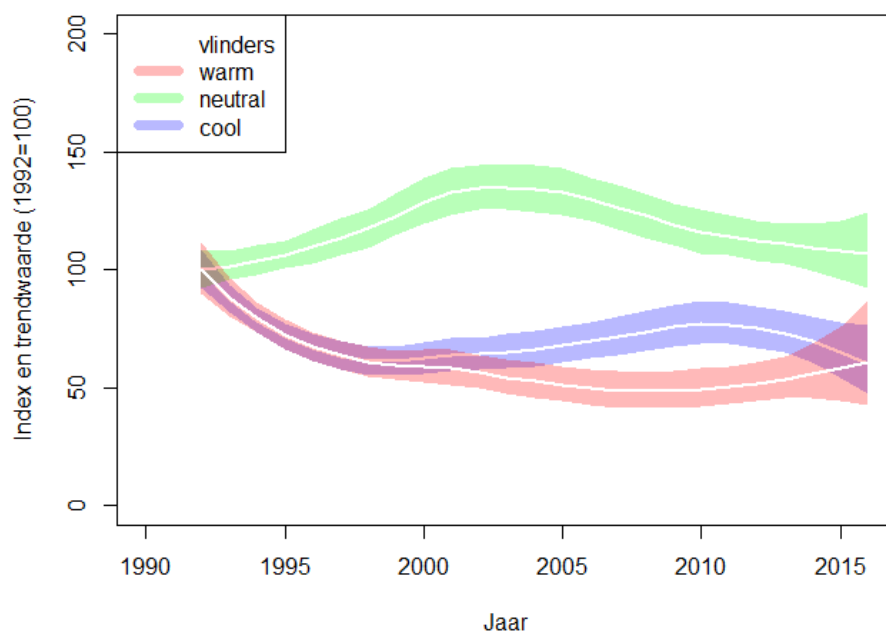
Bij de broedvogels verdubbelt de MSI voor de warmteminnende soorten bijna sinds 1990, voor de neutrale en koele groep is de index stabiel sinds 1990 (figuur 14).



Figuur 14: Multispecies Indicator (MSI) voor broedvogels met een voorkeur voor koele, neutrale en warme omstandigheden. 1990=100.

Dagvlinders

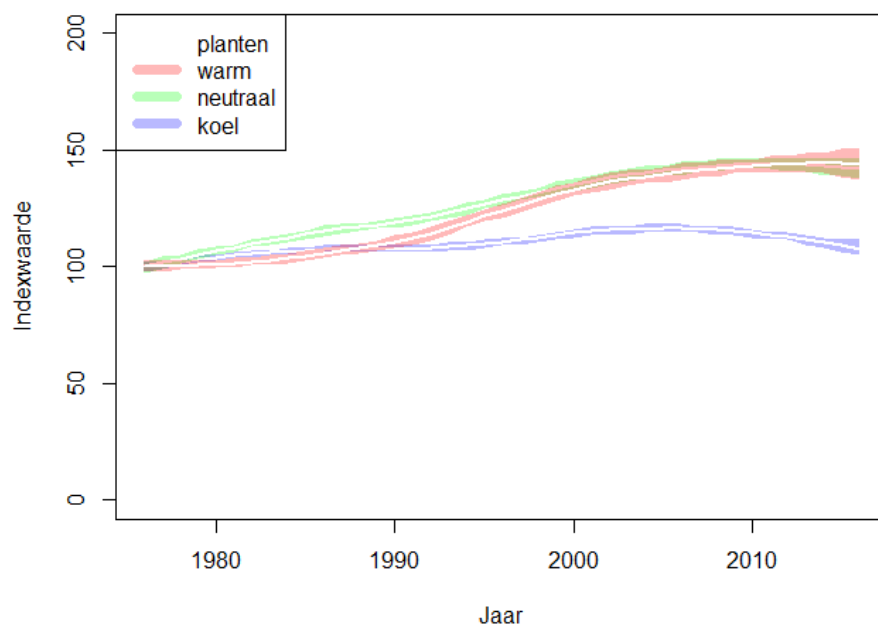
Bij de dagvlinders blijven de neutrale soorten stabiel, en nemen de koele soorten af. De soorten met een voorkeur voor warme omstandigheden nemen ook af (figuur 15).



Figuur 15: Multispecies Indicator (MSI) voor dagvlinders met een voorkeur voor koele, neutrale en warme omstandigheden. 1992=100.

Planten

Bij de planten nemen zowel de warme als neutrale soorten toe, met name vanaf 1990. De soorten met een voorkeur voor koele omstandigheden blijven stabiel (figuur 16).



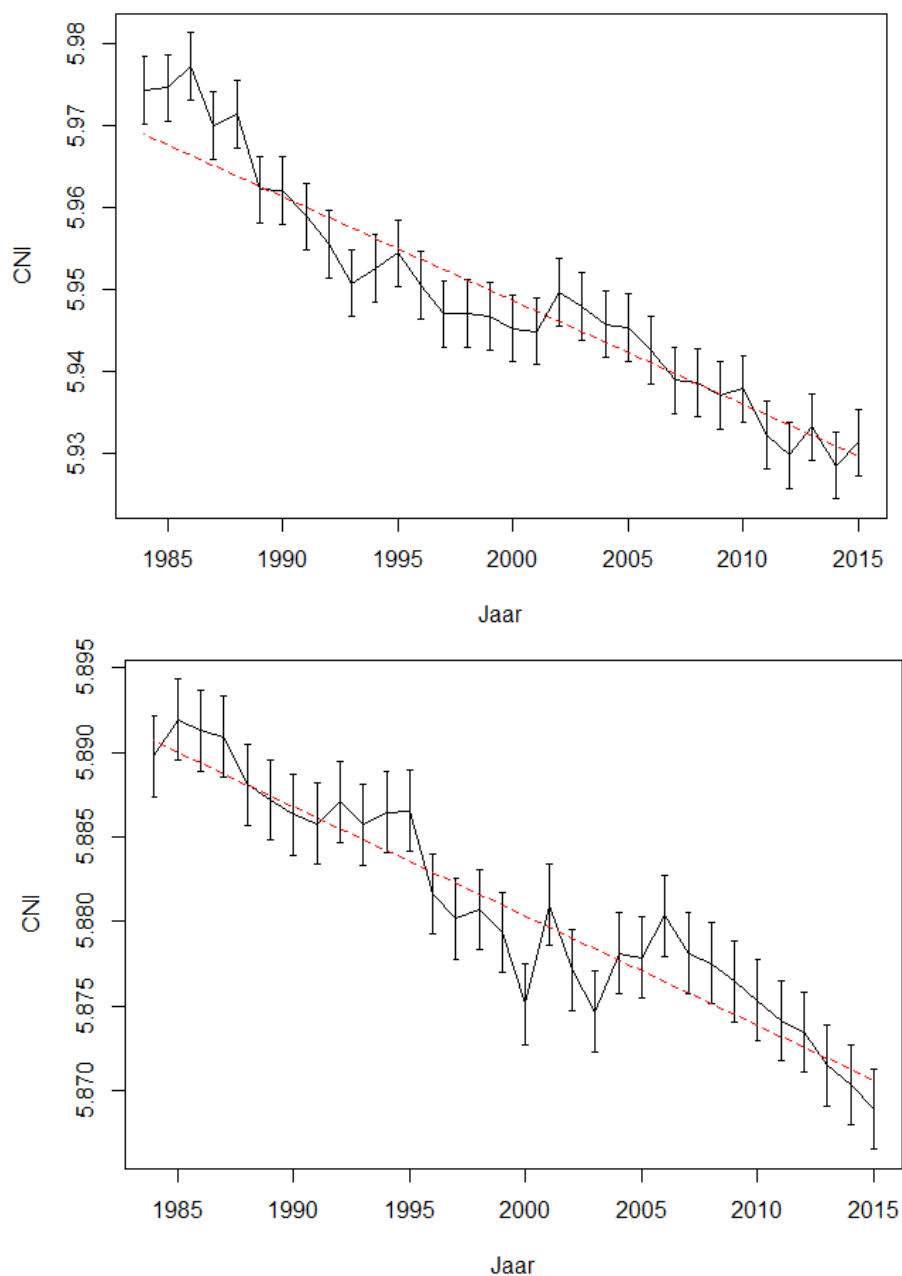
Figuur 16: Multispecies Indicator (MSI) voor planten met een voorkeur voor koele, neutrale en warme omstandigheden. 1992=100.

