



Berekenen en voorspellen van fenologie voor flora en fauna op basis van waarnemingen uit de Nationale Databank Flora en Fauna

Dion van der Hak, Guus Nellissen & Laurens Sparrius

Rapportnummer 2021058

Titel: Berekenen en voorspellen van fenologie voor fauna en flora op basis van waarnemingen uit de Nationale Databank Flora en Fauna

Rapport nr.: 2021058

Datum uitgave: 21 oktober 2022

Foto omslag: Zwartblauwe rapunzel (FLORON)

Auteurs: Dion van der Hak, Guus Nellissen & Laurens Sparrius

Met medewerking van Raymond Cremers (RAVON), Inge Somhorst (Nederlandse Mycologische Vereniging) en Michiel Wallis de Vries (Vlinderstichting), Adriaan Gmelig Meyling (Stichting ANEMOON) en Vita Hommersen (Zoogdierverseniging).

Productie: **FLORON**

Bezoekadres: Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen

info@floron.nl

www.floron.nl

Met steun van: WNF Biodiversiteitsfonds, Prins Bernhard Cultuurfonds, Stichting SBNL Natuurfonds: het Nora Croin Michielsens Fonds.

In samenwerking met: BLWG, NMV, Stichting ANEMOON, De Vlinderstichting, Stichting RAVON, EIS Kenniscentrum Insecten



Inhoudsopgave

SAMENVATTING	4
1 INLEIDING	5
2 METHODE	6
2.1 BASISGEGEVENS	6
2.2 FENOLOGIEDIAGRAMMEN	8
2.3 VOORSPELLINGSMODULE	12
2.4 KLIMAATPARAMETERS	13
3 RESULTATEN	14
3.1 RESULTERENDE DATASETS	14
3.2 FENOLOGIEMODULE IN DE NDFV VERSPREIDINGSATLAS	14
3.3 VERWERKING IN BLOEITIJDPATROON EN DAGELIJKSE NECTARPRODUCTIE IN DE NECTARINDEX	14
3.4 ANDERE MOGELIJKE TOEPASSINGEN	15
3.5 KLIMAATINDICES	16
3.6 DATABESCHIKBAARHEID.....	16
4 LITERATUUR	17

Samenvatting

Fenologie draait om jaarlijks terugkerende verschijnselen in de natuur. In dit rapport beschrijven we hoe de tientallen miljoenen natuurwaarnemingen uit de Nationale Databank Flora en Fauna gebruikt kunnen worden om de perioden te bepalen waar bijvoorbeeld planten bloeien en zaden vormen, vlinders en libellen vliegen, en er buiten bepaalde paddenstoelen, bijen, wespen en kevers te vinden zijn. Op basis van historische en toekomstige weersgegevens kunnen ook voorspellingen worden gedaan over de verschijningsdatum en piek van levensstadia van soorten.

Het onderzoek beperkte zich tot relatief kortlevende soorten of stadia die alleen in een gedeelte van het jaar volgens een vast patroon waar te nemen zijn. Voor langlevende soorten bij zee-organismen, vogels en zoogdieren is de methode niet zo geschikt.

Het resultaat is een voorspellingsmodule voor meer dan 10000 soorten, waarvan de basisgegevens vrij beschikbaar zijn voor andere onderzoekers. De tool is onderdeel van de NDFF Verspreidingsatlas. De basisgegevens worden ook toegepast door Nature Today in hun app Nature Today Go.

FLORON heeft de fenologische voorspelling toegepast op het de Nectarindex-tool, waarmee beheerders en vrijwilligersgroepen een bloeitijdprofiel van graslanden (zoals bermen) kunnen maken. Hiermee kan het optimale moment worden bepaald om graslanden te maaien.

Door de publicatie van scripts en data is de gevolgde methodiek reproduceerbaar en is de resulterende fenologische informatie openbaar toegankelijk.

1 Inleiding

Fenologie draait om jaarlijks terugkerende verschijnselen in de natuur. Voorbeelden zijn de bloeitijd van planten en vliegtijd van insecten. Veel soorten hebben opeenvolgende fenologische fasen door het jaar heen. Zo wordt bij planten de bloei opgevolgd door zaadzetting, en verschijnen bij insecten en amfibieën enkele weken tot maanden na het larvestadium de volwassen exemplaren.

Het moment in het jaar waarop dit gebeurt is al lange tijd onderwerp van onderzoek. Al eeuwen geleden begonnen onderzoekers met het noteren van de eerste bloei van sneeuwkllokjes of de terugkeer van zwaluwen. Wereldwijd zijn fenologische netwerken actief met het voortzetten van dit werk, zoals De Natuurkalender in Nederland.

Door het verzamelen van grote hoeveelheden waarnemingen van flora en fauna is er een nieuwe bron van fenologische data bijgekomen. In dit rapport beschrijven we hoe de tientallen miljoenen natuurwaarnemingen uit de Nationale Databank Flora en Fauna gebruikt kunnen worden om fenologische fasen te modelleren. Ook wordt op basis van historische en toekomstige weersgegevens een voorspelling gedaan over de verschuiving in warme en koudere perioden in het jaar.

Tenslotte geven we een overzicht van de beoogde toepassingen, waarvan er een aantal volledig uitgewerkt is.

