

Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950



Foton: Privata

Helen Thorstensson

2008
Centrum för Geobiosfärsvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund



Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950

Helen Thorstensson

Kandidatuppsats i naturgeografi och ekosystemanalys

Handledare:

Lars Eklundh, docent

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys

Lunds universitet, 2008

Abstract

Phenology, the yearly development cycles of plants and animals, driven by seasonal changes in temperature and other environmental prerequisites, have been studied for hundreds of years. During recent years, with the ongoing changes in climate scientists have seen on earth, the interest for the research results from phenology studies has increased from several angles. It is no longer just ecologists and biologists that take part in the information provided by the scientists, and first and foremost those with interest in agriculture and forest management have reasons to pay attention. The goal of this thesis is to compile and present existing information regarding the subject of phenology, including the main driving forces, measurement methods, changes that have been seen so far as a consequence of a changed climate and the possible effects of a future increase in temperature.

The amount of results extracted from phenology research is great, but far from unanimous. Even if most of the information the studies point towards an advancement of spring and slightly later fall there are always some that don't show any change at all and others in the totally opposite direction. There are results pointing towards differences in the extent of the change in phenology across Europe, with areas in the central parts showing the greatest change and an extension of the entire season.

With a continuously warmer climate, in combination with the anticipated increase in extreme weather events, crops in the field as well as the trees in the forest are at risk of being subjected to more attacks by pests. From a strictly phenological perspective the higher temperatures may lead to a asynchronisation between different species, and adjustment to the new conditions might be needed.

Keywords: geography, physical geography, phenology, Europe, temperature, climate change

Advisor: **Lars Eklundh**

Degree project 15 credits in Physical Geography and Ecosystem analysis, Spring 2008

Department of Physical Geography and Ecosystem Analysis , Lund University

Sammanfattning

Fenologi, växter och djurs utvecklingscykler under året, styrda av säsongsmässiga variationer i temperatur och andra miljöförutsättningar, har studerats under flera hundra år. Under senare år, med de pågående förändringar forskare sett i klimatet på jorden, har intresset för studieresultaten från fenologiforskning ökat från många håll. Det är numera inte bara ekologer och biologer som tar del av informationen från forskarna, och framför allt personer med jord- och skogsbruksintresse har anledning att vara uppmärksamma. Målet med denna uppsats är att presentera en sammanställning av tillgänglig information berörande ämnet fenologi, inklusive drivande faktorer, mätmetoder, förändringar som setts hittills till följd av ett förändrat klimat samt vilka effekter en fortsatt uppvärmning kan få i framtiden.

Mängden resultat från fenologiforskning är stort men långtifrån entydiga. Även om de flesta studieresultat visar på en tidigare vår och något senare höst finns alltid de som inte visar någon förändring alls, eller går helt i motsatt riktning. Det finns resultat som visar på att förändringarna i fenologi skett i olika utsträckning i olika delar av Europa, där områden i centrala Europa har visat på den största förändringen, med en förlängning av hela säsongen.

Med ett allt varmare klimat, i kombination med att extrema väderhändelser förväntas bli fler, riskerar såväl odlade grödor på fälten som träden i skogen drabbas av skadedjursangrepp i större utsträckning. Ur ett rent fenologiskt perspektiv kan de högre temperaturerna leda till en större miss i synkronisering mellan olika arter, och en anpassning till nya förutsättningar kan krävas.

Nyckelord: geografi, naturgeografi, fenologi, Europa, temperatur, klimatförändring

Handledare: **Lars Eklundh**

Examensarbete 15 hp i Naturgeografi och Ekosystemanalys, våren 2008.

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys, Lunds universitet

Naturens tandemcykel – på väg att spåra ur

På senare år har det talats allt mer om klimatet och allt som ses som ett hot mot det. För växter och djur spelar de säsongsmässiga variationerna i miljöförutsättningar roll för när på året olika steg i deras utveckling sker, hur deras fenologi påverkas.

I denna uppsats studeras några av de resultat av förändrad fenologi som forskare runt om i Europa fått fram genom studier av växter och djur under drygt 50 år. Detta är en tid då det skett flera tydliga svängningar i temperaturer, och som efterföljd har ekosystemen påverkats. Trots att naturen utgör ett komplext system där en mängd olika variabler spelar in på det som händer tycks forskarna vara eniga om att det är temperaturen, i en eller annan form, som är den kraftigast styrande faktorn när det gäller fenologi,

Växter har visat sig påverkas snabbare av det varmare klimatet än vad djuren gjort och detta leder till att balansen dem emellan har rubbats. Om växterna dyker upp tidigare på säsongen kan djuren få svårt att hitta tillräckligt med mat, även om också de börjar sin årscykel tidigare. De båda hjulen i detta tandemliknande system har kommit i otakt, och kan i längden spåra ur, med utrotade arter som följd.

Stora framtida förändringar i fenologi kan få stora konsekvenser inte bara för ekosystemen, utan också inom jord- och skogsbruk där angreppen av skadedjur kan komma att bli mer kraftfulla och vanligt förekommande. Nya miljöförutsättningar kan i längden också leda till att sjukdomar börjar spridas i helt nya områden, till följd av att smittspridare tvingas flytta till andra, mer lämpliga platser.

Studierna av eventuella förändringar i fenologi är av stort intresse för många olika intresseområden och med ett okänt framtida klimat är det viktigt att vara förberedd på vad som kan hända. Vissa anpassningar, såväl av arterna i sig som i hur människan sköter det hon kan påverka, kan behöva göras för att undvika att den tidigare stabila tandemcykeln ska börja krångla och kanske hamna i diket.

Handledare: **Lars Eklundh**

Examensarbete 15 hp i Naturgeografi och ekosystemanalys, våren 2008.

Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys, Lunds universitet

Introduktion.....	3
Fenologi	4
Definition	4
Faser och säsonger.....	5
”Life history”-strategier	6
Drivande faktor/faktorer	8
Storskaliga klimatmönster och nordatlantiska oscillationen (NAO).....	9
Temperatur	10
Fotoperiod.....	13
Koldioxid (CO ₂)	14
Kväve (N).....	16
Nederbörd.....	16
Mätmetoder.....	17
Observationer på artnivå	17
Fjärranalys	18
Eddy-kovariansmätning	20
Fenologimodellering.....	21
Klimatförändringsexperiment	22
Kombinerade tekniker	23
Förändring av växt- och djurfenologi	24
Utbredning av förändring i Europa.....	24
Arter som drabbats/reagerat kraftigt och snabbt	25
Områden i vilka förändring är tydlig.....	27
Synkronisering av djur- och växtsäsonger.....	33
Den framtida fenologin i Europa	39
Fortsatt utveckling	39
Effekter på ekosystemet.....	39
Effekter på skogsbruket.....	41
Effekter på jordbruket.....	42
Effekter på hälsan hos människor	43
Slutsatser.....	44
Referenser:.....	47

Introduktion

Denna uppsats är en litteraturstudie som behandlar ämnet fenologi och utgör ett 15hp examensarbete i ämnet naturgeografi vid Institutionen för Naturgeografi och ekosystemanalys vid Lunds universitet. Fokus för arbetet ligger på de förändringar i fenologi hos växter och djur i Europa som forskare registrerat sedan 1950-talet och som anses ha uppkommit till följd av ett klimat i förändring. Arbetet är tänkt kunna ge svar på frågorna:

- Vad är fenologi, hur studeras det och varför är det intressant?
- Hur påverkar de pågående klimatförändringarna processen?
- Vilka djur- och växtarter har visat stor förändring hittills?
- I vilka områden i Europa har förändringarna varit störst/skett snabbast sedan 1950?
- Hur ser den framtida utvecklingen ut?
- Vilka ekologiska och ekonomiska risker finns det med att säsongerna förändras?

Den huvudsakliga anledningen till att fokus för uppsatsen lagts på det som hänt sedan 1950-talet är att de största registrerade förändringarna i temperatur (med varmare och kallare perioder) och andra klimatparametrar samt fenologi gäller de senaste decennierna. Samtidigt förefaller den största mängden sammanställd data över ett större, gemensamt område som Europa återfinnas för tiden efter 1950.

Att temperaturen kommer att stiga i framtiden är det inte längre någon som ifrågasätter, men osäkerheten kring framtida tidpunkter för odling, hur nederbördsfördelningen kommer att se ut, mm kvarstår och effekterna av dem är svåra att förutspå (Harrington *et al.*, 2007). Växternas fenologi tros komma att påverkas mer än hos djuren av ett förändrat nederbördsmonster (Harrington *et al.*, 2007) och detta kan i längden få nya konsekvenser för balansen och synkroniseringen dem emellan.

Under 2007 kom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ut med sin senaste rapport, Fourth Assessment Report (AR4) (IPCC, 2007). I rapporten presenteras de tänkbara framtida resultat som kan uppnås med en fortsatt global uppvärmning. IPCC:s A2-scenario förutspår att jordens medeltemperatur kommer att stiga med 2.0-5.4°C till slutet av det här århundradet (år 2090-2099), jämfört med tidsperioden 1980-1999 (IPCC, 2007), vilket i

jämförelse med andra resultat av förhöjda temperaturer kan få allvarliga konsekvenser för såväl växter som djur.

Fenologi

Definition

Det finns ett nära samband och en interaktion mellan växter, djur och deras omgivning, till stora delar drivet av de säsongsmässiga variationerna i temperatur och nederbörd (Cleland *et al.*, 2007). Fenologi handlar om hur årstidernas varierande förutsättningar påverkar tidpunkten för en specifik händelse i en viss växt eller djurs livscykel, ex. lövsprickning, blomning, vissning (Menzel *et al.*, 2001) eller årets första notering av insekter (Bale *et al.*, 2002) eller en återkommande flyttfågel (Nationalencyklopedin, 2008; Cleland *et al.*, 2007).

Ordet fenologi tros först ha använts av den belgiske botanisten Charles Morren år 1853, men intresset för studier av fenologi och sambandet mellan växter, djur och deras miljö har funnits mycket längre än så. Redan aboriginerna i Australien, som intog marken där för över 50 000 år sedan, förstod sig på sambandet och lyckades kartlägga omkring 5-10 säsonger, som de grundade på de förändringar de såg i flora och fauna samt i temperatur, vindar och nederbördsmängd. (Koch *et al.*, 2007)

Att övervaka växter och djurs fenologi anses vara den enklaste metoden för att studera hur förändringar i klimatet påverkar de olika processerna inom ekologin (Rosenzweig *et al.*, 2007). Detta grundar sig i det faktum att förändringarna i klimat är tydliga i form av förflyttning av växtarter i riktning mot polerna, förändringar i artsammansättning, och ur fenologiskt perspektiv de längre växtsäsongerna och tidigare datumen för säsongens början (Koch *et al.*, 2007). På senare år har allt mer fokus, från olika håll, riktats mot de resultat som kommer fram av studier av samspelet mellan fenologi och de förändrade klimatförhållandena (Koch *et al.*, 2007). Antalet intresseområden som fått upp ögonen och insett värdet av den information förändrade fenofaser kan ge blir allt fler, och numera är det inte bara biologer och ekologer som tar del av resultaten utan också folk inom t ex. jord- och skogsbruk, utbildning,

turism, naturresurshantering och folkhälsa. Utifrån information från det europeiska fenologinätverket EPN har Koch *et al* (2007) sammanställt en tabell (tabell 1) över den stora bredd av användningsområden som resultaten av fenologiska observationer kan användas till.

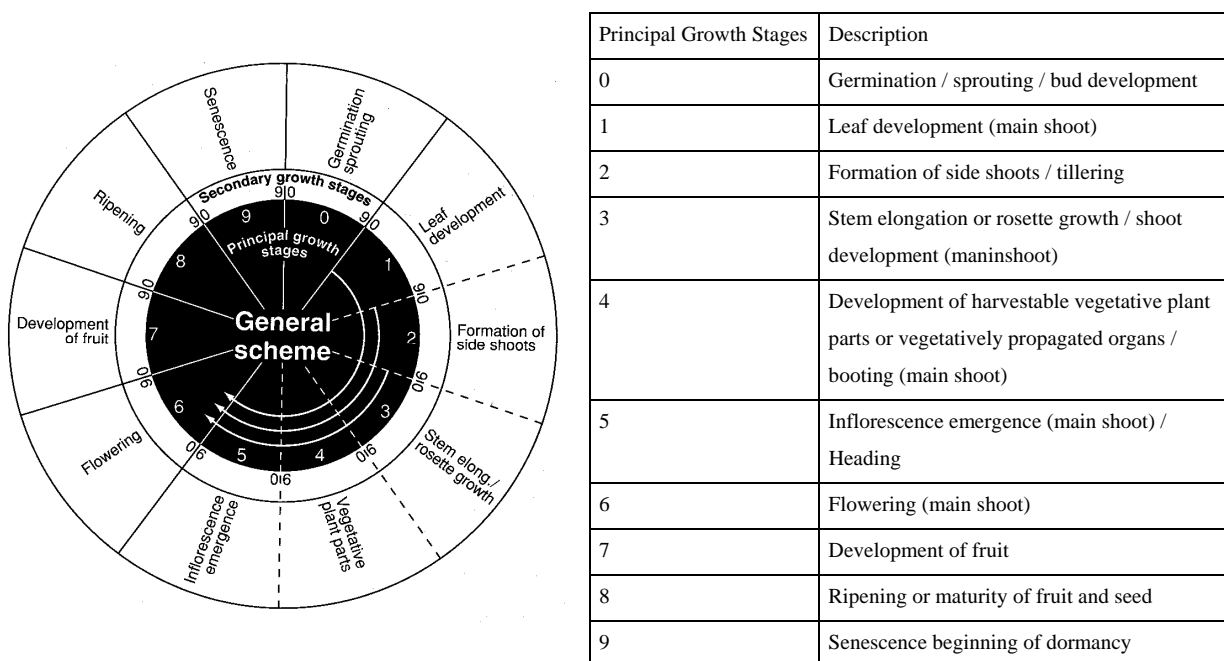
Tabell 1 Användningsområden för de resultat som framkommer av fenologiska observationer (Översättning från Koch *et al.*, 2007)

Agriculture	Providing phenological data as input for crop models, and for the timing of management activities
Biodiversity / Ecology	Assessing the impacts of extreme events, species interaction, migration of plant/animal-communities to new zones (e.g. to higher altitude or latitude), mismatch of timing, e.g. in food chains or mismatch of climate and species
Natural Resource Management	Timing of management activities, resource management under climate change (e.g. locating new reserves, linking of reserves)
Education	Involving school children and the public in scientific research by a very cheap and easy accessible means (plants and animals can be observed almost everywhere without any tool apart from keen interest, some knowledge on plant/animal-identification and some basic rules), thus bringing people closer to nature.
Gardening	Giving information to the public on planning activities like pest control
Human Health	Providing pollen information for sensitive groups, assessing the impact of climate change on vector borne (e.g. ticks, mosquitoes) diseases
Increasing environmental interest	Informing the public on environmental issues like climate change and its effects on vegetation and animals
Tourism, Recreation & Sports	Giving information on phenomena or events that potentially can interest people (e.g., in Austria, bike-tours on cherry-flowering or apricot-flowering are organized, bird watch-tours)

Faser och säsonger

De specifika stegen i den säsongsmässiga utvecklingen kallas fenofas (Cleland *et al.*, 2007) och tillsammans ger de en bild av utvecklingen över den årliga växtsäsongen (Menzel *et al.*, 2001). De olika fenofaserna inträffar vid olika tidpunkter på säsongen beroende på vilken art det handlar om. Under mitten av 1970-talet togs en sorts kod för de olika utvecklingsstegen fram, grundad på resultaten av studier på sädesslag, men som har visat sig giltig för de allra flesta växtarter (Koch *et al.*, 2007). Figur 1 visar den utökade modell av koden (den s.k. BBCH-skalan) som togs fram under 1990-talet, där det inre varvet visar de grundläggande stadierna medan det yttre visar tidpunkten eller det exakta steget i utvecklingen för varje art med lite mer precision (Koch *et al.*, 2007). Utifrån detta hjul kan sedan en kod för varje specifik arts fenologi skrivas ihop. Denna sifferkombination är tvåsiffrig och sträcker sig från 00 till 99, där den första siffran står för vilket grundläggande steg växten befinner sig på och den sista anger andra egenskaper (Meier *et al.*, 2001). Exempelvis kan en trea i det yttre varvet representera alltifrån ett tredje blad eller sidoskott på stjälken till att växten utvecklats till 30 % eller att 30 % av blommorna slagit ut (Meier *et al.*, 2001). Koden 51-69 skulle visa

utvecklingen från den första antydning av blomknoppar till dess att blomningen är över. I vissa fall, t ex för de odlade grödorna potatis, tomat, lök och gurka, krävs det en tresiffrig kod för att kunna räkna in de många blad som utvecklas under säsongen, och s.k. mesosteg införs mellan de båda tidigare varven (Meier *et al.*, 2001). Det är i de flesta av dessa fall ett problem i att växten i fråga har alltför många blad för att de ska rymmas i cirkeln (max 9 blad), men även för detta finns det riktlinjer och bilder för hur registrering ska gå till. För en del arter inträffar inte alla de utvecklingssteg som räknas med i de grundläggande stegen, alla växter blommar exempelvis inte och långtifrån alla bär frukt (Meier *et al.*, 2001). I dessa fall utesluts helt enkelt just det steget i kartläggningen av utvecklingscykeln för arten (Meier *et al.*, 2001).