Stikstof

Community indicators

Vogels

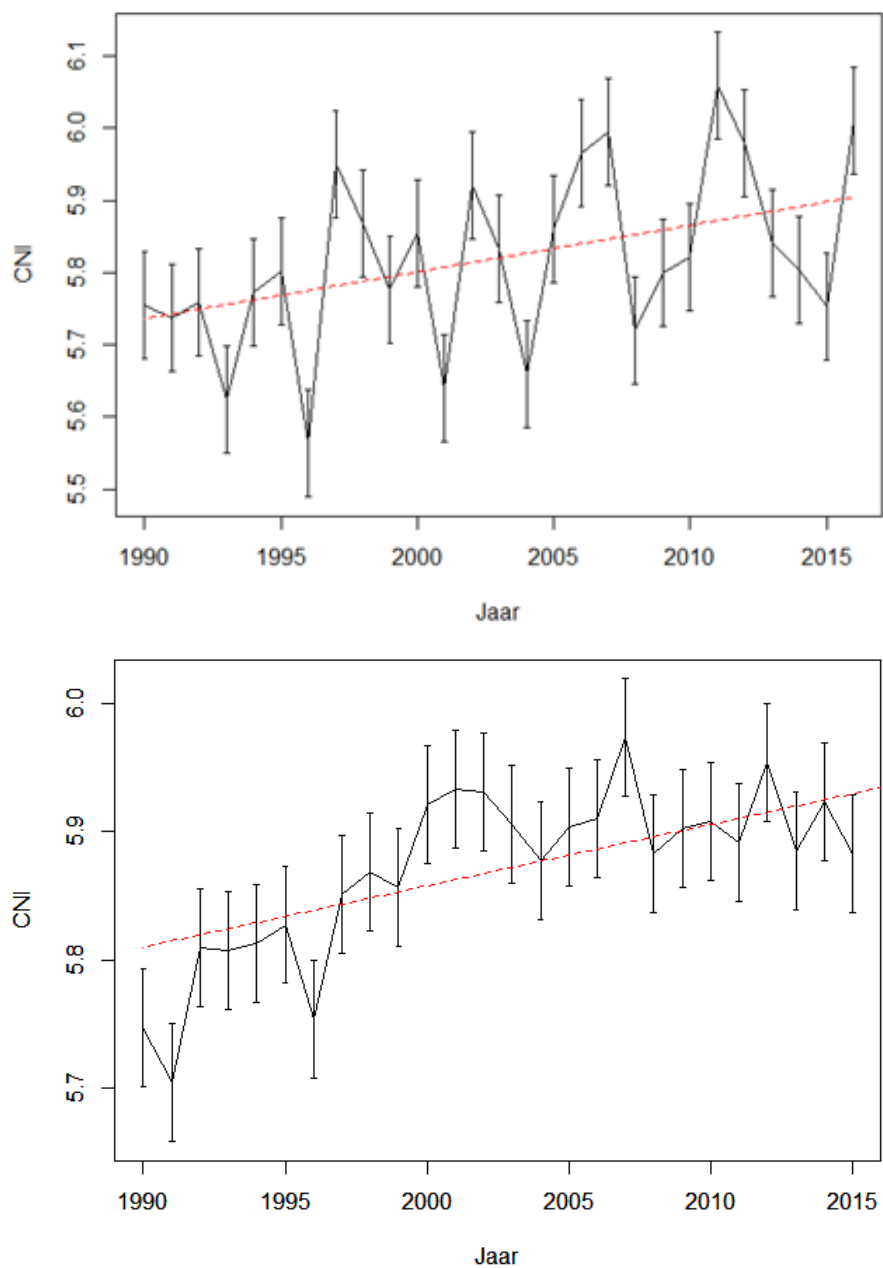
De broedvogels laten een duidelijke en significante daling van de CNI zien van -0.0013 Ellenbergeenheden per jaar over de periode 1984-2015 (figuur 17). De relatieve aantallen van stikstofmijdende soorten worden dus steeds groter, die van stikstofminnende soorten steeds kleiner. Wegen we alle soorten even zwaar, dan is er nog steeds een daling van -0.0007 Ellenbergeenheden per jaar.



Figuur 17: Community Nitrogen Index (CNI) voor broedvogels over de periode 1984-2015. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn. De bovenste grafiek gebruikt de aantallen per plot per jaar voor weging, de onderste telt alle soorten even zwaar mee.

Dagvlinders

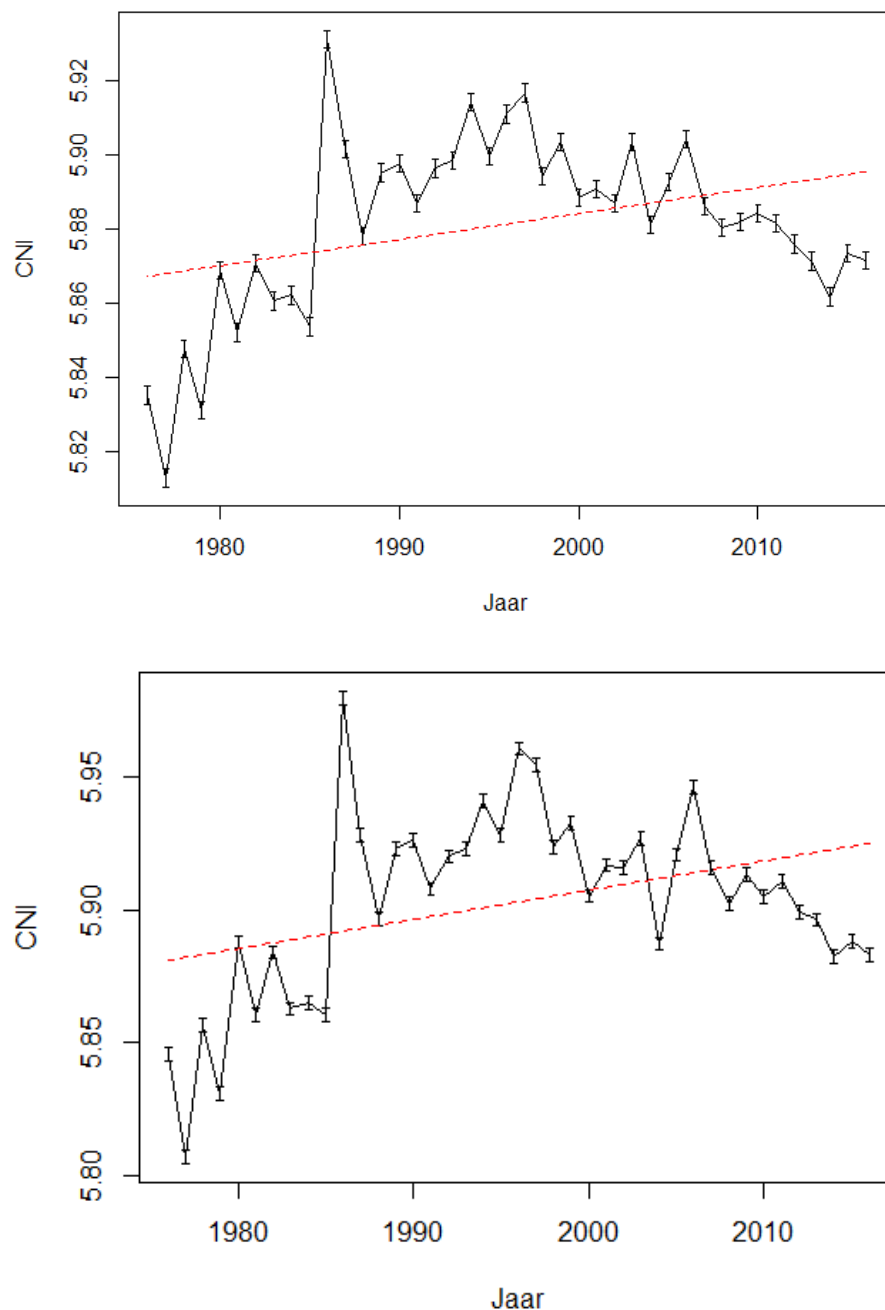
Met flinke variaties van jaar tot jaar laten de dagvlinders een significante stijging van de CNI zien van 0.0065 Ellenbergeenheden per jaar over de periode 1990-2016 (figuur 18). Als alleen naar de soortensamenstelling gekeken wordt (en alle soorten even zwaar meewegen) is de stijging 0.0048 Ellenbergeenheden per jaar.



Figuur 18: Community Nitrogen Index (CNI) voor dagvlinders over de periode 1990-2016. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn. Bij de bovenste grafiek is gerekend met het totaal aantal vlinders per soort ($DF=5127$, $T=3.951624$, $p<0.001$), bij de onderste grafiek alleen met aan- of afwezigheid ($DF=5127$, $t=5.994344$, $p<0.001$).

Planten

Over de hele periode 1976-2016 is de CNI van de planten gestegen met 0,0007 Ellenbergeenheden per jaar, maar er zijn duidelijk twee verschillende trendperiodes herkenbaar (figuur 19). Van 1976 tot het midden van de jaren negentig nam de CNI sterk toe, om daarna weer wat te gaan dalen. Als er niet naar occupancy gewogen wordt, maar alle occupancies groter of gelijk aan 0,5 als aanwezig worden beschouwd, dan is de stijging 0,0011 Ellenbergeenheden per jaar tussen 1976 en 2016.



Figuur 19: Community Nitrogen Index (CNI) voor planten over de periode 1976-2016. De rode stippellijn geeft de lineaire regressie lijn. Bij de bovenste grafiek is gewogen met de occupancy ($DF=723959$, $t=135.354$, $p<0.001$). Bij de onderste grafiek is alleen gekeken naar de soortensamenstelling. Hiertoe is een occupancy ≥ 0.5 omgezet naar een voorkomen van de soort ($DF=723959$, $t=115.7264$, $p<0.001$).

Overzicht CNI

De verbanden van de CNI van de drie groepen wordt samengevat in tabel 4. De grootste stijging wordt gevonden bij de dagvlinders, bij de vogels daalt de CNI juist opvallend genoeg. De waarde voor planten is een gemiddelde stijging over de hele periode. In de periode 1976-1995 bedroeg de stijging 0,0042 Ellenbergeenheden per jaar, in de periode 1995-2016 daalde de CNI met -0,0019 Ellenbergeenheden per jaar.

In figuur 20 worden de grafieken van de soortgroepen samen in één grafiek getoond met dezelfde schaal. Duidelijk is dat dagvlinders veel sterker reageren dan vogels en planten.