2 Methode

2.1 Basisgegevens

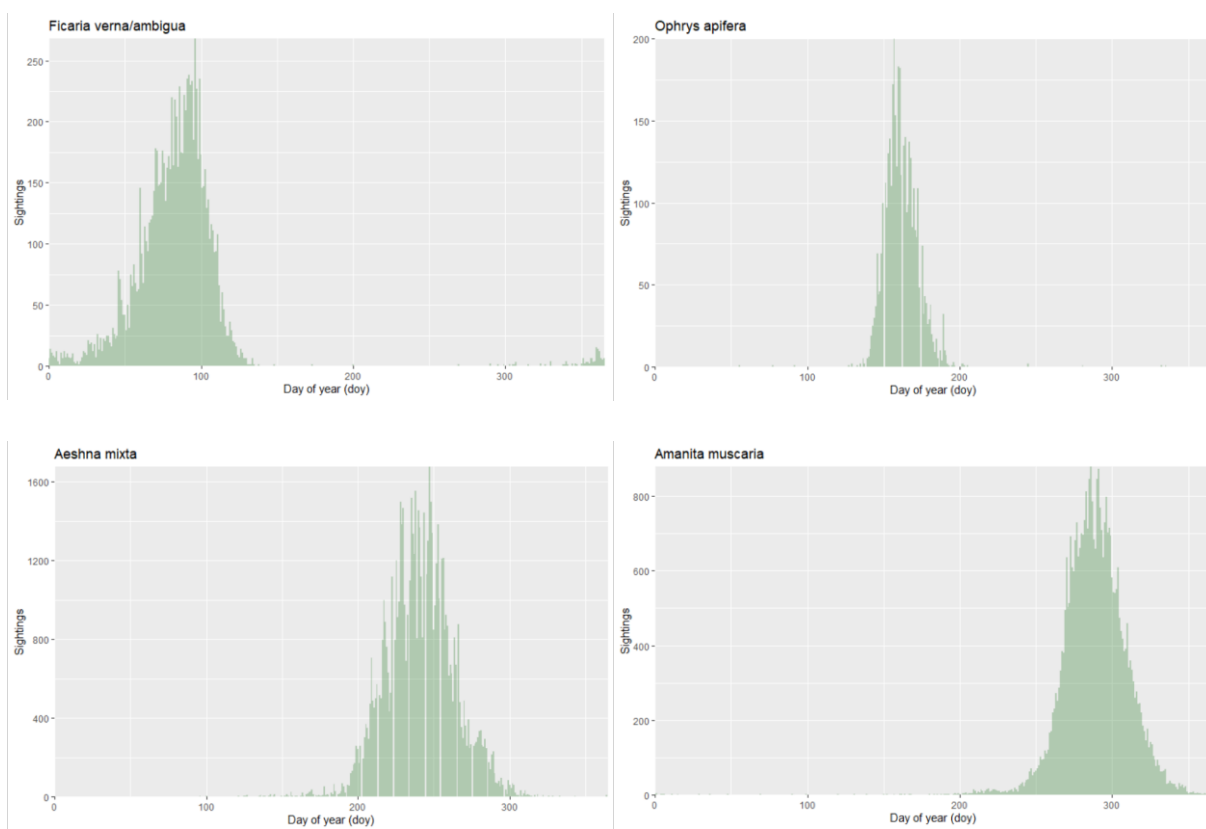
Voor het maken van de fenologiediagrammen en de voorspellingsmodule is gebruik gemaakt van waarnemingen uit de Nationale Databank Flora en Fauna (NDFF). De NDFF bevat waarnemingen gedaan door vrijwilligers en professionals van diverse organismen. Waarnemingen worden, afhankelijk van onder andere de zeldzaamheid van de soort, automatisch of door experts beoordeeld. Alleen goedgekeurde waarnemingen uit de jaren 2000–2021 waarbij een bepaald levensstadium is opgegeven zijn meegenomen voor de analyse. In tabel 1 wordt weergegeven welke soortgroep – levensstadium combinaties zijn gebruikt. Combinaties waarvoor minder dan 25 waarnemingen beschikbaar waren of de waarnemingen plaatsvonden op minder dan 5 verschillende dagnummers zijn niet geanalyseerd. In tabel 1 wordt ook het aantal geanalyseerde soorten en waarnemingen getoond. Van de geschikte gegevens zijn de dagnummers bepaald, waarbij uitgegaan is van de startdatum van de waarneming en dat de start- en einddatum niet verder dan 3 dagen uit elkaar liggen.

Tabel 1: Overzicht van geanalyseerde soortgroepen en levensstadia, met aantal soorten en het aantal waarnemingen.