Figur 1 Generell bild över grundläggande växtstadier med tillhörande beskrivning (Koch *et al.*, 2007 efter omarbetning från Meier *et al.*, 1997)

"Life history"-strategier

Figur 1 gäller för kartläggning av växter, men liknande hjul skulle också kunna konstrueras för djur. Alla levande individer, växter som djur, har utvecklingssteg eller egenskaper i sin livscykel ("life history traits"), som t ex. äggläggning, utveckling av frukt, osv. och faktorer i miljön påverkar dessa. I en varmare värld, där klimatet och förutsättningarna för växter och djur att utvecklas normalt är i förändring, är det viktigt att det finns ett fungerande samspel mellan miljön och det som lever i och av den. Ingen växt och inget djur är perfekt anpassat till sin omgivning och måste därför försaka vissa saker för att anpassa sig till miljön, och på så

vis kunna uppnå optimal levnadsstandard och överlevnad. De utvecklar s.k. life history-strategier och det kan handla om att växter i en solig och varm miljö, där fotosyntesen skulle ha potential att vara kraftfull, utvecklar fler, små blad istället för att ha få, stora blad. I utbyte mot mindre bladytor som kan absorbera solljus får växten möjlighet att behålla mer vatten, då transpirationen från bladen blir mindre (Campbell & Norman, 1998). För träd kan det stå emellan att ha en mindre krona och istället investera i att växa på höjden, mot att utveckla ett stort bladverk på en lägre nivå och fånga upp solljus på det sättet istället. Inom djurvärlden kan det handla om en minskning av antalet ungar under år med lite föda, med målet att säkerställa överlevnaden för de ungar de har.

Då en organisms olika "life history"-egenskaper, eller steg i utvecklingen, ofta är nära kopplade till varandra kan en förändring av en av dessa även komma att påverka andra. Ett exempel på detta är att svartvita flugsnapparens kullstorlek förefaller påverkas av tidpunkten för den första äggläggningen på året (Both och Visser, 2005).

De olika möjligheterna till "life history"-strategier hos de växtätande insekterna, i kombination med de skiftande växtsätten för värdväxterna, gör det svårt att säkerställa deras respons på ett förändrat klimat. Kartläggningar har visat att det för växtätande insekter finns sex generella life history-strategier som används (Bale *et al.*, 2002);

1. "Ta så lång tid som det behövs" – en strategi där banden till värdväxten är svaga och livscykeln kan vara väldigt lång och tillväxt och utveckling kan ta flera år. För de arktiska malarterna *Gynaephora* sp. kan det ibland ta upp till 14 år att avsluta en cykel.
2. "Stopp-fortsätt" – säsongsmässiga förändringar i omgivningen styr tillväxten och utvecklingen och avgör när den ska börja och sluta.
3. "Ta det medan du kan" – i de fall värdväxten bara finns tillgänglig som föda under en begränsad tid är synkronisering med den viktig. Oftast finns det bara en generation av insekter per år för de arter som använder denna strategi.
4. "Fortsätt försöka medan du kan" – värdväxten fungerar bra som grund för utveckling under en begränsad tidsperiod och hastigheten på utvecklingen varierar under säsongen och styrs av temperatur och kvalitén på växten.

5. "Vid tvekan, byt" – om en värdväxt skulle bli opassande kan insekten flytta över till en närliggande planta. Detta gäller både arter som lever av enstaka växter och de som livnär sig på många fler.
6. "Ge aldrig upp" – utvecklingen av insekten sker på en och samma värdväxt med flera generationer per år. Miljön saknar i allmänhet säsonger och just den här strategin är också vanlig i fuktiga, tropiska skogar. I de fall strategin förekommer i områden som har säsonger har arterna ofta anpassat sig till att klara av de riktigt ofördelaktiga perioderna genom att exempelvis gå i dvala.

Det är många variabler som samspelar i det komplexa växt-djur-miljösystemet och en ändrad respons till följd av skiftningar i klimatet från en eller flera av dessa komponenter kan komma att få konsekvenser i valet av "life history"-strategi för flera arter. Även om växternas "life history"-strategier inte alltid kartlagts lika noggrant och i samma utsträckning som för de växtätande insekterna kan konsekvenserna av ett förändrat klimat och omgivning samt kraven på anpassning öka i framtiden. Med största sannolikhet kommer gensvaret från såväl djur som växter vara såväl varierat som komplext (Bale *et al.*, 2002).

Drivande faktor/faktorer

Det råder skilda åsikter kring vilken som är den drivande faktorn bakom de förändringar i växt- och djurfenologi som observerats runt om i världen. Olika faktorer och processer har visat sig vara av olika stor betydelse beroende på vilken typ av biom eller art det handlar om. I en amerikansk studie av gräsmarker, utförd för ett par år sedan, kombinerades experiment på artnivå med fjärranalys (för att uppskatta primärproduktionen) och fyra potentiellt drivande faktorer undersöktes lite närmare (Cleland *et al.*, 2006). Dessa var temperatur, koldioxidhalt, kvävehalt samt nederbörd. Somliga forskare menar att det är CO₂-halten i luften och på marken som avgör (Cleland *et al.*, 2006; Menzel *et al.*, 2006), vissa andra att det är mängden kväve och ytterligare andra anser att de storskaliga cirkulationsströmmarna i norra Atlanten (NAO) spelar in på skiftningarna (Scheifinger *et al.*, 2002). Majoriteten av forskarna verkar dock vara eniga om att det är temperaturen som är den mest betydelsefulla faktorn för fenologin, men det råder fortfarande skilda meningar om vilken temperatur under året det

skulle vara som styr allra kraftigast. Somliga menar dessutom att det kan vara mönstret i temperaturer under säsongen, snarare än medeltemperaturen i sig, som är viktigast. Växtgraddagar (growing degree-days) och antalet frostfria dagar under säsongen är exempel på s.k. fenoklimatiska mått (phenoclimatic measures), temperaturvärden som forskare visat har stor inverkan under de så viktiga tillväxt- och utvecklingsstadierna hos växterna (Cleland *et al.*, 2007).

Utbytet mellan klimatet och det som växer är ett komplext system och det är svårt att förstå och klargöra de bakomliggande faktorerna till förändringar i relationen mellan växter och djur och till dess omgivning (van Vliet *et al.*, 2003).

Storskaliga klimatmönster och nordatlantiska oscillationen (NAO)

På regional- och globalnivå påverkas de olika fenologiska faserna av storskaliga cirkulationsprocesser i atmosfären, och den allra viktigaste när det gäller Europa är den nordatlantiska oscillationen (NAO) (Scheifinger *et al.*, 2002). Observationer gjorda redan 1883-1941 visade en tendens av att våren spred sig över Europa i riktning SSV till NNO, vilket stämmer överens med de nordatlantiska strömmarnas rörelse (Menzel *et al.*, 2005). Det lokala klimatet närmare marken är i grund och botten kopplat till de riktigt stora systemen, med större variation i utsträckning och varaktighet, som finns högre upp i atmosfären (Scheifinger *et al.*, 2002). Den nordatlantiska oscillationen styrs under vintern av ett kraftigt lågtryck över Island och ett minst lika starkt högtryck i höjd med Azorerna, väster om Afrika (Scheifinger *et al.*, 2002). Den stora lufttrycksgradienten som uppstår mellan de två områdena, och som avtar mot de högre breddgraderna (i riktning från hög- till lågtryck och från Azorerna mot Island), ger upphov till västliga vindar (Scheifinger *et al.*, 2002). Då tryckgradienten ökat kraftigt under senare år har även de västliga vindarna blivit mer intensiva och mängden mild luft som förs in från Atlanten, in över de mer centrala delarna av Europa, har blivit mer omfattande (Scheifinger *et al.*, 2002). Det är denna större mängd västvindar som vissa forskare anser vara anledningen till mildare vintrar och högre temperaturer under den tidiga delen av våren, något som registrerats sedan senare delen av 1980-talet (Scheifinger *et al.*, 2002). Under större delen av 1980-talet har det annars registrerats negativa NAO-värden, med kallare vårar och vintrar och mer snö, och med senarelagda vårfaser som följd under åren 1982-1987 (Stöckli och Vidale, 2004).

År med positiv NAO förknippas med temperaturer som är över det normala i de norra delarna av Europa, medan det i söder oftast är något kallare än normalt (Stöckli och Vidale, 2004). Förknippat med detta är mängden nederbörd, och det faller generellt sett mer i de norra delarna och Skandinavien och mindre i de södra och centrala delarna av Europa under år med positiv NAO (Stöckli och Vidale, 2004). Dessa nederbörds- och temperaturmönster är oftast omvända under år då NAO är negativ, och variationerna av NAO är generellt sett som störst under vinterhalvåret (Stöckli och Vidale, 2004). NAO ses som den drivande faktorn bakom de varierande vintertemperaturerna på norra halvklotet och beräknas stå för omkring 55 % av skiftningarna i de norra regionerna och ca 33 % totalt sett (Post och Stenseth, 1999). Bara i Norge har NAO, med sina decenniumlånga skiftningar i styrka, stått för upp emot 50 % av variationen i mängden nederbörd under en längre tid (Post och Stenseth, 1999).

Trots en större effekt på klimatet under vintern (Post och Stenseth, 1999) infinner sig den maximala effekten av NAO på växternas fenologi under våren, under de tidigaste fenofaserna, och avtar i takt med att dagarna går (Scheifinger *et al.*, 2002). Resultaten från Scheifinger *et al* (2002) studie i Centraleuropa tyder på ett avtagande av effekten av NAO på fenologin hos de växter som ingår i studien ju längre in över kontinenten, och därmed längre från Atlanten, platsen för observationen ligger. Även Post och Stenseths (1999) studie av hovdjur visar på resultat med skiftningar åt olika håll i områden på olika avstånd från Atlanten, bl a mellan Sverige och Norge. Förutom närhet till Atlanten har även topografi visat sig ha viss effekt på NAO:s inverkan på fenologi, då på en mer lokal- och regional nivå och med minskad påverkan i områden med bergspartier och allmänt hög topografi (Scheifinger *et al.*, 2002).

Temperatur

Temperatur är i allmänhet den faktor som är mest begränsad för vegetation i höglänta områden och på mer nordliga breddgrader, där tillgången på vatten ofta är god och nederbördsmängden inte spelar lika stor roll (Stöckli och Vidale, 2004). Dalarna som är belägna i närheten av bergspartier kan lyckas hålla en något högre temperatur än de plattare landskapen under vinterperioderna, och påverkas därmed i mindre utsträckning av de storskaliga luftflödena (Scheifinger *et al.*, 2002). Att närheten till ett bergsparti får effekter, andra än de rent topografiska, på fenologin hos växter är tydliga vid Alperna i Europa, där de södra och östra sidorna påverkas kraftigt av Medelhavsklimatet i söder, och därmed visar en fenologi som skiljer sig från den på den norra sidan (Stöckli och Vidale, 2004).

När det gäller det mer långvariga temperaturmönstret över Europa har ett antal tydliga skiftningar registrerats under 1900-talet, med två varmare perioder under 1930-45 samt 1975-99 och en kallare period under 1950-1970 (Parmesan och Yohe, 2003). Under tidsperioden 1950-1993 uppskattas den genomsnittliga ökningen av lägsta dagstemperatur i stora delar av världen ha varit mer än dubbelt så stor som för den högsta dagstemperaturen, med en ökning på $1.8^{\circ}\text{C}/100$ år jämfört med $0.8^{\circ}\text{C}/100$ år (Scheifinger *et al.*, 2003).

Som en del av en omfattande metaanalys av över 125 000 observationsserier för växt- och djurarter i totalt 21 europeiska länder undersökte forskare vilken av de föregående månadernas medeltemperatur som hade störst inverkan på fenologin (Menzel *et al.* 2006). Detta utfördes genom en undersökning av sambanden mellan observationerna och den månad växtsäsongen påbörjades, den föregående månaden och temperaturerna två månader tidigare (Menzel *et al.*, 2006). Resultatet blev att 19 % av fenofaserna hade starkast korrelation med den befintliga månaden, 63 % med den föregående och 18 % med temperaturen två månader tidigare (Menzel *et al.*, 2006).

En förändring i temperatur kan komma att få konsekvenser för både växter och djur genom att påverka hastigheten på utvecklingen, antalet genomgångna livscyklar under ett år, geografisk utbredning, genetisk sammansättning, populationsdensitet mm, och ofta reagerar de olika på detta (Bale *et al.*, 2002). Figur 2 visar mer tydligt hur olika tillväxthastigheter för en växtätande insekt och dess värdväxt skiljer sig åt i förhållande till en temperaturförändring (Bale *et al.*, 2002). På högre breddgrader, där temperaturen i allmänhet är lägre, har växterna en för låg tillväxthastighet för att insekterna ska få tillräckligt med mat och kunna utvecklas ordentligt. I varmare trakter (lägre breddgrader), *däremot*, utvecklas växterna i allmänhet för snabbt för att insekterna ska hinna med i samma tempo. Resultatet av detta blir att det endast är i mittpartiet av temperaturspannet som de växtätande insekterna och dess värdväxter har fenologier som är synkroniserade. För vissa arter av växtätande insekter kan en nära synkronisering vara livsnödvändig och med ett allt varmare klimat, och en påföljande större risk för miss i synkronisering, kan konsekvenserna bli förödande (Bale *et al.*, 2002).

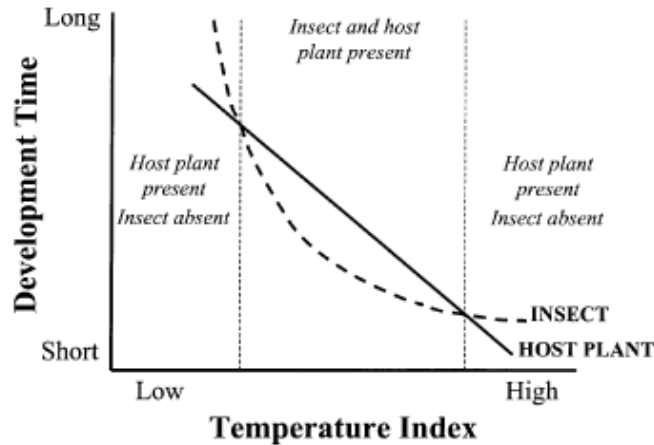


Fig. 2 Modell av den relativa utvecklingshastigheten (development time) för en växtätande insekt (insect) och dess värdväxt (host plant) vid olika temperaturer. Vid en för låg/hög temperatur utvecklas växten för långsamt/snabbt för att insekten ska kunna utvecklas ordentligt. Enbart i mitten är de balanserade. (Bale *et al.*, 2002)

Många av de växtätande insektsarterna är beroende av en tillgång på ungt växtmaterial för att kunna utvecklas (Visser och Both, 2005) och använder den s.k. ”ta det medan du kan”-strategin. För dessa arter kan förändringar i tidpunkten för lövsprickning och nya skott användas som en måttstock för hur larvernas utveckling förändras (Visser och Both, 2005).

För de allra flesta växtarter krävs det att ett visst gränsvärde för temperatur uppnås för att utvecklingen ska fortgå på rätt sätt under säsongen. Det kan röra sig såväl om att temperaturen måste hålla sig över ett visst gränsvärde som att den i andra fall inte får överskrida ett annat gränsvärde. Dagar då dagstemperaturen når över ett satt tröskelvärde adderas de extra gradtalen till en s.k. värmesumma (”warmth sum”) (Visser och Holleman, 2001). Det är först när den optimala värmesumman för växten uppnåtts som de yttre förhållandena uppskattas vara goda nog för att exempelvis blad ska spricka ut (Visser och Holleman, 2001). Dagar då temperaturen håller sig under en uppsatt gräns samlas temperaturdifferensen på samma sätt som för värmesumman ihop till något som kan ses som en kylningssumma (”chilling sum”) (Visser och Holleman, 2001; Bonan 2002). Just kylningssumman kan vara av avgörande betydelse för växter som riskerar att förlora sina knoppar om de skulle råka utveckla dessa för tidigt och det skulle bli frost (Bonan, 2002). Kraften på den reaktion som uppstår vid lite högre temperaturer beror just på hur kallt det varit tidigare och ju kallare det varit, desto mindre uppvärmning krävs för att det ska ske en reaktion (Chuine *et al.*, 2000). Att tidpunkten under säsongen då temperaturen har som störst effekt på exempelvis knopparna skiljer sig åt

mellan olika arter, i kombination med de varierande responserna på de värmande och kylande temperaturerna, gör det väldigt svårt att förutsäga hur naturen kommer att reagera på de förändringar som håller på att ske i klimatet (Chuine *et al.*, 2000).