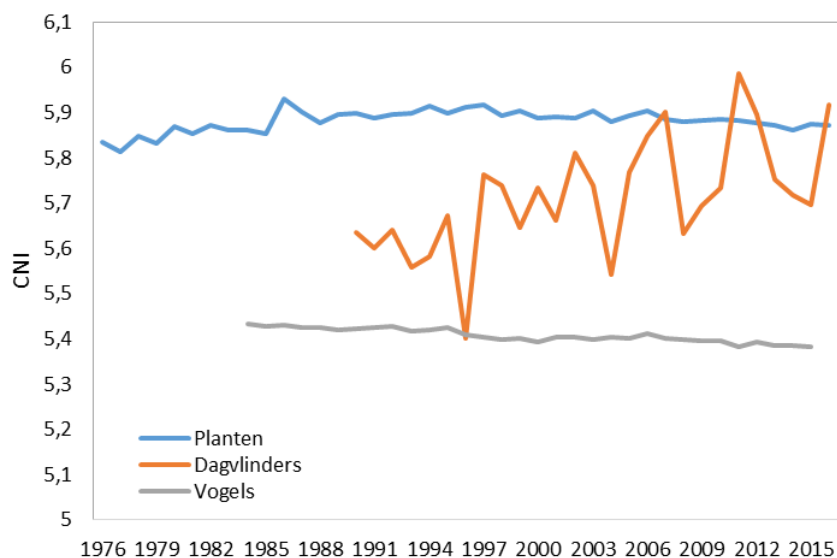
Tabel 4: Samenvatting van de trends van de CNI (stikstof) per soortgroep. Alle trends zijn significant.

Soortgroep	Type trends	Periode	CNI verandering per jaar
Vogels	populatietrend	1984-2016	-0,0013
Dagvlinders	populatietrend	1990-2016	0,0065
Planten	verspreidingstrend	1976-2015	0,0007

Ook voor de overlappende periode 1990-2015 is er een duidelijk verschil tussen de trends in CNI (tabel 5), waarbij de voor vogels en planten licht daalt, en voor dagvlinders stijgt.

Tabel 5: Samenvatting van de trends van de CNI (stikstof) per soortgroep voor de overlappende periode 1990-2015. Alle trends zijn significant.

Soortgroep	Type trends	Periode	CNI verandering per jaar
Vogels	populatietrend	1990-2015	-0,0008
Dagvlinders	populatietrend	1990-2015	0,0051
Planten	verspreidingstrend	1990-2015	-0,0013



Figuur 20: Community Nitrogen Index (CNI) voor vogels, dagvlinders en planten over de periode 1976-2016.

Leefgebieden

Voor vogels en vlinders zijn de telgebieden en routes toegedeeld aan vier leefgebieden, voor planten zijn de kilometerhokken met occupancy-data toegedeeld. Zowel voor de hele periode als de laatste tien jaar is de trend van de CNI per soortgroep per leefgebied berekend (tabel 6). Voor zover significant zijn alle trends voor vogels in alle leefgebieden dalend, voor vlinders stijgend en voor planten stijgend voor agrarisch gebied en bos, en juist dalend voor open natuur en stedelijk. Over de laatste tien jaar zijn alle significante trends dalend.

Tabel 6: Samenvatting van de trends van de CNI (stikstof) per soortgroep voor vier leefgebieden. Significantie: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$, ns=niet significant.

soortgroep	leefgebied	periode	CNI verandering		periode	CNI verandering	
			per jaar	sign.		per jaar	sign.
vogels	agrarisch	1984-2015	-0,0013	***	2006-2015	-0,0014	***
	bos	1984-2015	-0,0004	***	2006-2015	-0,0002	ns
	open natuurgebieden	1984-2015	-0,0007	***	2006-2015	-0,0016	***
	stedelijk	1984-2015	-0,0001	ns	2006-2015	-0,0012	***
vlinders	agrarisch	1992-2016	0,0081	ns	2007-2016	-0,0074	ns
	bos	1992-2016	0,0096	*	2007-2016	-0,0076	ns
	open natuurgebieden	1992-2016	0,0044	**	2007-2016	0,0042	ns
	stedelijk	1992-2016	0,0130	***	2007-2016	0,0132	ns
planten	agrarisch	1976-2016	0,0008	***	2007-2016	-0,0016	***
	bos	1976-2016	0,0017	***	2007-2016	-0,0033	***
	open natuurgebieden	1976-2016	-0,0001	***	2007-2016	-0,0028	***
	stedelijk	1976-2016	-0,0021	***	2007-2016	-0,0039	***

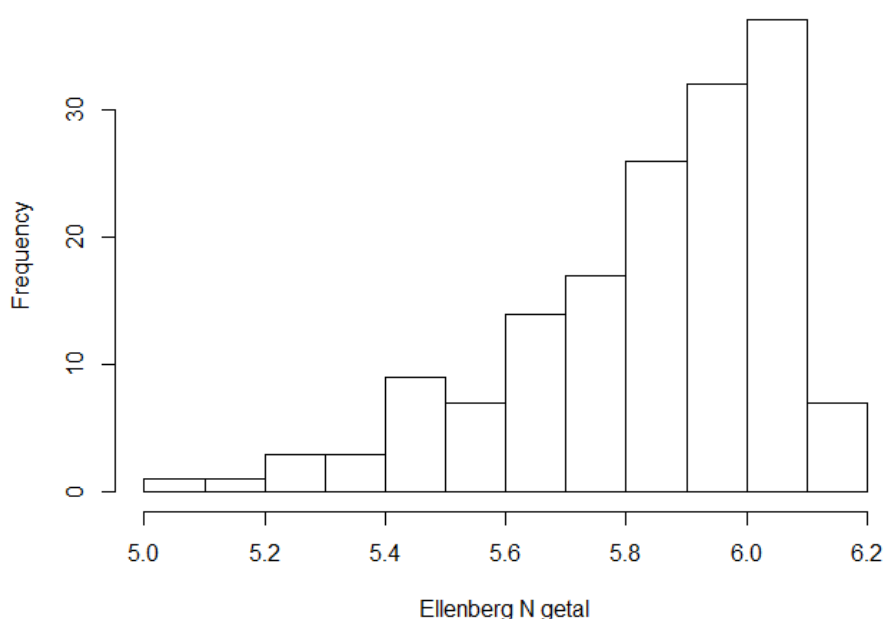
Deel-LPI's

Voor alle soorten waarvoor indexen beschikbaar zijn én een stikstofoptimum beschikbaar is, is een toedeling gemaakt naar stikstofminnende ("high nitrogen"), neutrale ("neutral") en stikstofmijdende soorten ("low nitrogen").

Vogels

De verdeling van de stikstof-Ellenbergwaarden van de vogels (figuur 21) is scheef, met veel soorten met een relatief hoog N getal. Het lijkt deels een 'sampling effect' van de gebruikte methode te zijn: veel vogels hebben een ruime verspreiding in Nederland en weerspiegelen daarom slechts de verdeling van de Ellenberg-getallen op km-hokniveau. Alleen de habitat-specialisten van de heide of duinen hebben een duidelijk lagere SNI.

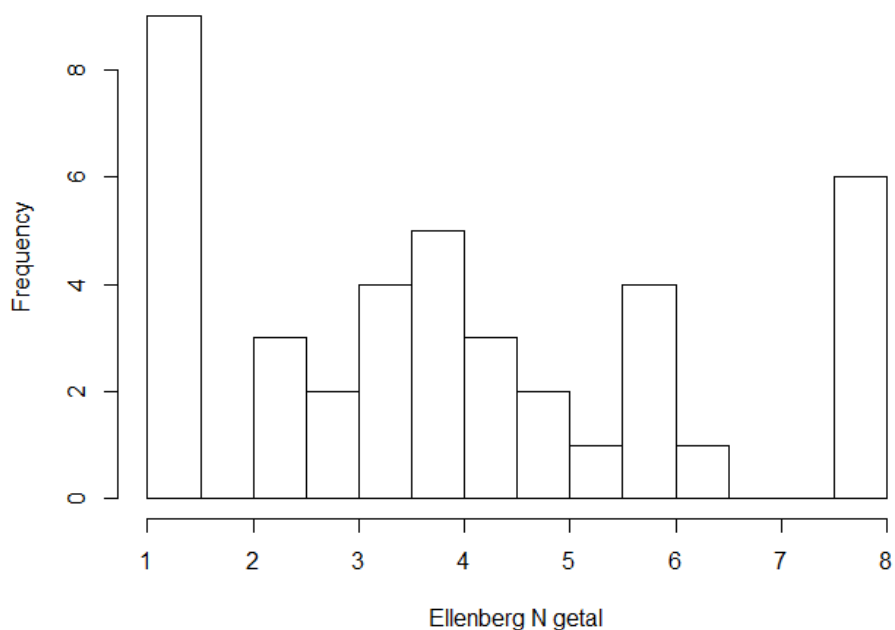
De soorten zijn in drie even grote groepen gedeeld. Alle soorten met een Nopt lager dan 5,78 zijn beschouwd als stikstofmijdende, alle soorten met een STI hoger dan 5,97 als stikstofminnende soorten, de overige soorten als neutraal.



Figuur 21: Frequentieverdeling van vogels over het Ellenberg N getal

Dagvlinders

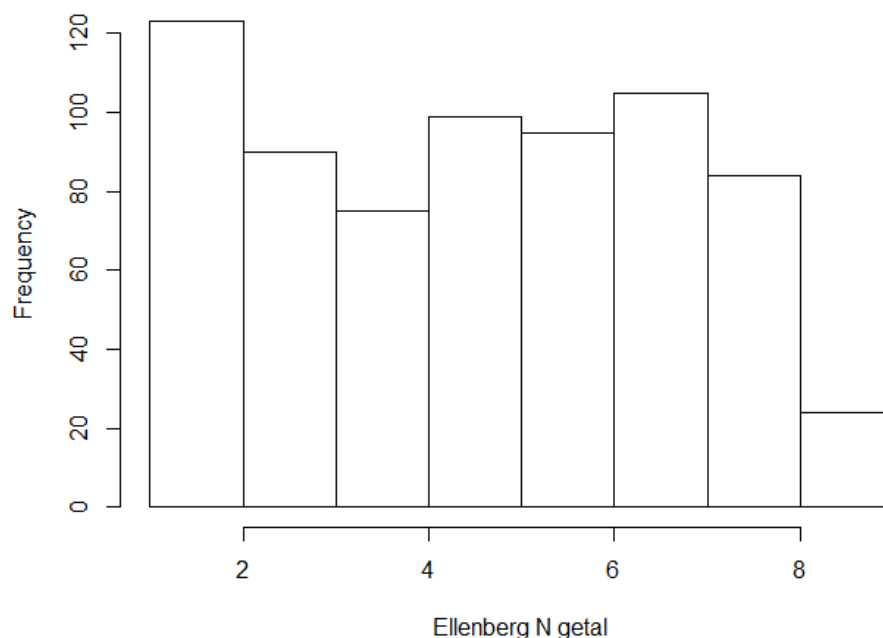
De verdeling van de stikstof-Ellenbergwaarden (Nopt) van de dagvlinders (figuur 22) kent vrij veel soorten met een voorkeur voor een zeer lage N waarde, alsmede voor soorten die juist van een hoge N waarde houden. Daartussen is de verdeling dicht bij een normale verdeling. De soorten zijn in drie even grote groepen gedeeld. Alle soorten met een Nopt lager dan 3,00 zijn beschouwd als stikstofmijdende, alle soorten met een Nopt hoger dan 4,91 als stikstofminnende soorten, de overige soorten als neutraal.



