

10 Samenvatting

10.1 Introductie

De gemiddelde mondiale temperatuur is in de periode 1906 tot en met 2005 met $0,8^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,2^{\circ}\text{C}$) gestegen. De twaalf warmste jaren sinds 1850 kwamen allemaal voor in de laatste dertien jaar. De gemiddelde temperatuur in Nederland steeg zelfs $1,2^{\circ}\text{C}$ sinds 1900, waarvan de grootste stijging zich voordeed na 1988. Een toenemend aantal studies laat zien dat de klimaatverandering grootschalige ecologische gevolgen heeft. Veel van die studies laten zien dat het tijdstip waarop fenologische gebeurtenissen plaatsvinden, zoals de start van bloei, bladontplooiing of het verschijnen van vlinders aan het veranderen is.

Ondanks het feit dat fenologische veranderingen in de afgelopen jaren veel aandacht hebben gekregen en er veel data zijn verzameld, heeft er in Nederland tot nu toe nog geen gedetailleerde systematische wetenschappelijke kwantificering van deze fenologische veranderingen in de afgelopen 150 jaar plaatsgevonden. Voor veel soorten is de relatie tussen het tijdstip waarop de jaarlijks terugkerende verschijnselen in de natuur zich voordoen en klimaatvariabelen grotendeels onbekend. Verder heeft nog maar een zeer beperkt aantal studies het effect van fenologische veranderingen op de interactie tussen soorten of het effect van die veranderingen op specifieke sectoren waaronder landbouw gekwantificeerd. Het is daarom momenteel onbekend of de sectoren, die door fenologische veranderingen beïnvloed worden, in staat zijn om tijdig hulpmiddelen en methodologieën te ontwikkelen om zich aan te passen aan de veranderingen.

De hoofddoelstellingen van mijn proefschrift zijn daarom: het bepalen van de door klimaatverandering veroorzaakte fenologische veranderingen in Nederland, het vergroten van de kennis over ecologische en sociaal-economische gevolgen van fenologische veranderingen, het bepalen van hoe de samenleving zich kan aanpassen aan fenologische veranderingen en het bepalen van het belang van fenologische netwerken⁷ bij het monitoren, communiceren en aanpassen aan de veranderingen.

De belangrijkste onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe is het tijdstip van fenologische gebeurtenissen veranderd in de afgelopen 150 jaar?
2. Hoe wordt de variatie in het tijdstip van fenologische gebeurtenissen bepaald door klimaatvariabelen?
3. Wat zijn de ecologische effecten van de fenologische veranderingen die zich door klimaatverandering voordoen?
4. Wat zijn de sociaal-economische gevolgen van de fenologische veranderingen die zich door klimaatverandering voordoen?
5. Hoe kunnen fenologische veranderingen gebruikt worden om te bepalen wat gevaarlijke klimaatveranderingen zijn?

⁷ Fenologische netwerken zijn groepen van mensen of organisaties die het tijdstip van jaarlijks terugkerende verschijnselen in de natuur systematisch monitoren, analyseren, voorspellen en/of communiceren.

6. Hoe kan de samenleving zich aanpassen aan fenologische veranderingen?
7. Hoe kunnen fenologische netwerken de samenleving helpen om zich aan te passen aan klimaatverandering?

Het onderzoek dat gepresenteerd wordt in dit proefschrift is gebaseerd op mijn werkzaamheden als coördinator van het Europese Fenologie Netwerk (European Phenology Network, EPN) in de periode 2001 tot en met 2003 en van het Natuurkalendernetwerk dat gestart is in 2001. Het belangrijkste doel van EPN was het vergroten van de efficiëntie, de toegevoegde waarde en het gebruik van fenologische monitoring en onderzoek en daarnaast het promoten van het praktisch gebruik van fenologische data in Europese lidstaten in de context van mondiale (klimaat)veranderingen in Europa. Het Natuurkalendernetwerk richt zich met name op de monitoring, analyse, voorspelling en communicatie van fenologische veranderingen die door klimaatveranderingen in Nederland veroorzaakt worden.

10.2 Waargenomen fenologische veranderingen

Ik verzamelde en gebruikte een aantal plantfenologische datareeksen afkomstig van diverse bronnen. Daar waren reeksen bij van enkele vrijwilligersnetwerken waaronder de plantenwaarnemingen die gedaan zijn in het kader van het Natuurkalendernetwerk. De vroegste reeks is gestart in 1868. Naast de netwerkdata heb ik dagelijkse pollentellingen van het Leids Universitair Medisch Centrum gebruikt en datareeksen van de heer H.M. Braaksma en van de heer G. Londo. Beiden hebben gedurende tientallen jaren systematische fenologische waarnemingen in hun tuin gedaan.