Den energimängd, i form av temperatur, som krävs för att exempelvis bladen på en växt ska slå ut på våren räknas oftast i formen av växtgraddagar eller ”growing degree days” (GDD) (formel 1), vilket är en typ av värmesumma som samlas ihop under säsongen (Regeringen, 2007). GDD räknas fram med hjälp av det aktuella dygnets medeltemperatur och ett basvärde som beräknats fram (Bonan, 2002) för olika arter. Graddtal som sträcker sig över det bestämda gränsvärdet summeras ihop och för exempelvis fjällbjörkarna i Skandinavien krävs ett GDD på 300 vid ett basvärde på 5°C (Regeringen, 2007). Dagar med hög temperatur bidrar mer till summan än de svalare och kan i längden leda till tidigare utveckling.

$$GDD = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{\text{base}}$$

Formel 1. Formel för beräkning av GDD (Growing degree-day) där T_{\max} är maximal temperatur under den aktuella dagen, T_{\min} är minsta temperatur och T_{base} anger basvärdet för den specifika arten. GDD-värden samlas ihop till dess att summan överstiger gränsen för vad utvecklingssteget kräver (Kaneko *et al.*, 2004)

Fotoperiod

Tillgången på ljus är en viktig faktor i växternas fotosyntes och utveckling. Av den anledningen ses fotoperioden, den mängd solljus (mätt i timmar) växten är utsatt för under en vanlig dag och som oftast är detsamma som längden på dagen, vara en av de mer drivande faktorerna för växterna (Cleland *et al.*, 2007). Vissa arter är extra beroende av god tillgång på solljus, men eftersom det inte finns någon större variation i fotoperioden mellan olika år ses den inte som lika avgörande för tidpunkten för olika fenofaser som temperaturen gör (Visser och Holleman, 2001). Trots att det är en viktig faktor för växternas överlevnad är fotoperioden sällan inkluderad i de modelleringar som görs inom området fenologi, och de få experiment som räknat med den har fått resultat som tyder på en ytterst liten, om någon, inverkan (Chuine *et al.*, 2000). Det kan dock vara viktigt att fortsätta studera utvecklingen hos de arter som vill ha mycket ljus, för allteftersom övriga arter främjas av de förändringar som sker i exempelvis temperatur, nederbörd och koldioxidhalt kan konkurrensen om utrymme komma att öka, och anpassning till de nya förutsättningarna vara nödvändiga.

Koldioxid (CO₂)

Koldioxid (CO₂) är nödvändigt för växters fortlevnad och utveckling och utgör den kanske viktigaste av grundstenarna i fotosyntesen. Genom fotosyntetisering har växten möjlighet att bygga på sin struktur och växa sig större. Kortvariga studier har visat att en fördubbling av CO₂-halten ger en 20-40 % ökning i fotosyntes hos många växter, medan effekten på hela ekosystem blir mindre till följd av näringsbrist (Chapin *et al.*, 2002). Många studier har, trots den uppenbara betydelsen av CO₂, visat på att en förhöjd nivå av CO₂ inte får några direkta effekter på växternas fenologi (Cleland *et al.*, 2006). Det har dock visat sig vissa skillnader i respons mellan odlade grödor och vilda arter, med påskyndad utveckling hos vissa grödor och förseningar hos andra (Cleland *et al.*, 2006).

Koldioxidhalten och temperaturen i luften är nära förknippade med varandra och avgörande faktorer när det gäller effektiviteten och styrkan på fotosyntesen i växten (Campbell och Norman, 1998). Temperaturen på den omgivande luften måste ligga på en lagom nivå för att de kraftigt temperaturberoende enzym som driver processen ska fungera optimalt (Campbell och Norman, 1998). Om det skulle vara för varmt riskerar växten att förlora för mycket vatten, och bladens klyvöppningar stängs (Campbell och Norman, 1998). Samma funktion hjälper också till att reglera så att växten har en jämn CO₂-koncentration inuti bladet (Campbell och Norman, 1998).

En amerikansk, experimentell undersökning, baserad på arter med europeiskt ursprung som odlats fram i USA, har visat resultat som tydligt pekar på att en högre temperatur bidrog till att de ettåriga gräsarterna i studien blommade 2-5 dagar tidigare jämfört med tidigare resultat (Cleland *et al.*, 2006). Samtidigt tydde en kombination mellan förhöjd temperatur och ökad mängd CO₂ på ytterst liten reaktion hos gräsarterna (fig. 3) (Cleland *et al.*, 2006).

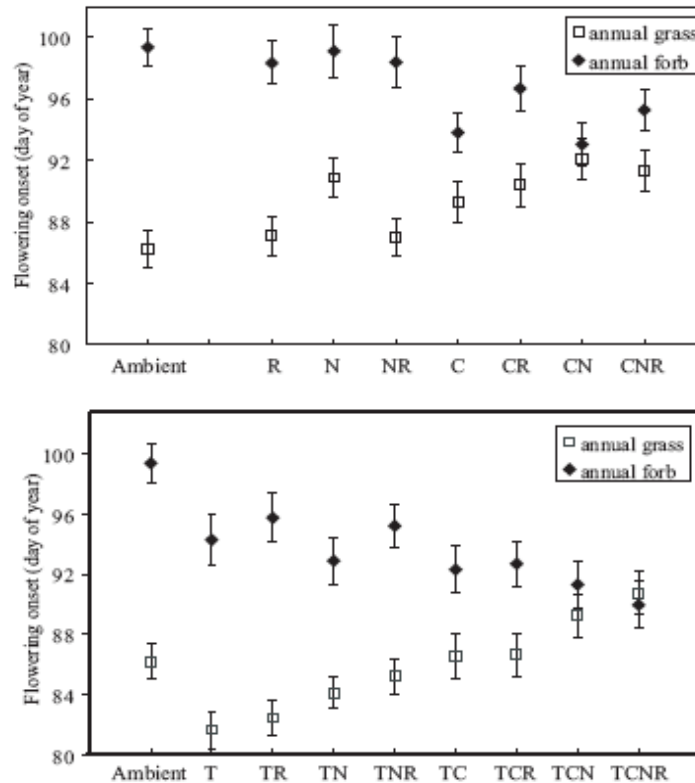


Fig. 3 Tidpunkt för blomning. Vita punkter representerar ettåriga gräs, fyllda punkter ettåriga örter. Övre figuren visar på resultaten av undersökningar med normal temperatur, den undre med en förhöjd temperatur. För båda figurer gäller: R, ökad nederbördsmängd; N, kvävetillförsel; C, ökad CO₂-nivå; T, ökad temperatur. Felmarginalen utgör 1 standardavvikelse från medelvärdet. (Cleland *et al.*, 2006)

I studien av Cleland *et al.* (2006) gjordes det skillnad på gräsarter och de övriga blommande örter som fanns på studieplatsen och det visade sig finnas skillnader i respons på CO₂-halt dem emellan (fig. 3). Med en ökning från en genomsnittlig CO₂-nivå på 380 ppm till 680 ppm började örterna blomma 2-4 dagar tidigare medan gräsen försenades med 2-6 dagar. Detta gick emot den normala turordningen, då gräsen i regel blommade betydligt tidigare än örterna. Förseningen i blomning hos gräsarterna verkar stämma överens med tidigare studier på grödor som är besläktade med gräs, exempelvis ris och durra, som också uppvisat en försenad blomning till följd av förhöjd CO₂-halt (Cleland *et al.*, 2006).

Tidigare studier utförda på olika sorters växter har visat på såväl förseningar som avancemang av både knoppbristning och blomning och det är svårt att hitta en enighet för arterna, men de flesta av dessa studier har inte hittat någon signifikant förändring av fenologi som följd av ökad CO₂-nivå (Cleland *et al.*, 2006).

Kväve (N)

Kväve (N), och då i första hand kvävgas (N₂), utgör 78 % av atmosfärens beståndsdelar men ämnet i sig är också en avgörande källa till näring, och i längden till tillväxt, för vegetationen och en brist skulle kunna få förödande konsekvenser. Även om det finns gott om kväve i luften är den inte i en form som kan tillgodogöras av växterna, och de måste i de allra flesta fall förlita sig på att marken förser dem med näring till rötterna (Cleland *et al.*, 2007). I icke-tropiska landområden är det oftast just tillgången på kväve som begränsar tillväxten för växterna (Chapin *et al.*, 2002). För att spara på näringen, och samtidigt bygga upp ett förråd inför kommande års produktion, drar växterna tillbaka mycket av det kväve och kalium som lagrats i bladen under året, innan de fälls inför vintern (Chapin *et al.*, 2002). Blad på växter i kallare klimat, där tillgången på kväve från marken ofta är mindre, har i allmänhet en högre koncentration av kväve än de som återfinns i mer tempererade klimat (Chapin *et al.*, 2002). Detta beror på att de behöver göra en anpassning av reaktionen som sköter nedbrytandet av CO₂ till mängden tillgängligt solljus (Chapin *et al.*, 2002).

Den undersökning av växternas respons till förhöjd N-nivå som utfördes av Cleland *et al* (2006) fick ett resultat liknande det för CO₂, då örterna började blomma tidigare och gräsen senare än vanligt (fig. 3). Däremot reagerade inte de kvävefixerande örtarterna på förändringen i kvävemängd (Cleland *et al.*, 2006).

Nederbörd

En god tillgång på vatten, i form av nederbörd uppifrån, ett tillflöde i marken som växten kan tillgodogöra sig via rötterna eller ett vattendrag, är av störst vikt för alla växter och djur för en fungerande utveckling. Inom området fenologi kan nederbördsmönstren, såväl regnfall som förekomsten av snö, vara av stort intresse att studera, särskilt med den förändring som pågår i klimatet. I studien av Cleland *et al* (2006) på effekterna av en ökad nederbördsmängd (+ 50 % vid varje nederbördstillfälle och 20 extra dagar) på fenologin hittades inga effekter av ökningen på tidpunkten på första blomningsdag, för vare sig gräs eller örter, vilket stämmer överens med tidigare resultat som visat ingen eller väldigt artspecifik reaktion (fig. 3).

Figur 3 visar resultaten från den amerikanska studien gjord av Cleland *et al* (2006), och hur de fyra olika faktorerna som inkluderades påverkade datumet för blomningen hos örter och

gräs. I studien ökades mängden regn vid varje nederbördstillfälle med 50 % och perioden under vilken de förekom med 20 dagar. Mängden kväve ökades med 7 g/m², CO₂-halten höjdes till 680 ppm och temperaturen förhöjdes med 1.5°C. Figureerna visar studieresultaten från diverse kombinationer av de fyra faktorerna, med skillnaden att den övre använder den normala temperaturen. I resultaten från den här studien syns det tydligt hur viktig temperaturen är för avgörandet av tidpunkten för en fenofas, i just den här studien blomning.

Mätmetoder

Det har gjorts en mängd observationer av förändringar i olika växters fenologi under många år, främst i Nordamerika, Europa och Ostasien. Det finns fem huvudsakliga metoder som används i arbetet med att undersöka eventuella samband mellan växtfenologi och de pågående klimatförändringarna; observationer på artnivå, fjärranalys, eddy-kovariansmätningar av kolflöden, fenologimodellering samt experiment av globala klimatförändringar. Samtliga dessa har sina styrkor och svagheter och det finns i nuläget inte en enskild metod som fungerar för en komplett kartläggning på lokal såväl som global nivå. Det har gjorts försök med s k. "aerobiology", en metod som undersöker sammansättningen av pollen, och som forskare hoppas ska kunna ge resultat som speglar hela det aktuella växtsamhället. Största problemet med metoden är osäkerheten i att avgöra hur stor andel av allt pollen som samlats in som har transporterats dit från områden längre bort. I en senare studie har observationer på artnivå kombinerats med fjärranalys, i förhoppning om säkrare och mer heltäckande resultat. (Cleland *et al.*, 2007)

Observationer på artnivå

Direkta observationer på artnivå är den vanligaste metoden för att samla in data om fenologi, och utgörs i grund och botten av att frivilliga personer registrerar tidpunkten för olika fenofaser hos vilda växter, fruktträd, odlade grödor och djur på diverse platser under säsongens gång. Det är den metod som använts mest rent historiskt sett och den allra längsta kända, ca 5000 år gamla, kinesiska tidsserien bygger på direkta observationer (Cleland *et al.*, 2007). Världens längsta fortfarande pågående observationsserie på artnivå är 1300 år gammal, återfinns i Japan och fokuserar på blomningen hos körsbärsträd (Koch *et al.*, 2007). Markbaserade observationer av vegetation har studerats mer kontinuerligt, och med fokus på

fler arter, sedan 1700-talet (Stöckli och Vidale, 2004) och redan i mitten av 1700-talet skapade Carl von Linné det första kända fenologiska systemet i Sverige (Koch *et al.*, 2007). Linnés systematisering av växt- och djurarter, och skapandet av riktlinjer för hur fenofaser bör registreras, har gjort att han ses som de moderna fenologiska nätverkens fader (Koch *et al.*, 2007). Även på andra håll i Europa, som i Storbritannien, Schweiz och Frankrike finns dataserier som sträcker sig tillbaka till 1700-talet (Koch *et al.*, 2007).

De långa tidsserierna gör det möjligt att gå långt tillbaka i tiden och studera eventuella fenologiska responser som kan ha följt historiska klimatförändringar. Styrkan med metoden är just att det finns så långa och många tidsserier, med observationer från flertalet mätstationer i en mängd länder (Cleland *et al.*, 2007). I slutet av 1950-talet skapades de s.k. International Phenological Gardens (IPG), med målsättningen att plantera kloner av vissa träd och buskarter på diverse platser runt om i Europa och sedan studera hur dessa förändrar sin fenologi efter sina nya förutsättningar (Koch *et al.*, 2007). År 2007 fanns det 71 observationsstationer (Koch *et al.*, 2007). Resultat från IPG under åren 1959-1996 visar på en tidigareläggning av våren med över 6.3 dagar och en senareläggning av höstfaserna med 4.5 dagar, sedan mätningarna påbörjades i början av 1960-talet (Stöckli och Vidale, 2004).

En direkt nackdel med de direkta observationerna är att det är svårt att upptäcka hastiga, kraftiga förändringar i fenologin som kan vara en av effekterna av en snabb klimatförändring (Cleland *et al.*, 2007). Att informationen samlas in från olika observatörer på olika platser kan bidra till de varierande resultaten gällande förändring av tidpunkten för höstfaser, såsom färgskiftning hos blad samt lövfällning, jämfört med vårfaserna. Det är i allmänhet svårare att registrera det exakta datumet då bladen ändrar färg än vad det är att notera när de första knopparna spruckit (Cleland *et al.*, 2007).

Fjärranalys

Att använda satellitinformation vid studierna av förändringar i växtfenologi är en relativt ny metod jämfört med de direkta metoderna, med de första satelliterna uppskjutna i början av 1970-talet (Cleland *et al.*, 2007). Sedan 1980-talet har amerikanska National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) haft igång sina s.k. Polar Orbiting Environmental Satellites (POES) och därmed fått tillgång till daglig satellitinformation (Stöckli och Vidale, 2004). Fjärranalys är den metod inom fenologistudierna som antagligen utvecklats allra mest

under senare år, och den har vuxit till att bli allt viktigare i arbetet med att studera förändringar i större skala än på artnivå (Cleland *et al.*, 2007). Med sin spännvidd kan fjärranalysen täcka in stora ytor och samla in satellitinformation och bilder över hela jorden på långt mycket kortare tid än vad det skulle ta att kartlägga samma enorma yta på lokal nivå (Cleland *et al.*, 2007). De äldre data som finns tillgängliga har brister i upplösningen på de bilder som samlats in, men utvecklingen av detta har gått stadigt framåt (Cleland *et al.*, 2007). Nya framsteg har exempelvis lyckats nå resultat i områden där småskalig topografi orsakar väldigt lokala variationer i fenologi som stämmer bra överens med de direkta observationerna för området (Cleland *et al.*, 2007).

Fjärranalys är ingen perfekt och heltäckande metod vid kartläggning av fenologiska förändringar, och det är exempelvis inte möjligt att skilja ut enstaka faser som blomning och fruktbildning från andra (Cleland *et al.*, 2007). Ett av de vanligaste sätten för att övervaka längden på växtsäsongen är att använda det s.k. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), ett mått på hur grönt det är i området och som ofta ses som ett ungefärligt värde på hur pass aktiv fotosyntes och produktion som pågår (Stöckli och Vidale, 2004). Mängden bladtytor är dock också en viktig faktor i fotosyntetiseringen och påverkar växtens fenologi och kan vara viktig att ta med i beräkningen av aktiviteten.