Figuur 22: Frequentieverdeling van dagvlinders over het Ellenberg N getal.

Planten

De verdeling van de stikstof-Ellenbergwaarden van de planten (figuur 23) is erg homogeen: voor vrijwel elke Ellenberg stikstofwaarde zijn ongeveer evenveel plantensoorten. De soorten zijn in drie even grote groepen gedeeld. Alle soorten met een Ellenbergwaarde lager dan 4 zijn beschouwd als stikstofmijdende, alle soorten met een STI hoger dan 6 als stikstofminnende soorten, de overige soorten als neutraal.

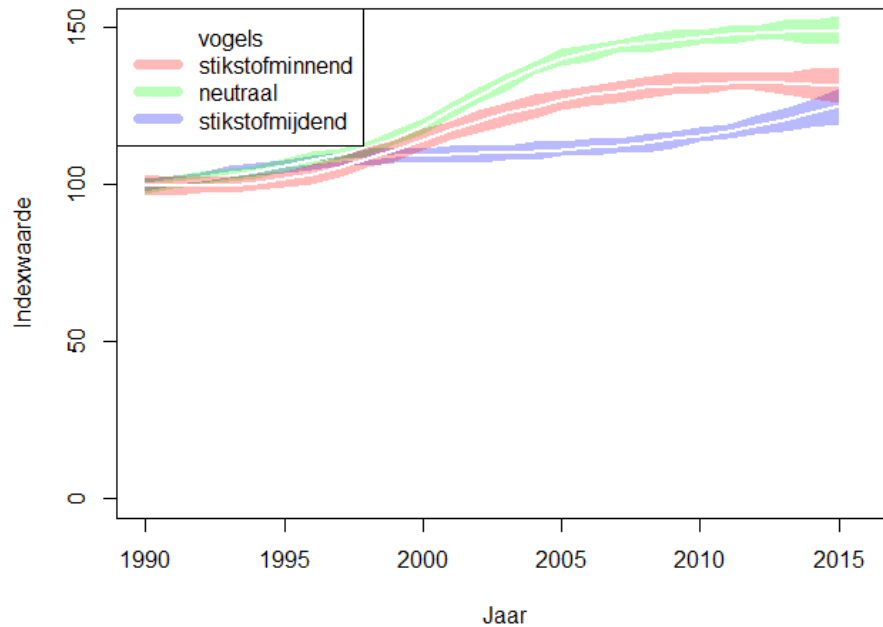


Figuur 23: Frequentieverdeling van planten over het Ellenberg N getal.

Stikstof deel-LPI's

Vogels

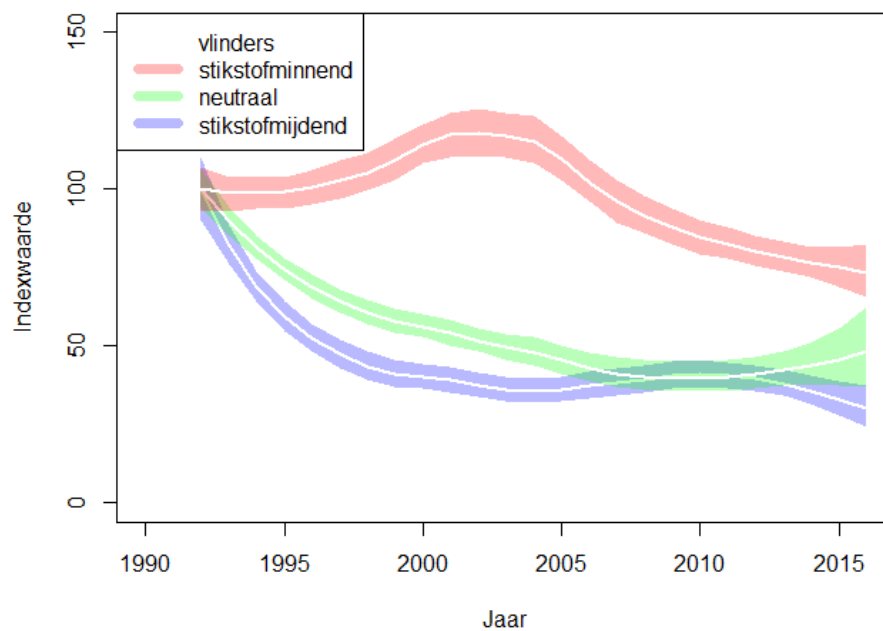
Bij broedvogels zijn alle drie groepen significant toegenomen, maar de stikstofmijdende soorten het minst (figuur 24).



Figuur 24: Multispecies Indicator (MSI) voor vogels met een voorkeur voor stikstofrijke, neutrale en stikstofarme omstandigheden. 1990=100.

Dagvlinders

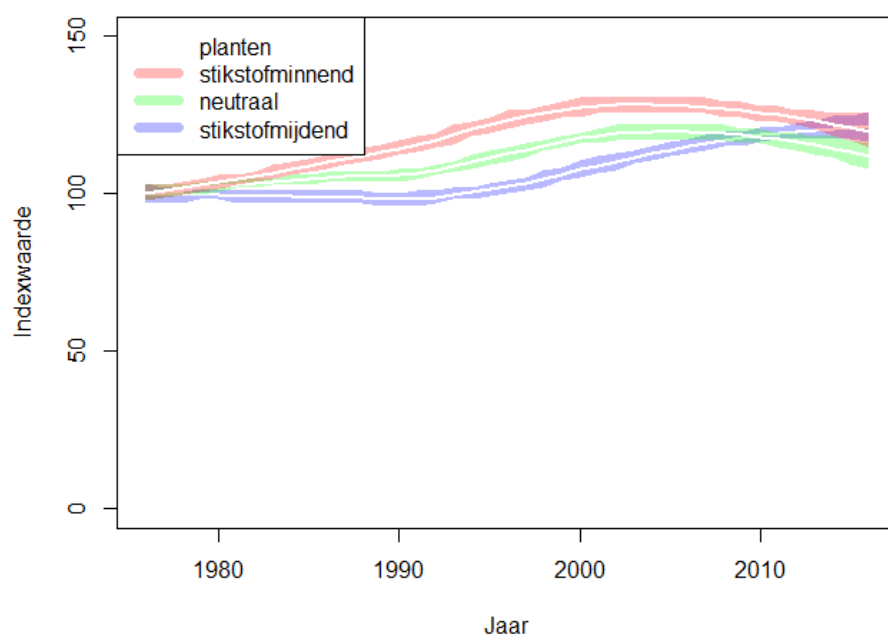
Bij dagvlinders zijn alle drie groepen significant afgenomen, maar de stikstofmijdende soorten het meest (figuur 25).



Figuur 25: Multispecies Indicator (MSI) voor dagvlinders met een voorkeur voor stikstofrijke, neutrale en stikstofarme omstandigheden. 1992=100.

Planten

Ook bij planten zijn alle groepen significant toegenomen, en ook hier de stikstofmijdende soorten het minst (figuur 26). De laatste jaren lijkt er overigens wel een kentering zichtbaar, en gaan de stikstofminnende soorten juist achteruit en de stikstofmijdende soorten vooruit.



Figuur 26: Multispecies Indicator (MSI) voor planten met een voorkeur voor stikstofrijke, neutrale en stikstofarme omstandigheden. 1976=100.

Trend van individuele soorten als functie van STI en SNI

Voor vogels en vlinders is er geen significant verband tussen de trend van soorten en de SNI en STI van die soorten, zowel over de hele periode waarover trends beschikbaar zijn, als over de laatste tien jaar (tabel 7). Bij planten ligt dit anders. Zowel over de hele periode, als over de laatste tien jaar, is er een significant stijgend verband tussen de STI en de trend: warmteminnende soorten doen het beter dan koele soorten. Bij de SNI is er alleen een verband in de laatste tien jaar, waarbij overigens stikstofmijdende soorten het beter doen dan stikstofminnende soorten. Dit verband is, zij het niet significant, ook bij vogels en vlinders te zien.

Tabel 7: Verband tussen de trend van individuele soorten binnen een soortgroep en de STI en SNI, zowel over de hele periode waarover trends beschikbaar zijn, als over de laatste tien jaar. De trend voor vogels en vlinders is hier de populatietrend, voor planten de verspreidingstrend.