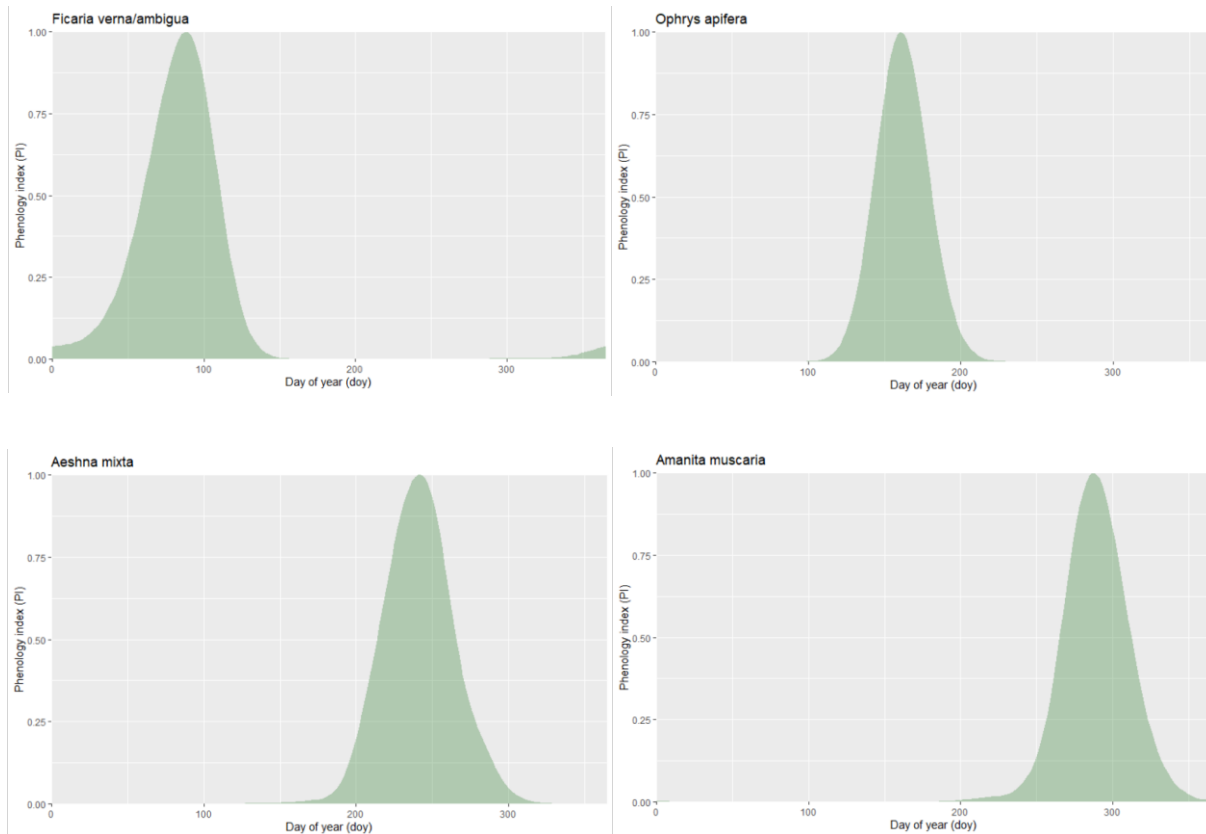
Soortgroep	Levensstadium	Soorten	Waarnemingen
Amfibieën	adult	18	111.732
	ei	8	9.159
	juveniel	12	28.110
	roepend	11	10.087
	voortplantingskleed	1	33
Dagvlinders	ei	22	23.437
	imago	69	2.363.025
	imago tweede generatie	29	3.585.269
	pop	4	1.033
	rups	16	16.740
	(geen)	4	249
Overige insecten	(geen)	2.611	1.416.082
Nachtvlinders	ei	4	1.511
	imago	564	1.566.780
	pop	1	498
	rups	86	92.684
	(geen)	113	16.419
Paddenstoelen	(geen)	2.491	1.355.280
Reptielen	adult	11	93.501
	juveniel	7	19.374
Weekdieren	adult	122	66.807
Microvlinders	imago	341	493.375
	rups	19	6.561
	(geen)	632	97.057
Vaatplanten	bloeiend	1.999	2.168.492
	vruchtdragend	1.126	197.362
Libellen	ei	1	155
	imago	68	820.338
	imago recent verpopt	53	52.404
Zoogdieren	adult winterkleed	1	478
	adult zomerkleed	1	434
	juveniel	23	32.416
	subadult	15	8.853
Totaal		10.483	14.655.735

2.2 Fenologiediagrammen

Met behulp van de R-package 'circular' (Lund *et al.*, 2022) is de data omgezet in een circulair formaat. Dit is nodig omdat fenologische data circulair van oorsprong is: als een plant in december en januari bloeit ligt de gemiddelde bloeidatum ook in deze maanden en niet in de zomer. Het aantal keer dat een soort met een bepaald levensstadium per dag wordt aangetroffen wisselt per dag, het is ook mogelijk dat een soort op een dag helemaal niet is waargenomen (figuur 1). Om hiervoor te corrigeren wordt met behulp van een circulaire *kernal density estimation* een *density plot* gegenereerd (figuur 2). Op deze manier ontstaan nette, gesmoothde diagrammen voor presentatiedoeleinden.