Solens strålning reflekteras olika beroende på om den lyser på vegetation eller barmark och registrerar fina skillnader i växternas utveckling i sitt ljusspektrum (Cleland *et al.*, 2007). Beräkningar av NDVI utnyttjar sambandet mellan det synliga ljus (VIS) som absorberas av växtligheten och det nära infraröda (NIR) som reflekteras tillbaka ($NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$) (Stöckli och Vidale, 2004). Från spektrumet går det att utläsa när säsongen (fotosyntesen) påbörjas och senare avtar, och när det gäller att bestämma tidpunkten för höstens fenofaser är fjärranalys generellt sett bättre än de direkta observationernas rapporter (Cleland *et al.*, 2007). Detta beror till största del på att satellitinformationen grundar sig på den signal som reflekteras tillbaka från vegetationen efter det att växterna absorberat en del för att använda till sin fotosyntes. Till följd av absorptionen registreras en tydligt minskad aktivitet i de insamlade data (Cleland *et al.*, 2007). För grön vegetation ligger värdet för NDVI på 0.2-0.8, medan det för is, snö, barmark och annat ligger mellan -0.2 och +0.1 (Stöckli och Vidale, 2004).

Det finns vissa brister i fjärranalysmetoden och den mest svårhanterade är inverkan av moln och annat som kan tänkas störa signalen mellan vegetation och satellit (Cleland *et al.*, 2007). Dagens forskare är medvetna om att vissa justeringar av data kan behöva göras till följd av att signalen bitvis kan störas av absorption i ozonlagret (Stöckli och Vidale, 2004). I områden med kraftig moln- och dimbildning (oftast i tropiska områden) är kartläggning mer problematisk, informationen blir lätt ganska knapphändig och detta har lett till att metoder för ”filtrering” av informationen har tagits fram (Cleland *et al.*, 2007).

Även i områden med mer normal mängd moln krävs filtrering av data och mängden återstående, användbart material blir ofta inte så stor som forskarna önskar, och istället används ett medelvärde för perioden (Cleland *et al.*, 2007). Det är under sommaren som problemen med ett störande molntäcke utgör en svårighet för fjärranalysmetoden, och det orsakar ett för lågt NDVI-värde (Stöckli och Vidale, 2004). Under vintern däremot kan det vara ett snötäcke direkt på eller under en trädkrona som påverkar resultaten så att NDVI blir missvisande (Stöckli och Vidale, 2004). Att dessa störningar gör att medelvärden för en lite längre period kan behöva användas leder till att hastiga förändringar i växtfenologi på marknivå lätt missas och inte registreras (Cleland *et al.*, 2007). Att använda sig av NDVI-värden som ett mått på hur vegetationen reagerar på olika klimatfaktorer kan också vara riskabelt då en högre notering under våren i ett område på mer nordliga breddgrader inte nödvändigtvis behöver innebära mer vegetation, utan snarare kan vara resultatet av tidigare snösmältning (Stöckli och Vidale, 2004).

Eddy-kovariansmätning

Även om temperatur ses som den drivande faktorn bakom fenologin är det nivån av CO₂ i luften som ses som den stora boven i klimatförändringsdramat. Då mängden CO₂ i mångt och mycket påverkas av växternas säsong, med lägre nivå under vår och sommar då fotosyntesen är på topp och högre under övriga delen av året då respiration dominerar, är en inblick i växternas effekt på kolbalansen viktig att kartlägga (Cleland *et al.*, 2007). Den framtida inverkan av växter på CO₂-halten kan få stor betydelse och utbytet i luften studeras på flera sätt, varav eddy-kovariansmätningar är ett. Eddy-kovariansmetoden använder vanligtvis någon form av hög mast eller torn på en nivå ovanför vegetationen, där instrument placeras i olika riktningar och installeras för en längre tidsperiod, med uppgift att mäta de turbulenta luftflöden som rör sig uppåt och neråt i atmosfären. Ur dessa kan information om

vindhastighet, luftfuktighet, temperatur, CO₂-halt, värmefflöde, mm (Campbell och Norman, 1998) extraheras och användas för beräkningar av olika slag, t ex. upptag och utsläpp av CO₂ genom fotosyntes, transpiration och respiration (Cleland *et al.*, 2007).

Metoden har möjligheten att täcka in områden på omkring 100 km² och ger bra information på en relativt lokal skala, men brister då det gäller att studera större områden än så (Cleland *et al.*, 2007). Det är en dyr metod att använda för att studera tillväxt och produktion och kan inte kopplas till observationer på artnivå (Cleland *et al.*, 2007). Den kan trots detta vara av intresse, då mätningar runt om i Europa förvisso tyder på att en förhöjd temperatur leder till större produktion, men också att den förväntade ökningen av respiration från marken uteblir (Cleland *et al.*, 2007). Resultatet av detta skulle bli en förändring av kolbalansen, då mer CO₂ binds i vävnaden än vad som släpps ut från marken. Eddy-kovariansmetoden är användbar vid studier av flertalet av de processer och utbyten som pågår mellan vegetation och atmosfär. Det kan exempelvis vara svårt att med blotta ögat upptäcka säsongsmässiga förändringar hos barrträd, då de saknar blad (och de tydliga signaler dessa för med sig i form av lövsprickning och färgförändring), men aktiviteten kan registreras av instrumenten.

Studier har visat att den i genomsnitt högre CO₂-halten har lett till kraftigare skiftningar mellan hög- och lågsäsong i växtproduktion, och samtidigt en viss tidigareläggning av hela säsongen (Cleland *et al.*, 2007). Även om säsongen skulle komma att förlängas, och den årliga produktionen därmed potentiellt skulle bli större, finns det begränsningar för hur mycket växterna klarar av, och för höga temperaturer leder snarare till en minskad produktion (Cleland *et al.*, 2007) då kostnaden för att upprätthålla produktionen och överleva blir för hög. Den valda life history-strategin kan komma att påverkas av det varmare klimatet och en anpassning kan behöva göras.

Fenologimodellering

Med målet att kunna förutspå framtida fenologiska scenarion har modellering av såväl dåtid, nutid som framtid blivit allt vanligare. Förhoppningarna är att resultaten ska kunna (i) förbättra förutsägelseerna av hur produktiviteten bland växterna och utbytet med atmosfären, och därmed på längre sikt klimatet, kommer att förändras. (ii) öka förståelsen för hur olika arter interagerar med varandra inom olika system; och (iii) bidra till att hjälpa jord- och

skogsbrukare anpassa sin verksamhet till nya klimatförhållanden och utnyttja det på bästa sätt (Cleland *et al.*, 2007)

Det finns tre huvudsakliga typer av modeller som används vid modellering av fenologiska händelser; teoretisk, statistisk och processbaserad. Den teoretiska modellen är främst framtagen för studier av träd, och baseras på den balans som måste finnas mellan kostnad och förtjänst, då det gäller att producera blad av rätt livslängd för att kunna tillgodogöra sig största möjliga mängd resurser under säsongen, en sorts undersökning av valet av "life history"-strategi. Statistiska modeller av fenologi kombinerar observationer gjorda på artnivå och klimatdata med diverse matematiska ekvationer, i ett försök att hitta samband. De processbaserade modellerna använder kända och förväntade förhållanden mellan processer i naturen och diverse styrande faktorer i miljön och försöker hitta samband mellan orsak och de observerade effekterna. Oftast handlar det här om faser som sker precis efter viloperioder, då processerna inom växten eller djuret i fråga aktiveras av en yttre faktor, som exempelvis temperatur. Intresset för vilofasen grundar sig i att den ofta spelar en viktig roll i individens tillväxt och utveckling och en förändring i den fasen kan få stora konsekvenser i framtiden. (Cleland *et al.*, 2007)

På senare tid har statistiska och processbaserade fenologimodeller för växter använts i hopp om att kunna återskapa och studera historiska klimatförändringar med bakgrund av tidigare observationsserier. På samma sätt försöker forskare nu använda de olika typerna av modeller för att försöka förutsäga hur de fortsatta förändringarna i klimatet kan komma att påverka fördelningen och utbredningen av arter och populationer. Användningen av modeller är fördelaktig i de fall då det saknas fenologiska data, eftersom det är den enda metoden som har möjlighet att återskapa information eller förutsäga hur det kan komma att se ut i framtiden. Den största bristen i metoden är att den bara kan ta med ett begränsat antal processer i sina beräkningar. (Cleland *et al.*, 2007)

Klimatförändringsexperiment

Trots att de flesta studier tyder på att det är temperaturen som är den kraftigast styrande faktorn när det gäller utvecklingen av växter och djur, och som ligger bakom påskyndandet av våren, går det inte att helt utesluta de övriga förändringarna som sker. Med bakgrund av detta utförs det experiment där olika parametrar, såsom CO₂-halt och nederbörds mängd, kan

varieras separat under kontrollerade förhållanden och effekterna av detta kan studeras närmare. Experimentella studier utförs oftast på väldigt små ytor (1-10 m²) under så kort tidsperiod som tio år, vilket gör resultaten svåra att omvandla till att gälla större områden. De experiment som utförts har ofta även använt sig av olika metoder, vilket ytterligare försvårar jämförelser. (Cleland *et al.*, 2007)

Kombinerade tekniker

Inom modern fenologiforskning förekommer det kombinationer av olika metoder för att försöka studera sambandet mellan fenologi och klimatförändringar, och oftast handlar det om försök att utvidga metoden från en lokal till regional nivå eller från artspecifik till större system (Cleland *et al.*, 2007). I en amerikansk-kanadensisk studie, utförd av Chuine *et al* (2000), användes observationer gjorda på tre olika trädarter till en modell på lokal skala. Denna användes sedan till grund för en regional modell, och vid en jämförelse visade sig denna kunna stämma in bättre på regional nivå än vad de globala gör, trots att den grundar sig på lokala företeelser.

Det s.k. POSITIVE-projektet (Phenological Observations and Satellite Data: Trends in the Vegetation Cycle in Europe) utgick ifrån observationer av lövsprickning på artnivå och modellerade från detta fram en bild över hur det skulle kunna komma att se ut på en regional skala. Det resultat som framkom jämfördes sedan med satellitdata över vad som egentligen hade hänt, och på så vis kom tre olika metoder till användning i en och samma studie. Båda undersökningarna visade på en tidigarelagd vår, men svårigheterna med att skala upp från enskild art till ett helt ekosystem visade sig genom bristande korrelation med vissa områden. (Cleland *et al.*, 2007)

Fenologin hos växter och djur är starkt kopplad till individens genetiska uppsättning, och de skillnader som finns mellan olika populationer bidrar till de svårigheter som i nuläget finns i att utvidga från regional till global skala i de fenologimodeller som körs (Chuine *et al.*, 2000). Försök har också gjorts med att kombinera fjärranalysmetoder och eddy-kovarians, med relativt goda resultat, men återigen har bristande mängd användbar satellitdata lett till att ett medelvärde istället fått användas och tidpunkten för lövsprickning och andra plötsliga händelser kan därmed ha kommit att feltolkats (Cleland *et al.*, 2007).

Förändring av växt- och djurfenologi

Utbredning av förändring i Europa

Mönstret av genomsnittliga temperaturer över Europa har förändrats under senare decennier och det är under vinter- och höstsäsongen de största förändringarna skett. Schwartz *et al* (2006) beskriver hur mönstret i Europa skiftat och beskriver att ökningarna i temperaturer under vintern (december-februari) är mindre i de västra delarna. Samtidigt är uppvärmningen svag i hela Europa under våren (mars-maj) och sommaren (juni-augusti), och det är bara i de allra västligaste delarna som det finns en signifikant värmning under hösten (september-november) medan det i stora delar av östra Europa då finns en svag värmning eller t o m avkylning (Schwartz *et al.*, 2006). Effekten på tidpunkten för första lövsprickning ses, enligt Schwartz *et al* (2006), tidigare i mer eller mindre alla områden på norra halvklotet, med störst inverkan i centrala Europa och i Nordamerika. I såväl östra som västra Europa däremot var förändringen liten och den uppskattade genomsnittliga tidigareläggningen under 1955-2002 är beräknad till 1.2 dagar/årtionde. Datumet för då blomningen börjar har ingen tydlig trend, men de flesta områden visar på en tidigare blomning, och i genomsnitt sker det med en hastighet av 1.0 dagar/årtionde (Schwartz *et al.*, 2006).

Många, men långt ifrån alla, växt- och djurarter och populationer har i studier under flertalet år visat upp förändringar i fenologi i takt med ett allt varmare klimat (Visser och Both, 2005), med kraftigare reaktion hos vissa djurgrupper (Parmesan, 2007). Förändringarna i sig är något som tyder på en anpassning till de nya förutsättningarna och pekar samtidigt på vilka konsekvenser en fortsatt uppvärmning kan få för olika naturliga system, på såväl lång som kort sikt (Parmesan och Yohe, 2003). Det har visat sig vara de arter som uppträder tidigt på säsongen som påverkas mest av det skiftande klimatet och därmed har störst förändringstakt (Cleland *et al.*, 2007).

En omfattande metaanalys, gjord av Menzel *et al* (2006), av över 125 000 observationsserier för växt- och djurarter under 1971-2000 visade på en genomsnittlig tidigareläggning av vår- och sommarfaserna med 2.5 dagar/100 år. Det fanns också tydliga bevis för att just temperaturen har stor effekt på de fenologiska faserna, för vår- och sommarfaserna med ett

avancemang på upp till 4.6 dagar/°C uppvärmning, medan höstfaser, som förändring av färg på bladen, försenades med upp till 2.4 dagar/°C (Menzel *et al.*, 2006).

Tabell 2 visar resultaten över fenologiska trender i Europa från den omfattande metaanalys Menzel *et al* (2006) utförd med grund av observationsserier från sammanlagt 21 länder under tidsperioden 1971-2000. Resultaten visar på utvecklingen under 103 199 observationer gjorda i nio av de inblandade nationella nätverken, och har klara tendenser till att det har skett förändringar. Siffrorna redovisar en tidigareläggning av lövsprickning och blomning i 78 % av fallen, varav 31 % har en signifikant trend, och endast 22 % har försenats. Till skillnad från dessa vårfaser är tendenserna till förändring av höstfaserna mer tvetydiga med 48 % tidigareläggning och 52 % senareläggning. Medelvärdet för förändringar visar på att vårens fenofaserna tenderar börja 2.5 dagar tidigare för varje årtionde som går, alltmedan höstlövets färgskiftning inte har någon tydlig trend (0.17 dagar/årtionde). Det är först vid en omräkning till medelvärde för de olika länderna, och ett genomsnitt av dessa tas fram, som en antydning till försening (1.3 dagar/årtionde) blir synlig.

Tabell 2 Sammanfattning av fenologiska trender för växter i Europa

Phenophase group	<i>n</i>	Neg_all	Neg_sig	Pos_all	Pos_sig	Tr _{mean}	avTr _{mean}
b0 Farmers activities	22 338	0.57	0.13	0.43	0.06	-0.041	-0.060
b1 Leaf unfolding, flowering	64 027	0.78	0.31	0.22	0.03	-0.250	-0.200
b2 Fruit ripening	11 191	0.75	0.25	0.25	0.03	-0.237	-0.190
b3 Leaf colouring	5 643	0.48	0.12	0.52	0.15	0.017	0.129
b1 + b2 Leaf unfolding, flowering, fruit ripening	75 218	0.78	0.30	0.22	0.03	-0.248	-0.198

Trender för observationer ($n = 103\ 199$) av fyra olika grupper av fenofaser där: Neg_all/Pos_all visar andelen negativa resp. positiva trender; Neg.sig/ Pos.sig andelen signifikant negativ resp. positiv trend ($P < 0.05$); Tr_{mean} medelvärdet för lutningen på förändringskurvan för Europa (dagar/år); avTr_{mean} genomsnittligt medelvärde på förändringskurvans lutning för de inblandade länderna (dagar/år), medräknat då antalet mätstationer per nationellt nätverk varierade. (Menzel *et al.*, 2006)

Arter som drabbats/reagerat kraftigt och snabbt

Omkring 80 % av de djurarter som är kända idag utgörs av insekter, och de återfinns i alla typer av habitat på land. Många av arterna är skadedjur inom jord- och skogsbruk och kan vara bärare och spridare av sjukdomar och utgör ett problem i produktionen. Andra arter av insekter är fördelaktiga och viktiga för människor och djur, då de hjälper till med pollinering och nedbrytning och agerar föda åt andra djur, exempelvis fåglar. (Harrington *et al.*, 2007)

Det finns många arter av små flocklevande skadeinsekter, t. ex. bladlöss ("aphids"), som livnär sig som ohyra på grödor från jord- och skogsbruk (CFS, 2008). Med ett varmare klimat kan deras inverkan bli allt större, då de har en generellt sett låg temperaturtröskel och kan utvecklas väl även vid temperaturer ner mot 4°C (Harrington *et al.*, 2007). Många av de skadliga insekterna har en temperatur för optimal utveckling på omkring 25°C och hinner då producera 18 generationer av avkommor under en säsong (Harrington *et al.*, 2007).