Drukfactor	soortgroep	periode	hoek	t-waarde	p-waarde	significantie
Temperatuur	vogels	1990-2015	0,0067	1,371	0,17	
		2006-2015	0,0014	0,294	0,77	
	vlinders	1992-2016	0,0139	0,889	0,38	
		2007-2016	0,0212	1,682	0,10	
	planten	1976-2016	0,0039	6,580	<0,001	***
		2007-2016	0,0035	5,765	<0,001	***
Stikstof	vogels	1990-2015	0,0471	1,445	0,15	
		2006-2015	-0,0020	-0,091	0,93	
	vlinders	1992-2016	0,0027	0,823	0,42	
		2007-2016	-0,0011	-0,179	0,86	
	planten	1976-2016	-0,0002	-0,499	0,62	
		2007-2016	-0,0021	-4,484	<0,001	***

Discussie

In dit rapport worden bestaande indicatoren om de gevolgen van klimaatverandering (de CTI, Devictor *et al.*, 2008; 2012) en stikstofdepositie (de CNI, WallisDeVries & Van Swaay, 2017; Ellenberg, 1979) op de biodiversiteit samen te vatten verder uitgewerkt voor broedvogels, dagvlinders, libellen (alleen de temperatuur indicator CTI) en planten. Tevens worden deel-LPI's gegeven, een alternatieve methode die beter aansluit bij de benadering van, en die gemaakt zijn met dezelfde methodiek als in, het Living Planet Report (WNF, 2015). Bij een deel-LPI worden de soorten toegedeeld in een klein aantal groepen als warmteminnend/koelteminnend, stikstofminnend/stikstofmijndend en neutraal.

Deze indicatoren geven inzicht in de veranderingen van de invloed van de drukfactoren temperatuur en stikstofdepositie op ontwikkelingen in de populaties van deze groepen. Zo kunnen we inzichtelijker duiden, en uiteindelijk hopelijk beter begrijpen, wat het effect van deze drukfactoren op onze flora en fauna is. Wel is het belangrijk te realiseren dat er naast deze twee onderzochte factoren temperatuur en stikstof, er nog veel andere factoren zijn die van invloed zijn op onze flora en fauna, zoals versnippering, het gebruik van pesticiden, beheer van natuurgebieden, etc. Voor sommige soorten of soortgroepen zouden deze factoren zelfs van grotere betekenis kunnen zijn dan de onderzochte factoren. Hier zou toekomstig onderzoek zeker ook naar moeten kijken.

Methode

Beide onderzochte methodes, de benadering via de community indicators en via de deel-LPI's, hebben hun voor- en nadelen. In deze paragraaf bespreken we de methodologische aspecten.

Waar bij de CTI de STI waardes (de temperatuurvoorkeuren van de soort) allemaal vastgesteld zijn via hun verspreiding in Europa (en dus goed onderling vergelijkbaar zijn, en ruwweg dezelfde range hebben), is dit voor de CNI en de Stikstof-Ellenbergwaarde niet het geval. De Ellenbergwaarden voor planten (figuur 23) zijn gebaseerd op de originele vaststelling van Ellenberg (1979) in het midden van de vorige eeuw (al zijn er wel latere aanpassingen gemaakt), die van de dagvlinders (figuur 22) zijn gebaseerd op vegetatieopnamen op transecten (Oostermeijer & Van Swaay, 2008). Bij beide groepen wordt de hele range van Ellenbergwaarden voor stikstof gebruikt, van waarde 1 voor soorten van hoogveen en heide, tot 8 bij soorten van extreem voedselrijke systemen. Bij vogels (figuur 21) is gebruik gemaakt van de gemiddelde Ellenbergwaarde van aanwezige plantensoorten op kilometerhokniveau. Omdat de gemiddelde Ellenbergwaarden van kilometerhokken veel minder van elkaar verschillen dan vegetatieopnamen bij planten (en daarvan afgeleid dagvlinders), als gevolg van uitmiddeling, leidt dit uiteindelijk tot een veel smallere range van Ellenbergwaarden voor vogels. Inherent hieraan is natuurlijk dat vogels ook op een ander ruimtelijk schaalniveau van het landschap gebruik maken dan planten of dagvlinders.

De uiteindelijke waardes die gebruikt zijn voor de community-indicatoren verschillen ook aanzienlijk tussen de groepen en zijn op heel verschillende manieren tot stand gekomen, afhankelijk van hun ecologie en de databeschikbaarheid:

- Bij de broedvogels is gewerkt met het aantal broedparen per plot, de resultante van een aantal tellingen volgens een vaste methode. Dat maakt de waarden per soort goed vergelijkbaar tussen de jaren.

- Bij de dagvlinders is gewerkt met het totaal aantal vlinders per soort per jaar op de routes. Dit aantal is deels afhankelijk van het aantal tellingen per jaar, en van de verdeling van die tellingen over het jaar.
- Voor libellen en planten zijn occupancies per kilometerhok gebruikt (aan- of afwezigheid). Dat zijn dus geen echte tellingen van aantallen planten of libellen (abundanties), maar een kans dat een soort in een jaar in een kilometerhok voorkomt. Dat betekent ook dat de daaruit berekende CTI en CNI het gemiddelde van zo'n hok geeft: een plagexperiment in een duinpannetje kan zo de CNI van een heel kilometerhok flink beïnvloeden.

We hebben de CNI's en CTI's voor alle soortgroepen zowel gewogen als ongewogen berekend. Alle gevonden resultaten zijn volgens beide benaderingen significant en wijzen in dezelfde richting (toe- of afname). Bij vogels en dagvlinders zijn de ongewogen veranderingen kleiner dan de gewogen veranderingen.

De duiding van CNI-/CTI-veranderingen is niet altijd eenvoudig. Significante trends duiden op veranderingen in de samenstelling van de onderliggende gemeenschappen, de aantallen van warmteminnende soorten nemen relatief gezien toe ten koste van de aantallen van koelteminnende soorten of omgekeerd. Stabiele trends, zoals de CTI van de deeltrekkers bij de vogels, hoeven echter niet te betekenen dat de onderliggende gemeenschap *niet* verandert. Als alle soorten in aantal toenemen, ongeacht hun STI, kan de CTI gelijk blijven. Daarnaast kan de STI van individuele soorten veranderen in de tijd, bijvoorbeeld bij deeltrekkers die als aanpassing hun verspreidingsgebied in broedseizoen of winter gaan verleggen. Dat laatste effect hebben wij hier niet nader onderzocht.

Recent bieden Bowler & Böhning-Gaese (2017) een methode die zou moeten kunnen corrigeren voor de effecten van andere soortkenmerken op de relatieve aantallen van soorten en daarmee de community indicators. Dit artikel kwam te laat om deze methode nog in dit rapport te gebruiken. Het heeft zeker meerwaarde, omdat de figuren 1 tot en met 3 al laten zien dat voor alle hier onderzochte diergroepen geldt dat de temperatuur- en stikstofgetallen tot op zekere hoogte met elkaar verstrengeld zijn. Dit moet in een vervolgonderzoek zeker nog verder uitgewerkt worden.

Een belangrijk verschil in benadering tussen de community-indicatoren en de deel-LPI's is dat in de laatste benadering alle soorten even zwaar wegen in de bepaling van de trends, omdat hun indexen (maat voor de populatiegrootte in een bepaald jaar) ongewogen worden gemiddeld. Een zeldzame soort doet dus even zwaar mee als een talrijke wijd verbreide soort. In de CNI en CTI wegen talrijke soorten zwaarder mee dan zeldzame soorten, omdat deze worden bepaald op basis van de voorkomende aantallen per soort (hoewel in dit rapport voor vogels ook varianten van CNI en CTI worden gepresenteerd op basis van presenties). Hoewel dit volgens Devictor *et al.* (2012) geen grote invloed heeft op de resulterende trends op pan-Europese schaal, kan dit in onze analyses mogelijk wel een (gedeeltelijke) verklaring zijn voor verschillen in conclusies op basis van CNI/CTI enerzijds en deel-LPI's anderzijds.

Omdat de informatie van zowel community-indicatoren als deel-LPI's samen meer vertellen dan elke indicator apart, stellen we voor ze beide voorlopig naast elkaar te gebruiken.

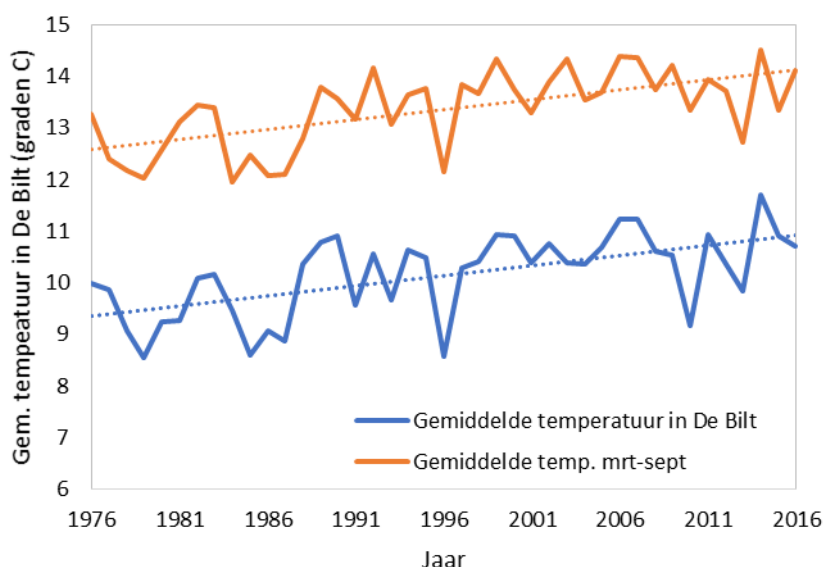
Temperatuur

Voor al de vier onderzochte soortgroepen stijgt de CTI: de soorten met een hogere temperatuurvoorkeur, die in het algemeen het zwaartepunt van hun verspreiding ten zuiden van ons land hebben, worden relatief talrijker ten opzichte van de soorten met een lage STI (en een meer noordelijke verspreiding).