De pollentellingen laten zien dat de start van het pollenseizoen van veertien soorten in de jaren 90 gemiddeld twaalf dagen eerder lag dan in de jaren 70. De vervroeging van de start van bloei van graslandsoorten in de tuin van Londo was in de jaren 90 vijf dagen eerder dan in de jaren 70 en varieerde tussen soorten. De gemiddelde datum van bloei, bladontplooiing en vruchtrijping in de jaren 2001 tot en met 2005 op basis van de Natuurkalenderwaarnemingen was dertien dagen eerder dan het gemiddelde op basis van waarnemingen door andere fenologische netwerken gedurende de periode 1900 tot en met 1968. In de Londo reeks lag in de laatste jaren de gemiddelde start van zowel de bloeiperiode als die van de rijke bloeiperiode (periode met veel bloemen) tien dagen eerder dan in de jaren 70. Vrijwel alle soorten die opgenomen zijn in de Londo-reeks, als die van het Natuurkalender netwerk hebben hun bloeidatum vervroegd. De Londo-reeks laat zien dat in de jaren na 2000 het einde van de bloei gemiddeld maar een dag vroeger was dan in de jaren 70 terwijl het einde van de rijke bloeiperiode met tien dagen vervroegde. De gemiddelde bloeiduur is met elf dagen toegenomen terwijl de duur van de rijke bloeiperiode met maar zeven dagen is toegenomen. Het relatief beperkt aantal fenologische waarnemingen in de herfst suggereert dat de herfst in de laatste jaren twee weken later begint dan vroeger.

Gebaseerd op de analyse van de diverse reeksen met meer dan 180.000 fenologische plantenwaarnemingen concludeer ik dat de start van bloei, het einde van de bloei, de start van bladontplooiing, vruchtrijping, herfstkleuring en bladval significant begon te veranderen aan het eind van de jaren 80. Door de vervroeging van de lente en het verlaten van de herfst is de lengte van het groeiseizoen in de afgelopen jaren een maand langer dan voor 1990. Dit is een zeer significante en snelle verandering.

10.3 Effect van klimaatverandering op fenologie

Stapsgewijze lineaire regressieanalyses laten duidelijk zien dat veranderingen in temperatuur en in mindere mate neerslag sterk correleren met het tijdstip waarop fenologische gebeurtenissen van planten plaatsvinden. Verder blijken de grootte van de populatie, nutriëntenbeschikbaarheid en ecosysteemmanagement de fenologische variatie te beïnvloeden. De analyses van de fenologische waarnemingen die gedaan zijn in het kader van vrijwilligersnetwerken laten zien dat de jaarlijkse variabiliteit in de fenologie van planten voornamelijk (62%) wordt verklaard door klimaatvariabelen. De verklaarde variatie ligt lager bij de analyses van waarnemingen van Londo en Braaksma.

Het percentage van de variatie in het tijdstip van fenologische gebeurtenissen dat verklaard wordt door klimaatvariabelen varieert tussen de seizoenen. De variatie van gebeurtenissen in de maanden december tot en met mei wordt voor 76% verklaard door klimaatvariabelen terwijl de jaarlijkse variatie in herfstgebeurtenissen zoals bladverkleuring en bladval voor maar 40% hierdoor verklaard worden. De analyses laten zien dat een stijging van de temperatuur de start van het voorjaar vervroegt maar de start van de herfst vertraagt. Op basis van deze duidelijke correlatie tussen temperatuur en de timing van fenologische gebeurtenissen is het zeer waarschijnlijk dat de voorspelde temperatuurstijging van 1,5 tot 5,7°C tot 2100 zal leiden tot een verdere toename van de lengte van het groeiseizoen.