Att högre temperaturer ger en ökad tillväxt av skadeinsekter har lett till att det under senare år utförts flertalet studier på bl a granbarkborrar (*Ips typographus*), en av de många arter barkborrar som anses vara de mest skadliga djuren i barrskogar. I de nordiska länderna, med undantag av Danmark, förekommer det normalt sett en generation av granbarkborrar varje år, medan det i Danmark och de centrala delarna av Europa råder ett klimat som är gynnsamt nog för att det även ska hinna utvecklas en andra generation. Utvecklingen tyder på att den fortsatta temperaturökningen kan komma att få liknande följder även i de mer nordliga områdena, och tendenserna i södra Sverige pekar mot att en andra generation av granbarkborrar under säsongen blir allt vanligare. (Jönsson *et al.*, 2007)

Med större populationer har barkborrarna möjlighet att orsaka större skada på granarna än vad de gör under mer normala förhållanden, och med en extra generation insekter under åren kan följderna bli katastrofala (Jönsson *et al.*, 2007). De förändringar som pågår i klimatet, med allt fler extrema vädersituationer i form av torka, stormar, skyfall och liknande att vänta i framtiden kan komma att slå hårt mot granskogsbestånden och göra dem mer känsliga för insektsangrepp.

Till skillnad från många andra studier och arter avgörs populationerna av granbarkborrars överlevnad och fortsatta utveckling i mångt och mycket av den rådande temperaturen under hösten, och dödligheten hos ej färdigutvecklade individer, såsom ägg, larver och puppor är mycket hög, nästan 100 % under rådande vinterförhållanden. Som en följd av högre temperaturer har de outvecklade insekterna chans att växa färdigt innan det är dags för övervintring och populationen blir större inför kommande säsong. (Jönsson *et al.*, 2007)

En metaanalys av 203 blandade växt- och djurarter, utförd av Parmesan (2007), visar på att de amfibier som undersökts har ett avancemang under våren som sker i dubbelt så hög takt jämfört med de träd-, fågel- och fjärilsarter som finns i studien, och ännu högre i förhållande

till buskar, örter och gräs (tabell 3). Amfibierna visade också upp den starkaste trenden i direkt motsatt riktning, med en försenad förökning på 5.3 dagar/årtionde för en av arterna. Samtidigt förefaller fjärilarna ha avancerat upp emot tre gånger kraftigare än vad de första blommande örterna har, med allt tidigare ankomstdatum (Parmesan, 2007). Studien är en jämförelse mellan två tidigare undersökningar och resultatet visar på ett genomsnittligt avancemang av våren på 2.8 ± 0.35 dagar/årtionde under tidsperioden 1951-2002 för den blandade uppsättningen av arter.

Tabell 3 Jämförelse mellan olika grupperns reaktion, utarbetad från två tidigare studier. Den genomsnittliga tidigareläggningen av våren anges i dagar/årtionde, $N_{\text{total}} = 203$.

Taxon	Spring advancement in days decade ⁻¹	
	Mean \pm SE	(n)
Overall	-2.8 \pm 0.35	(203)
Amphibian	-7.6 \pm 3.09 ^a	(16)
Bird	-3.7 \pm 0.70 ^b	(41)
Butterfly	-3.7 \pm 0.78 ^b	(35)
Herb and grass	-1.1 \pm 0.16 ^c	(85)
Shrub	-1.1 \pm 0.68 ^{b,c}	(6)
Tree	-3.3 \pm 0.87 ^{b,c}	(16)
Fish	-1.3 \pm 0.20 [*]	(2)
Fly	-5.0 [*]	(1)
Mammal	-9.6 [*]	(1)

Ett negativt värde visar på ett avancemang (tidigareläggning) av fenofaserna under våren. Jämförelser mellan olika grupper gjordes parvis, och de med signifikanta skillnader ($P < 0.01$) har markerats med en liten bokstav.

*Grupper med färre än tre arter uteslöts från den jämförande analysen. (Parmesan, 2007)

Områden i vilka förändring är tydlig

De fenologiska förändringarna som skett till följd av global uppvärmning tenderar ha skapat ett mönster över Europa, med en snabb utveckling mot ett allt tidigare datum för sista frostdag i de västra delarna (Schwartz *et al.*, 2006). I de mer centrala delarna av Europa har tidpunkten för sista dag med frost och den första lövsprickningen avancerat med ungefär samma hastighet (Schwartz *et al.*, 2006), även om det finns studier som visar på en tendens mot att frostdagarna avancerat snabbare än vårfaserna (Scheifinger *et al.*, 2003). Förhållandet mellan dessa båda faktorer, gällande förändringar i tidpunkt, verkar ske något annorlunda på andra håll i Europa. Delar av de norra och östra områdena visar på säsonger där en förändring mot tidigare lövsprickning sker snabbare än de sista frostdagarna för året (Schwartz *et al.*, 2006).

Detta tros bero på den koppling som finns mellan trädens fenologi och den snösmältning som sker under våren (Cleland *et al.*, 2006).

Till skillnad från våren, som enligt många studier visar tydliga tecken på att komma igång tidigare under rådande omständigheter är resultaten för hösten, med färgskiftningar på bladen, lövfällning och dylikt, mer varierande och tendensen till förlängning svagare (Cleland *et al.*, 2006).

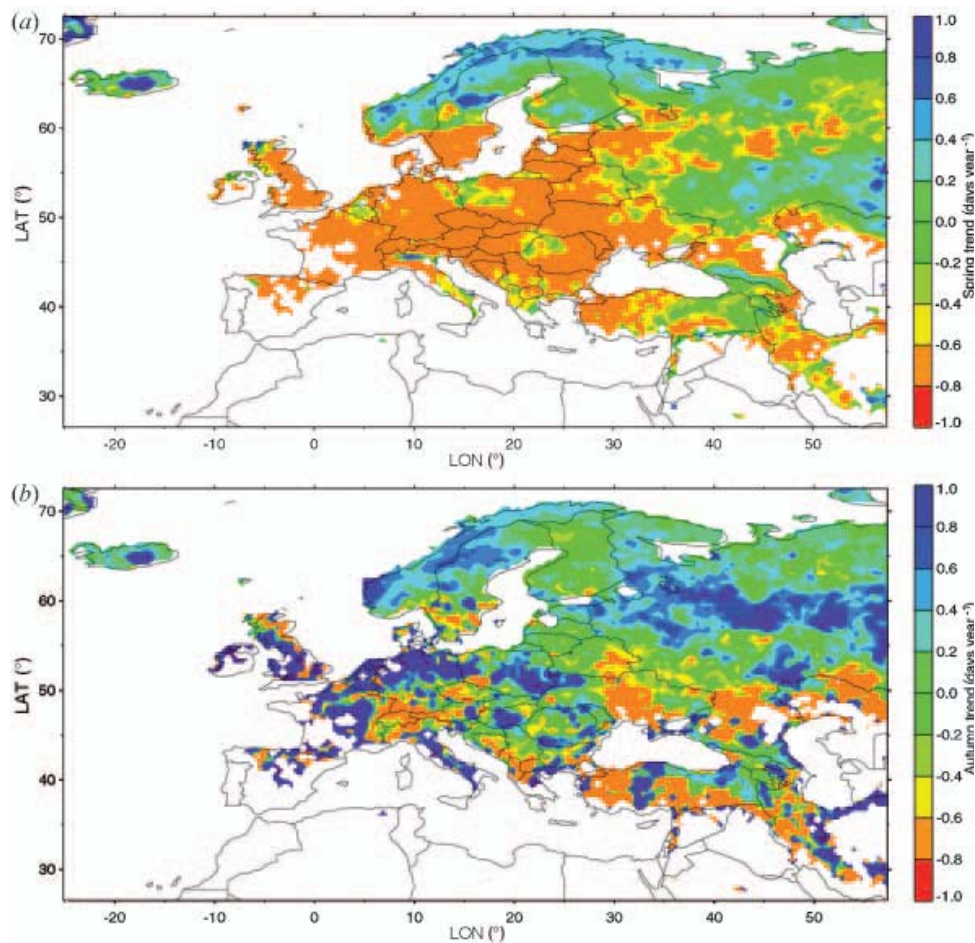
Post och Stenseth (1999) har utfört en undersökning av effekterna av extrema NAO-värden på längden av blomningsfasen hos ett antal växtarter (bl a blåsippa (*Anemone hepatica*), vitsippa (*Anemone nemorosa*), liljekonvalj (*Convallaria majalis*), tussilago (*Tussilago farfara*) och gullviva (*Primula officinalis*) (Den virtuella floran, 2007 för översättning av artnamn)) samt den resulterande inverkan det hade på fenologin hos diverse hovdjur, grundad på data från 1928 till 1977. Data gällande sju arter av hovdjur från platser runt om i norra Europa (Skottland, Finland och Storbritannien), Skandinavien (Norge och Sverige) och Nordamerika (USA, Kanada och Grönland) användes. Resultaten visade på att växternas fenologi i 71 % av tidsserierna hade ett signifikant samband med variationerna i NAO, och att 9-28 % av de förändrade datumen för blomning kunde förklaras av den varmare och blötare vintern variationerna orsakat. Den tidigare snösmältning som följde de högre vintertemperaturerna anses ha orsakat att 11 av 13 växtarter blommade 13-26 dagar tidigare våren efter de varmaste vintrarna, jämfört med de kallaste. Samtidigt varade blomningen 13-19 dagar längre för omkring en tredjedel av arterna. Det visade sig också att effekterna av NAO var större på växterna i söder än de på mer nordliga breddgrader, vilket kan bero på en minskad inverkan av NAO på det lokala vädret uppe i norr, samt på högre höjder. (Post och Stenseth, 1999)

NAO:s storskaliga klimatinverkan på vintertemperaturerna har visat sig ha olika inverkan på områden i inlandet och på kustområden (Post och Stenseth, 1999), och effekterna i olika delar av Europa varierar (Stöckli och Vidale, 2004). I Norges inland noterades en större förekomst av vuxna rådjur under hösten två år efter varma vintrar (positiv NAO) än efter mer normala år, medan det på öarna kring Skottland noterades en minskning i antalet rådjursbockar till följd av det varmare vädret (Post och Stenseth, 1999). Precis som i Norge ökade antalet rådjurshonor på öarna utanför Skottland under år med varm och fuktig vinter (Post och Stenseth, 1999).

Under åren 1989/1990 och 1994/1995 var NAO positiv under vintern och våren som följde därefter blev varm, och effekterna på växtfenologin i Europa varierande. I de östra delarna av kontinenten var tidigareläggandet av våren under de nämnda åren, och även under perioden 1997-2001, tydligt och inträffade upp emot 25 dagar tidigare än normalt. Området kring Alperna, däremot, visade ingen tydlig förändring av vårens början för åren 1989/1990 och 1995, men det fanns tendenser som visade på att vårarna kom senare under 1980-talet och tidigare på 1990-talet. Även i Skandinavien var vårarna försenade under 1980-talet som helhet men för året 1989/1990 började växtsäsongen mycket tidigare än normalt, och under studieperioden (1982-2001) var trenden för Skandinavien lik den för Europa som helhet. (Stöckli och Vidale, 2004)

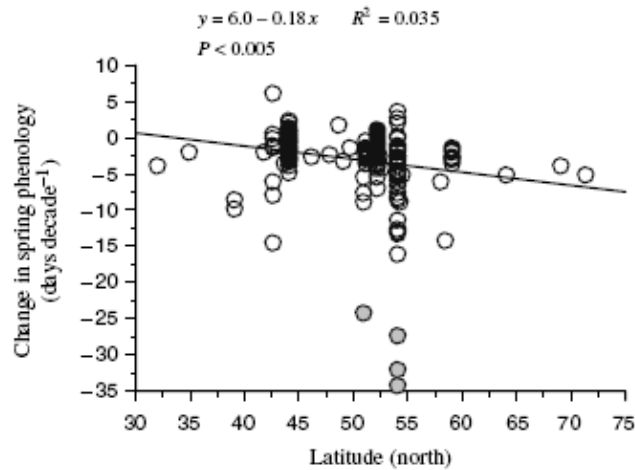
I Stöckli och Vidales (2004) studie analyseras de satellitdata på NDVI som samlats ihop under de tjugo forskningsåren, i jakt på trender i tidpunkt för vår och höst, längd på växtperioden samt största, minsta och medelvärde för NDVI. Bilder över resultatet för hur tidpunkten då våren och hösten infallit har förändrats visas i figur 4. Förändringar i riktning mot både tidigare vår och senare höst, och en förlängning av hela säsongen, är tydliga i de centrala delarna av Europa (Storbritannien, Frankrike, Holland, norra Tyskland och de delar av Italien som ligger söder om Alperna). På vissa håll (kring Alperna och i de östra delarna) har det skett en tidigareläggning av både vår- och höst, vilket resulterar i en förskjutning av hela växtsäsongen (Stöckli och Vidale, 2004). Just området kring Alperna har i tidigare studier (1951-1990) visat på kraftfulla förändringar av såväl högsta, lägsta som genomsnittlig dagstemperatur, med en ökning av medeltemperaturen på nästan dubbelt så mycket som för hela jorden under samma period (Scheifinger *et al.*, 2003).

Även om våren kommit tidigare i de centrala delarna under de tjugo studieåren har det gått i motsatt riktning i norr, med en försening på upp emot 0.8 dagar/år i Skandinavien och på Island samt i de inre delarna av Ryssland (fig. 4a). Det är i det här fallet viktigt att tänka på att resultaten utgår från data baserad på NDVI, och att det är svårt att urskilja om de högre värdena på dessa nordliga breddgrader kommer sig av vegetation eller om det beror på en tidigarelagd snösmältning. I studien användes dock även data från observationer på marknivå för att möjliggöra jämförelser av resultat och studier av samband med temperatur, nederbörd och NAO, vilket minskar osäkerheten. (Stöckli och Vidale, 2004)



Figur 4 Trender i fenologi för Europa 1982-2001, framtagna genom analys av satellittdsrier över NDVI. Förändring av tidpunkten för (a) vår- respektive (b) höstsäsonger i dagar/år, där negativa (röda) värden visar på tidigareläggning och positiva (blå) en senareläggning. (Stöckli och Vidale, 2004).

Tendensen mot ett kraftigare avancemang av våren på breddgrader kring 40-60°N, som Stöckli och Vidale (2004) fann, stämmer väl överens med det resultat Parmesan (2007) uppnådde (fig. 5) i sin jämförelse av två andra, tidigare utförda studier, innefattande både växt- och djurgrupper (tabell 3). Majoriteten av de 203 studerade arterna återfinns på latituder mellan 40 och 60°N och de flesta visar på ett avancemang av våren, trots att mindre än 4 % av variationen kunde förklaras av just latituden. En signifikant trend ($P < 0.01$) i riktning mot en tidigare vår på högre latituder upptäcktes dock då de fyra mest extrema värdena (med en tidigareläggning på omkring 23-35 dagar/årtionde) uteslöts.



Figur 5 Förändring av vårfenologi per årtionde för individuella arter, sett till latitud. N=203. De fyra skuggade prickarna visar på de mest extrema värdena i dataserien och beräkningar såväl med som utan dessa utfördes. (Parmesan, 2007).

Under 1900-talet ökade temperaturen på jorden med omkring $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$, med en genomsnittlig ökning på $0.2^\circ\text{C}/\text{årtionde}$ under tidsperioden 1950-1993 (van Vliet *et al.*, 2003). Runt om på norra halvklotet har det under 1900-talet skett en minskning av intervallet mellan högsta och lägsta dygnstemperaturnotering, till största delen har det hänt till följd av högre vintertemperaturer (Scheifinger *et al.*, 2003). För Europas del har denna förändring legat mellan en ökning på 5 % och en minskning med 0-10 %, beroende på område, under 1880-1998 (Scheifinger *et al.*, 2003). Enligt IPCC:s beräkningar från 2001 har det i barrskogsområden, som i regel återfinns på högre latituder, under 1900-talet skett en ökning i temperatur med omkring 4°C , medan det i tropikerna knappt skedde någon som helst förändring (Parmesan, 2007). Även om det är tydligt att breddgraderna har effekt på och är viktiga för avancemanget av våren kan de inte ses som en tydlig indikator på hur fenologin kommer förändras i takt med det fortsatt förändrade klimatet (Parmesan, 2007). Enligt Parmesan (2007) har en av de två tidigare studierna visat på en genomsnittlig tidigareläggning av våren i områden $32-49.9^\circ\text{N}$ på 4.2 dagar/årtionde och för $50-72^\circ\text{N}$ på 5.5 dagar/årtionde, men forskarna kunde inte hitta samma resultat då gällande bakgrundsdata analyserades.