Opvallend is de gestaag stijgende lijn bij langlevende organismen als vogels en planten, ten opzichte van flinke veranderingen van jaar op jaar bij vlinders en

libellen. Deze kortlevende organismen moeten jaarlijks (dagvlinders) of twee- of driejaarlijks (libellen) hun volledige cyclus volbrengen. Daarmee reageren ze niet alleen op de klimaatverandering, maar ook op korte termijn veranderingen (meestal het weer, inclusief de toenemende klimaatextremen). In wat warmere perioden breiden ze wel iets meer uit dan dat ze in koelere perioden inkrimpen. Opvallend is dat de trend van de CTI voor dagvlinders over de periode 1990-2015 (tabel 2) nu kleiner is dan in Devictor *et al.* (2012). Dit wordt vooral veroorzaakt de door relatief kleine stijging van de CTI-trend bij dagvlinders na 2008. Vlinders reageren snel en heftig op veranderingen in klimaat. Overigens laat figuur 27 zien dat ook de gemiddelde temperatuur in Nederland (en zeker tussen maart en september) vanaf 2008 wat minder gestegen is. Deze zogenaamde afvlakking in de temperatuurstijging is ook geconstateerd door de IPCC (2014), al lijkt hij de laatste jaren weer voorbij en stijgt de wereldtemperatuur nu weer snel.

Over de periode 1976-2016 is zowel de gemiddelde jaartemperatuur als de temperatuur tussen maart en september (die bij de STI voor de vogels gebruikt wordt) in De Bilt gestegen met 0,039 °C per jaar (figuur 27, www.knmi.nl). Deze temperatuurstijging is aanzienlijk meer dan de stijging van de CTI (tabel 1). Voor vogels en dagvlinders was dit op Europese schaal ook al aangetoond door Devictor *et al.* (2012). Het is opmerkelijk dat deze verschuiving ook al zichtbaar is in een klein land als Nederland, met slechts een kleine temperatuurgradiënt.



Figuur 27: Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt over de periode 1976-2016, alsmede de gemiddelde temperatuur over de maanden maart tot en met september (bron: www.knmi.nl).

Bij de deel-LPI's van zowel vogels als planten, stijgt de deel-LPI voor warmteminnende soorten. Bij deze soortgroepen profiteren soorten met een meer zuidelijke verspreiding van de opwarming van ons klimaat en nemen toe. Bij dagvlinders is dit niet het geval: warmteminnende soorten gaan achteruit. Dat veel vlinders niet kunnen profiteren van de opwarming wordt mede verklaard door het zogenaamde *microclimatic cooling effect* (WallisDeVries & Van Swaay, 2006). Door de opwarming begint het groeiseizoen van planten eerder, mede gestimuleerd door de hoge stikstofdepositie (zie volgende punt), waardoor de rupsen van soorten die als rups of als ei overwinteren door de hogere vegetatie de facto te maken krijgen met koelere omstandigheden op de plek waar ze moeten leven en eten. Dit voorbeeld geeft nogmaals aan dat temperatuur- en stikstofeffecten met elkaar verstrengeld kunnen zijn, waar in de analyses in dit rapport dus nog geen rekening mee is gehouden.

Neutrale soorten qua temperatuurvoorkeur nemen alleen toe bij de planten (al is het daar maar heel weinig), en blijven gelijk bij vogels en dagvlinders. Vaak bevindt Nederland zich in de buurt van het centrum van het areaal van deze soorten, en hebben deze soorten een grotere ecologische amplitudo. Dat maakt deze soorten robuuster bestand tegen klimaatverandering.

Soorten met een voorkeur voor koele omstandigheden (met een lage STI, in het algemeen soorten met een noordelijke verspreiding) blijven gelijk bij vogels en planten, en nemen af bij dagvlinders. Beheermaatregelen voor deze soorten, die in het verleden vaak wijd verbreid in ons land voorkwamen, kunnen het voortbestaan in ons land lang genoeg rekken om als groep in ieder geval niet verder achteruit te gaan bij vogels en planten. Kortlevende vlinders uit koele klimaten hebben wel sneller last van de warmere omstandigheden, en deze gaan als groep dan ook achteruit.

De vogels zijn verder nog opgesplitst naar groepen voor de eigenschappen voedsel en trekgedrag. Meest opvallend hier is de dalende CTI voor plantenetende vogels. Dit is vermoedelijk ten dele te wijten aan het grote aandeel ganzen in deze groep. Deze ganzen hebben een lage STI, omdat ze van oorsprong vooral broeden in Arctische gebieden. Nu ze ook in Nederland broeden, voegen ze op die manier een sterke koele component toe aan de CTI.

Samenvattend doen koelteminnende soorten het slechter dan warmteminnende soorten bij vogels en planten, bij vlinders leidt *microclimatic cooling* ertoe dat dit verschil niet of veel minder optreedt.

Stikstof

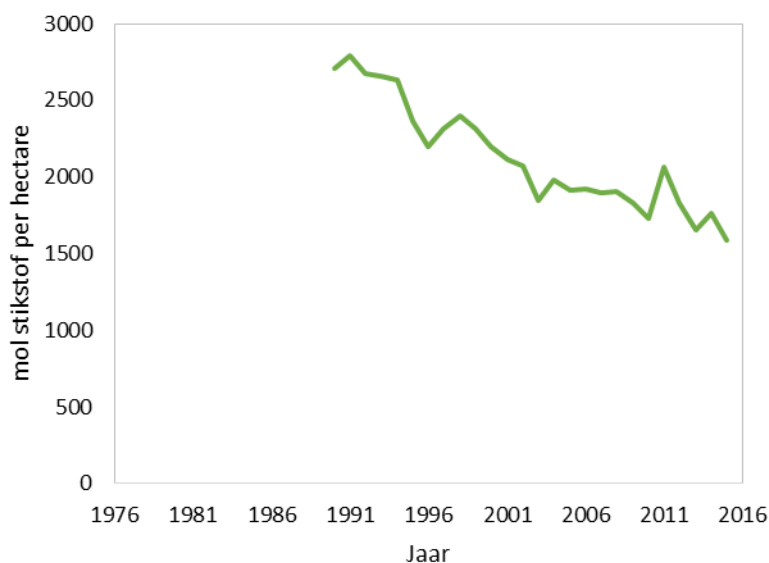
Stikstofdepositie leidt vooral tot een voortdurende bemesting van de vegetatie. Dit heeft tot gevolg dat open schrale vegetaties sneller dichtgroeien met stikstofminnende, grotere soorten, en dat de successie versneld wordt. Samen met de stijging van de temperatuur leidt dit met name in het vroege voorjaar tot een hogere dichtere vegetatie, waar vooral jonge rupsen van vlinders uiteindelijk juist een verkoeling ervaren.

De dagvlinders en planten laten zoals verwacht een stijging van de CNI zien: stikstofminnende planten en vlinders nemen relatief meer toe (of minder af) dan stikstofmijdende planten en vlinders. Bij de vogels is dit effect tegen de verwachting in helemaal niet zichtbaar: de CNI van vogels daalt zelfs. Dit zou betekenen dat vogels met een voorkeur voor stikstofarme omstandigheden relatief talrijker zijn geworden. Maar ook voor planten moet de toename van de CNI gerelativeerd worden: tot midden jaren negentig was er een duidelijke stijging van de CNI, maar daarna daalt de CNI licht.

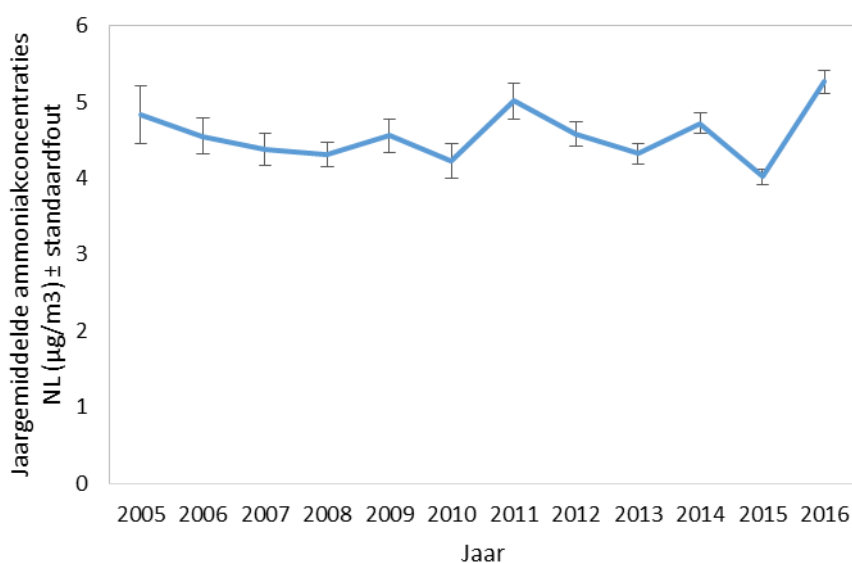
Overigens toont figuur 20 dat er een groot verschil is tussen de omvang van de veranderingen: dagvlinders tonen een forse stijging van de CNI van 0,0065 Ellenbergeenheden per jaar, terwijl dit voor de planten over de gehele periode maar 0,0007 Ellenbergeenheden per jaar is en voor vogels -0,0013 Ellenbergeenheden per jaar. De lagere waarden voor vogels kunnen veroorzaakt zijn door de geringe spreiding in de optima (die immers zijn berekend via de gemiddelde Ellenbergwaarde van aanwezige planten per kilometerhok), en voor planten omdat gebruik gemaakt is van occupancy (kilometerhok) gegevens, die veel minder gevoelig zijn dan de echte aantalsveranderingen bij dagvlinders.