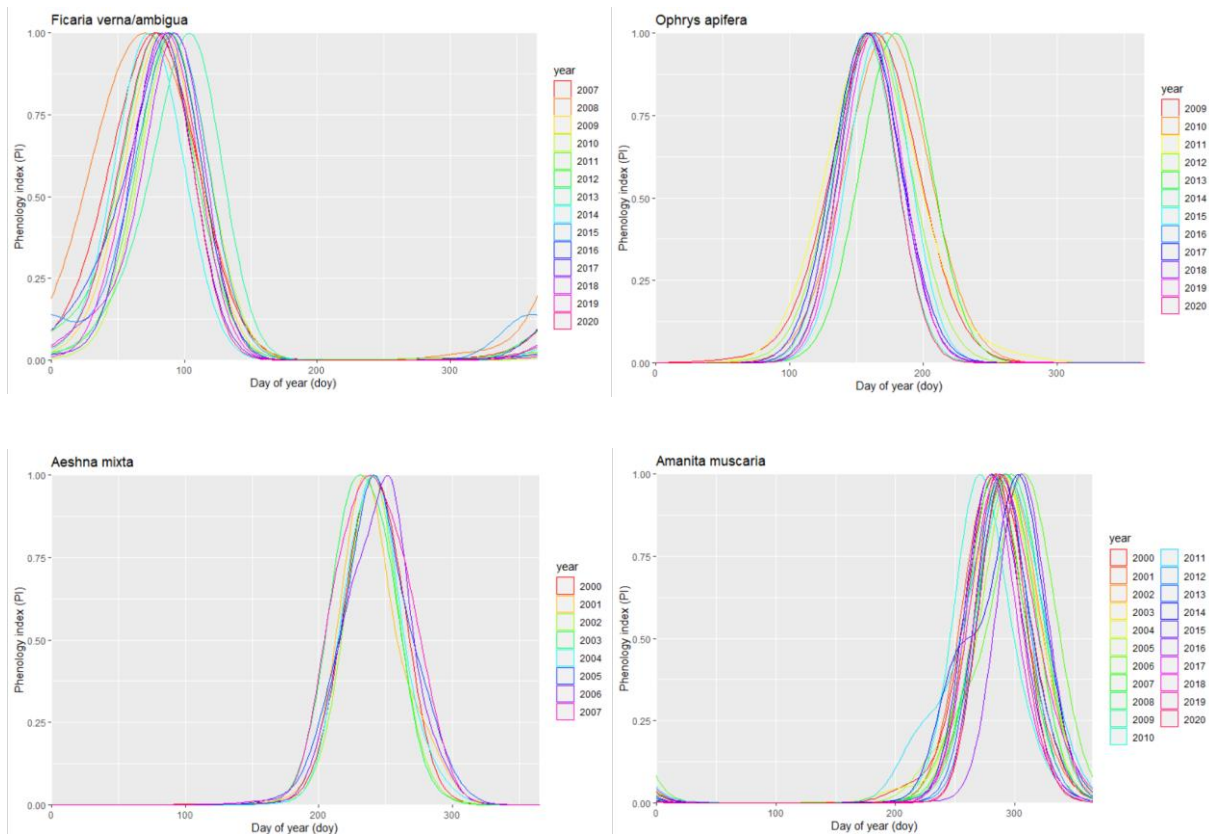
Figuur 1: Histogram met het aantal waarnemingen van 4 soorten met een bepaald levensstadium, met op de x-as het dagnummer. De volgende soorten zijn weergegeven: Linksboven bloeiend *Ficaria verna/ambigua* (Gewoon / Vreemd speenkruid), rechtsboven bloeiend *Ophrys apifera* (Bijenorchis), linksonder imago's van *Aeshna mixta* (Paardenbijter), rechtsonder vruchtlichamen van *Amanita muscaria* (Vliegenzwam).



Figuur 2: *Density plot* met het aantal waarnemingen van 4 soorten met een bepaald levenstadium, met op de x-as het dagnummer. De volgende soorten zijn weergegeven: Linksboven bloeiend *Ficaria verna/ambigua* (Gewoon / Vreemd speenkruid), rechtsboven bloeiend *Ophrys apifera* (Bijenorchis), linksonder imago's van *Aeshna mixta* (Paardenbijter), rechtsonder vruchtlichamen van *Amanita muscaria* (Vliegenzwam).