Som en effekt av det förändrade, varmare klimatet har det dock skett tydliga förändringar i förekomst och utbredning av arter, med större reaktioner på nordliga breddgrader (Parmesan, 2007). En studie av 35 fjärilsarter visade upp ett resultat där 67 % av avgränsningarna mot norr förflyttade sig norrut i Finland, Sverige, Storbritannien, Frankrike och Estland. I söder (i

norra Afrika, Spanien och Frankrike) däremot skedde det, för samma fjärilsarter, en sammandragning av avgränsningar i nordlig riktning på bara 30 % (Parmesan, 2007).

Tidigare studier har visat på att lokalt klimat inverkar på växtfenologi likaväl som tillväxten, förökningstakten och utbredningen av hovdjur, och i sin studie visade Post och Stenseth (1999) att även de mer storskaliga klimatsystemen inverkar och latituden likaså. I undersökningen av rådjurskid i Norges inland visade sig de som var födda efter en varm och fuktig vinter (positiv NAO) vara mindre till storleken som vuxna djur än de som fötts efter en kall och fuktig vinter (negativ NAO). Direkt motsatta förhållanden fanns på öarna kring Skottland, där såväl födelsevikt som vikt i vuxen ålder var högre för rådjur födda efter varma vintrar. För älgar återfanns samma motsatsförhållande mellan Norge och Sverige, där de unga älgarna i Norge som fötts efter varma, fuktiga vintrar var tyngre än de från kallare år. I Sverige däremot, där klimatet är mer kontinentalt, var tendensen en minskad kroppsvikt för de år då det var varmt och fuktigt. (Post och Stenseth, 1999)

I en av de allra senaste artiklarna om vilka effekter det allt varmare klimatet fått på fenologi hos växter runt om i världen presenterar Khanduri *et al* (2008) en sammanställning av resultat gällande åren 1851-2002. Denna baseras på data gällande över 650 växtarter från olika platser runt om i världen. Undersökningen bygger på studier som antingen pågått under en tidsperiod av mer än 10 år eller sträcker sig över ett större område rent geografiskt, allra helst ska båda egenskaperna stämma in. Tabell 4 visar en sammanfattning av de forskningsresultat Khanduri *et al* (2008) använde som grund vid sina undersökningar och uträkningar. Kontentan av deras sammanställning blev att det i genomsnitt skett en tidigareläggning av våren med 1.9 dagar, hösten försenats med omkring 1.4 dagar och hela säsongen förlängts med 3.3 dagar under tidsperioden 1851-2002. (Khanduri *et al.*, 2008)

Tabell 4 Observerade förändringar i fenologi hos diverse växtarter och områden under senare år. (Khanduri *et al.*, 2008)

Location	Observed changes	Time period	No. of species observed
Hungary	0.2–0.6 days/decade earlier flowering	1851–1994 (144 years)	01
Wisconsin	Earlier flowering by about 0.5–1.2 days/decade	1936–1998 (63 years)	25
Europe	1.7 days/decade leaf unfolding and 1.4 days/decade delayed leaf coloring and leaf fall	1959–1993 (35 years)	01
USA	1.7 days/decade earlier flowering and leaf unfolding	1959–1993 (35 years)	01
Canada	2.7 days/decade earlier flowering	1900–1997 (98 years)	01
Europe	1.7 days/decade earlier flowering & leaf unfolding and 1.2 days/decade delayed leaf coloring and leaf fall	1959–1996 (38 years)	01
Washington DC	Flowering occurring 0.8–1.5 day/decade earlier	1970–1999 (30 years)	100
Europe	2.7 days/decade earlier leaf unfolding and 0.8 days/decade delayed leaf fall	1969–1998 (30 years)	04
England	Advance flowering by 4.5 days during the past decade compared to the previous four decades	1954–2000 (47 years)	385
Mediterranean region	Earlier flowering and leaf unfolding occurring by 1.2 & 3.3 days/decade and leaf fall by 2.7 days/decade later	1952–2000 (49 years)	64
Japan	0.8 days/decade earlier leaf unfolding and 1.7 days/decade delayed leaf fall	1953–2000 (48 years)	01
Australia	Earlier flowering occurring 21 days/decade	1983–2002 (20 years)	04
China	Phenological growing season extended by 14 days/decade	1982–1993 (12 years)	–

Utifrån de 656 arterna visade 18 % ingen förändring av tidpunkten för vårfaserna, 10 % en försening och resterande 72 % hade en trend av tidigarelagd vår. I just Europa har en ca 1 vecka tidigare blomning noterats under de senaste drygt 150 åren i både Medelhavsområdet (för tidsperioden 1952-2000), Ungern (för 1851-1994) och England (för 1954-2000). Förutom förändringarna av vårens händelser noterades förseningar i höstfaserna, med 0.3-1.6 dagar senare färgändring på bladen i både Europa och Japan och en total förlängning av säsongen med upp till 3.6 dagar/årtionde, sett till det senaste halvseklet. (Khanduri *et al.*, 2008)

Synkronisering av djur- och växtsäsonger

En synkronisering av de säsongsdrivna cyklerna mellan djur och växter är avgörande för respektive arts överlevnad, speciellt då det endast är under en kortare period av året som förhållandena är tillräckligt bra för att individerna ska kunna föröka sig och växa (Visser och Both, 2005). Tidpunkten för förökning är en life history-egenskap där det är viktigt med en synkronisering med omgivningen (Visser *et al.*, 2006), och en feltiming gentemot värdväxt

eller huvudföda kan få allvarliga konsekvenser för hela den fortsatta överlevnaden av populationen. För att uppnå den allra bästa effekten och resultatet bör tidpunkten för de båda arternas optimala prestation infalla samtidigt (Visser och Both, 2005). De miljöfaktorer som oftast styr denna tidpunkt varierar från år till år, så även själva tidpunkten, och detta gör att varje individ också tvingas ha en flexibilitet för att kunna skifta lite i takt med de övriga svängningarna (Visser *et al.*, 2006). Möjligheterna till dessa individuella anpassningar är olika stora för olika arter.

För många långväga flyttfåglar är det tillgången till mat, och det tidsmässiga samspelet med den huvudsakliga födan som är viktigast och den avgörande faktorn för om fenologin ändras eller ej. Studier gjorda i Holland visar tydliga förändringar i fenologin hos favoritbytena för både den svartvita flugsnapparen (*Ficedula hypoleuca*) och bivråken (*Pernis apivorus*), men uteblivna responser från fågelarterna. Trots att såväl fjärils- och mallarverna och getingarna uppnår sin maximala nivå allt tidigare på säsongen visar de båda flyttfågelarterna inga tendenser på att följa efter. Det finns trots detta utvecklingar åt annat håll då de svartvita flugsnapparna i Holland, som trots oförändrad tidpunkt för ankomst, börjat lägga sina ägg tidigare på året. Det är genom att korta ner tidsintervallet mellan ankomst och häckning som detta är möjligt, men en ytterligare tidigareläggning förefaller vara omöjlig utan att även ankomsten sker tidigare. (Visser och Both, 2005)

En svårighet med att avgöra hur flyttfåglarnas ankomsttid påverkas av de pågående klimatförändringarna är att det inte är helt tydligt vilka faktorer det är som styr. Även om det i allmänhet är temperaturen som anses vara den drivande faktorn är det inte omöjligt att det kan vara en annan drivande kraft, som exempelvis fotoperioden, som har den kraftigaste påverkan i vissa fall. Med temperatur som den styrande kraften kvarstår problemet med att det sannolikt inte skett lika stora förändringar i såväl övervintrings-, mellanlandnings- som häckningsområdena. (Visser och Both, 2005)

Figur 6a-d visar resultaten av fyra förökningsparametrar från Visser och Boths (2005) holländska studie av svartvita flugsnappare (*Ficedula hypoleuca*) under åren 1980-2004. Datumen för den första äggläggningen tidigarelades under studieperioden med 8 dagar ($r = -0.79$, $n = 24$, $P < 0.001$, fig. 6a). Samtidigt visade tidpunkten en negativ korrelation med vårtemperaturen för åren, vilket visar på att flugsnapparna börjar lägga sina ägg tidigare under varma år. Storleken på kullarna visade en signifikant ökning för mätperioden (fig. 6b).

Tidigare studier har visat på ett samband mellan det datum på året då det första ägget läggs och antalet ägg som läggs per kull, vilket också Both och Visser fann då de undersökte de årliga medelvärdena. Intervallet mellan tidpunkten då det sista ägget läggs och det första kläcks minskade under studiens gång (fig. 6c), samtidigt som det visade på en negativ korrelation med temperaturen. Tidsintervallet mellan det datum då det första ägget läggs och kläckningen av det första förändrades inte nämnvärt under studiens gång (fig. 6d) och visade inte heller något samband med temperaturen. Det sammanlagda resultatet av studien är alltså att den ökade temperaturen leder till en tidigare äggläggning, och därmed en större produktion av ägg (Both och Visser, 2005). Tack vare ett minskat tidsintervall mellan läggningen av det sista ägget för säsongen och kläckningen av det första undviks en förlängning av intervallet mellan första lagda ägg och kläckning. Genom denna anpassning kan ett samspel mellan tidpunkten då ungarna föds upp och tillgången på mat bibehållas (Both och Visser, 2005).

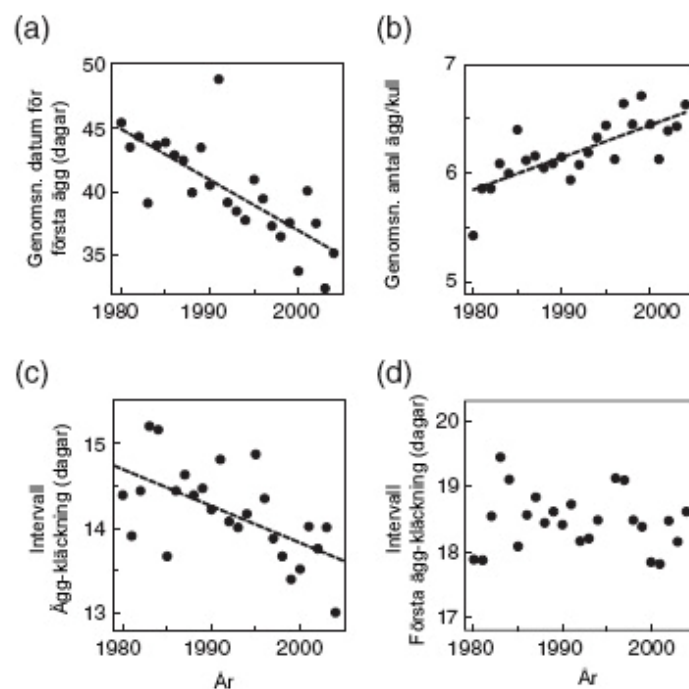


Fig. 6 Årliga förökningsparametrar för svartvita flugsnappare (*Ficedula hypoleuca*) i en population år 1980-2004 med (a) ägglägningsdatum, antal dagar efter 31 mars; (b) storlek på kullarna; (c) tidsintervall från läggning av sista ägg till kläckning av första; och (d) tidsintervall från läggning av första ägg till kläckning av första. Översatt från Both och Visser, 2005.

Både datum för första äggläggning och tidsintervallet mellan läggning av sista ägg och första kläckning visade sig vara korrelerade med tidpunkten för den maximala mängden fjärils- och mallarver, de svartvita flugsnapparens huvudsakliga föda (fig. 7a resp. b). Även om det inte

fanns någon signifikant korrelation mellan tidpunkten för maximal mängd föda och intervallet från första ägg till kläckning tyder det på att de studerade fåglarna skyndar på sin utveckling under de år då tillgången på mat är som störst tidigt på säsongen, trots en större storlek på kullarna. Märkbart i figur 7a är att intervallet mellan datum för första lagda ägg och den maximala tillgången på mat bara är omkring 6 dagar under de allra tidigaste åren, medan det kan skilja upp emot 22 dagar under de år toppen nås väldigt sent (Both och Visser *et al.*, 2006). Detta får till följd att äggen kan komma att kläckas vid väldigt olika tidpunkter under olika år, och därmed kan flugsnapparna missa toppen av matutbudet och den optimala tidpunkten för att föda upp sina ungar (Both och Visser, 2005).

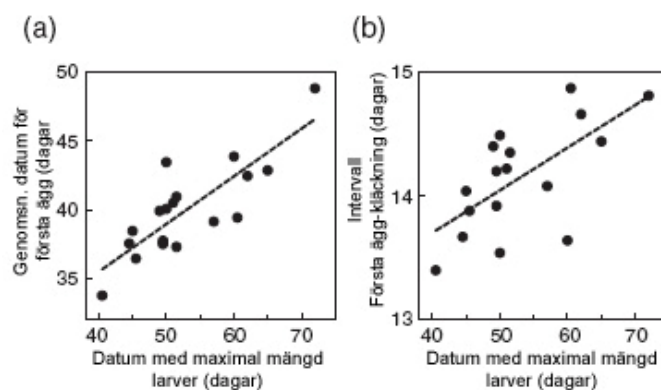


Fig. 7 Årliga förökningsparametrar för svartvita flugsnappare (*Ficedula hypoleuca*) som en funktion av tidpunkten för den maximala mängden fjärils- och mallarver (angivet i dagar efter 31 mars) i en holländsk population år 1980-2004 med (a) ägglägningsdatum, antal dagar efter 31 mars och (b) tidsintervall från läggning av sista ägg till kläckning av första. Översatt från Both och Visser, 2005.

Tidpunkten för största tillgängliga mängd mat i form av fjärils- och mallarver har visat sig vara av stor betydelse även för den, under senare år relativt välstuderade, näringskedjan bestående av ek (*Quercus robur*), frostfjäril (*Operophtera brumata*) och talgoxe (*Parus major*) (Visser och Both, 2005). För att systemet ska fungera optimalt krävs en synkronisering mellan samtliga tre arter och tidpunkten för ekens knoppbristning, frostfjärilens äggkläckning (van Asch *et al.*, 2007) samt talgoxens uppfödning av ungar (Visser *et al.*, 2006). Att det finns en synkronisering mellan ekarnas bladsprickning och frostfjärilens äggkläckning är avgörande för talgoxens ungars överlevnad, då det är larverna från frostfjärilen som utgör den huvudsakliga födan för fågelungarna (van Asch *et al.*, 2007).

Studier har visat att frostfjärilen under en längre tid av säsongen är väldigt beroende av synkronisering med ekens utveckling (Visser och Holleman, 2001). Stammarna på träden

utgör platsen för såväl parning som ägglägningsplats för fjärilshonorna under tidiga delar av vintern (Visser och Holleman, 2001). Kronan fungerar sedan som boplats under övervintringen och mängden tillgängliga, färska blad vid äggkläckning avgör hur väl larverna utvecklas (Visser och Holleman, 2001). Om samspelet i tid arterna emellan blir fel och bladen spricker ut alltför sent kan larverna svälta i brist på föda efter bara två till tre dagar, och om bladen kommer för tidigt hinner de bli för gamla för att fungera som mat åt larverna (Visser och Holleman, 2001). Timingen mellan den maximala mängden larver och häckningen hos talgoxarna är ytterst viktig eftersom larverna förpuppas nere i marken när de är fullvuxna, och därmed inte längre är tillgängliga för fåglarna (Visser *et al.*, 2006). Samtidigt har det fastslagits att talgoxungarna växer som snabbast, och därmed kräver mest mat, vid en ålder av nio dagar och för en fortsatt lyckad utveckling är därför viktigt att det sammanfaller med tidpunkten då det finns mest mat (Visser *et al.*, 2006).