Volgens CBS *et al.* (2016) daalt de *gemodelleerde* stikstofdepositie in Nederland sinds 1990 (figuur 28). Desondanks krijgen grote delen van ons land nog steeds meer stikstof dan ze aankunnen. Het meetnet voor de ammoniakconcentratie (man.rivm.nl), dat pas sinds 2004 bestaat en alleen in een deel van de Natura 2000

gebieden meet, laat echter geen daling van de gemiddelde *gemeten* ammoniakconcentraties zien, eerder een recente stijging (figuur 29). Over deze ogenschijnlijke discrepantie tussen beide stikstof-reeksen, het “ammoniakgat”, is al veel gepubliceerd en is onderwerp van verhit maatschappelijk debat (zie o.a. Vriend & Munnichs, 2017).



Figuur 28: Vermestende depositie in Nederland. Bron: Stikstof (CBS, PBL, Wageningen UR (2016), indicator 0189).



Figuur 29: Jaargemiddelde ammoniakconcentraties NL (µg/m³) ± standaardfout voor de Natura 2000 gebieden waarin metingen plaatsvinden (bron: man.rivm.nl, oktober 2017).

De deel-LPI's voor de stikstofvoorkeur laten voor zowel dagvlinders en planten als vogels hetzelfde beeld zien: de stikstofminnende soorten hebben een positievere trend dan de stikstofmijdende soorten. Voor de vogels is dat enerzijds verrassend, omdat dit resultaat ogenschijnlijk in tegenspraak is met de dalende CNI, maar anderzijds beter in lijn met de verwachting. Veel stikstofmijdende vogelsoorten zijn relatief schaars (beperkte invloed op CNI) en tevens warmteminnend (interactie met CTI), hetgeen wellicht een gedeeltelijke verklaring biedt voor het verschil tussen CNI en deel-LPI's. Opvallend is wel dat bij zowel de vogels als de planten ook

de stikstofmijdende soorten gemiddeld in aantal resp. verspreiding toenemen sinds 1990 en dat bij vlinders ook de stikstofminnende soorten afnemen.

Temperatuur en stikstof als drukfactoren

Zoals hierboven beschreven laten de resultaten zien dat er een effect is van de drukfactoren temperatuur en stikstof op zowel de samenstelling van de gemeenschappen (CTI en CNI), als op groepen van soorten met eenzelfde voor- of afkeur voor deze drukfactoren (deel LPI's voor temperatuur en stikstof).

Er bestaat een interactie tussen de effecten van temperatuur en stikstof op plant- en diergemeenschappen. Dat is niet alleen het microclimatic cooling effect (WallisDeVries & Van Swaay, 2006), want behalve verlies aan kruidenrijkdom bij stijgende stikstofdepositie (minder nectar, minder waardplanten) is er ook vermindering van voedselkwaliteit door stikstof-overmaat. Zeker warmteminnende soorten zitten vaak op voedselarme plekken, zoals heide, en daar speelt bodemverzuring door hoge stikstofdepositie (en dus vermindering van voedselkwaliteit) ook een grote rol.

De onderzochte groepen reageren weliswaar allemaal duidelijk op de drukfactoren temperatuur en stikstof, maar vooral voor stikstof niet erg eenduidig, wat deels te verklaren is door methodologische verschillen achter beide typen indicatoren en op het mogelijk te grove schaalniveau dat gebruikt moest worden om stikstofwaarden van planten te koppelen aan het voorkomen van vogels. Zo doen de warmteminnende vlinders het niet beter dan koelteminnende vlinders, en lijken stikstofminnende vogels (en stikstofmijdende planten sinds 2000) het beter te doen dan stikstofmijdende soorten.

Vervolg

Dit rapport laat zien dat de drukfactoren temperatuur en stikstof een duidelijke invloed hebben op de aantallen, de samenstelling en de verspreiding van broedvogels, dagvlinders en planten.

Met de LPI willen we veranderingen in de biodiversiteit kunnen volgen en liefst ook kunnen duiden. Wat veroorzaakt die veranderingen? Zijn het min of meer natuurlijke veranderingen, of is menselijk handelen een van de drijvende krachten? De factoren die de trend van soorten (en daarmee uiteindelijk de LPI) beïnvloeden kunnen worden gegroepeerd op een aantal schaalniveaus:

1. Grootschalige factoren, als klimaatverandering. Nationaal of Europees beleid heeft geen of maar een zeer beperkte invloed op deze factoren. Wel kunnen met nationaal of lokaal beleid de negatieve effecten worden verminderd. De klimaatverandering is vooral zichtbaar vanaf halverwege van de jaren tachtig, en was dus al begonnen toen veel natuurmeetnetten werden opgezet.
2. Factoren waarop het nationale en provinciaal beleid wel invloed kan uitoefenen, als mestgebruik, ruimtelijke ordening, PAS en het Subsidiestelsel Natuur en Landschap (SNL). In dit rapport hebben we ons gericht op de resulterende stikstofdepositie. Van Strien *et al.* (2017) gebruiken het jaar 1994 als scheidingsjaar tussen de periode waarin de stikstofdepositie toenam en afnam. Overigens is ook nu nog de stikstofdepositie te hoog voor veel van onze voedselarme vegetatietypen.
3. Lokale factoren, als abiotische omstandigheden en vooral beheer. Deze kunnen een grote invloed hebben op de biodiversiteit en ook op de CNI en CTI (bijvoorbeeld bij hoogveenherstel). Zo heeft de intensieve bemesting van graslanden de toename en uiteindelijk ook vestiging van broedende ganzen in ons land mogelijk gemaakt, wat een dalende invloed

heeft op de CTI. Dit is geen onderwerp voor dit rapport, maar verdient zeker extra aandacht.

Overigens kunnen juist met lokaal beheer en provinciaal beleid wel degelijk de effecten van grootschalige factoren – in ieder geval tijdelijk – worden opgevangen. Daarnaast kunnen de factoren elkaar ook versterken, of juist tegenwerken en zelfs elkaar opheffen.

Het onderzoek in dit rapport richt zich in eerste instantie op klimaatverandering en het effect van de toegenomen stikstofgift. Deze effecten zullen niet alleen landelijk doorwerken, maar ook verschillen in de in de LPI onderscheiden terrestrische leefgebieden: agrarisch, bos, open natuurgebied en stad en dorp. Binnen die leefgebieden kunnen ze ook nog (regionaal) verschillen, bijvoorbeeld tussen open natuurgebieden en bossen op de meest voedselarme en verzuringsgevoelige bodems met de hoogste stikstofbelasting (bv. Zuidwest-Veluwe) versus die op iets voedselrijkere bodems en in regio's waar de stikstofbelasting lager is (bv. Drenthe). Daarnaast kunnen deze trends onderscheiden worden in de tijd, dus in een periode met toenemende stikstofbelasting (voor 1994) en afnemende/stabiele stikstofbelasting (na 1994). Ook kan het onderscheid gemaakt worden tussen soorten die wel meedoen in de LPI van dat leefgebied (habitatkarakteristieke soorten) en soorten die niet meedoen in de LPI (generalisten), en kunnen ook andere soortgroepen worden toegevoegd die een duidelijke relatie met stikstofdepositie hebben laten zien (bv. paddenstoelen, (korst)mossen).

Voor een vervolg onderzoek zou de aandacht zich daarnaast moeten richten op:

- Verdere methode-ontwikkeling:
 - Interacties tussen CTI en CNI beter kunnen kwantificeren en begrijpen
 - Verdere ontwikkeling voor libellen, een aquatische soortengroep die meer inzicht kan verschaffen in de effecten van waterkwaliteit.
 - Bij planten zoeken naar indicatoren op basis van opnamen (incl. PQ's) in plaats van occupancy op deze grove schaal.
 - Op basis hiervan moet uiteindelijk een besluit genomen worden wat de beste indicatoren zijn voor het volgende LPI rapport, of dat een benadering zoals in de vorige alinea geschetst kansrijker is om tot achterliggende oorzaken te komen.
- Onderzoek naar verschillen in CNI tussen bodemtypen en relaties met beheer (PAS-maatregelen!).
- Nader onderzoek via traits, de eigenschappen van soorten die op bepaalde drukfactor aangrijpen.
- Het berekenen en vergelijken van trends voor strata waar een bepaalde drukfactor meer of minder van belang is, zoals bijvoorbeeld in Van Strien *et al.* (2017) is gedaan voor ectomycorrhiza in bossen. Een vergelijkbare aanpak zou ook voor de soortgroepen uit dit rapport toegepast kunnen worden.

Literatuur

Bowler, D.; Böhning-Gaese, K. (2017): Improving the community-temperature index as a climate change indicator. PLoS ONE 12 (9), [1-17]: e0184275

CBS, PBL, Wageningen UR (2016). Vermestende depositie, 1990-2015 (indicator 0189, versie 15, 20 december 2016). www.compendiumvoordeleefomgeving.nl. CBS, Den Haag; Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven en Wageningen UR, Wageningen.

Devictor, V.; Julliard, R.; Couvet, D. & Jiguet, F. (2008): Birds are tracking climate warming, but not fast enough. Proceedings / Royal Society of London. Biological Sciences 275 (1652), 2743-2748

Devictor, V.; Swaay, C. van; Brereton, T.; Brotons, L.; Chamberlain, D.; Heliölä, J.; Herrando, S.; Julliard, R.; Kuussaari, M.; Lindström, A.; Reif, J.; Roy, D.B.; Schweiger, O.; Settele, J.; Stefanescu, C.; Strien, A. van; Van Turnhout, C.; Vermouzek, Z.; WallisdeVries, M.; Wynhoff, I. & Jiguet, F. (2012): Differences in the climate debts of birds and butterflies at a continental scale. Nature Climate Change 2, 121–124

Ellenberg, H. (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Scripta Geobotanica ; IX - Verlag Erich Goltze KG, Göttingen

Ertsen, A.C.D., J.R.M. Alkemade & M.J. Wassen (1998): Calibrating Ellenberg indicator values for moisture, acidity, nutrient availability and salinity in the Netherlands. Plant Ecology 135: 113-124.