10.4 Ecologische effecten van fenologische veranderingen

Veranderingen in de timing van fenologische gebeurtenissen vinden plaats op het niveau van het individuele organisme en beïnvloeden de productiviteit, de reproductie en de overleving. Als gevolg hiervan veranderen veel processen en feedbackmechanismen op het ecosysteemniveau, waaronder biogeochemische cycli, bestuiving en de dynamiek in voedselketens. Er is echter nog veel meer kennis van de veranderende dynamiek van levenscycli nodig voordat we een redelijke schatting kunnen maken van mogelijke toekomstige effecten van veranderende soortinteracties. Tegenwoordig is vaak alleen informatie over de start van bloei en het verschijnen van insecten en vogels beschikbaar terwijl studies naar soortinteracties de hele activiteitenperiode in ogenschouw moeten nemen. In dit proefschrift heb ik niet gekeken naar de veranderingen in synchronisatie tussen soorten van verschillende soortgroepen. Daarentegen maken de waargenomen grote verschillen in de verandering van start en einde van bloei en het begin van bladontplooiing van de verschillende plantensoorten duidelijk dat verschillende soorten heel verschillend reageren op veranderingen in het klimaat. Uit een vergelijking van fenologische waarnemingen uit de Natuurkalenderdatabase van planten, vlinders, amfibieën en vogels gedurende de koude start van 2006 met waarnemingen uit de zeer warme start van 2007, blijkt dat de verstoring van de synchronisatie door veranderingen in de temperatuur waarschijnlijk een wijdverbreid probleem is. Terwijl het verschijnen van bloemen, bladeren, vlinders en amfibieën in 2007 gemiddeld meer dan twintig dagen eerder plaats vond dan in 2006 verschoof de fenologie van korte afstand trekvogels en standvogels maar elf dagen terwijl de lange afstand trekkers in 2007 maar drie dagen eerder terug kwamen dan in 2006. Deze resultaten laten ook zien dat ondanks dat het groeiseizoen de afgelopen jaren gemiddeld 14 dagen eerder begint, de vervroeging in extreme jaren nog veel groter kan zijn. In de bestudering van de ecologische effecten van de seizoenveranderingen is het

daarom belangrijk om nauwkeurig naar de extreme jaren te kijken. Ook vanwege het feit dat weerextremen in de toekomst naar verwachting vaker zullen voorkomen.

10.5 Sociaal-economische effecten van fenologische veranderingen

Er zijn weinig gegevens beschikbaar waarmee de sociaal-economische effecten van fenologische veranderingen gekwantificeerd kunnen worden. Ik heb daarom een kwalitatieve schatting gemaakt van de mogelijke effecten op de primaire productiesectoren (landbouw, bosbouw en visserij) en op gezondheid (hooikoorts en vectorgebonden ziekten). Fenologische veranderingen beïnvloeden vele fundamentele processen binnen deze sectoren en hebben gevolgen voor miljoenen mensen met mogelijk grote sociaal-economische gevolgen. Deze gevolgen worden veelal onderschat vanwege het feit dat het effect van fenologische veranderingen op het niveau van een individu vaak relatief klein is. Hooikoortspatiënten moeten bijvoorbeeld hun medicijnen tegenwoordig twee weken vroeger innemen. Echter, aangezien miljoenen hooikoortspatiënten en duizenden huisartsen en apotheken moeten reageren op deze veranderingen worden de sociaal-economische gevolgen beduidend groter. Mijn proefschrift laat zien dat de verstrekking van hooikoortsmedicijnen door apotheken in Nederland sterk samenhangt met de variatie in de pollenconcentratie in de atmosfeer. Jaarlijks wordt er voor tientallen miljoenen euro's aan hooikoortsmedicijnen uitgegeven. Kennis over de samenhang tussen pollenconcentratie, hooikoortsklachten en medicijngebruik geeft de mogelijkheid om de gezondheidszorg sterk te verbeteren via een combinatie van betere diagnose en een tijdige behandeling door artsen. De patiënt moet beter geïnformeerd worden over (veranderingen in) start en duur van het hooikoortsseizoen.

Ik concludeer dat investeringen in de verdere ontwikkeling van fenologische netwerken gerechtvaardigd zijn omdat de data, kennis en methoden die de netwerken ontwikkelen gebruikt kunnen worden door meerdere sectoren en door grote groepen mensen. Om de investeringen te rechtvaardigen zullen toekomstige studies de directe en indirecte sociaal-economische gevolgen van de huidige en verwachte toekomstige fenologische veranderingen beter moeten kwantificeren.

10.6 Noodzaak voor stringenter klimaatbeschermingdoelen

In de laatste decaden is het extreme weer sterker veranderd dan het gemiddelde weer en planten en dieren hebben duidelijk gereageerd op deze extremen. Traditionele effectenstudies die zijn uitgevoerd aan het einde van de vorige eeuw hebben zich vooral gericht op het effect van een verandering in gemiddelde temperaturen op de verschuivingen van biomen of vegetatiezones op de lange termijn. Ze hebben een juiste schatting gemaakt van de richting van verandering maar niet van de omvang van de verandering. Recentere studies die gebruik maken van soort- en populatiespecifieke modellen laten een groter effect zien maar blijken ook niet in staat om de juiste orde van grootte van de waargenomen veranderingen te simuleren. Het is dan ook waarschijnlijk dat studies, die de effecten en kwetsbaarheden bepalen, de effecten op en reacties van soorten onderschatten. De onderschatting vindt vooral plaats wanneer de klimaatveranderingen nog beperkt zijn. Fenologische studies bieden een kans om ecologische veranderingen in een vroeg stadium vast te stellen.