Visser och Hollemans (2001) studie på frostfjärilar och ekar, som utgörs av både modelleringar och direkta observationer på artnivå, visar på en ökad feltiming mellan äggkläckning och lövsprickning under åren 1975-1999. Resultaten visar på att frostfjärilarna avancerat sin äggkläckning mer efter temperaturen än vad ekarna anpassat sin lövsprickning. Detta gäller för både de varma som de lite kallare åren som fanns med i studien, och visar på att själva mönstret av temperaturer kan vara nog så viktigt som en höjning av medeltemperaturen. (Visser och Holleman, 2001)

I sin studie av synkroniseringen mellan frostfjärilar och ekar använde sig van Asch *et al* (2007) av fjärilshonor infångade i fyra olika skogstyper i Holland samt simulerade temperaturmönster. Tre olika medeltemperaturer för tidsperioden 1 januari – 1 april (3.5, 4.5 samt 4.6°C), varav de två sistnämnda hade olika temperaturmönster, användes för flertalet grupper ägg. Ägg från en och samma fjärilshona delades upp och utsattes för en av temperaturbehandlingarna, så att det i slutändan fanns ägg från varje hona representerade i de tre temperaturkategorierna. Resultaten visade på att äggen som fått utstå den största temperaturökningen reagerade och kläcktes tidigare, samtidigt som det fanns skillnader i reaktion bland ägg från olika honor. Forskarna drar slutsatsen att det sistnämnda beror på en ärftlighet och att genetik spelar in på hur snabbt fjärilarna anpassar sin fenologi till temperaturförutsättningarna. (Van Asch *et al.*, 2007)

Med hjälp av klimatmodeller (med en 3.5°C högre genomsnittlig temperatur under vinter och vår i Holland under det kommande århundradet) har van Asch *et al* fått fram siffror som visar på att äggkläckningen för frostfjärilarna kommer avancera mer än ekens lövsprickning. Detta skulle, enligt forskarna, leda till ökade glapp i tidpunkten mellan de båda händelserna om det inte finns någon genetisk påverkan. I sin studie gör van Asch *et al* (2007) även en modellering av hur synkroniseringen mellan fjärilarna och ekarna skulle kunna komma att se ut om det sker ett urval av de bäst lämpade generna. Resultatet tyder på att frostfjärilarnas ägg skulle komma att kräva mer värme för att kläckas, vilket ger en mindre tidsskillnad mellan att det sker och löven hos eken spricker ut. Redan efter ett par år skulle skillnaden ha minskat och efter omkring 20-30 år förväntas den normala balansen ha blivit återställd för så gott som alla år. Om en återställning av synkroniseringen inte är möjlig skulle frostfjärilen behöva byta till en annan värdväxt. (van Asch *et al.*, 2007)

Ytterligare en studie av data rörande larver (huvudsakligen från frostfjärilar), ekar och talgoxar i det holländska skogsområdet vid Hoge Veluwe utfördes av Visser *et al* (2006) för tidsperioden 1985-2004. Resultaten från studien av samspelet mellan de olika arterna användes till att göra simuleringar av hur situationen kan komma att se ut år 2005-2100. Forskarna fann ett samband mellan storleken på den maximala mängden larver och tidpunkten på säsongen då det inträffade, och såg att toppen på kurvan var högre under de år den nåddes senare på säsongen. Det kunde däremot inte ses något samband mellan hur långvarig toppen var och vare sig höjden på den eller tidpunkten för den. Tidpunkten då den maximala mängden larver fanns tillgängliga varierade en del i forskningsområdet, och i träd som hade en stor diameter uppnåddes den tidigare. Visser *et al* (2006) fann att larverna når toppen på kurvan 0.66 dagar tidigare för varje 10cm i diameter trädet är, och samtidigt har träd med större diameter visat sig ha en tidigare lövsprickning. (Visser *et al.*, 2006)

Visser *et als* (2006) studie visade på en korrelation mellan en tidig maximal mängd larver och en tidig äggläggning hos talgoxarna i området, dock är förändringen hos fåglarna bara 0.3 dagar för varje dag som larverna är tidiga. Att denna skillnad uppstår tror forskarna beror på att de båda arterna reagerar på olika temperaturer under säsongen. För fåglarna var det perioden 16 mars - 20 april som påverkade när äggen skulle läggas, medan larverna reagerade även på de temperaturer som rådde därefter. Eftersom det skett en ökning i temperatur även under den senare delen av våren på senare tid har tidsavståndet mellan det att talgoxarna

lägger sina ägg och dess att larverna uppnår sin maximala mängd minskat, och fåglarna missar den optimala tidpunkten att hitta mat åt sina ungar. (Visser *et al.*, 2006)

Den framtida fenologin i Europa

Förändringar i fenologi hos växter och djur får stora konsekvenser för såväl biologiska som sociala system på längre sikt, då det påverkar såväl biodiversitet och jord- och skogsbruk som hälsan hos människor (van Vliet *et al.*, 2003). Inverkan på socioekonomiska områden och bristen på kommunikation och informationsutbyte med klimat- och fenologiforskare runtom i Europa bidrog till skapandet av det EU-stödda nätverket European Phenological Network (EPN) (van Vliet *et al.*, 2003) år 2000 (SLU, 2008). Syftet med nätverket är att:

- öka kunskapen och medvetenheten hos allmänheten
- samordna pågående observationer runt om i Europa
- förbättra kommunikationen, utbytet och samarbetet mellan forskare, företag och beslutsfattare
- samordna och ge större tillgång till fenologisk information

Fortsatt utveckling

Effekter på ekosystemet

I en studie av Jönsson *et al* (2007) användes registrerade observationer som jämförelsedata vid utformandet av en processbaserad modell, med målet att kunna undersöka hur den framtida utvecklingen av granbarkborrar i Sverige skulle kunna komma att se ut till följd av IPCC:s A2- och B2-scenario. Då det är vår- och sommarperioderna och de aktiviteter, främst svärmningen, som pågår då som är avgörande för tillväxten hos insekterna var det dessa studien fokuserade mest på. Om den temperatur som krävs för att vårsvärmningen ska kunna ske börjar inträffa tidigare på året kan även sommartemperaturerna vara gynnsamma nog för att det ska ske en sommarsvärmning, och därmed en andra generation barkborrar. Resultaten

från studien visar på att den vårsvärmning som i normala fall sker i början av juni skulle tidigareläggas med omkring 23 dagar om utvecklingen av temperaturen skulle följa B2-scenariot, och med upp emot 39 dagar med A2-scenariot. Som en följd av att vårsvärmningen sker tidigare förskjuts hela säsongen en bit och en andra generation granbarkborrar skulle hinna färdigutvecklas 28 dagar tidigare med B2-scenariot och hela 50 dagar tidigare enligt A2. (Jönsson *et al.*, 2007)

Visser *et al* (2006) gav sig, med grund av sin studie utförd på ekar, larver och talgoxar i Holland, på att utifrån ett IPCC-SRES B2-scenario simulera hur deras samspel kan komma att se ut år 2005-2100. Resultaten från detta pekar på att larverna kommer uppnå sin topp 0.20 dagar/år tidigare, vilket resulterar i 18 dagars avancemang för hela tidsperioden, och samtidigt kommer den tidsmässiga utbredningen under säsongen minska märkbart. Samtidigt kommer talgoxarna i genomsnitt lägga sina ägg 0.16 ± 0.02 dagar tidigare varje år, med en total tidigareläggning på 15 dagar. Forskarna bakom simuleringen menar att talgoxarnas anpassning till de högre temperaturerna inte längre är användbar, utan att det måste ske en viss genetisk anpassning för att de ska hinna med i samma förändringstakt som larverna de livnär sig av. Ett urval av de bäst lämpade individerna måste ske för att om möjligt återfå synkroniseringen. (Visser *et al.*, 2006)

I sin senaste rapport beskriver IPCC sina prognoser för ekosystemets framtid i ett varmare klimat, och resultaten visar på en ökad förekomst av mer extrema vädersituationer (torka, stormar, översvämning och liknande) och allvarliga effekter på ekosystemet. Kolbalansen tros bli rubbad i framtiden, då vegetationen som lever på land förväntas fortsätta ta upp kol från atmosfären som längst fram till någon gång före mitten av 2000-talet och därefter börja avta, och i värsta fall släppa ut CO₂ istället. Många av jordens växt- och djurarter (ca 20-30 %) riskerar att bli utrotade om den genomsnittliga globala temperaturen skulle öka med så mycket som 1.5-2.5°C, och såväl biodiversitet och struktur på ekosystem som samspelet mellan olika arter kommer förändras rejält. När det gäller prognoserna för Europa är det de södra delarna som anses vara särskilt i farozonen när det gäller kommande klimatförändringar. Detta kommer sig av att det är ett område som redan nu är känsligt för temperaturskiftningar, och kommande värmeperioder kan komma att slå hårt mot såväl ekosystem som flertalet viktiga samhällsfunktioner. (IPCC, 2007)

Effekter på skogsbruket

Att växtsäsongen för skogsvegetation har förlängts är tydlig, och fjärranalysstudier har visat på en kraftig ökning i produktion. Det är den högre temperaturen som leder till en ökad tillväxt och en påföljande större biomassaproduktion, något som kan komma att vara av ekonomiskt intresse för skogsindustrin i framtiden. Högre tillväxt i skogsområden kan också komma att vara till hjälp vid uppfyllandet av miljömål, då de binder mycket av det fria koldioxidet från atmosfären. (van Vliet *et al.*, 2003)

Ett potentiellt framtida hot mot en blomstrande skogsindustri är hanteringen av skadedjur och sjukdomar. En studie av malarten *Lymantria dispar* i en ekskog i södra Tyskland visade på att den ändrat såväl utbredning som utvecklingstakt under senare år och samtidigt ödelagt omkring 10 000 hektar skog och en del andra grödor. Samma insekt har även drabbat ekskogar i Österrike och förstört 1 500-2 000 hektar, till följd av att larver förstört bladen. Under senare år har även barrträd drabbats av allvarliga insektsangrepp, varav ett inträffade i östra Sibirien mellan 1994 och 1997 då över 1.2 miljoner hektar barrskog förstördes. (van Vliet *et al.*, 2003)

Jönsson *et al* (2007) studie på granbarkborrar, med modelleringar av framtidsscenario för 2070-2099, visar på att en ökning av årsmedeltemperaturen med 2-3°C skulle leda till att förekomsten av en andra generation av insekter per säsong var det normala. Samtidigt tyder undersökningen av förekomsten av svärmningar under sommaren på att de kommer öka från att bara ske ett fåtal gånger under en 30-årsperiod till att bli en vanlig förekomst och uteblir endast under enstaka år. Det övre gränsvärdet för temperaturer då granbarkborrarna kan flyga omkring är beräknat till 30°C och antalet dagar under säsongen då detta uppnås förväntas öka från 0.8 dagar/år under 1961-1990 till 14 dagar enligt A2-scenariot och sex dagar för B2. Som en följd av fler dagar med riktigt höga temperaturer kan barkborrarna hindras i sin flygning och genom detta blir svärmningen på sommaren försenad en eller flera dagar, och även utvecklingen kan påverkas. För de insekter som lever under barken på träden kan de högre temperaturerna leda till döden, då det direkta solljuset kan ge upphov till temperaturer upp emot 50°C. (Jönsson *et al.*, 2007)

Risken för en invasion av skadeinsekter i de europeiska skogarna som en följd av det varmare klimatet är inte helt kartlagt och osäkerheterna kring hur angriparna kommer reagera på

förändringen kvarstår. Även om IPCC:s A2-scenario pekar mot att klimatmönstret över södra Skandinavien kommer ge mer kraftfulla lågtryck än idag, med fler stormar och nedfallna barrträd som ger bra utvecklingsgrund för granbarkborrar, i framtiden är det oklart hur kraftfull effekten blir (Jönsson *et al.*, 2007). Alltför höga temperaturer kan, som sagt, dämpa aktiviteten hos insekterna snarare är påskynda den.

Effekter på jordbruket

Historiskt sett var det fenologin för just odlade grödor som var av störst intresse att studera, och då i förhållande till det lokala klimatet, och många fenologiska nätverk grundar sig därför på arter funna inom jordbruket (van Vliet *et al.*, 2003). De förändringar som hittills uppstått till följd av ett allt varmare klimat verkar ha blåst nytt liv i intresset, och det har kommit att handla allt mer om att hitta den bäst lämpade grödan för ett visst område, för att på så vis uppnå bästa möjliga resultat (van Vliet *et al.*, 2003). I sin fjärde och senaste rapport visar IPCC:s resultat på en svag fortsatt ökad produktion inom jordbruket i stora delar av världens i-länder vid en ökad medeltemperatur på 1-3°C, beroende på val av gröda, men att det vid högre temperaturer kommer börja avta (IPCC, 2007).

Den framtida utvecklingen för samspelet mellan odlade grödor och skadeinsekter är i nuläget mycket osäker, då det till stor del beror på huruvida tidpunkten för sådd eller plantering tidigareläggs eller ej. En opublicerad studie från potatis- och sockerbetsodling i Storbritannien visar på att datumet för plantering inte har tidigarelagts i samma mån som den registrerade tidpunkten för då skadeinsekterna börjat flyga omkring. (Harrington *et al.*, 2007)

Många arter av skadedjur har visat sig reagera på det förändrade klimatet snabbare än den vilda vegetationen (van Vliet *et al.*, 2003). För bladlössen kan en ökning av medeltemperatur under våren med 1°C leda till en tidigareläggning av säsongen med mellan 4 och 19 dagar, beroende på vilken sort det gäller (van Vliet *et al.*, 2003). Samtidigt förväntas en höjning av årsmedeltemperaturen med 2°C kunna resultera i att ytterligare 5 generationer insekter hinner produceras på ett år, jämfört med de 18 generationer de hinner med i nuläget (Harrington *et al.*, 2007). En ökad utvecklingshastighet hos skadedjuren under varmare förhållanden ökar även deras chans att överleva (van Vliet *et al.*, 2003). I framtiden kan det vara av avgörande betydelse att veta hur förändringarna i klimatet påverkar sjukdomarnas och skadedjurens utveckling i förhållande till växternas (van Vliet *et al.*, 2003). I fallet med potatis- och

sockerbetsodlingen i Storbritannien kan de framtida konsekvenserna bli att skadeinsekterna dyker upp tidigare på säsongen och därmed gör mer skada (Harrington *et al.*, 2007). Ingen direkt anpassning har gjorts och grödorna har fortsatt att sättas vid samma tidpunkt på året, och riskerar därmed att vara i ett tidigare och mer känsligt skede då angreppet från djuren sker (Harrington *et al.*, 2007).

Effekter på hälsan hos människor

Att ett förändrat klimat leder till mer eller mindre allvarliga konsekvenser för mänskligheten är kanske inte det mest uppenbara. Trots det finns det både direkta och indirekta effekter, från översvämningar och extrema vädersituationer till de störningar som sker i ekosystemet (van Vliet *et al.*, 2003). När det gäller spridare av sjukdomar kan direkta förändringar av det lokala väder- och klimatsystemet (temperatur, nederbörd, vindar etc.) påverka faktorer som förökningstakt, utvecklingshastighet, livslängd osv. Mer indirekta effekter på smittbärarna kan utgöras av förändringar i vegetation, nya metoder och vanor inom jord- och skogsbruk samt perioder av torka eller översvämning (van Vliet *et al.*, 2003). IPCC:s prognoser med förväntade ökning i förekomsten av torrperioder och översvämningar tros komma leda till större utbrott av sjukdomar och en förändring i platser där sjukdomarna förekommer (IPCC, 2007). I längden kan de förändrade klimatförutsättningarna leda till att arter som bär på sjukdomar förflyttar sig till nya, mer passande platser, och samtidigt börjar sprida sin smitta i områden där invånarna kanske inte är motståndskraftiga mot sjukdomen (van Vliet *et al.*, 2003). Av just den anledningen kan det vara av intresse för många samhällsorganisationer att studera de resultat som finns tillgängliga från fenologiforskning.

Den kanske största effekten av förändrad fenologi på människors hälsa är den påverkan som sker på pollensäsongen, och de problem den kan orsaka för många människor. Att hålla koll på pollensäsongen är inte bara av intresse för de som är allergiska utan även för medicinindustrin för produktionen av läkemedel, och EPN (det europeiska fenologinätverket) har ett utvecklat system för prognoser över flödet av allergiframkallande pollen. Uppskattningsvis 3-31 % av Europas invånare lider av allergier, och när det gäller pollensäsongen så kan tidpunkten för den variera stort från år till år och van Vliet *et al* (2003) presenterar studier som gjorts på detta. Studier utförda i Storbritannien har visat att vädret under våren och början av sommaren kan få gräspollensäsongen att variera med upp emot 32 dagar. Samtidigt har jämförelser mellan tidpunkten för pollensäsongens början och

temperaturerna under 1970- respektive 1990-talet visat en 23 dagar tidigare början under det varmare 1990-talet jämfört med det kyligare 1970-talet. (van Vliet *et al.*,2003)

Slutsatser

Resultaten från denna sammanställning och en överblick av vad forskare kommit fram till angående effekterna av de pågående förändringarna i klimatet på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950 kan sammanfattas på följande sätt;

- Det finns ett flertal olika metoder, som fokuserar på alltifrån artnivå till global skala, för att studera sambandet mellan klimatet och fenologi bidrar till svårigheter i att jämföra resultaten som framkommer av olika studier. Det är sällan samma arter som studeras och platsen för studierna skiljer sig också ofta åt.
- Allt fler intresseområden har fått upp ögonen för studierna i fenologi och insett vilken potential det finns i den information de ger. Med en bättre översikt över hur det kan komma att se ut i framtiden är det lättare att göra en anpassning inför de förändringar som väntar.
- Temperatur är den mest drivande faktorn bakom de förändringar som kartlagts, men i detta komplexa system handlar det om såväl storskaliga temperaturfaktorer som NAO som mer lokala variationer som styr, och det är ännu oklart hur viktigt mönstret av temperaturer är.
- Olika arter har reagerat på olika sätt på de högre temperaturerna. Ett visst avancemang av de tidiga faserna samt en senareläggning av de i slutet av säsongen är vanligt i de flesta studier, men trots det finns det alltid några som inte visar någon förändring alls, eller till och med går i motsatt riktning.
- Generellt sett har växter visat sig ha en snabbare reaktionsförmåga till förändring än djuren, men i längden kan det vara livsviktigt för djuren att hålla jämna steg med de växter som utgör deras föda för att kunna överleva. I en näringskedja bestående av flera arter är det av avgörande betydelse att det finns en synkronisering.
- Även om de största förändringarna i årsmedeltemperatur under de senaste decennierna skett i de mest nordliga delarna av världen förefaller det vara i de centrala delarna av Europa de tydligaste förändringarna i fenologi registrerats, då genom studier av NDVI

via satellit. I dessa områden har våren avancerat, samtidigt som höstfaserna försenats något, och på det hela taget har säsongen förlängts.