Hill, M.O. & Preston, C.D. (2015): Disappearance of boreal plants in southern Britain: habitat loss or climate change? Biological Journal of the Linnean Society 115, 598–610

Kampichler C., Van Turnhout C.A.M., Devictor V. & Van der Jeugd H.P. (2012): Large-scale changes in community composition: determining land use and climate change signals. PLoS ONE 7: e35272.

IPCC (2014): Climate Change (2014): Synthesis Report. Contribution of Working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Oliver, T.H.; Marshall, H.H.; Morecroft, M.D.; Brereton, T.; Prudhomme, C. & Huntingford, C. (2015): Interacting effects of climate change and habitat fragmentation on drought-sensitive butterflies. Nature Climate Change doi:10.1038/nclimate2746, [1-6]

Oliver, T.H.; Gillings, S.; Pearce-Higgins, J.W.; Brereton, T.; Crick, H.Q.P.; Duffield, S.J.; Morecroft, M.D. & Roy, D.B. (2017): Large extents of intensive land use limit community reorganization during climate warming. Global Change Biology doi: 10.1111/gcb.13587

Schmucki, R.; Pe'er, G.; Roy, D. B.; Stefanescu, C.; Van Swaay, C. A.M.; Oliver, T. H.; Kuussaari, M.; Van Strien, A. J.; Ries, L.; Settele, J.; Musche, M.; Carnicer, J.; Schweiger, O.; Brereton, T. M.; Harpke, A.; Heliölä, J.; Kühn, E. & Julliard, R. (2015):

A regionally informed abundance index for supporting integrative analyses across butterfly monitoring schemes. *Journal of Applied Ecology*. doi: 10.1111/1365-2664.12561

Swaay, C.A.M. van; Plate, C.L. & Strien, A. van (2002): Monitoring butterflies in the Netherlands : how to get unbiased indices. *Proceedings of the Section Experimental and Applied Entomology of The Netherlands Entomological Society (N.E.V.)* 13, 21-27

Schweiger, O.; Harpke, A.; Wiemers, M.; Settele, J. (2014): CLIMBER: Climatic niche characteristics of the butterflies in Europe. *ZooKeys* 367, 65-84

Strien, A.J. van; Boomsluiters, M.; Noordeloos, M.E.; Verweij, R.J.T. & Kuyper, T.W. (2017): Woodland ectomycorrhizal fungi benefit from large-scale reduction in nitrogen deposition in the Netherlands. *Journal of Applied Ecology* [1-9] First published: 29 June 2017 DOI: 10.1111/1365-2664.12944

Vriend, H. de & G. Munnichs (2017): Het ammoniakdossier: op weg naar herstel van een geschonden relatie. Den Haag, Rathenau Instituut

WallisDeVries, M.F. & Swaay, C.A.M. van (2006): Global warming and excess nitrogen may induce butterfly decline by microclimatic cooling. *Global Change Biology* 12 (9), 1620-1626

WallisDeVries, M.F. & Van Swaay, C.A.M. (2017): A nitrogen index to track changes in butterfly species assemblages under nitrogen deposition. *Biological Conservation*

Wamelink, G.W.W., H.C. van Adrichem, H.F. van Dobben, J.Y. Frissel, M.E. den Held, V. Joosten, A.H. Malinowska, P.A. Slim & R.M.A. Wegman. 2012 Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands: the Ecological Conditions Database (EC). *Biodiversity & Ecology* 4: 125-132. <http://edepot.wur.nl/244341>

Wereld Natuur Fonds (2015): Living Planet Report : Natuur in Nederland. WNF, Zeist

Bijlage 1: Rekenmethode voor de STI voor planten en libellen

Data

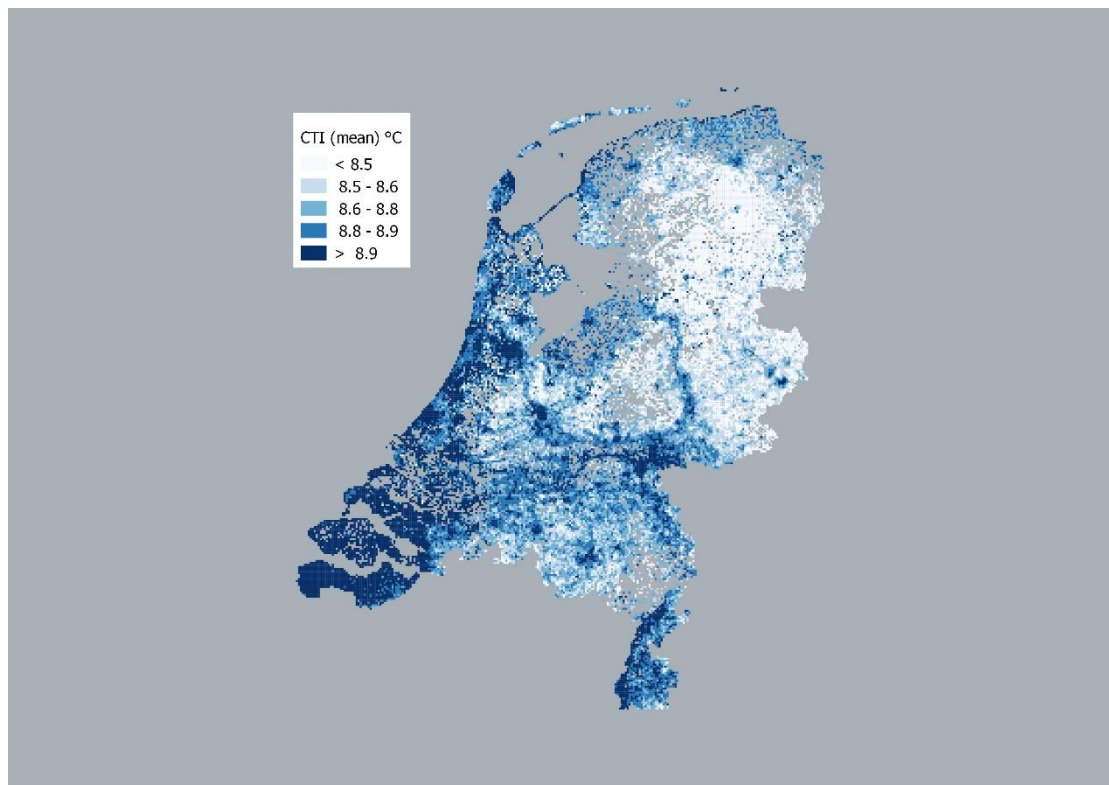
Alle waarnemingen in het west Paleaeartische gebied van de taxonomische groepen Plantae en Ascomycota zijn uit GBIF (www.gbif.org) gehaald voor de periode 1970-2000. Alleen soorten met meer dan 250 records zijn gebruikt. Daarnaast is de WorldClim2 BIO1 dataset (Fick & Hijmans 2017) gebruikt voor de gemiddelde jaartemperatuur over de periode 1970-2000 op een 30" grid.

Berekening

Om te corrigeren voor de slechte verdeling van waarnemingen is een bootstrapping methode gevolgd:

- Aan alle waarnemingen is het 50km UTM grid toegevoegd.
- Voor elke gridcel is de gemiddelde jaartemperatuur berekend.
- Deze 50km zijn ook toegedeeld aan 250km gridcellen
- Binnen elke 250km gridcel wordt random een van de 50km gridcellen willekeurig gekozen.
- Hiermee wordt de gemiddelde temperatuur in de range van de soort berekend.
- Dit is voor elke soort honderd maal herhaald.
- De resulterende STI is het gemiddelde en de standaarddeviatie binnen deze 100 trekkingen.
- Alle berekeningen zijn in R uitgevoerd en is hier als open data gepubliceerd: <https://github.com/laurenssparrius/species-temperature-open-data>

Figuur 29 laat de gemiddelde CTI voor planten zien voor kilometerhokken waar minimaal 150 plantensoorten zijn waargenomen.



Figuur 29: Gemiddelde CTI voor kilometerhokken met minimaal 150 plantensoorten in de periode sinds 1990. De kaart lijkt in grote lijnen op de klimaatkaart van Nederland. Het rivierengebied en de grote steden springen er duidelijk uit met een hogere temperatuur.

Bijlage 2: R-script voor het berekenen van de CTI en CNI

Onderstaand script geeft alleen de kern van de berekeningen aan, omdat het inlezen en koppelen van de data voor vrijwel elke dataset uniek is. Dit script gebruikt random factors, zoals die voor vogels en vlinders gebruikt zijn. Voor planten is een eenvoudiger model gebruikt zonder random factors.

```
library(data.table)
library(lme4)

### Prepare data
# Construct a data.table with at least the following fields:
# - Speciesname with matching STI or Ellenbergvalue (in
  this example Nopt)
# - Plot (for birds), transect (for butterflies) or kmsquare
  (for plants) (in this example rou_Routennummer)
# - Year (in this example tel_Jaar)
# - The number of breeding pairs (birds) butterflies (in this
  example TotAantal

# Example (first three lines):
srt_FFCode srt_Nednaam rou_Routennummer tel_Jaar TotAantal Nopt
      1      1 spiegeldikkopje           62    1992      131    3.3
      1      1 spiegeldikkopje           62    1993       92    3.3
      1      1 spiegeldikkopje           62    1994       54    3.3

# Get cti per plotnr per year
cni <- tvsti
      [,list(cni=mean(rep(Nopt, times=TotAantal), na.rm=TRUE)),
        by=list(rou_Routennummer, tel_Jaar, km10hok) ]

# Calculate the overall trend (with Plot location as random
  factor)
CNI_NL_trend <- lmer(cni~tel_Jaar + (1|rou_Routennummer),
  data=cni)
summary(CNI_NL_trend)

# Split up to year for graphs
CNI_NL_year <-
  lmer(cni~factor(tel_Jaar) + (1|rou_Routennummer), data=cni)
NL_year <- coef(summary(CNI_NL_year))
```