2.2.1 Jaarlijkse diagrammen

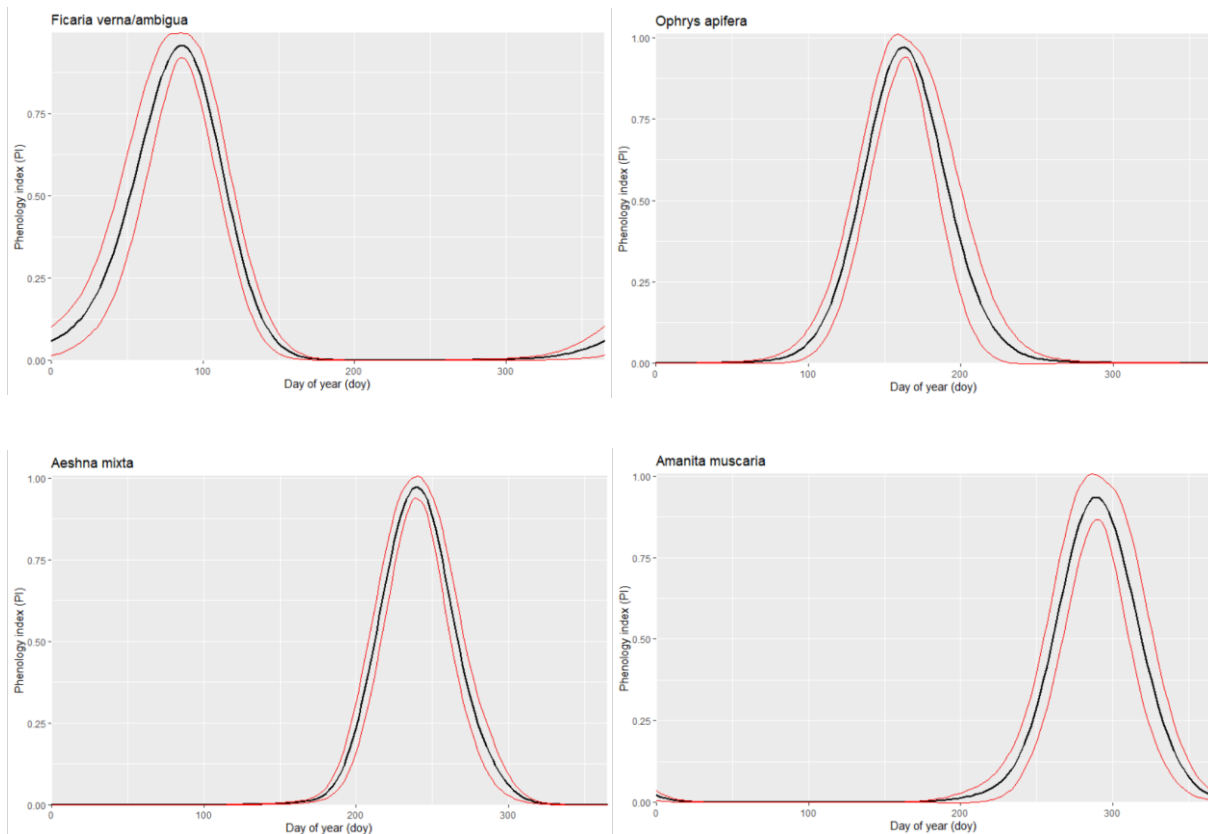
In de figuren 1 en 2 zijn gegevens van 20 jaar bij elkaar genomen. Effecten van jaren met warme en koelere seizoenen zijn hierdoor niet zichtbaar. Het is een gemiddelde. Om de verschillen tussen jaren weer te geven zijn de fenologiediagrammen ook per jaar bepaald (figuur 3). Deze diagrammen worden in de volgende paragraaf gebruikt als basis voor een voorspellingsmodule. De voorbeelden laten zien dat er met name in het voorjaar een grote variatie tussen jaren is waarbij de pieken van Speenkruid tussen jaren tot wel 35 dagen uit elkaar kunnen liggen. Bij de latere soorten is het verschil kleiner.



Figuur 3: *Density plots* met het aantal waarnemingen van 4 soorten met een bepaald levensstadium, met op de x-as het dagnummer, gesplitst per jaar. Alleen jaren met minimaal 50 waarnemingen worden getoond. De volgende soorten zijn weergegeven: Linksboven bloeiend *Ficaria verna/ambigua* (Gewoon / Vreemd speenkruid), rechtsboven bloeiend *Ophrys apifera* (Bijenorchis), linksonder imago's van *Aeshna mixta* (Paardenbijter), rechtsonder *Amanita muscaria* (Vliegenzwam).

2.2.2 Betrouwbaarheid

Door de jaarlijkse diagrammen uit figuur 3 weer samen te voegen, kan het betrouwbaarheidsinterval worden bepaald. In figuur 4 is de zwarte lijn hetzelfde als de diagrammen uit 2. De rode lijn geeft het betrouwbaarheidsinterval aan. Hieruit blijkt dat de gemiddelde fenogrammen uit figuur 2 tot circa 10 dagen kunnen afwijken in heel warme of koude seizoenen.



Figuur 4: *Density plots* met het aantal waarnemingen van 4 soorten met een bepaald levensstadium, met op de x-as het dagnummer. De rode lijnen geven de gemiddelde afwijking van de individuele jaren met het gemiddelde weer. De volgende soorten zijn weergegeven: Linksboven bloeiend *Ficaria verna/ambigua* (Gewoon / Vreemd speenkruid), rechtsboven bloeiend *Ophrys apifera* (Bijenorchis), linksonder imago's van *Aeshna mixta* (Paardenbijter), rechtsonder vruchtlichamen van *Amanita muscaria* (Vliegenschwam).

2.2.3 Boxplots met dagnummers van piek, start en einde fenofase

Uit de circulaire *density* data zijn vervolgens de piek en de mediaan berekend alsmede de dagnummers van de dagen waarop 10%, 20%, 80% en 90% van de waarnemingen zijn gedaan. Uit deze data is vervolgens voor elke soort een boxplot gegenereerd. De klassieke manier van het bepalen van de start van de fenofase wordt hier dus bepaald op basis van een percentielwaarde. Het gebruikte R-script is beschikbaar op Github (van der Hak, 2022).

2.3 Voorspellingsmodule

2.3.1 Historische meteorologische data

Voor het ontwikkelen van de voorspellingsmodule is gebruik gemaakt van historische weergegevens van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) van het meetstation in De Bilt (KNMI, 2022).