- För såväl naturliga ekosystem som odlade jordbrukslandskap kan förändrad fenologi få stora effekter, då det kan krävas en anpassning för att arter ska överleva. Hittills har det varit begränsad anpassning från jordbrukets sida till att de lämpliga temperaturerna för sådd och odling tidigarelagts. Förändrade förutsättningar för skadedjuret, med ett potentiellt större hot av insektsangrepp på grödor i framtiden, kan göra att förebyggande arbete kan vara att föredra, gentemot att förlora stora delar av skörden. Detsamma gäller inom skogsbruket, där barrträd förväntas utsättas för mer frekventa, allvarliga angrepp av exempelvis barkborrar som en följd av det varmare, och allt oftare extrema, vädret.

Det kanske största hotet riktat mot ekosystem och biodiversitet är att det tycks ske allt större dissynkronisering mellan olika djur och dess värdväxter eller huvudsakliga föda. Genom att växter generellt sett reagerat snabbare, eller åtminstone mer kraftfullt, än sina predatorer ökar obalansen dem emellan och arter hotas i värsta fall att utrotas om de inte hittar något annat att leva av.

Fenologin hos växter och djur har studerats i flera hundra år vid det här laget, och de flesta forskare har kommit fram till att temperatur är den kraftigast drivande faktorn för när tidpunkten för de olika faserna infaller. Det råder dock frågetecken kring vilken temperatur på säsongen som har störst inverkan och om det i själva verket är mönstret i temperatur snarare än medelvärdet som är viktigt och skapar skillnader. Studier har visat att det är den rådande temperaturen i månaden före som har stor inverkan och det är tydligt att det är under våren den största förändringen i fenologi har skett. I stor utsträckning beror detta på att det är under vintern den största temperaturhöjningen skett, och med mildare vintrar, mindre snö och kyla är förhållandena goda nog för en tidigare start. På längre sikt kan avsaknaden av riktigt låga temperaturer dock leda till vissa problem för de arter som har ett behov av perioder av kyla och vila för att uppnå lyckad utveckling.

Klimatet på jorden är i förändring och det håller på att bli allt varmare och detta får effekt på fenologin hos växter och djur. Studier av effekterna på ekosystemet har pågått under en lång tid och resultaten pekar någorlunda åt samma håll, mot en tidigareläggning av de tidiga fenofaserna och en viss försening av höstfaserna. Några vanliga problem vid undersökning

och jämförelse av olika studier är att forskningen utförts på olika arter eller platser, metoderna varierar eller är kombinerade på ett annorlunda sätt eller också utfördes den vid ett annat tillfälle i historien. Det som dock är gemensamt för de studier som behandlas här, tillsammans med många andra, är att det saknas en enighet i respons för de olika arterna eller grupperna av växter och djur. Somliga visar upp ett klart avancemang av sin fenologi till följd av de högre temperaturerna, andra strävar i direkt motsatt riktning och senareläggs och ytterligare andra tycks inte påverkas alls.

Med ökade temperaturer är skadedjur, främst insekter, bland de djur som förväntas reagera allra kraftigast och detta kan få katastrofala konsekvenser, särskilt då de i stor utsträckning lever av fallna träd och liknande. Mer extrema väderfenomen, med översvämning, torka och kanske framför allt stormar, väntas på de flesta håll världen över under resten av detta sekel och med det ökar förutsättningarna för skadeinsekterna. Av just den anledningen är fortsatta studier av fenologi av stor betydelse för många intresseområden.

Referenser:

- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E.G., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D. och Whittaker, J.B. (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8, 1-16
- Bonan, G.B. (2002) *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press (kapitel 9) ISBN 0-521-80476-0
- Both, C. och Visser, M.E. (2005) The effect of climate change on the correlation between avian life-history traits. *Global Change Biology*, 11, 1606-1613
- Campbell, G.S. och Norman, J.M. (1998) *An introduction to environmental biophysics*. Andra upplagan. New York, Springer Science+Business Media, Inc. ISBN 0-387-94937-2 (kapitel 14)
- Chapin, F.Stuart, Matson, P.A. och Mooney, H.A. (2002) *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag ISBN: 0387954430
- Chuine, I., Cambon, G. och Comtois, P. (2000) Scaling phenology from the local to the regional level: advances from species-specific phenological models. *Global Change Biology*, 6,943-952
- Cleland, E.E., Chiariello, N.R., Loarie, S.R., Mooney, H.A. och Field, C.B. (2006) Diverse responses of phenology to global changes in a grassland ecosystem. *PNAS*, 103(37), 13740-13744
- Cleland, E.E., Chuine, I., Menzel, A., Mooney, H.A. och Schwartz, M.D. (2007) Shifting plant phenology in response to global change. *Trends in Ecology och Evolution*, 22(7), 357-365
- Harrington, R., Clark, S.J., Welham, S.J., Verrier, P.J., Denholm, C.H., Hullé, M., Maurice, D., Rounsevell, M.D. och Cocu, N., European union examine consortium. (2007) Environmental change and the phenology of European aphids. *Global Change Biology*, 13, 1550-1564
- Jönsson, A.M., Harding, S., Barring, L. och Ravn, H.P. (2007) Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146, 70-81
- Kaneko, D., Ohnishi, M., Ishiyama, T. och Tateishi, R. (2004) Proposal for Early Crop Monitoring Using a Photosynthetic Production Index and Remotely Sensed Data. New directions for a diverse planet: Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia, 26 Sep – 1 Oct 2004 ISBN 1-920842-20-9 Hämtad från <http://www.cropscience.org.au/icsc2004/poster/2/8/252_daijir.htm> Hämtad den 5 maj 2008
- Khanduri, V.P., Sharma, C.M. och Singh, S.P. (2008) The effects of climate change on plant phenology. *Environmentalist*, 28, 143-147
- Koch, E., Bruns, E., Chmielewski F. M., Defila, C., Lipa, W. och Menzel, A. (2007) Guidelines for plant phenological observations. Hämtad från <<http://www.omm.urv.cat/documentation.html>> Hämtad den 13 maj 2008
- Meier, U., Bleiholder, H., Weber, E., Feller, C., Hess, M., Wicke, H., van den Boom, T., Lancashire, P.D., Buhr, L., Hack, H., Klose, R. och Strauss, R. (2001) Growth stages of mono-and dicotyledonous plants: BBCH Monograph. Andra upplagan. *Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry*
- Menzel, A., Estrella, N. och Fabian, P. (2001) Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology*, 7, 657-666

- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N. och Eckhardt, S. (2005) 'SSW to NNE' - North Atlantic Oscillation affects the progress of seasons across Europe. *Global Change Biology*, 11, 909-918
- Menzel, A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K., Bissolli P., Braslavská O., Briede A., Chmielewski F. M., Crepinsek Z., Curnel Y., Dahl Å., Defila C., Donnelly A., Filella Y., Jatzak K., Måge F., Mestre A., Nordli Ø., Peñuelas J., Pirinen P., Remisová V., Scheifinger H., Striz M., Susnik A., Wielgolaski F.-E., Vliet A. v., Zach S., Zust A. (2006) European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 1969-1976
- Parmesan, C. (2007) Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Global Change Biology*, 13, 1860-1872
- Parmesan, C. och Yohe, G. (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42
- Post, E. och Stenseth, N.C. (1999) Climatic variability, plant phenology, and northern ungulates. *Ecology*, 80:4, 1322-1339
- Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski (2007) Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., Peter, C. och Ahas, R. (2002) Atmospheric mechanisms governing the spatial and temporal variability of phenological phases in central Europe. *International Journal of Climatology*, 22, 1739-1755
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E. och Peter, Ch. (2003) Trends of spring time frost events and phenological dates in Central Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 74, 41-51
- Schwartz, M.D., Ahas, R. och Aasa, A. (2006) Onset of spring starting earlier across the Northern Hemisphere. *Global Change Biology*, 12, 343-351
- Stöckli, R. och Vidale, P.L. (2004) European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land- surface parameter dataset. *International Journal of Remote Sensing*, (25) 17, 3303-3330
- van Asch, M., van Tienderen, P.H., Holleman, L.J.M. och Visser, M.E. (2007) Predicting adaptation of phenology in response to climate change, an insect herbivore example. *Global Change Biology*, 13, 1596-1604
- van Vliet, A.J.H., de Groot, R.S., Bellens, Y., Braun, P., Bruegger, R., Bruns, E., Clevers, J., Estreguil, C., Flechsig, M., Jeanneret, F., Maggi, M., Martens, P., Menne, B., Menzel, A. och Sparks, T. (2003) The European Phenology Network. *International Journal of Biometeorology*, 47, 202-212
- Visser, M.E. och Both, C. (2005) Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. *Proceedings of the Royal Society B*, 272, 2561-1569
- Visser, M.E. och Holleman, L.J.M. (2001) Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268, 289-294
- Visser, M.E., Holleman, L.J.M. och Gienapp, P. (2006) Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia*, 147, 164-172

Internet:

1. CFS - Canadian Forest Service. Hämtad från <<http://cfs.nrcan.gc.ca/factsheets/aphids-aphides>> Uppdaterad den 6 februari 2007. Hämtad den 12 april 2008
2. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report (2007) Hämtad från <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf> Hämtad den 12 april 2008
3. Nationalencyklopedin. Sökord: fenologi. Hämtad från <www.ne.se> Hämtad den 12 april 2008
4. Den virtuella floran (Naturhistoriska Riksmuseet). Sökord: diverse latinska namn. Hämtad från <<http://linnaeus.nrm.se/flora/welcome.html>> Hämtade den 13 april 2008 Uppdaterad den 24 januari 2007
5. SLU – Sveriges Lantbruksuniversitet. *Biologiska fenomen kan berätta om klimateffekter*. Hämtad från <<http://www.slu.se/?id=965ochpuff=135>> Publicerad den 23 maj 2007. Hämtad den 20 april 2008
6. Regeringen. Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredning. Smith, B., Hickler, T. och Miller, P. *Modellering av vegetationsförskjutningar i Sverige under framtida klimatscenarier*. (2007) Hämtad från <<http://www.regeringen.se/content/1/c6/08/93/34/557cfd35.pdf>> Hämtad den 3 maj 2008

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND. Serie startade 1985.

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.

Report series started 1985.

79. Ullman, M., (2001): El Niño Southern Oscillation och dess atmosfäriska fjärrpåverkan.
80. Andersson, A., (2001): The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios.
81. Lalloo, D., (2001): Geografiska informationssystem för studier av polyaromatiska kolväten (PAH) – Undersökning av djupvariation i BO01-området, Västra hamnen, Malmö, samt utveckling av en matematisk formel för beräkning av PAH-koncentrationer från ett kontinuerligt utsläpp.
82. Almqvist, J., Fergéus, J., (2001): GIS-implementation in Sri Lanka. Part 1: GIS-applications in Hambantota district Sri Lanka : a case study. Part 2: GIS in socio-economic planning : a case study.
83. Berntsson, A., (2001): Modellering av reflektans från ett sockerbetsbestånd med hjälp av en strålningsmodell.
84. Umegård, J., (2001): Arctic aerosol and long-range transport.
85. Rosenberg, R., (2002): Tetratermmodellering och regressionsanalyser mellan topografi, tetraterm och tillväxt hos sitkagran och lärk – en studie i norra Island.
86. Håkansson, J., Kjörling, A., (2002): Uppskattning av mängden kol i trädform – en metodstudie.
87. Arvidsson, H., (2002): Coastal parallel sediment transport on the SE Australian inner shelf – A study of barrier morphodynamics.
88. Bemark, M., (2002): Köphultssjöns tillstånd och omgivningens påverkan.
89. Dahlberg, I., (2002): Rödlistade kärlväxter i Göteborgs innerstad – temporal och rumslig analys av rödlistade kärlväxter i Göteborgs artdataarkiv, ADA.
90. Poussart, J-N., (2002): Verification of Soil Carbon Sequestration - Uncertainties of Assessment Methods.
91. Jakubaschk, C., (2002): Acacia senegal, Soil Organic Carbon and Nitrogen Contents: A Study in North Kordofan, Sudan.
92. Lindqvist, S., (2002): Skattning av kväve i gran med hjälp av fjärranalys.
93. Göthe, A., (2002): Översvämningskartering av Vombs ängar.
94. Lööv, A., (2002): Igenväxning av Köphultasjö – bakomliggande orsaker och processer.
95. Axelsson, H., (2003): Sårbarhetskartering av bekämpningsmedels läckage till grundvattnet – Tillämpat på vattenskyddsområdet Ignaberga-Hässleholm.
96. Hedberg, M., Jönsson, L., (2003): Geografiska Informationssystem på Internet – En webbaserad GIS-applikation med kalknings- och försurningsinformation för Kronobergs län.
97. Svensson, J., (2003): Wind Throw Damages on Forests – Frequency and Associated Pressure Patterns 1961-1990 and in a Future Climate Scenario.
98. Stroh, E., (2003): Analys av fiskrättsförhållandena i Stockholms skärgård i relation till känsliga områden samt fysisk störning.
99. Bäckstrand, K., (2004): The dynamics of non-methane hydrocarbons and other trace gas fluxes on a subarctic mire in northern Sweden.

100. Hahn, K., (2004): Termohalin cirkulation i Nordatlanten.
101. Lina Möllerström (2004): Modelling soil temperature & soil water availability in semi-arid Sudan: validation and testing.
102. Setterby, Y., (2004): Igenväxande hagmarkers förekomst och tillstånd i Västra Götaland.
103. Edlundh, L., (2004): Utveckling av en metodik för att med hjälp av lagerföljdsdata och geografiska informationssystem (GIS) modellera och rekonstruera våtmarker i Skåne.
104. Schubert, P., (2004): Cultivation potential in Hambantota district, Sri Lanka
105. Brage, T., (2004): Kvalitetskontroll av servicedatabasen Sisyla
106. Sjöström, M., (2004): Investigating Vegetation Changes in the African Sahel 1982-2002: A Comparative Analysis Using Landsat, MODIS and AVHRR Remote Sensing Data
107. Danilovic, A., Stenqvist, M., (2004): Naturlig föryngring av skog
108. Materia, S., (2004): Forests acting as a carbon source: analysis of two possible causes for Norunda forest site
109. Hinderson, T., (2004): Analysing environmental change in semi-arid areas in Kordofan, Sudan
110. Andersson, J., (2004): Skånska småvatten nu och då - jämförelse mellan 1940, 1980 och 2000-talet
111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO₂ fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO₂ concentration affect vegetation productivity?
119. Tolleback, E., (2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogsområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmental benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer I sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tågbuller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species

- richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBird-data för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128. Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
129. Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130. Johansson, T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i stormfällan efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.
131. Eckeskog, M., (2006) Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.
132. Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.
133. Persson, P., (2007) Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index
134. Valoczi, P. (2007) Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog I Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.
135. Johansson, H. (2007) Dalby Söderskog - en studie av trädarternas sammansättning 1921 jämfört med 2005
137. Kalén, V. (2007) Analysing temporal and spatial variations in DOC concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing
138. Maichel, V. (2007) Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda våtmarker i Skåne
139. Agardh, M. (2007) Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och åtgärdsförslag
140. Peterz, S. (2007) Do landscape properties influence the migration of Ospreys?
141. Hendrikson, K. (2007) Småvatten och groddjur i Täby kommun
142. Carlsson, A. (2008) Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit.
143. Paulsson, R. (2008) Analysing climate effect of agriculture and forestry in southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate
144. Ahlstrom, A. (2008) Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based accessibility model.
145. Svensson T. (2008) Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic Sweden 1956-2006
146. af Wählberg, O. (2008) Tillämpning av GIS inom planering och naturvård - En metodstudie i Malmö kommun
147. Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008) Metod för vindkraftslokalisering med hjälp av GIS och oskarp logik