De waarneming van extreme ecologische reacties op extreme weersomstandigheden (zoals de verlenging van het groeiseizoen met meer dan een maand of de noordwaartse verschuiving van soorten met honderd kilometer in een paar jaar) rechtvaardigen de noodzaak voor stringenter klimaatbeschermingdoelen om zodoende beter rekening te houden met de grotere kwetsbaarheid van soorten en ecosystemen.

Op basis van de huidige kennis over de reactie van soorten en ecosystemen op extreme weersomstandigheden is het voorstel om de temperatuurstijging te beperken tot maximaal 1,5°C boven het pre-industriële niveau en om de snelheid van de temperatuurstijging te beperken tot minder dan 0,5°C per eeuw. Een lagere snelheid van verandering zal de omvang van fenologische reacties verkleinen, de vele ecologische en sociaal-economische effecten beperken en geeft de samenleving tijd om het aanpassingsvermogen te verbeteren.

10.7 Mogelijkheden voor aanpassing aan fenologische veranderingen: noodzaak voor samenwerking

Zelfs als de klimaatbeschermingdoelen worden bijgesteld is het waarschijnlijk dat het klimaat blijft veranderen. Het is daarom noodzakelijk dat de samenleving zich aan deze veranderingen en de daaruit voortvloeiende gevolgen aanpast. Het is mogelijk om je aan te passen aan de fenologische veranderingen omdat vooral het tijdstip waarop activiteiten plaatsvinden aangepast moet worden. Aanpassing vraagt dan echter wel een antwoord op de vragen wanneer en waar wat zal gebeuren en wat er aan gedaan kan worden. Deze vragen kunnen alleen beantwoord worden indien de betrokkenen binnen de diverse sectoren zoals medisch specialisten, boeren, bosbouwers, wetenschappers, media, private partijen, het publiek, NGO's en (ICT) specialisten samenwerken. Fenologische netwerken kunnen daarbij fungeren als een effectief platform om deze samenwerking gestalte te geven. Het vereist echter wel een open houding en de bereidheid om over de grenzen van sectoren en wetenschappelijke disciplines heen te kijken.

Verder kan een kosteneffectieve verbetering van de bestaande monitoring en onderzoeksactiviteiten en een succesvolle toepassing van fenologische informatie alleen maar plaatsvinden als men een goed overzicht heeft van de beschikbare kennis, hulpmiddelen en infrastructuur. Vanwege de toenemende aandacht voor fenologie vindt er momenteel een snelle ontwikkeling plaats van de benodigde technologieën, expertise en hulpmiddelen in verschillende delen van de wereld. Zo bieden de laatste ICT-technieken die beschikbaar zijn voor de coördinatie, onderhoud en uitbreiding van monitoringnetwerken en voor de opslag, uitwisseling en analyse van data aan fenologische netwerken, de mogelijkheid om duizenden vrijwillige waarnemers te betrekken en met hen te communiceren. Er zijn diverse internationale programma's (zoals het COST725 programma en de Fenologie Commissie in het kader van de International Society of Biometeorology) die de verdere ontwikkeling en uitwisseling van deze technieken faciliteren.

10.8 Mogelijkheid van fenologische netwerken om effecten van klimaatverandering te communiceren

Het aanpassen aan fenologische veranderingen betreft voornamelijk een aanpassing in het tijdstip waarop activiteiten uitgevoerd worden. Echter, voordat mensen hun gedrag en planning aanpassen moeten ze zich bewust zijn van de fenologische veranderingen, van de gevolgen van deze veranderingen en van de aanpassingsmogelijkheden die beschikbaar zijn. Fenologische informatie is eenvoudig te communiceren en kan daardoor zeer goed helpen om bij de vele betrokkenen de bewustwording te vergroten en het gevoel van urgentie om zich aan te passen te versterken. Hiervoor zijn vier redenen. Allereerst zijn fenologische gebeurtenissen eenvoudig overal en door iedereen waar te nemen en te herkennen. Ten tweede kunnen fenologische veranderingen direct gekoppeld worden aan veranderingen in weer en klimaat. Ten derde biedt de beschikbaarheid van historische fenologische waarnemingen wetenschappers de mogelijkheid om de bloeidatum van vandaag de dag te vergelijken met de situatie jaren, decaden of zelfs eeuwen geleden. De huidige waarnemingen kunnen daarmee in een historische context geplaatst worden zoals dat ook gedaan wordt in weerberichten. Tenslotte hebben fenologische veranderingen duidelijke ecologische en sociaal-economische gevolgen die de interesse in deze informatie vergroten.