2.3.2 Modelleren van fenologie en klimaatparameters

Voor elke geanalyseerde combinatie van soort en levensstadium, voor elk jaar, is het gemiddelde dagnummer van de waarnemingen bepaald. Hierbij zijn jaren met minder dan 25 waarnemingen van die soort – levensstadium combinatie weggelaten. Voor combinaties van soort en levensstadium waarvan van ten minste 5 jaren een gemiddeld dagnummer is bepaald zijn vervolgens van dat gemiddelde dagnummer de gemiddelde maximale temperatuur in de 90 dagen ervoor, de gemiddelde maximale temperatuur in de 10 dagen ervoor en de instralings- en neerslagsom vanaf het begin van het betreffende jaar tot de betreffende dag bepaald.

Hierna is voor elke combinatie van soort en levensstadium een nul lineaire regressie gedaan tussen deze gemiddelde dagnummers en de vier weer parameters. Voor regressies waarbij de r^2 meer dan 0.25 was zijn de regressieparameters gebruikt om een formule op te stellen om het dagnummer te kunnen voorspellen. De resulterende formule is getest met de weergegevens van 2021. Soorten waarvoor de voorspelling een te grootte afwijking had met de realiteit of er sprake was van zelfcorrelatie zijn uit de voorspellingsmodule verwijderd.

2.3.3 Gebruik van de weersvoorspelling

Voor de voorspellingsmodule worden de vier parameters die voor de regressie zijn gebruikt uitgerekend voor elke dag van het huidige jaar, gebaseerd op temperatuur, instraling en neerslag. Hiervoor wordt de weersvoorspelling voor de komende 10 dagen van het KNMI gebruikt, geleverd door MeteoServer. Voor de rest van het jaar wordt het langjarig gemiddelde van de afgelopen 15 jaar gebruikt, gebaseerd op de historische gegevens van het KNMI. Aan de hand van deze gegevens en de voorspellingsformule wordt hierna voor elke soort – levensstadium combinatie de gemiddelde dag uitgerekend. Het verschil tussen de eerder bepaalde mediaan en het voorspelde gemiddelde, gemaximaliseerd tot 12 dagen, wordt vervolgens gebruikt als om de fenologiediagrammen mee te verschuiven. Voor soorten waarvan geen voorspellingsparameters beschikbaar zijn wordt de gemiddelde verschuiving van alle soorten waarvoor wel voorspellingsparameters beschikbaar zijn gebruikt.

2.3.4 Validatie van de voorspelling

Voor enkele orchideeënsoorten is op 1 juni 2021 de bloeitijd in het veld bepaald door te kijken naar het aantal geopende, verwelkte en nog in knop staande bloemen per plant. De voorspelde piek lijkt voor de soorten met een relatief smalle, hoge piek (bijvoorbeeld een korte bloeitijd) op enkele dagen nauwkeurig te zijn, zonder dat er een systematische fout in de voorspelling lijkt te zitten.

Volgens verwachting is de afwijking het grootst in het voorjaar (bijvoorbeeld sneeuwkllokje en speenkruid). Het effect van een warm of koel voorjaar op het voorspellingsmodel laat verandering in dezelfde orde grootte zien als bij meldingen van bijvoorbeeld de eerste bloei in De Natuurkalender (Van Vliet 2009; Van Vliet et al. 2014).

2.4 Klimaatparameters

2.4.1 Gebruikte datasets

Voor meer dan 24.000 taxa uit GBIF zijn diverse gemiddelde klimaat- en omgevingsparameters voor hun areaal uitgerekend volgens de Species Temperature Index (STI) methode (Sparrius *et al.*, 2018). De STI is de langjarig gemiddelde temperatuur binnen het areaal van een soort. Hiervoor zijn meer dan 440 miljoen *occurrence records* uit GBIF gebruikt (GBIF.org, 2021). Deze waarnemingen zijn gedaan na 1970 in Europa, het noorden van Afrika en het Midden-Oosten. Alleen taxa met minimaal 250 waarnemingen zijn gebruikt. Voor de klimaat- en omgevingsparameters is gebruik gemaakt van de WorldClim2 dataset (Fick & Hijmans, 2017). Het betreft de WorldClim 2.1 30s kaarten voor gemiddelde jaarlijkse temperatuur, gemiddelde maximale temperatuur van de warmste maand, gemiddelde minimale temperatuur van de koudste maand, jaarlijkse neerslag en hoogte boven zeeniveau.

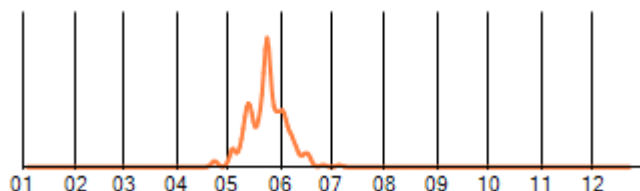
2.4.2 Berekening klimaatindices

Om waarnemingsbias te voorkomen en te corrigeren voor een ongebalanceerde data distributie is er gebruik gemaakt van een bootstrapproces. Voor elke soort zijn de waarnemingen toegewezen aan een 0.5 bij 0.5 graden gridcel. Vervolgens is er een grid van 2.5 bij 2.5 graden cellen overheen gelegd. Voor elke 2.5 graden cel is er een willekeurige 0.5 graden cel gekozen, en hiervan is de gemiddelde waarde alsmede de standaard deviatie, het 5, 25, 75 en 95 procent percentiel uitgerekend van de betreffende klimaat- of omgevingsparameter. Dit proces is gedaan om tot een meer even verdeling te komen over het areaal van een soort, zodat het effect van gaten in de data distributie geminimaliseerd werd. Dit proces is 1000 keer herhaald waarna de gemiddelde waardes van de bootstrap zijn genomen. Zie ook Sparrius *et al.* (2018) voor verdere uitleg van de methodiek. Het gebruikte R script is gepubliceerd op Github (van der Hak & Sparrius, 2022).

3 Resultaten

3.1 Resulterende datasets

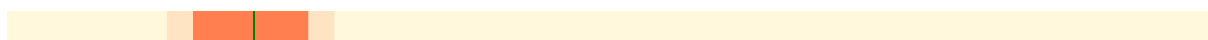
Voor meer dan 10.000 combinaties van soort en levensstadium zijn fenologiediagrammen gemaakt (zie sectie 2.2). Een voorbeeld hiervan is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5. Bloediagram van Poppenorchis (*Orchis anthropophora*). De oranje lijn geeft het aantal waarnemingen weer waarbij de eigenschap “bloeiend” werd meegegeven.

Deze diagrammen worden aan hand van de resultaten van de voorspellingsmodule dagelijks naar links of naar rechts geschoven voor een zo groot mogelijke precisie. De diagrammen zijn te vinden op de NDFF Verspreidingsatlas.

Verder zijn ook boxplots gemaakt. Een voorbeeld hiervan is te zien in afbeelding 2.



Afbeelding 2: Boxplot van de bloei van Klein hoefblad (*Tussilago farfara*). De hele breedte van de balk geeft het jaar weer (1 januari t/m 31 december). Het donker oranje vlak geeft de periode van het 20% en 80% percentiel weer. De lichtoranje vlakken geven de tijd tussen het 10% en 20% percentiel en het 80% en 90% percentiel weer. De groene lijn geeft de piek van de bloei weer.

De boxplots zijn te vinden en te doorzoeken op de NDFF verspreidingsatlas (zie paragraaf 3.2).

3.2 Fenologiemodule in de NDFF Verspreidingsatlas

De boxplots en fenologiediagrammen zijn gepubliceerd in de NDFF Verspreidingsatlas en openbaar toegankelijk:

<https://www.verspreidingsatlas.nl/projecten/floron/fenologie/>

De fenologiediagrammen zijn ook ontsloten op de pagina's met soortbeschrijvingen in de NDFF Verspreidingsatlas.

Voorbeeld <https://www.verspreidingsatlas.nl/0880> (tabblad “trend en fenologie”)

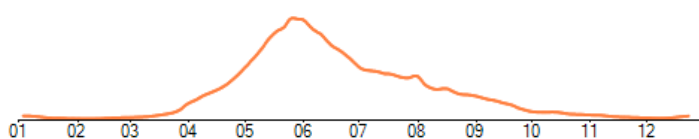
3.3 Verwerking in bloeitijdpatroon en dagelijkse nectarproductie in de Nectarindex

Het citizen science project Nectarindex maakt gebruik van de fenologiediagrammen en

bloeitijdvoorspelling. Bij de Nectarindex maken deelnemers vereenvoudigde vegetatieopnamen waarbij de aanwezigheid van soorten met een tienpuntsschaal wordt gescoord. De bloeipieken van gevonden plantensoorten worden opgeteld. Er wordt gecorrigeerd voor talrijkheid, zodat algemene soorten in de vegetatieopname zwaarder meetellen. In de bloeitijdigrammen wordt ook de bloeitijdvoorspelling verwerkt. Het resultaat is een bloei- en nectarprofiel (figuur 6) waarmee deelnemers zelf het optimale maaimoment kunnen bepalen.

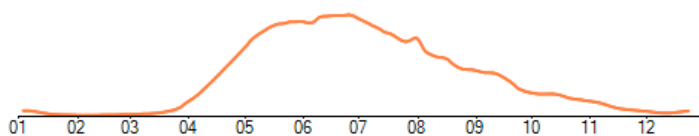
Bloemaanbod

Berekend uit een optelsom van bloeitijdigrammen x het aantal van elke plantensoort. Het tijdstip van maaien is uiteraard van grote invloed. Door ruim ná de bloeipek te maaien kunnen bloemen zaden vormen.



Potentiële nectarproductie gedurende het jaar

Berekend uit een optelsom van bloeitijdigrammen x nectarproductie x het aantal van elke plantensoort.



Figuur 6. Profiel van de planten in een wegberm voor bloemaanbod en nectarproductie in het project Nectarindex in de NDFV Verspreidingsatlas. Dit voorbeeld is te vinden op <https://www.verspreidingsatlas.nl/projecten/floron/bermen/report.aspx?folid=397475>

3.4 Andere mogelijke toepassingen

Er zijn nog meer toepassingen mogelijk voor de bloeitijdvoorspeller.