In het Natuurkalendernetwerk gebruiken we verschillende hulpmiddelen en methodologieën om onze kennis naar de diverse belanghebbenden in de samenleving te communiceren. De website en het onderliggende informatiesysteem en de database spelen een cruciale rol in het verzamelen van waarnemingen, de analyse van de waarnemingen, de voorspelling en de communicatie van de fenologische gebeurtenissen. Met de communicatieactiviteiten en disseminatiematerialen hebben we miljoenen mensen bereikt. Met name media maken veel gebruik van deze materialen. Om de media-aandacht en daarmee de publieke steun te vergroten zouden fenologische netwerken zich daarom vaker moeten richten op de productie van deze materialen. Echter, het succes van de disseminatie hangt sterk af van de kwaliteit van de informatie, de kwaliteit van de betrokken partnerorganisaties en de hoeveelheid informatie en kennis die geproduceerd wordt.

10.9 Fenologische netwerken in de 21^{ste} eeuw

Fenologische netwerken zijn noodzakelijk om de activiteiten te organiseren die nodig zijn voor aanpassing aan de huidige en toekomstige effecten van fenologische veranderingen. Deze activiteiten omvatten de monitoring van jaarlijks terugkerende verschijnselen in de natuur, de analyse van de oorzaken van fenologische veranderingen en de ecologische en sociaal-economische gevolgen, het bepalen van de mogelijke toekomstige fenologische veranderingen en de daaruit voortvloeiende ecologische en sociaal-economische gevolgen, en het communiceren van de kennis, hulpmiddelen en methodologieën naar het publiek en specifieke betrokkenen.

Fenologische verandering is een van de vele onderdelen van de mondiale veranderingen die gaande zijn. Volgens de Millennium Ecosystem Assessment heeft menselijk handelen ervoor gezorgd dat de wereld aan de vooravond staat van het massaal uitsterven van soorten. Het verlies van deze soorten bedreigt daarbij ons welzijn via het verlies van

zogenaamde ecosystemediensten (waaronder bijvoorbeeld de voedselproductie, biologische bestrijding, en vele andere live-supportdiensten). De druk op ecosystemen zal in de komende decaden wereldwijd verder stijgen tenzij het gedrag en de activiteiten van mensen veranderen. De vraag is hoe de bewustwording vergroot kan worden over milieuveranderingen, het belang van die veranderingen voor de samenleving en de mogelijkheden om het verlies van ecosystemediensten te voorkomen of verminderen. Hoe stimuleren we bewustwording en gedragsverandering op een moment dat wereldwijd de afstand tussen natuur en samenleving in het dagelijks leven steeds groter wordt.

Ondanks dat fenologische veranderingen maar een klein deel vormen van de vele mondiale veranderingen die momenteel plaatsvinden, bieden ze de mogelijkheid om de samenleving dichter in contact te brengen met de actuele ontwikkelingen in natuurlijke systemen. Daarnaast kunnen fenologische netwerken helpen om de verbondenheid tussen de samenleving en de natuur te visualiseren. Verder zijn fenologische netwerken in staat om wetenschappelijke disciplines te integreren en samen te brengen met diverse betrokkenen in de samenleving op zowel nationale als internationale schaal. Naar mijn mening kunnen fenologische netwerken daarom in de komende decaden een belangrijkere rol innemen in de samenleving en op het gebied van onderzoek naar mondiale veranderingen. Door fenologische veranderingen en ecosystemediensten “op de kaart” te zetten kunnen fenologische netwerken een significante bijdrage leveren aan het vergroten van het gevoel van urgentie in de samenleving om te reageren op de verwachte klimaatverandering en daarbij tegelijkertijd het effect op ecosystemediensten benadrukken. Alleen wanneer mensen zich bewust zijn van de volledige waarde van natuur voor hun welzijn zullen ze meer bereid zijn om natuurwaarden in ogenschouw te nemen bij de keuzen en beslissingen die ze in het dagelijks leven nemen die bewust en onbewust de omgeving veranderen.