3.4.1 Op het juiste moment zoeken naar soorten

De fenologiediagrammen kunnen gebruikt worden voor het bepalen van het juiste moment voor het uitvoeren van veldwerk om een soort in kaart te brengen. Door rond de dag met piek te gaan zoeken wordt de trefkans groter. Voor dagvlinders is dit nuttig gebleken (Wallis de Vries 2005a,b) en onlangs is een eerste verkenning uitgevoerd om fenologische gegevens te gebruiken om aantallen bij te schatten voor soorten waarvoor het veldbezoek buiten de piek van de vliegtijd is uitgevoerd bij SNL-karteringen met één veldbezoek (Van Swaay et al. 2022).

3.4.2 Actuele communicatie naar publiek

De diagrammen en vooral de dagnummers in de boxplots kunnen gebruikt worden om de start of piek van de periode met kwakende kikkers, het verschijnen van oesterzwammen of bloeiende margrietten naar een breder publiek te communiceren. De bloeitijdigrammen worden al gebruikt in de Nature Today Go app.

3.4.3 Beter voorspellen van overlast

Door data van verschillende soorten te combineren kunnen diagrammen gemaakt worden voor overlastgevende planten en dieren. Denk aan hooikoortsplanten, wespenoverlast, populierenpluis en iepenzaden.

3.4.4 Onderzoek naar effecten van beheer

In het project Nectarindex gebruiken we fenologiediagrammen om het bloemaanbod te beschrijven. Het is ook mogelijk om meer theoretisch onderzoek te doen naar de effecten van vroeger of later maaien van graslanden. Bijvoorbeeld door te kijken of maaibeheer het vormen van zaden in de weg zit. Een vroeger maaimoment zou bijvoorbeeld kunnen leiden tot een geleidelijke afname van soorten die later in het seizoen zaden vormen.

3.5 Klimaatindices

Voor 25886 Europese flora en faunasoorten konden de Species Temperature Index en andere klimaatindicatoren berekend worden. Hiervan komen circa 15000 soorten in Nederland voor. Van de overige soorten waren te weinig (minder dan 250) waarnemingen beschikbaar uit Europa. Ook mariene organismen zijn buiten beschouwing gelaten, omdat hiervoor andere parameters, zoals zeevatertemperatuur en diepte van belang zijn.

Tabel 2. Klimaatindicatoren voor Europese soorten.

WorldClim dataset	Beschrijving
wc2.1_30s_elev	Gemiddelde hoogte boven zeeniveau (m)
wc2.1_30s_bio_1	Gemiddelde temperatuur over het hele jaar (°C)
wc2.1_30s_bio_5	Gemiddelde maximumtemperatuur per dag, over het hele jaar (°C)
wc2.1_30s_bio_6	Gemiddelde minimumtemperatuur per dag, over het hele jaar (°C)
wc2.1_30s_bio_12	Jaarlijkse neerslagsom (mm)

3.6 Databeschikbaarheid

Door de publicatie van scripts en data is de gevolgde methodiek reproduceerbaar en is de resulterende datasets zijn openbaar toegankelijk. Zie hiervoor de software en data op Github (Van der Hak 2022). De onderliggende NDFF-data is toegankelijk onder de voorwaarden die de NDFF hieraan stelt.

4 Literatuur

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315.

GBIF.org (21 July 2021) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.278nph>.

KNMI (2022). Daggegevens van het weer in Nederland [dataset]. https://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/klimatologie/gegevens/daggegevens/etmgeg_260.zip

Lund, U., C. Agostinelli, & M.C. Agostinelli (2022). Package 'circular'. *Repository CRAN*, 775.

Sparrius, L. B., van den Top, G. G., & van Swaay, C. A. M. (2018). An approach to calculate a species temperature index for flora based on open data. *Gorteria Dutch Botanical Archives*, 40(1), 73-78.

Van der Hak, D. D. (2022). Phenology Diagram Generator (Version 1.0.0) [Computer software]. https://github.com/Desharin/phenology_diagram_generator.

van der Hak, D. D., & Sparrius, L. B. (2022). Species Climate Parameter Index (Version 1.0.0) [Computer software]. <https://github.com/Desharin/species-climate-index>

Van Swaay, C.A.M. et al. (2022). Monitoring: meer doen met SNL door combinatie met NEM-data. De Levende Natuur (in druk).

Van Vliet, A.J.H. (2009). Monitoring, analysing, forecasting and communicating phenological changes. Proefschrift Wageningen Universiteit. <https://edepot.wur.nl/16350>

Van Vliet, A.J.H., W.A. Bron, S. Mulder, W. van der Slikke & B. Odé (2014). Observed climate-induced changes in plant phenology in the Netherlands. *Regional Environmental Change* 14: 997-1008. <https://www.verspreidingsatlas.nl/redactie/pdf/66e6483b-87fb-4a59-9b7d-42408a9db4b5.pdf>

Wallis de Vries, M.F., M. Venema & C.A.M. van Swaay (2005a). Voorspelling van vliegtijden van vlinders. Rapport VS2005.012, De Vlinderstichting, Wageningen.

Wallis de Vries, M.F., M. Venema & C.A.M. van Swaay (2005b). Regionale voorspelling van vliegtijden van vlinders. Rapport VS2005.036, De Vlinderstichting, Wageningen.